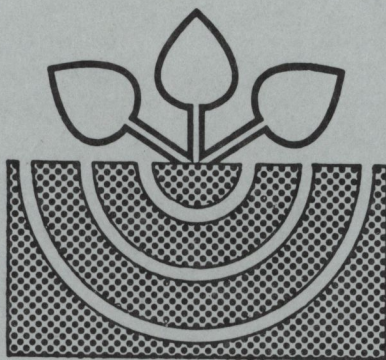


MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT



EXKURSIONSFÜHRER

Band 82

1997

ISSN - 0343-107 X

Schriftleitung: P. Hugenroth, Oldenburg

Unredigierte Mitgliederinformationsschrift

**- Beiträge in ausschließlich wissenschaftlicher Verantwortung der
jeweiligen Autoren -**

Jahrestagung
der
Deutschen Bodenkundlichen
Gesellschaft
1997
KONSTANZ

«BELEBTE BÖDEN ALS REGULATOREN IN DER UMWELT»

EXKURSIONSFÜHRER

Redaktion und Layout:

H. Sticher
Institut für Terrestrische Ökologie ETHZ, Schlieren/Schweiz

VORWORT

Noch nie ist die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft bei der Wahl des Tagungsortes so weit in den Süden vorgedrungen. Die Grenzstadt Konstanz bietet damit die Chance, gewissermaßen Neuland zu betreten, bewegen sich doch die meisten der angebotenen Exkursionen im Bereich der quartärgeologischen Ablagerungen im Vorfeld von Alpen und Schwarzwald im Deutsch-Schweizerischen Grenzgebiet. Darüber hinaus eröffnet sich die Möglichkeit, die traditionell gut nachbarschaftlichen Beziehungen zu Schweizer Bodenkundlern auszubauen und zu festigen. In diesem Sinne wurde die Konstanzer Tagung als gemeinsame Veranstaltung der DBG und der BGS (Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz) ausgeschrieben.

Die meisten Exkursionen sind speziellen Themen gewidmet. Wenn auch eine Bodenkunde-Exkursion ohne Systematik-Diskussion kaum denkbar ist, so geht doch der Wunsch an die Teilnehmer, hierbei Maß zu halten und sich stattdessen an den schwerpunktbezogenen Diskussionen mit den «Spezialisten», seien es Bodenchemiker, Bodenphysiker, Biologen, Ökologen oder andere, zu beteiligen. Im besonderen Maße gilt dies für die Halbtagesexkursionen, welche mehrheitlich Rand- und Nachbargebieten der eigentlichen Bodenkunde gewidmet sind und das Programm der großen Exkursionen vor und nach der Tagung im Sinne der Blickfelderweiterung ideal ergänzen.

Für die Vorbereitung und die Durchführung der Exkursionen zeichnen eine Reihe von Instituten und Ämtern im Süddeutschen Raum und in der Schweiz verantwortlich. Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern dieser Institutionen, welche sich, oft in Überstunden, in irgend einer Weise für das Gelingen des umfangreichen Unterfangens eingesetzt haben, gilt unser herzlicher Dank. Besonderer Dank sei schließlich den Autoren der Allgemeinen Beiträge im Vorspann des Exkursionsführers ausgesprochen. Sie haben eine große Arbeit auf sich genommen, ohne daß sie an der Tagung persönlich in Erscheinung treten können. Mit ihren Beiträgen tragen sie aber wesentlich zum Verständnis des Exkursionsgebietes und der vorgestellten Bodenlandschaften bei.

Zürich, im Frühjahr 1997

Hans Sticher

Exkursionsführer

Allgemeiner Teil

Der Exkursionsraum im Deutsch-Schweizerischen Grenzgebiet

Einführung

Inhalt	Seite
<i>H. Sticher:</i> Vorwort	2
<i>R. Hantke:</i> Geologie und Landschaftsgeschichte des Bodensee-Raumes	5
<i>K.-H. Pfeffer:</i> Zur Genese der Landschaften und des Gewässernetzes im Südwesten Deutschlands	21
<i>F. Weller:</i> Geschichte des Exkursionsgebietes	41
<i>F. Weller:</i> Landnutzung im Bodenseeraum	63
<i>F. Weller:</i> Standortsgliederung des Exkursionsgebietes	89
<i>K. Stahr & K. Peyer:</i> Böden und Bodenverbreitung	115
<i>R. Böcker & W. Konold:</i> Vegetation im Exkursionsgebiet	159

Geologie und Landschaftsgeschichte des Bodensee-Gebietes

von

René Hantke¹

Die Gestalt des Seeufers

Seit früher Kindheit zogen mich der Bodensee und seine Aussichtslogen in ihren Bann. Im Obersee waren es die vorspringenden Landzungen von Romanshorn bis Kreuzlingen und von Immenstaad bis Unteruhldingen, im Überlinger, Gnadens- und Zeller See auffallend geradlinige Ufer, die nach Erklärung riefen. Am Untersee sind die Landzungen offenkundig: Schuttfächer, welche Schmelzwässer im frühen Spätwürm von Seerücken und Schienerberg in den See vorgetrieben haben und sichere Siedlungsplätze boten. Am Obersee wechseln Molassesporne mit den Mündungsdelten von Argen und Schussen, zwischen Rorschach und Bregenz neben jenen des Alten Rheins und der Bregenzer Ach die früheren Rhein-Mündungen, bei Altenrhein und im Rohrspitz zwischen Wetter- und Harder Bucht. Sodann ist der Verlauf der Flusstäler zu analysieren, die Molasse-Durchbrüche von Bregenzer Ach, Goldach, Sitter und Thur, von Deggenhauser, Salemer und Mahlsprüer-Stockacher Ach.

Geologische Karten des Bodensee-Gebietes

Die Geschichte des Bodensee-Raumes gründet sich auf viele Publikationen und neuere, teils als Nachdruck vorliegende geologische Detailkarten, welche Fakten zusammenfassen.

Auf deutscher Seite sind es - neben älteren, teilweise ergänzte Karten I: 25000: BRÄUHÄUSER (1915K, 1976K) Blatt Friedrichshafen, SCHMIDT & MÜNST (1918K, 1978K und 1921K, 1976K) die Blätter Tettang und Ravensburg, ERB (1934K, 1989K) Blatt Überlingen-West/Konstanz-West und 1967K die zusammenfassende Karte des Landkreises Konstanz, ERB, HAUS & RUTTE (1961K) Blatt Stockach, SCHREINER (1973K, 1979K, 1983K) die Blätter Singen, Neuhausen ob Eck und Gottmadingen, WERNER (1975K) Blatt Messkirch und neu SENKLER & ELLWANGER (1994K, 1995K) Pfullendorf und Heiligenberg. Im Gegensatz zu den Schweizer Blättern beinhalten die deutschen auch bodenkundliche Hinweise.

Auf der Schweizer Seite haben sich HÜBSCHER (1961K) mit Blatt Diessenhofen, GEIGER (1943K, 1968K) mit den Blättern Pfyng-Bussnang und Weinfeld, LUDWIG & SAXER mit Blatt St. Gallen-Appenzell (1949K, 1960) und SAXER (1964K, 1965) mit Blatt Rorschach verdient gemacht. HOFMANN bearbeitete vor den schaffhausisch/badischen Grenzblättern Neunkirch (1981K) und Beggingen-S-Hälfte/Singen SE-Anteil (1996K) die Blätter Andelfingen (1967K), Bischofszell (1973K) und Wil (1988K, 1993).

In Bayern kartierten in jüngerer Zeit SCHWERD (1986K) Blatt Lindau, SCHWERD & ZEH (1986K) Blatt Kressbronn, VOLLMAYR & ZIEGLER (1976K) im Grenzgebiet gegen Vorarlberg Blatt Weiler im Allgäu, HERRMANN & SCHWERD (1982K, 1983) Blatt Bregenz und HERRMANN (1984K, 1985) Blatt Sulzberg. OBERHAUSER (1982K) bearbeitete die Blätter St. Gallen Süd-Dornbirn Süd und Blatt St. Gallen Nord-Dornbirn Nord mit Anteilen von Bodensee und Bregenz (1994K).

¹ Glämischstraße 3, CH-8712 Stäfa / Schweiz

Die Molasse-Schichtfolgen im Bodensee-Raum

Am Aufbau der Molasse des Bodenseeraumes sind beteiligt: Untere Süßwassermolasse (USM), Obere Meeresmolasse (OMM) und Obere Süßwassermolasse (OSM).

In der äussersten NE-Schweiz bilden chattische Mergel und Kalksandsteine den Kern der aufgerichteten, gegen NNW einfallenden *Unteren Süßwassermolasse*. Die aquitane Molasse umfasst:

- Die Kalksandsteine (oben) gehen nach einer letzten Nagelfluhbank in mergelreiche Sedimente über. Diese liessen in der Landschaft eine Flucht von Längstälern und Sätteln entstehen.
- Im mittleren Abschnitt wird der Granitische Sandstein durch Kalksandsteine mit Kalknagelfluhbänken ersetzt.
- Die tiefere aquitane USM besteht aus granitischen Sandsteinen, die im Appenzellerland noch von bunten Nagelfluhbänken durchsetzt sind, die gegen E zunehmend schwächer werden (unten).

In der USM von *St. Margrethen* hat sich bei einem Jahresmittel um 17°C ein Wald mit Campherbaum, Avocado, Pappel, Weiden, *Myrica*, *Cornus* - Hornstrauch und *Rehderodendron*, einem Stora-Gewächs, ausgebreitet.

Die *Obere Meeresmolasse* tritt am Obersee über aufgerichteter USM vom Rorschacherberg bis Rheineck, bei Bregenz-Kennelbach und am Überlinger See zutage. In der NE-Schweiz lässt sich die OMM gliedern in (SAXER 1964K, 1965):

- Obere Grenz nagelfluh (oben),
- Sandsteine und Schiefermergel des Helvetian,
- Freudenberg-Nagelfluh (2. Zyklus),
- Burdigale Plattensandsteine, durch 2-3 Seelaffen Muschelsandsteinbänke getrennt,
- Kohleflöz, einst ein Küstensumpf,
- Basiskonglomerat (unten).

Im *Wirtatobel* im E von Bregenz belegt die Kohle einen Meeresspiegel-Abfall. P. HOCHULI (in JUNG, ed. 1982) hat an thermophilen Elementen Pollen von Walnuss-Gewächsen, eines Buchen-Gewächses und einer Myricacee, an intermediären *Carya* - Butternuss, an arktotertiären Wasserulme, Gräser und Compositen, an Fazies-Elementen Föhren und Sumpf-Zypressen nachgewiesen. Auch im *Kesselgraben* an der vorarlbergisch/bayerischen Grenze fanden sich um die Kohle Mikroflora eines subtropisch-warmgemäßigten Klimas mit einem Jahresmittel von 19°C, an Thermophilen: Sporen von *Lygodium*, ein Kletterfarne, eine Myricacee, *Platycarya* - ein Walnuss-Gewächs, an Intermediären: eine Tanne und Butternuss, an Arktotertiären: Wasserulme, weitere Ulmen-Gewächse, ein erstmals im Otnangian auftretendes Gänsefuss-Gewächs, Polypodiaceen und Igelkolben.

Am Überlinger See besteht die OMM aus:

- Bodman-Sanden mit basalem Geröll-Horizont (2. Zyklus), Haifischzähnen und Austern,
- Sandschiefer mit Fischresten, Seeigelstacheln und Muscheln.
- Heidenlöcher Schichten: Glaukonit-Sande und -Sandsteine, die der USM aufliegen und aus Mergeln, Sandmergeln, Sanden und Sandsteinen bestehen. Lokal schalten sich Kohlen ein. Diese haben im Osterholz bei Stockach einen Nashorn-Unterkiefer geliefert.

Die Graupensandrinne bildet in der OMM der westlichen Bodensee-Gegend eine bis 20 km breite und gegen 50 m tiefe, NE-SW streichende Rinne. Durch austretende ältere Jura-Nagelfluh greift sie bis in den Malm hinunter. Im NW ist die OMM als Randen-Grobkalk erhalten. In der Rinne treten 2 Sedimenttypen als Brackwassermolasse auf:

- Kirchberger Schichten (oben): kalkig-tonige Schluffe mit Cardien und Congerien; sie werden in der Bodensee-Gegend von einer alpinen Geröll- und Sandfazies abgelöst. Diese beschränken sich auf die Erweiterte und den S-Streifen der Eigentlichen Graupensandrinne.
- Graupensande = Grimmelfinger Schichten (unten): schräggeschichtete Quarz-Feinkiese (Graupen) mit hohem Feldspat-Anteil. Aufgrund von Lyditen stammen sie aus dem Osten (KIDERLEN 1931). Südlich von Schaffhausen gehen sie in marine Sedimente über.

Mit dem Abfall des Meeresspiegels fiel der Meeresgrund trocken: es bildete sich ein Exsudationskalk, der Albstein-Knollenkalk. Auf ihm und auf marinen Kirchberger Schichten ruhen Haldenhof-Mergel; sie werden von Glimmersanden, den Steinbalmensanden, überlagert.

Im westlichen Bodensee-Gebiet besteht die *Obere Süsswassermolasse* (OSM) vor allem aus fluvialen muskowitz-, quarz- und granatreichen Glimmersanden der E-W-Schüttung, die als Sammelrinne vom nördlichen bayerischen Molassebecken das Alpenvorland durchzog, über Schienerberg und Seerücken die N-Schweiz erreichte und über Cholfirst-Irchel-Wehntal sich zwischen Falten- und Tafeljura gegen W wandte. Eingelagert sind Horizonte mit Mergelgallen, Pflanzenhäcksel, Schwemmholz und Knochenresten. Dann folgen Öhninger Schichten, 20-50 m Mergel, im Öhninger Maarsee Süsswasserkalke. Die Glimmersande sind auf eine relativ schmale Rinne beschränkt. Am NW-Schienerberg stellt sich dann eine mit Molasse vermischte vulkanische Tufflage ein, die lokal als bentonitischer grüner Ton vorliegt. Sie enthält Trümmer von durchschlagenem Grund- und Deckgebirge, Granitrus, Gneise und mesozoische Kalke, an vulkanischen Mineralien: Magnetit, Hornblende, Diopsid, Apatit und Biotit (HOFMANN 1964). In der Konglomeratstufe stiess die Hörnli-Schüttung zum Seerücken und zum Schienerberg vor.

Im distalen Hörnli-Fächer gliedert HOFMANN (1973K) die OSM in Anlehnung ans zentrale Hörnli-Bergland wie folgt:

- Tannenbergschichten: vorwiegend Mergel (oben)
- Hörnli-Schichten: meist Mergel
- "Konglomeratstufe" (Tösswald-Schichten): im SE meist mergelig, mit Bentonit-Lagen, sauren Glastuffen und basal Ramschwag-Nagelfluh - Öhninger Schichten: meist Mergel mit Nagelfluhen und Sandsteinen, ophiolithreiche Nagelfluh bzw. Sandsteine, Horizont mit exotischen Geröllen
- "Mittlerer Komplex" (Kräner Schichten): im E mergelig, gegen W zunehmend konglomeratisch
- Abtwiler/Degersheimer Kalknagelfluh: Kalk/Dolomit-Nagelfluh
- "Basiszone" (Lichtensteiger Schichten): meist mergelig (unten).

In der OSM der Pfänder-Schüttung wechseln bis 10 m mächtige Nagelfluhbänke mit Geröllen von Flysch und Ostalpin, mit Landschnecken führenden Mergeln. Im E von Scheidegg gehen die Nagelfluhen in Sandsteine über (VOLLMAYR & ZIEGLER 1976K, HERRMANN & SCHWERT 1982K, 1983, HERRMANN 1984K, 1985).

In der tiefsten *Pfänder-Schüttung* fand BLUMRICH (1930) ein Blatt von *Chamaerops* - Zwerg-Fächerpalme und *Cinnamomum*-Blätter. Im Ruggbachobel entdeckte S. FUSSENEGGER (in BLUMRICH 1936) den Stosszahn eines Mastodonten; beim Bau des Pfändertunnels wurden Skelettreste und Zähne eines *Gomphotherium angustidens* angefahren (STEININGER et al. 1982). Aus Mergeln im S des Pfänder bestimmte K.A. HÜNERMANN (in STEININGER et al. 1982) eine Fauna mit *Ophisaurus* - Blindschleiche, *Galerix* - Haarigel, *Cotimus* - Hamster, *Prolagus oeningensis* - Pfeifhase und *Cervoida* - Hirschartige.

Am *Gehrenberg-Höchsten* liegt eine weitere, gesteinsmässig jener des Pfänder nahestehende Schüttung vor.

An Fossilien werden nur Blattabdrücke erwähnt. Dagegen liefern die Zapfensande von Ravensburg (Lauratal, Höll) Säugerreste: *Palaeomeryx* - Zwerghirsch, *Chalicomys* und *Dorcotherium* - Hirscherkel und Panzerfragmente von *Trionyx* - Schildkröte. Kleinsäuger-Zähne und Knochen waren "ziemlich regelmässig zu finden" (SCHMIDT (1921, 1976).

Die umfassendste Flora und Fauna im Bodensee-Gebiet stammt von den *Öhninger Fundstellen*, aus den 14,5 Ma alten Süsswasserkalken (HEER 1855-59, HANTKE 1964) und den Mergelabfolgen der Schrotzburg (= Bohlinger Schlucht, HANTKE 1954, NÖTZOLD 1957).

Um den *Öhninger Maarsee* entfaltete sich ein bunter Laubmischwald mit *Acer tricuspidatum* - dreilappigem Ahorn, *Populus mutabilis*, *P. latior* und *P. balsamoides* - 3 Pappel-Arten, *Salix* - Weiden, *Gleditsia* Wasser-Gleditschien, *Cinnamum polymorphum* - Campherbaum und *Persea* - Avocado, *Sapindus* - Seifenbaum, und *Juglans* - Walnuss, an Nadelhölzern stockte *Glyptostrobus* - Was-

ser-Fichte. *Tsuga* - Hemlocktanne, *Pinus* - Föhre, *Picea* - Fichte und *Abies* - Tanne standen weiter weg; sie sind nur durch Pollen belegt. Am Ufer des Maarsees wuchsen *Typha* - Rohrkolben, *Phragmites* - Schilf, *Arundo* - Rohr und *Iris*; im See entfaltete sich *Potamogeton* - Laichkraut und eine reiche Fischfauna. Über dem See schwärmten Insekten; am Ufer bewegten sich *Riesensalamander* - *Andrias scheuchzeri*, SCHEUCHZERS "betribtes Beingerüst eines armen Sünders", zur Tränke gekommene Mastodonten und weitere Grosssäuger. Das Jahresmittel bewegte sich um 16°C.

Am *Schrotzburger Altwasser*, belegt durch *Salvinia* - Wasserfarn und *Ceratophyllum* - Hornblatt, standen *Liquidambar* - Amberbaum, Ulme, Platane, *Populus latior* und *P. balsamoides* - Breitblättrige und Balsam-Pappel, *Acer angustilobum* - schmallappiger Ahorn, Campherbaum und Avocado bei 15°C Jahresmittel. Die Fauna mit Fischen, Wasserkäfern und Fliegen war eher bescheiden.

In den Glimmersanden am *Rodenberg* bei Schlattingen (Thurgau) fanden sich *Daphnogene ungeri*, ein ausgestorbenes Lorbeer-Gewächs, Veränderliche und Balsam-Pappel. Landschnecken wurden eingeschwemmt; *Chara* - Armeleuchteralge, Posthorn- und Schlammschnecke - *Planorbarius* und *Limnaea* belegen limnisches Milieu (WEGELIN 1904). R. JOST (in HÜNERMANN 1981) fand neben Fischen Sumpf-Schildkröte, *Ophisaurus*, Krokodilreste, an Säugern: Mastodon, Nashorn, Wildschwein, Zwergböcklein, kleine Hirsche und Marder, Haarigel, Spitzmaus, 2 Pfeifhasen-Arten, Biber, Hörnchen, Schläfer, Wühler, Hamster. Die Fauna lebte bei 17°C Jahresmittel in bewaldeter Flusslandschaft mit Lichtungen; sie ist an die Grenze der Säugerzonen MN 5/6 zu stellen.

In *Tägerwilen* entfalteten sich Campherbaum, *Daphnogene*, Balsam- und Veränderliche Pappel, *Zelkova* - Wasserulme und Weide, eine ähnliche Flora wie am Rodenberg, aber als Besonderheit mit *Phoenixites*, einer Fiederpalme, die jener auf Kreta nahesteht (WÜRTEMBERGER 1906, HANTKE 1984).

Im jüngeren Uferwald von *Berlingen-Loohalde* wuchsen bei 16°C Jahresmittel Breitblättrige und Balsam-Pappel, Weiden, Campherbaum, Platane, Amberbaum, Ulme und Wasserulme und Wasser-Gleditschie.

Im gleichaltrigen Altwasser von *Kreuzlingen-Bernrain* gediehen Wasserfarn und Armeleuchteralgen. Am Ufer standen bei 15°C Jahresmittel Platane, Amberbaum, Breitblättrige Pappel, Wasser-Gleditschie, Kastanienblättrige Eiche und Wasser-Fichte. An Säugern sind *Hyotherium* - ein Wildschwein und *Pliopithecus*, ein Affe, belegt.

Bei *Helsighusen am Seerücken* fand BOLLIGER (1994) eine Flora mit Weide, Platane, Pappel und Campherbaum und eine Auenwald-Fauna mit Paarhufern, Elefanten-Vorfahren und Nashörnern. Sodann sind Hirsche, Bären, Schweine, Hirschferkel und *Pliopithecus* belegt. An Kleinformen dominieren Land- und Wasserschnecken, Teich/Flusmuschel, Fische, Sumpfschildkröte, *Ophisaurus*, Biber, Hörnchen, Pfeifhase und Hamster. BOLLIGER fügt die Funde in ein Landschaftsbild ein. Als relatives Alter ergibt sich MN 7, 13,5 Ma. Die Fauna vom Grat am Hörnli (BOLLIGER 1992) stellt er neu an die Basis von MN 8.

Um Biberach entfalteten sich bei 16°C Jahresmittel Floren mit *Myrica*, Nussbaum, Weide, Campherbaum, Wasser-Gleditschie, Erle, Ulme und Veränderlicher Pappel sowie der Wasserpflanze *Limnocarpus* (PROBST 1883, 1884). Säugerfunde belegen MN 6.

Die Jura-Nagelfluh-Schüttungen vom Schwarzwald

Aus dem Schwarzwald münden Rinnen, durch welche die Jura-Nagelfluhen geschüttet wurden. Ihre Schüttung hat in der USM begonnen, ist in den Warmzeiten der OMM ausgeblieben und hat kurz vor der OSM erneut eingesetzt. Bei der Mündung der Emminger Nagelfluh-Rinne in die Graupensandrinne enthalten die obersten Lagen der Jura-Nagelfluh Faunenelemente der Kirchberger Schichten.

Die Jura-Nagelfluh wurde als Beleg für das Herausheben des Schwarzwaldes betrachtet (SCHREINER 1965). S des Hochrheins verstärken sich die grobgerölligen Schüttungen und lassen Zweifel aufkommen, ob Hebung, Versteilung des Reliefs, für ihre Bildung allein genügt hat, oder ob nicht auch klimatische Einbrüche für die Wassermassen. kühzeitliche Ausbrüche von Stauseen, verantwortlich sind (HANTKE 1986).

Die Schüttung von Adelegg-, Pfänder-, Gehrenberg-Höchsten-, Tannenberg- und Hörnli-Schuttfächer

Von den Bodensee-Becken wird das Obersee-Becken von Schuttfächern der OSM und einem Kern teils fluvialer OMM begrenzt, vom grossen Hörnli- und vom kleineren Tannenberg-Schuttfächer im W bzw. SW, vom Gehrenberg-Höchsten- und Pfänder-Schuttfächer im NE und im E. Ihre Schuttmassen wurden lange Zeit als von Flüssen ins Alpen-Vorland geschüttet betrachtet. Die Schüttung erfolgte - wie beim Hörnli-Fächer - fingerförmig, als Muren. Das des Schuttes entladene Wasser floss seitlich in Rinnen ab. Katastrophale Ausbrüche von Stauseen, wie sie sich in den Anden, im Himalaya und auf der Südinsel Neuseelands ereignen, sind auch in den werdenden Alpen schubweise als Schuttstrahlen ins Vorland ausgetreten.

Der gewundene Lauf von Deggenhauser und Uhdinger Aach ist auf ausräumende Schmelzwässer zurückzuführen.

Die in Sand-, Silt- und Mergellagen der OSM eingebetteten Floren bekunden ein Klima mit Jahresmittel-Schwankungen von mehreren °C. Gegenüber der OMM betragen diese 6-8°C. Die Säuger, vor allem die in ihrer Zahnform rasch mutierenden Kleinsäuger, erlauben eine zeitliche Einstufung. Da sich in der OSM wärmeliebende Pflanzen finden - in der tieferen Zwergpalmen, in der mittleren Lorbeer-Gewächse und in der höheren Amberbaum, Platane und Ulme - galt ihre Schüttung als warmzeitlich (HEER 1855-59).

Die wirre Schüttung mit fehlender dachziegelartiger Einregelung der Gerölle, Fossil- und Schwermineral-Inhalt der Feinsedimente sowie fossile und verschwemmte Böden zeigen, dass sich dies nicht mit gängigen Vorstellungen verträgt. Einzelne Nagelfluhbänke lassen sich oft auch quer zur Flussrichtung über grössere Distanzen verfolgen.

Grossreste, Pollen und Kohle-Einlagerungen sind auf durchhaltende Mergellagen und Sandrinnen beschränkt. Vom Hörnli- (EBERHARD & BOLLIGER 1989) und vom E des Pfänder gelegenen Adelegg-Schuttfächer (EBERHARD 1986, 1987, 1989) sind warmzeitliche Klimaschwankungen von mehreren °C durch sich folgende Floren belegt. Zwischen seitlich sich ablösenden Nagelfluhbänken fehlen selbst Pollen.

Das Einzugsgebiet der gegen N entwässernden Alpen hielt sich, trotz des Zusammenschubes zu Decken, in Grenzen. Der Alpenkamm war bald erreicht; dann erfolgte die Entwässerung gegen S. Dies führt zu einem Überdenken der bis herigen Vorstellungen.

Nur Pflanzenreste führende Feinsedimente belegen warmzeitliches Klima. Die Nagelfluhen bekunden nicht zugehörige Flussablagerungen. Sie wurden beim Vormarsch der Decken in Kühlphasen präquartärer alpiner Vereisungen geschüttet. Bei tiefer Waldgrenze wurden mächtige Rufen, Muren, in vorgezeichnete Haupttäler geschüttet. In den Talsohlen stauten sie die Flüsse zu Seen. Bei Ausbrüchen ergoss sich der Schutt fingerförmig ins Vorland. Schüttungsarme zeichnen sich oft noch ab, sind aber in orogenen Schlussphasen an den schwächsten Stellen zerschert worden.

Die kühlzeitliche Entstehung ist beim Adelegg-, beim Gehrenberg-Höchsten- und beim Tannenberg- Schuttfächer (BERLI 1985) offenkundig. Nach den in Feinsedimenten eingeschlossenen Floren brachten Flüsse, Ur-Iller und Ur-Rotbach, bei wärmegemässigtem Klima kaum Grobgut ins Vorland. In kühleren Zeiten führten ihre Quellläste bei tiefer Waldgrenze Schutt aus den Nördlichen Kalkalpen und der Flyschzone. In den höheren Abschnitten der Adelegg-Molasse treten bis 20 % Amphibolit- und Silvretta-Gneisgerölle auf (EBERHARD 1986). Sie konnten nur kaltzeitlich von Gletschern vom Arlberg, von der Silvretta-Deckenstirn, über Pässe in die Iller-Quellläste geschüttet worden sein.

Erste Kristallinführung tritt in eiszeitlichen Schottern um die riss/würm-interglazialen Schieferkohlen erst S von Sonthofen auf. Für Schüttungen bis 20 % Amphibolit- und Silvretta-Gneisgerölle bedurfte es eines Gletschers, der mindestens bis Kempten vorsties. Grobgerölliger Schutt wurde vom ins Vorland ausgetretenen Hauptstrang kaum abgelagert; am Alpentor überwog die Ausräumung. Schon vor und erneut an der Mio/Pliozän-Wende brauchte der an den damaligen Alpenrand vorgefahrene Rhein-Gletscher nicht erst auszu-

räumen; er trat durch die Querrinne des Ur-Alpenrheins, die sich ihm bei der Platznahme der helvetischen Decken ins Vorland anbot (HANTKE 1991, 1992).

Im NW von St. Gallen lagerte der aus dem Flyschgebiet der Fäneren stammende Tannenbergs-Fluss seinen Schutt durch ein Ur-Rotbach-Sitter-Tal über Appenzell-Gais im Tannenbergs ab. Ur-Lutz und Ur-Frutzbach aus Flyschgebieten Vorarlbergs schütteten durch das noch nicht in der heutigen Gestalt vorliegende Ur-Alpenrheintal im N einer Ur-Bodensee-Senke den Gehrenberg-Höchsten-Fächer. Ein erster Ur-Rhein-Gletscher füllte das Alpenrheintal und das entstehende Obersee-Becken. Damit ergibt sich eine Übereinstimmung der kaltzeitlichen mio/pliozänen Eisstände von Tannenbergs- und Adelegg-Schüttung.

In der Kühlphase der Konglomeratstufe reichte ein Strang der Hörnli-Schüttung nach der Ablagerung der Öhninger Schichten (MN 7) bis an den Schienerberg. Gegen Ende der Schüttung gelangte Geröllgut durch das offenbar bereits angelegte Toggenburger Thurtal und ergoss sich als Ottenberg-Nagelfluhen über jüngste pflanzenführende Sedimente mit *Celtis* (Zürgelbaum)-Steinkernen und Kleinsäuger liefernde Ablagerungen. In ihnen fand BOLLIGER (1996) eine Fauna von MN 8. Darüber folgen neben 2 weiteren Fundstellen noch über 100 m Sedimente, zuoberst Nagelfluhen (Abb. 1).

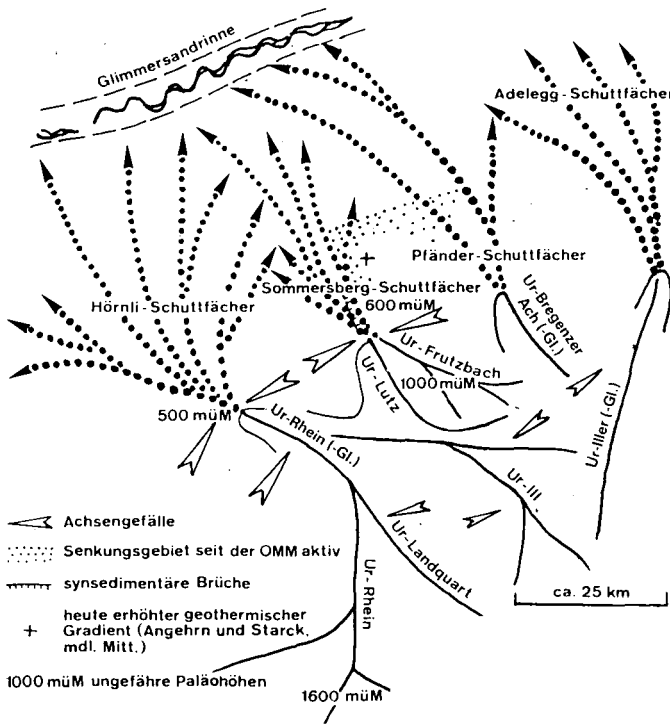


Abb. 1: Die Flusssysteme der Nordostschweiz, des nördlichen Vorarlberg und des westlichen Allgäus vor 15-20 Mio Jahren, nach S. BERLI 1985, leicht verändert, aus HANTKE 1991.

Der Hegau-Vulkanismus

Im westlichen Bodensee-Gebiet liefert der Vulkanismus des Hegau mit Basalt- und Phonolith-Stöcken, Deckentuffen, Maarsedimenten und Sinterbildungen auch Zeitmarken für die

jüngere Erdgeschichte. Die durch Tuff-Einlagerungen in der Molasse und die *Hipparion-Fauna* am Höwegg ermittelte relative Alterseinstufung konnten durch K-Ar-Altersdaten präzisiert werden.

Die Fauna des jüngsten Vulkankraters, eine von Hornblendetuffen mit Basalt- und Basalttuff-Brocken erfüllte Senke, mit Weissfischen, Land- und Seewasserschnecken und *Hipparion*, einem dreizehigen Pferdchen, Antilope, Muntjak-Hirsch, *Aceratherium incisivum* - hornlosem Nashorn, *Machairodus* - Säbelzahniger, *Chalicotherium* - Krallentier, *Dinotherium giganteum* - ein Elefanten-Vorfahre (TOBIEN 1982, HÜNERMANN 1995) wird in die Säugerzone MN 9 gestellt.

Die Flora mit Platane, Ulme, Weide, Ahorn, Gleditschie, *Celtis* - Zürgelbaum, *Vitis* - Weinrebe und *Cladium* - Sägeried ist erst kursorisch bekannt (H.-J. GREGOR in TOBIEN 1982, mdl. Mitt.). Sie bekundet ein Jahresmittel von 11-12°C.

Im Auenwald zwischen mündender Thur und Rhein stocken Schwarz-Pappel, Silber-Weide, Grau-Erle, Eiche, Hasel, Hornstrauch, Schneeball, Esche, Weissdorn, Pfaffenhütchen und Liguster bei 8,5°C Jahresmittel.

Die Anlage von Alpenrheintal, Bodensee-Wanne und Thurgauer Thurtal

Im jüngeren Oligozän und älteren Miozän erfolgte die Entwässerung des Molassebeckens aufgrund der Schüttung der Granitischen Molasse noch gegen E. Zur Zeit der OMM überflutete das von E und von SW eingedrungene Meer - neben dem Absinken des Vorlandes - dank des klimatischen Meeresspiegel-Anstieges das Mittelland bis an die Schuttfächer-Wurzeln.

Im mittleren Miozän wandte sich der Ur-Rhein mit der aus dem E stammenden Glimmersand-Schüttung zwischen dem noch nicht auf den Tafeljura aufgeschobenen Falten- und dem Tafeljura gegen W, ins Burgund. Im jüngeren Miozän entwässerte sich Oberschwaben durchs Schweizer Mittelland gegen SW, was Säuger belegen (HANTKE 1991, 1993).

Lange Zeit wurde postuliert, dass der Alpenrhein im jüngeren Miozän noch zur Donau geflossen wäre. Doch reicht der Fels im Rheintal aufgrund der Tiefbohrung von Hohenems rund 200 m unter den Meeresspiegel. Zudem beginnt die Abfolge - wie bei vielen Tiefbohrungen nicht mit Grundmoräne, sondern mit Grobschutt. Grundmoräne mit gekritzten Geschieben wurde dagegen wenige 100 m daneben in knapp 16 m Tiefe erbohrt.

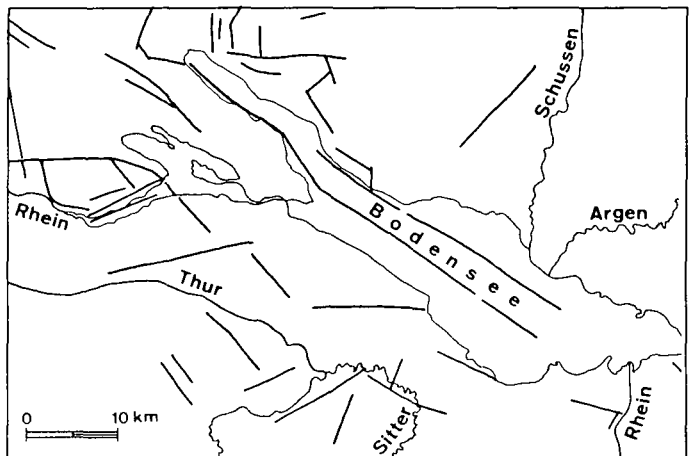


Abb. 2: Die bedeutendsten Schersysteme, die an der Bildung der Bodensee-Landschaft beteiligt waren, vorwiegend nach HOFMANN 1973K, aus HANTKE 1991.

Im Überlinger- und im Untersee wird eine tektonische Anlage aufgrund der steilen Ufer und der Gesteinsfolgen seit fast 100 Jahren postuliert, obwohl eine solche zu schematische Vorstellung oft in Abrede gestellt worden ist. Stratigraphische Parallelisationen, Seismik und strukturelle Messungen bestätigen die tektonische Anlage von Bodensee-Becken und Alpenrheintal. Die Bewegungen erfolgten im Rheintal an Grenzblättern, im Molasse-Vorland an klaffenden Blattverschiebungen. Im Obersee und Überlinger Becken, zeigen sich Grabenbrüche und klaffende Blattverschiebungen über Gleithorizonten. Die Talflanken verlaufen abschnittsweise parallel (Abb. 2).

In Kaltzeiten wurden Alpenrheintal und die entstehenden Bodensee-Wannen vom vorgestossenen Rhein-Gletscher benutzt, durch Frost und Abpressen von Felspartien erweitert und vertieft. Ein Schmelzwasserabfluss aus dem eisbedeckten Schweizer Mittelland gegen E erfolgte schon in pliozänen Kaltzeiten zur jungen Donau, was quarzreiche Schotter aus der südlichen Napf-Molasse belegen.

Der weitere Bodensee-Raum an der Pliozän/Pleistozän-Wende

Mit der Platznahme der helvetischen Decken und der Verschuppung der subalpinen Molasse rückten die sich bildenden Nordalpen in nivale Bereiche. Zugleich zeichnete sich eine generelle Abkühlung mit bedeutender Vereisung ab. Das Bodensee-Gebiet lag erneut unter einer mächtigen Eisdecke, die wenig hinter jener der grössten Kaltzeiten zurückstand, finden sich doch die Schotterfluren erst gegen die Donau. Die Eintiefung durch Schmelzwasser bewegte sich bei känozänen (zwischen pliozänen und paläontologisch pleistozänen) Kaltzeiten um 10 m. Schüttung und Zerschneidung erfolgten vom Eisrand aus. Nicht der Alpenrhein, sondern der Überlauf eines Ur-Bodensees wandte sich zur oberen Donau (Abb. 3, 4).

Gliederung des Eiszeitalters

Eine intensive Erforschung der Ablagerungen im Alpen-Vorland führten im Laufe von 150 Jahren zu einer immer umfangreicheren Gliederung des Eiszeitalters mit durch interglaziale Warmzeiten getrennten Kaltzeiten. Leider ist diese noch immer nicht endgültig. Gegenwärtig lässt sich das Eiszeitalter wie folgt gliedern:

		<i>Kaltzeiten</i>	<i>Zeitskala</i>	
Quartär	Holozän	Würm-Kaltzeit	0.01 Ma	
		Spätriss-Kaltzeit		W
		Riss-Kaltzeit		W
	Pleistozän	Paar-Kaltzeit	W	
		Mindel-Kaltzeit	W	
		Haslach-Kaltzeit	W	
		Günz-Kaltzeit	W	
Kanozän	Donau-Kaltzeiten	W	0.8 Ma	
	Biber-Kaltzeiten	W		
Tertiär	Pliozän		2.5 Ma	
	Miozän		5.0 Ma	

W = Warmzeit(en)

Die Deckenschotter im N des Bodensee-Beckens (bisher der Günz-, Haslach- und Mindel-Eiszeit zugewiesen) stellen nicht - wie im Schweizer Mittelland - Reste von 200-450 m über den heutigen Talsohlen gelegenen Schotterfluren dar; es sind Eisrandschotter, die von Schmelzwässern abgelagert wurden, bevor diese zur Donau abflossen.



Abb. 3: Die Entwässerung des Ur-Bodensees durch das Ur-Risstal zur Ur-Donau in jungpliozänen und altpleistozänen Warmzeiten, aus HANTKE 1991.

Der Bodensee-Raum in den grössten Kaltzeiten

In den grössten Kaltzeiten lag das Bodensee-Gebiet bis zu den höchsten Molassehöhen unter Eis. Erst im unteren Alpenrheintal ragten erste Gipfel über die Oberfläche empor. Auf der Schattenseite trugen sie Eiskappen; sonnenhalb boten sie alpinen Pflanzen und bewegungsarmen Kleintieren Reliktstandorte.

Gegen N reichte der Rhein-Gletscher mit seinen Eisclappen in den grössten Kaltzeiten über Biberach a.d. Riss und bis an den Bussen, gegen NW an die höchsten Hegau-Vulkane und gegen W an den Randen. Bei Eglisau vereinigte er sich mit Linth/Rhein- und bei Koblenz mit Helvetischem Eis, dem Linth-, Reuss- und Aare/Rhone-Eis.



Abb. 4: In den Kälzeiten an der Mio/Pliozän-Wende, vor gut 5 Mio Jahren floss der Ur-Rhein-Gletscher durch das Ur-Alpen-Rheintal ins Ur-Bodensee-Becken, aus HANTKE 1991.

Der Bodensee-Raum in der Würm-Kaltzeit

Zwischen Lindau, Wangen und Ravensburg liegen zahllose Drumlins. Ihre Längsachsen zeigen das Divergieren des Eises und die Kanalisierung der Lappen in tektonisch vorgegebene Bahnen. Beim Zurückschmelzen hinter die Wasserscheide zur Donau bildeten sich vor den Eisfronten nach den Äusseren Jugendmoränen Stauseen. Diese entwässerten nach dem Durchbruch der Moräne am Gletschertor subglaziär zentripetal. Zwischen Drumlins bildeten sich Seen, die zu Flachmooren oder gar ganz verlandet sind, und Abflussrinnen.

Im Bodensee-Raum hinterliess der letzteiszeitliche Rhein-Gletscher mehrere Abschmelz- und Wiedervorstoss-Stände, was die geologischen Karten zeigen und neuere Autoren ergänzen konnten. Für durchhaltende Stadien und Stände haben sich Lokalnamen eingebürgert. Heute werden die Stände oft mit Ziffern unterschieden.

Die Becken von Untersee und Überlinger See werden von Wallmoränen des Stadiums von Stein am Rhein bzw. Singen, den Inneren Jugendmoränen, begrenzt. Danach begann sich der heutige Bodensee zu bilden. Das Obersee-Becken wird von Wällen des Konstanzer

Stadiums abgedämmt. Die Becken wurden schon beim Vorstoss des Rhein-Gletschers von entsprechenden Randalagen eingenommen (HANTKE 1980, 1983; KRAYSS & KELLER, 1996; Abb. 5, S. 16 und 17).

Der Bodensee im Spätglazial

Seit dem Spätglazial ist der Spiegel des Bodensees durch sukzessives Tieferlegen der Schwelle bei Stein am Rhein um 12 m, seit der Pleistozän/Holozän-Wende noch um 7 m abgesunken. Die Schuttfuhr der Zuflüsse haben Fläche und Volumen verkleinert. Uferterrassen finden sich im unteren Leiblachtal zwischen Lindau und Bregenz, S von Bregenz (HERRMANN & SCHWERD 1982K, 1983) und zwischen Heerbrugg und Au SG. Im Koblarer Stadium reichte der Bodensee bis an den Kummer; Eiszungen kalbten im See (OBERHAUSER et al. 1994K).

Die Mündungen von Radolfzeller Aach, Rhein, Bregenzer Ach, Argen und Schussen

Die Radolfzeller Aach floss einst von Rielasingen gegen SW, erreichte W von Ramsen die untere Biber und folgte ihr bis zur Mündung in den Hochrhein. Ihr heutiger Lauf von Rielasingen zum Zeller See ist durch Ablenkung des alten Gerinnes verursacht. Pollenanalytische und ¹⁴C-Daten weisen die Laufänderung an die Wende Alleröd/Jüngere Dryaszeit. Mit dem Absinken des Seespiegels wurde das W-Ufer des Zeller Sees gegen E verschoben. Östlich des Aach-Knies liessen sich 3, teils asymmetrische Rinnen feststellen. Rinne I dürfte bis um 1000 v.h. aktiv gewesen sein; Rinne II, ohne Altershinweis, liegt weiter südlich; Rinne III entspricht dem heutigen Lauf. Das Fehlen holozäner Laufspuren wird mit der dichten Walddecke erklärt. Hochwasserspitzen fielen schwächer aus; das Flussbett blieb stabil (BLUM et al. 1995).

Im weiteren Spätglazial und im Holozän verschob sich der Uferbereich mit den Mündungen von Rhein und Bregenzer Ach sukzessive nordwärts. Argen und Schussen haben sich seit dem frühen Spätwürm bei Schmelzwasserausbrüchen gegen SW bewegt. Bescheidener waren Schuttfuhren von Uhdinger und Salsmacher Aach (Abb 6).

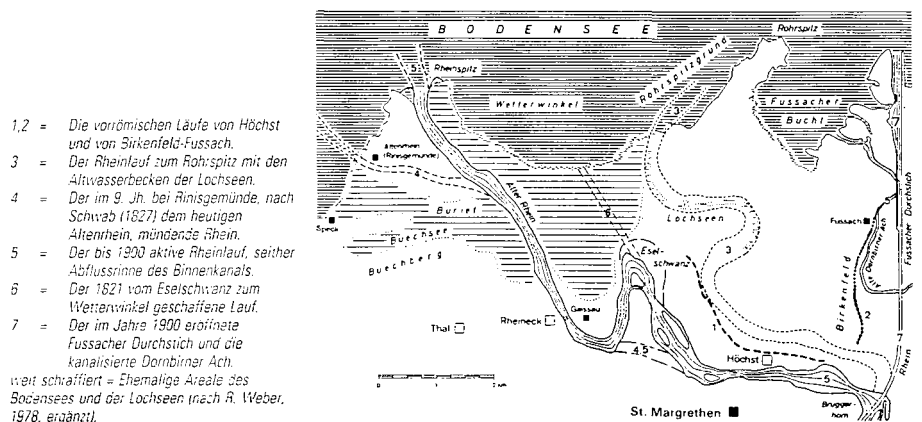


Abb. 6: Die jungholozänen Mündungsarme des Rheins in den Bodensee, aus HANTKE 1992.

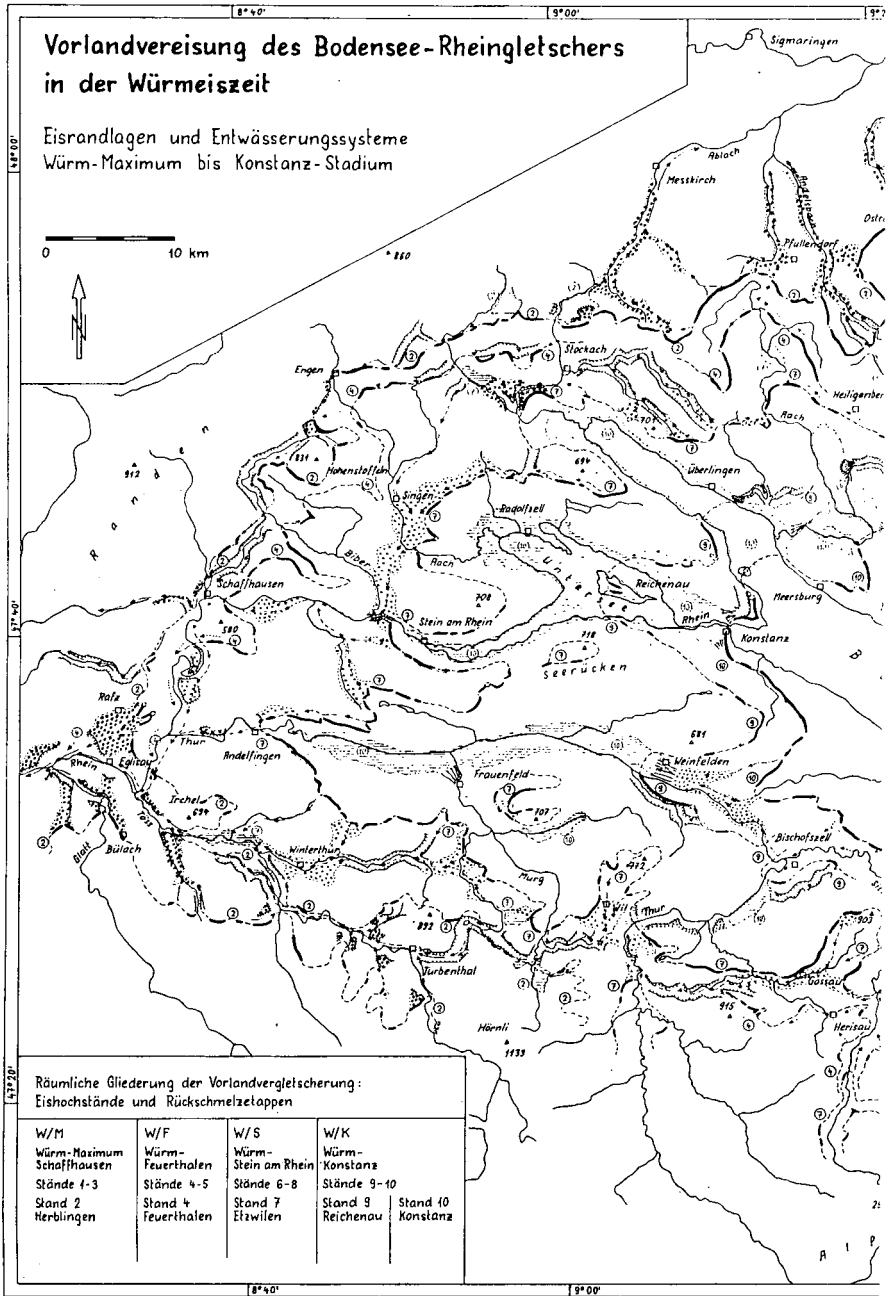


Abb. 5: Vorlandvereisung des Bodensee-Rheingletschers in der Würmeiszeit, aus KRAYSS & KELLER, 1996.

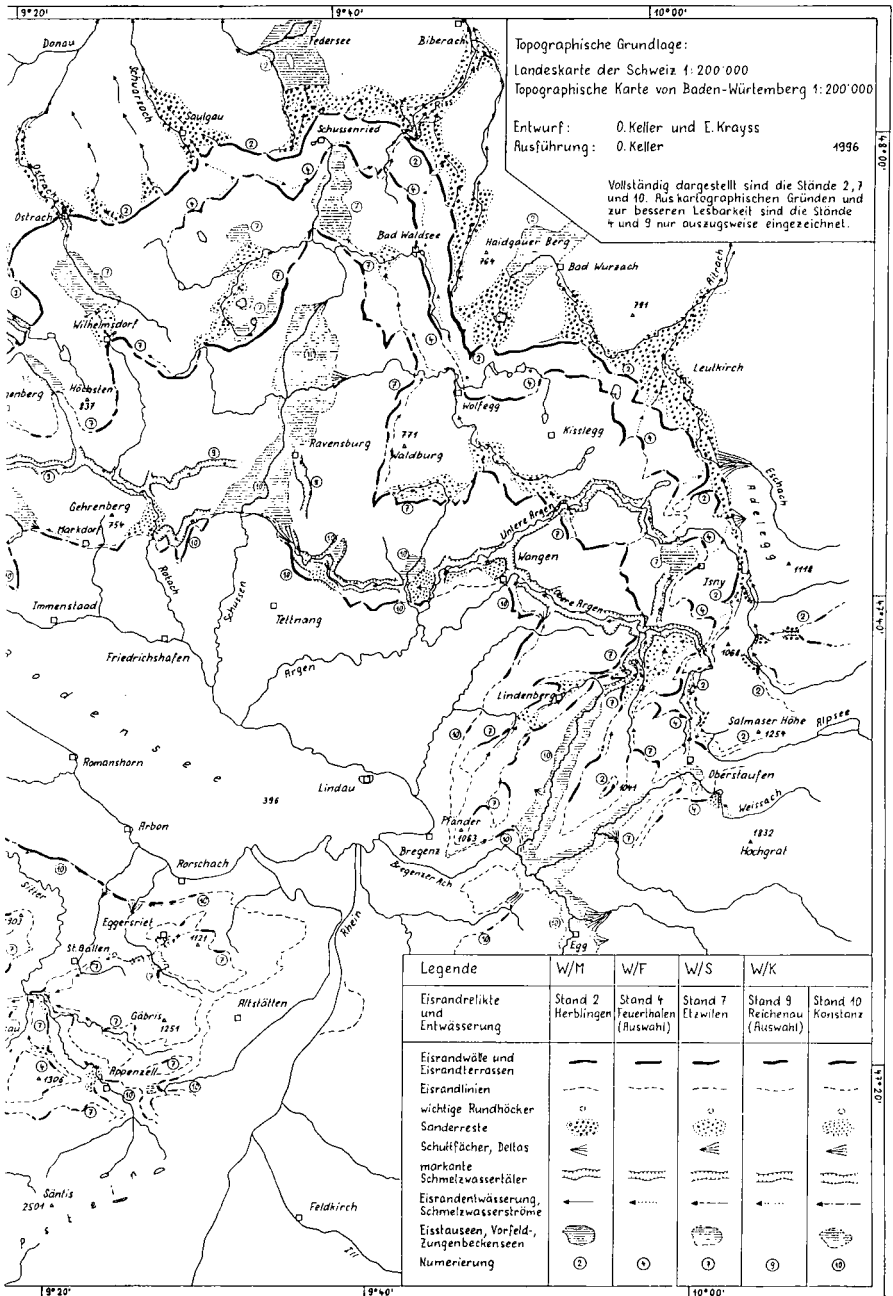


Abb. 5: Vorlandvereisung des Bodensee-Rheingletschers in der Würmeiszeit, aus KRAYSS & KELLER, 1996.

Literatur und Karten (K)

- ARMBRUSTER, L. 1951: Landschaftsgeschichte von Bodensee und Hegau Lindau (Biene).
- BERLI, S. 1985: Zur Geologie des Sommersberges (Kte. St. Gallen und Appenzell AR - Ber. st. gall. natw. Ges. 82.
- BLUM, H., BLUDAU, W., OSTENDORP, W., & SCHMIDT, E. 1995: Paläohydrologische Untersuchungen zur Umlenkung der Radolfzeller Aach bei Rielasingen-Arlen - Jber. Mitt. oberrhein. Geol. Ver. 77.
- BLUMRICH, J. 1930: Die miozäne Molasse des Pfänderstockes - Schr. Ver. Gesch. Bodensee 58, 81-119.
- BLUMRICH, J. 1936: Molassestudien im Pfändergebiet - Schr. Ver. Gesch. Bodensee 63, 251-270.
- BOLLIGER, TH. 1992: Kleinsäugerstratigraphie in der miozänen Hörnlichüttung (Ostschweiz) - Docum. naturae 75.
- BOLLIGER, TH. 1994: Geologie und Paläontologie der Glimmersandgrube Helsinghausen (Kt. Thurgau) - Mitt. thurg. natf. Ges. 52, 63-79.
- BOLLIGER, TH. 1996: Drei neue Kleinsäugerfaunen aus der miozänen Molasse der Ostschweiz (MN 3 und MN 7/8) - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 202/1:95-110.
- BOLLIGER, TH. & EBERHARD, M. 1989: Neue Faunen- und Florenfunde aus der Oberen Süßwassermolasse des Hörnligebietes (Ostschweiz) - Vjschr. natf. Ges. Zürich 134/1.
- BÖLLIGER, TH. et al. 1988: Zur Geologie und Paläontologie des Zürcher Oberlandes - Vjschr. natf. Ges. Zürich 133/1.
- BRÄUHÄUSER, M. 1915K, 1976K (Nachdr.): Blatt 8322 Friedrichshafen, mit Erläuterungen - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- BÜRGISSER, H.M. 1981a: Fazies und Paläohydrologie der Oberen Süßwassermolasse im Hörnli-Fächer (Nordostschweiz) - Ecl. geol. Helv. 74/1, 19-28.
- BÜRGISSER, H.M. 1981b: Zur zeitlichen Einordnung der Oberen Süßwassermolasse in der Nordostschweiz - Vjchr. natf. Ges. Zürich 126/3, 149-164.
- EBERHARD, M. 1986: Litho- und Biostratigraphie im Oberen Süßwassermolasse-Fächer der Adelegg (Südbayern) - Jb. GLA 129/1 Wien.
- EBERHARD, M. 1987: Entwicklung von Sedimentation, Flora, Fauna, Klima und Relief von Mittelmiozän bis Quartär zwischen Arlberg (Vorarlberg/ Tirol) und Adelegg (Allgäu) - Diss. ETH Zürich.
- EBERHARD, M. 1989: Klima-Änderungen vom Mittelmiozän bis Obermiozän, gründend auf makroskopischen Pflanzenresten in Altwasser-Ablagerungen der Adelegg (Allgäu) - Geol. Bavar. 94.
- ELLWANGER, D. 1990: Riss-Stratigraphie im Andelsbach-Gebiet - Jb. GLA Baden-Württ. 32.
- ERB, L. 1967K: Geologische Karte des Landkreises Konstanz 1: 50000 GLA Baden-Württ.
- ERB, L. 1989K: Blatt 8220 Überlingen-West/8320 Konstanz-West, mit Erläut. - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- ERB, L., HAUS, H.A., & RUTTE, E. 1961K: Blatt Stockach, mit Erläut. Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- GEIGER, E. 1943K: Blatt 56-59 Pfyn-Bussnang, mit Erläut. - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - SGK.
- GEIGER, E. 1968K: Blatt 1053: Weinfeldern, mit Erläut. - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - SGK.
- HABICHT, H. 1986: Die geologische Schichtfolge im Untergrund der Messtischblätter 8423 Kressbronn am Bodensee und 8424 Lindau (Bodensee) - Geol. Bavar. 90, 5-15.
- HANTKE, R. 1954: Die fossile Flora der obermiozänen Öhninger Fundstelle Schrotzburg (Süd-Baden) - Denkschr. SNG 80/2.
- HANTKE, R. 1964: Die fossilen Eichen und Ahorne aus der Molasse der Schweiz und von Öhningen (Süd-Baden) - Njbl. natf. Ges. Zürich (1965) 167.
- HANTKE, R. 1980, 1983: Eiszeitalter 2, 3. - Thun (Ott). 1993: 1-3 Landsberg/Lech (ecomod).
- HANTKE, R. 1984: Fächerpalmreste aus der Molasse der Schweiz und ihrer nordöstlichen Grenzgebiete sowie ihr paläoklimatischer Aussagewert Diss. Bot. 72, 137-174.
- HANTKE, R. 1986: Die Schweizer Jura-Nagelfluh - mehrere Schüttungen in kühl bis kaltzeitlichen Klima-Einbrüchen im Mittelmiozän? - Mitt. aarg. natf. Ges. 31, 53-73.
- HANTKE, R. 1987: Zur jungtertiären Geschichte des Alpen-Rheintales - Mitt. Österr. geol. Ges. 80.
- HANTKE, R. 1991: Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete Thun (Ott), 1992: Landsberg/Lech (ecomod).
- HANTKE, R. 1992: Die Entstehungsgeschichte des Alpenrheintales - In: Der Alpenrhein und seine Regulierung - Rorschach (Internat. Rheinregul.).

- HANTKE, R. 1993: Flussgeschichte Mitteleuropas - Stuttgart (Enke).
- HAUS, H.A. 1951: Zur paläogeographischen Entwicklung des Molassetroges im Bodenseegebiet während des mittleren Miozäns - Mitt.-Bl. bad. GLA (1950), 48-66.
- HEER, O. 1855-59: Flora tertiaria Helvetiae 1-3 - Winterthur.
- HERRMANN, P. 1984K, 1985: 83 Sulzberg, mit Erläut. - Geol. Karte Rep. Österreich 1: 25000 - GBA Wien.
- HERRMANN, P., & SCHWERD, K. 1982K, 1983: 82 Bregenz, mit Erläut. Geol. Karte Rep. Österreich 1: 25000 - GBA Wien.
- HIPP, R. 1986: Zur Landschaftsgeschichte der Region Bischofszell. Eine glazialmorphologische Arbeit - Mitt. thurg. natf. Ges. 47.
- HOFMANN, F. 1957: Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz - Ecl. geol. Helv. 50/2, 289-322.
- HOFMANN, F. 1967K: Blatt 1052 Andelfingen, mit Erläut. - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - SGK.
- HOFMANN, F. 1973K: Blatt 1073 Bischofszell, mit Erläut. - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - SGK.
- HOFMANN, F. 1981K: Blatt 1031 Neunkirch, mit Erläut. - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - SGK.
- HOFMANN, F. 1988K, 1993: Blatt 1072 Wil, mit Erläut. - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - LHG.
- HOFMANN, F. 1989: Geologie des Rheinfalls (Exkursion B, Teil 1, 28. März 1989) - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. 71.
- HOFMANN, F. 1997K: Blatt Beggingen (S-Hälfte) und Blatt 1012 Singen (SE-Anteil) - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - LHG.
- HÜBSCHER, J. 1961K, 1962: Blatt 1932 Diessenhofen mit Anhängsel von Blatt 1031 Neunkirch; Erläuterungen von HOFMANN, F., & HANTKE, R. Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - SGK.
- HÜNERMANN, K.A. 1982: Die Glimmersandgrube am Rodenberg bei Schlatingen als paläontologisches Studienobjekt der Oberen Süsswassermolasse - Mitt. thurg. natf. Ges. 44, 7-32.
- HÜNERMANN, K.A. 1987: Wirbeltierreste aus der Oberen Süsswassermolasse des Irchel (Kanton Zürich) - Mitt. natw. Ges. Winterthur 38, 59-68.
- HÜNERMANN, K.A. 1995: Höwenegg - Jungtertiäre Wirbeltiere - In: WEIDERT, W.K.: Klassische Fundstellen der Paläontologie, 3.
- JUNG, P. ed. 1982: Nouveaux résultats biostratigraphiques dans le Bassin molassique, depuis le Vorarlberg jusqu'en Haute-Savoie - Docum. Lab. Géol. Lyon, H.S. 7, 3-91.
- KELLER, B. 1989: Fazies und Stratigraphie der Oberen Meeressmolasse (Unteres Miozän) zwischen Napf und Bodensee - Diss. Univ. Bern.
- KELLER, O., & KRAYSS, E. 1980: Die letzte Vorlandvereisung in der Nordostschweiz und im Bodensee-Raum (Stadialer Komplex Würm-Stein am Rhein) - Ecl. geol. Helv. 73/3, 823-838.
- KELLER, O., & KRAYSS, E. 1987: Die hochwürmzeitlichen Rückzugsphasen des Rhein-Vorlandgletschers und der erste alpine Eisrandkomplex im Spätglazial - Geogr. Helv. 1987/2, 169-178.
- KELLER, O., & KRAYSS, E. 1994: Die Bodensee-Vorlandvereisung des Rheingletschers im Konstanz-Stadium der letzten Eiszeit - Ber. st. gall. natw. Ges. 87, 31-40.
- KIDERLEN, H. 1931: Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des südwestdeutschen Tertiärs - N. Jb. Mineral. etc. Beil.-Bd. 66B.
- KRAYSS, E., & KELLER, O. 1994: Geologie und Landschaftsgeschichte des Murgebietes (Kanton Thurgau) - Mitt. thurg. natf. Ges. 52, 7-39.
- KRAYSS, E., & KELLER, O. 1996: Hydrographie des Bodenseeraums während der letzten Vorlandvereisung - Schrr. VG Bodensee 114.
- LUDWIG, A. & SAXER, F. 1949K, 1960: Blatt St. Gallen-Appenzell, mit Erläuterungen - Geol. Atlas Schweiz - SGK.
- MANZ, O. 1934, 1935: Die Ur-Aare als Oberlauf und Gestalterin der pliozänen Oberen Donau - Hohenzoll. Jb. 1, 2.
- MÜLLER, E. 1995: Neues zur Geologie zwischen Thur und Rhein - Mitt. thurg. natf. Ges. 53, 9-42.
- MÜLLER, E. 1996: Zur Geologie des Ittinger Schotters - Ecl. geol. Helv. 89/3, 1077-1092.
- NÖTZOLD, T. 1957: Miozäne Pflanzenreste von der Schrotzburg am Bodensee - Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. 47, 71-102.
- OBERHAUSER, R.: 1982K: 110 St. Gallen-Süd-111 Dornbirn-Süd - Geol. Karte Rep. Österreich 1: 25000 - GBA Wien.
- OBERHAUSER, R., et al. 1994K: 110 St. Gallen-Nord-111 Dornbirn-Nord mit Anteilen von 81 Bodensee und 82 Bregenz - Geol. Karte Rep. Österreich 1: 25000 - GBA Wien.
- PENCK, A., & BRÜCKNER 1909: Die Alpen im Eiszeitalter 2 - Leipzig.

- PROBST, J. 1883, 1884: Beschreibung der fossilen Pflanzenreste aus der Molasse von Heggbach (O.A. Biberach und einiger anderer schwäbischen Lokalitäten - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ. 39, 40.
- RÖSCH, M. Geschichte der Nussbaumer Seen (Kanton Thurgau) und ihrer Umgebung seit dem Ausgang der letzten Eiszeit aufgrund quartärbotanischer, stratigraphischer und sedimentologischer Untersuchungen - Mitt. thurg. natf. Ges. 45.
- SAXER, F. 1964K, 1965: Blatt Rorschach, mit Erläut. - Geol. Atlas Schweiz 1: 25000 - SGK.
- SCHMIDLE, W., 1914: Die diluviale Geologie der Bodenseegegend - Rheinlande 8.
- SCHMIDLE, W. 1941: Postglaziale Spiegelhöhen des Bodensees und der Vorstoss des Konstanzer Gletschers - Schr. Ver. Ges. Bodensees 68, 109-142.
- SCHMIDT, A., & MÜNST, M. 1918K, mit Nachträgen von A. SCHREINER 1978K: Blatt 8323 Tettngau - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 GLA Baden-Württ.
- SCHMIDT, M., & MÜNST, M. 1921K, 1976K: Blatt 8223 Ravensburg, mit Erläut. - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- SCHREINER, A. 1965: Die Juranagelfluh im Hegau - Jh. GLA Baden-Württ. 7, 303-354.
- SCHREINER, A. 1966: Zur Stratigraphie der Oberen Meeresmolasse zwischen Oberer Donau und dem Überlinger See (Baden-Württ.) - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. NF 48, 91-104.
- SCHREINER, A. 1970: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung 1: 50000 - GLA Baden-Württ.
- SCHREINER, A. 1973K: Blatt 8219 Singen, mit Erläut. - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- SCHREINER, A. 1975: Zur Frage der tektonischen oder glazigen-fluvialen Entstehung des Bodensees - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. NF 57, 61-75.
- SCHREINER, A. 1976: Hegau und westlicher Bodensee - Samml. geol. Führer 62 - Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- SCHREINER, A. 1978: Erläuterungen zu Blatt 8323 Tettngau - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- SCHREINER, A. 1979: Zur Entstehung des Bodenseebeckens - Eiszeitalter u. Gegenwart 29, 71-76.
- SCHREINER, A. 1979K: Blatt Neuhausen ob Eck, mit Erläut. - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- SCHREINER, A. 1983K: Blatt 8218 Gottmadingen, mit Erläut. - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- SCHWERD, K. 1986: Geologie des deutschen Staatsgebietes der Blätter 8423 Kressbronn am Bodensee und 8424 Lindau (Bodensee) - Geol. Bavar. 90, 17-90.
- SCHWERD, K. 1986K: Blatt 8423 Kressbronn am Bodensee - Geol. Karte Bayern 1: 25000 - Bayer. GLA und Geol. Bavar. 90.
- SCHWERD, K., & ZEH, U. 1986K: Blatt 8424 Lindau (Bodensee) - Geol. Karte Bayern 1: 25000 - Bayer. GLA und Geol. Bavar. 90.
- STEININGER, F.F., RESCH, E., STOJASPAL, F., & HERRMANN, P., et al. 1982: Biostratigraphische Gliederungsmöglichkeiten im Oligozän und Miozän der Molasse Vorarlbergs - Docum. Lab. Geol. Lyon H.S. 7, 77-85.
- SZENKLER, CH. & ELLWANGER, D. 1994: Blatt 8021 Pfullendorf, mit Erläuterungen. - Digitale vorläufige Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25000 - Freiburg im Breisgau.
- TOBIEN, H. 1986: Die jungtertiäre Fossilgrabstätte Höwenegg im Hegau (Südwestdeutschland) - Ein Statusbericht - Caroleina 44.
- VILLINGER, E. 1989: Zur Fluss- und Landschaftsgeschichte im Gebiet von Aare-Donau und Alpenrhein - Jh. Ges. Naturk. Württ. 144.
- VOLLMAYR, TH., & ZIEGLER, J.J. 1976K: Blatt 8425 Weiler i. Allgäu mit Erläut. - Geol. Karte Bayern 1: 25000 - Bayer. GLA.
- WEGELIN, H. 1904: Fossilien der Schlattinger Sandgrube - Mitt. thurg. natf. Ges. 16.
- WERNER, J. 1975K: Blatt 8020 Messkirch, mit Erläut. - Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25000 - GLA Baden-Württ.
- WÜRTEMBERGER, TH. in WÜRTEMBERGER, O. 1906: Die Tertiärflora des Kantons Thurgau - Mitt. thurg. natf. Ges. 17.

Zur Genese der Landschaften und des Gewässernetzes im Südwesten Deutschlands

von

K.-H. Pfeffer¹

I. Vorwort

Das Exkursionsgebiet wird im Südwesten Deutschlands von den Teilräumen Oberrheingraben, Schwarzwald und Südwestdeutsches Schichtstufenland sowie dem Bodenseebecken mit dem Hegau bestimmt.

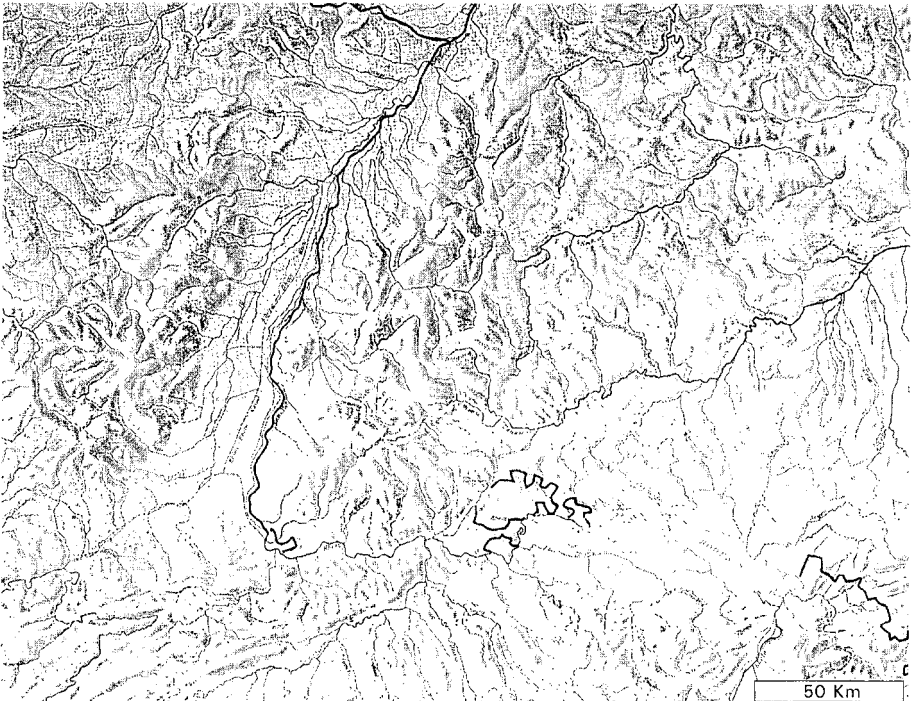


Abb.1 : Relief - Ausschnitt aus Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland.

¹ Geographisches Institut, Universität Tübingen, Hölderlinstr. 12. 72074 Tübingen

2. Zur Genese von Oberflächenformen und Gewässernetz

Die Oberflächenformen einer Region und das mit ihnen verknüpfte Gewässernetz werden durch drei Parameter bestimmt.

- **Paläogeographie und tektonisches Muster** entscheiden über Zeiträume der Erosion und Akkumulation und durch das tektonische Muster und die Intensität von Verstellungen über den Gradienten für die morphodynamischen Prozesse.
- **Gesteine** bestimmen mit ihrem Raummuster, den Lagerungsverhältnissen, den Wechselfolgen und der Resistenz zu Verwitterung und Abtragung sowie dem hydrologischen Verhalten die Ausprägung vieler Formen.
- **Paläoklima**, ein Parameter, der durch klimagekoppelte Prozesse zu Verwitterung und Abtragung oder auch zu Veränderungen und Überprägungen beitragen kann.

Die Geomorphologie Südwestdeutschland selbst und die wesentlichen Parameter zur Landschaftsgeschichte sind in vielen Einzelheiten und Übersichtsbänden zu geowissenschaftlichen Phänomenen Europas, Deutschlands und Baden-Württembergs behandelt.

An neueren Arbeiten sind aufzulisten:

- EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie.
- GEYER, O. & GWINNER, M.P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg.
- HANTKE, R. (1978-1983): Eiszeitalter 1-3.
- LEMCKE, K. (1988): Geologie von Bayern I. Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit.
- LIEDTKE, H. & MARCINEK, J. (1995): Physische Geographie Deutschlands.
- SEMMELE, A. (1996): Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland.
- WALTER, R. (1995): Geologie von Mitteleuropa.

3. Zur Paläogeographie und Tektonik

Wesentlich für die Ausprägung der Oberflächenformen Südwestdeutschlands ist, daß das variskische Grundgebirge des Moldanubikums mit seinen hochmetamorphen Gesteinen und Intrusiva über den größten Teil des Mesozoikums ein Sedimentationsraum des Deckgebirges war. Erst am Ende der Jurazeit beginnt die Entwicklung der Oberflächenformen, als Südwestdeutschland als Teil des "Mitteleuropäischen Landes" mit der Kreide Abtragungsgebiet wird.

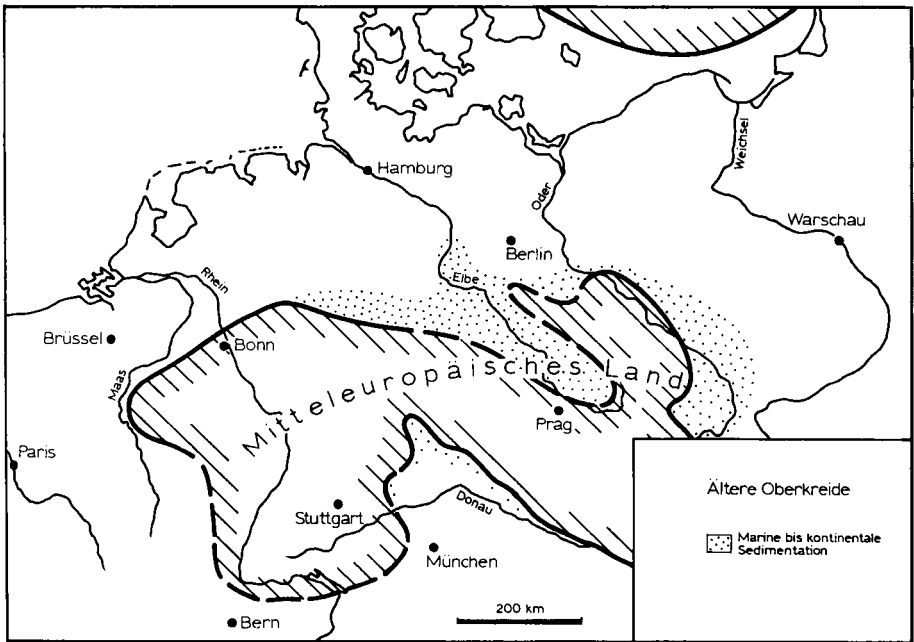


Abb. 2: Mitteleuropa zur Zeit der Oberkreide - GEYER & GWINNER 1991, 173.

Die nächste Zeitmarke zur Paläogeographie und Tektonik wird mit der Entstehung des Oberrheingrabens im Tertiär gesetzt. Einerseits beginnt sich der Graben abzusenken und die an den Graben angrenzenden Regionen steigen auf, so daß heute ein Einfallen der Schichten des Deckgebirges nach Osten bzw. Südosten vorhanden ist. Im Zusammenhang mit den Meeresspiegelschwankungen des Tertiärs wird die Region Südwestdeutschlands vom Molassemeer im Alpenvorland phasenweise an der Südflanke überflutet oder in eine Süßwasserseenlandschaft

verwandelt, und der entstehende Oberrheingraben ist teilweise ein Meeresraum oder eine verlandende, limnische Region.

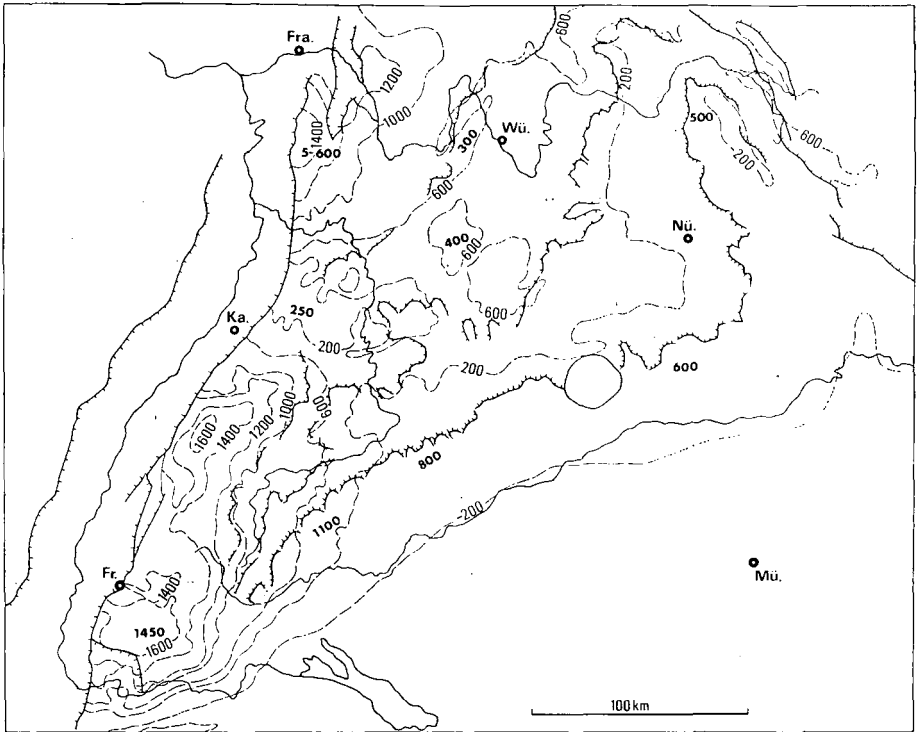


Abb. 3: Heraushebung und Schrägstellung der Südwestdeutschen Scholle nach CARLE mit den Höhenlagen der Muschelkalk/Keuper Grenze - vereinfacht nach BREMER 1989, 61.

Mit den tektonischen Vorgängen, die im Zusammenhang mit der Alpenorogenese zu sehen sind, kommt es auch in Südwestdeutschland zu vulkanischen Ereignissen, die im Kaiserstuhl, dem Uracher Vulkanismus und dem Hegau ihre Zeugen haben.

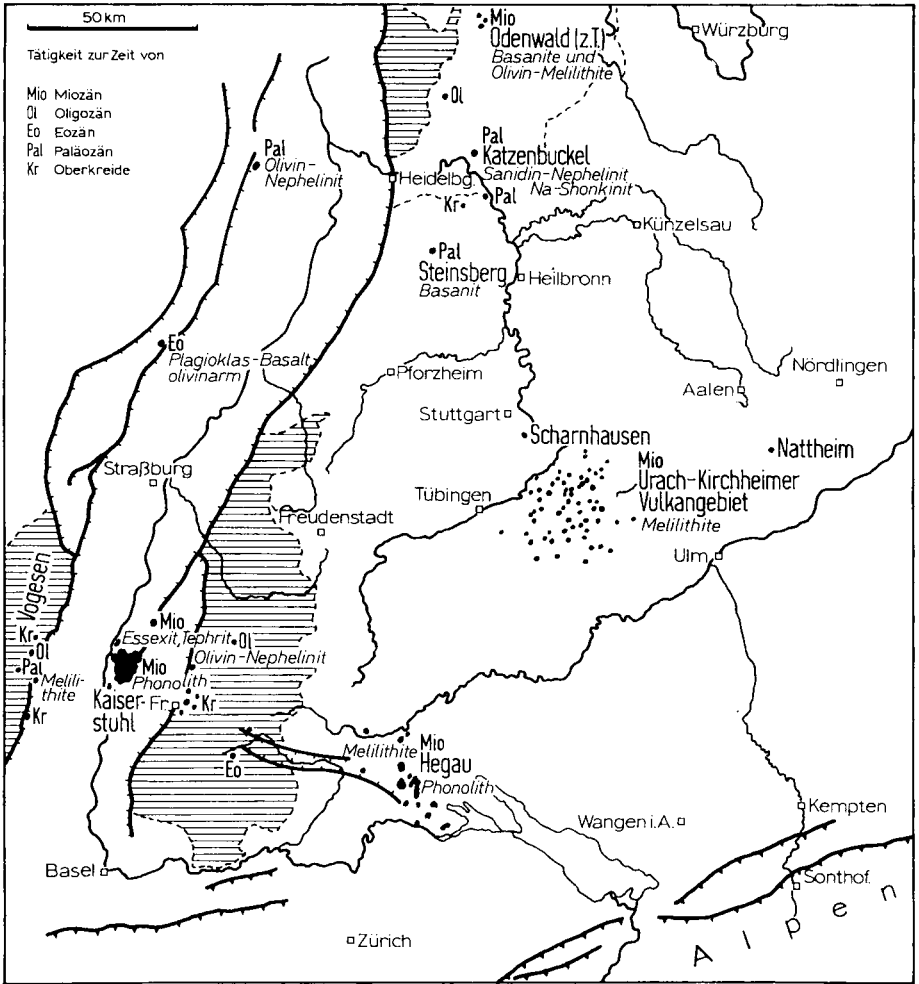
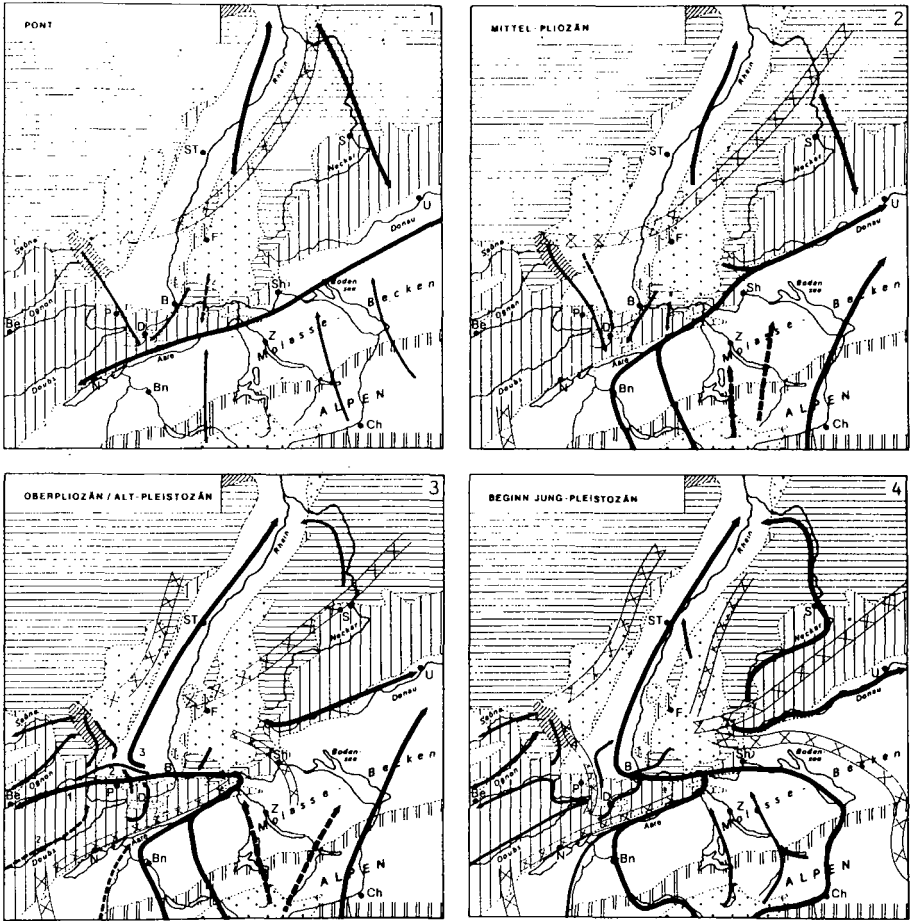


Abb. 4: Mesozoisch - tertiärer Vulkanismus in Südwestdeutschland - GEYER & GWINNER 1991, 214.

Wesentlich für die Genese der Oberflächenformen wurde aber, daß mit der Entstehung des Oberrheingrabelns und damit des Rheinsystems ein völlig anders ausgerichtetes Gewässernetz entstand, das auch durch den größeren Gradient gegenüber dem zum Molassebecken, zur Urdonau, ausgerichteten pliozänen Abflußsystemen eine große Zerschneidung und Ausräumung bewirkte.



0 150 km



- | | | |
|-------------------------|--------------------|--|
| 1 – Quartär und Tertiär | 4 – Paläozoikum | 7 – alte Flußläufe mit Sedimenten |
| 2 – Kreide und Jura | 5 – Kristallin | 8 – alte Flußläufe, teilweise vermutet |
| 3 – Trias | 6 – Wasserscheiden | |

Abb. 5: Entwicklung des Gewässernetzes am Südrand des Oberrheingrabens nach LESER aus LIEDTKE & MARCINEK 1995, 428.

4. Zu den Gesteinen

Die Sedimentationsbedingungen im Deckgebirge führten zu Wechselfolgen von Letten, Mergeln, Sandsteinen und Kalken, die in ihrer morphologischen Härte und durch das leichte Einfallen nach Südosten zu, die petrographischen Voraussetzungen für die Entstehung von Schichtstufen boten.

Die durch die Abtragung freigelegten Gesteinsserien, vom Grundgebirge im Südschwarzwald bis zum Jura der Schwäbischen Alb zeigen hydrogeologisch ein unterschiedliches Verhalten. Dies wird durch die Karte der Gewässerdichte sehr deutlich. Großen Taldichten im Grundgebirge des Südschwarzwald stehen die Sandsteingebiete mit geringerer Taldichte gegenüber, sowie die Karstgebiete der Muschelkalkregionen von der Baar bis nach Mainfranken und den Weißjuragebieten der Schwäbischen Alb.

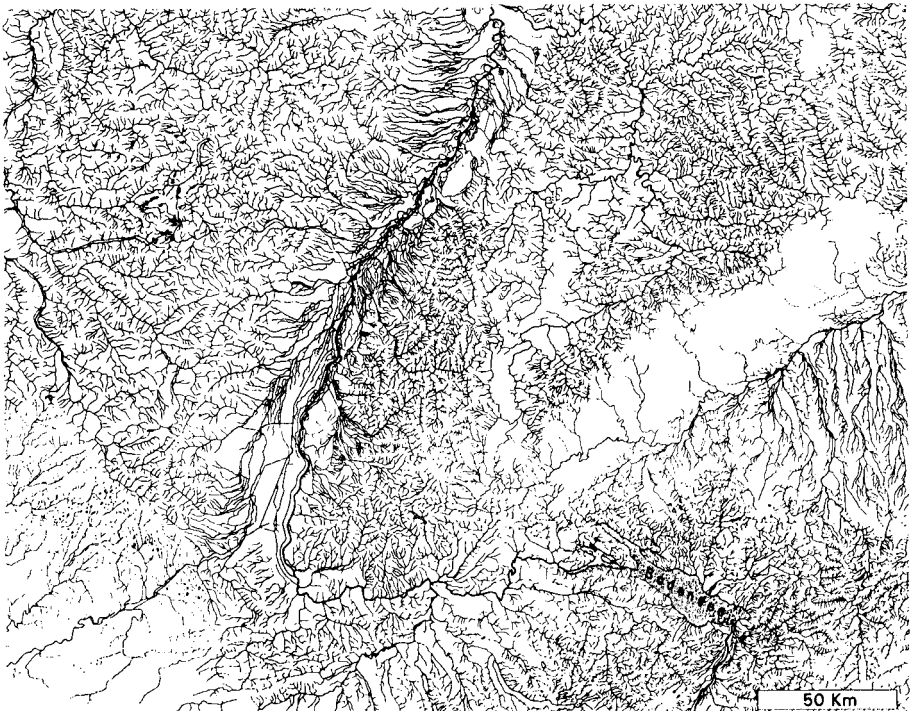
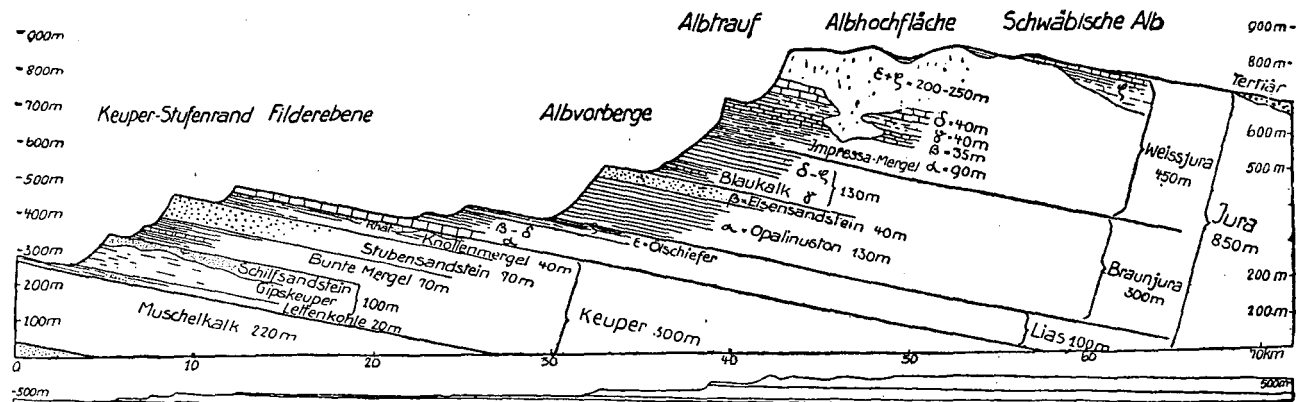
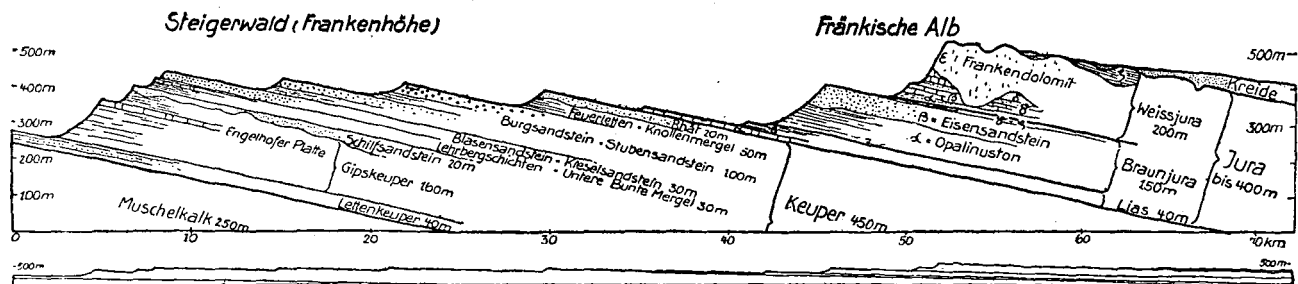


Abb. 6: Gewässerdichte -Ausschnitt Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik.

Abb. 7: Profile durch Francken und Schwaben vom Muschelkalk bis zum Jura, nach WÄGNER aus SEMMEL 1972, 11.



5. Zum Paläoklima

Aufgrund zahlreicher Studien der Paläontologie darf als gesichert gelten, daß Südwestdeutschland im ausgehenden Mesozoikum und im Alttertiär ein tropoides Klima aufwies, während das Quartär durch Kaltklimate geprägt ist.

Offen ist in vielen Publikationen, wann der Zeitabschnitt eines tropoiden Klimas endete, und ob der Übergang zum quartären Kaltklimate über Phasen subtropisch feuchter oder gar semi-arider Klimate verlief (Siehe hierzu die ausführliche Diskussion bei SEMMEL 1996).

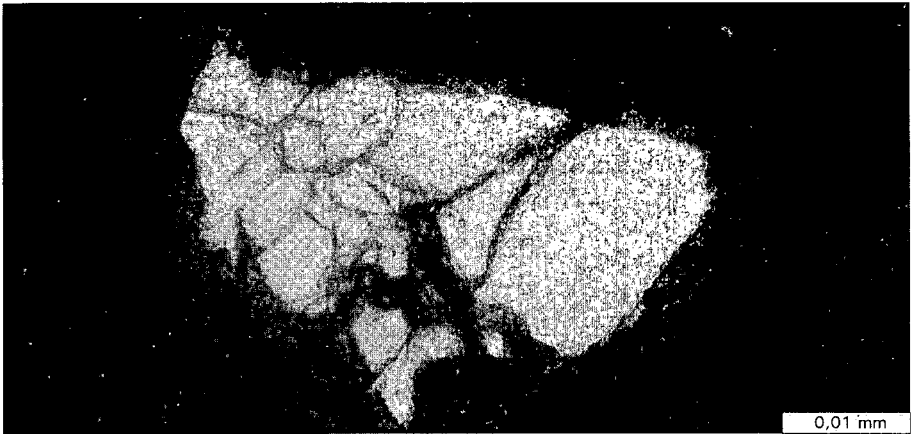


Abb. 8 : oben - verwittertes Quarkorn im Dünnschliff eines alttertiären Rotlehms der Frankenalb
unten - Quarkorn im Dünnschliff einer pliozän - altquartären Terra fusca der Frankenalb.

Die Phase des tropoiden Klimas, die nach jüngeren Autoren im Oligozän - wohl auch im Zusammenhang mit der Vereisung des Südpols und den globalen Veränderungen - endete, zeichnete sich durch eine intensive Verwitterung aus, in der sogar Quarze korrodiert wurden.

Solch intensive Verwitterung kennt keine Gesteinsunterschiede und ist nach den Modellvorstellungen der klimagenetischen Geomorphologie die Voraussetzung für die Genese von gebirgsüberspannenden Rumpfflächen mit intensiv verwitterten Paläoböden.

Die Kaltklimata des Quartärs bewirkten mehrfache Vergletscherungen der Alpen. Die Gletscher flossen in den vorhandenen Talsystemen in Vorland ab und schufen dort eine Fülle von glazialen Formen. Für den Südwesten ist der Rheingletscher von Bedeutung, der in älteren Kaltzeiten des Rißkomplexes am weitesten vorstieß und die Landschaft Oberschwabens und des Bodenseebeckens prägte.

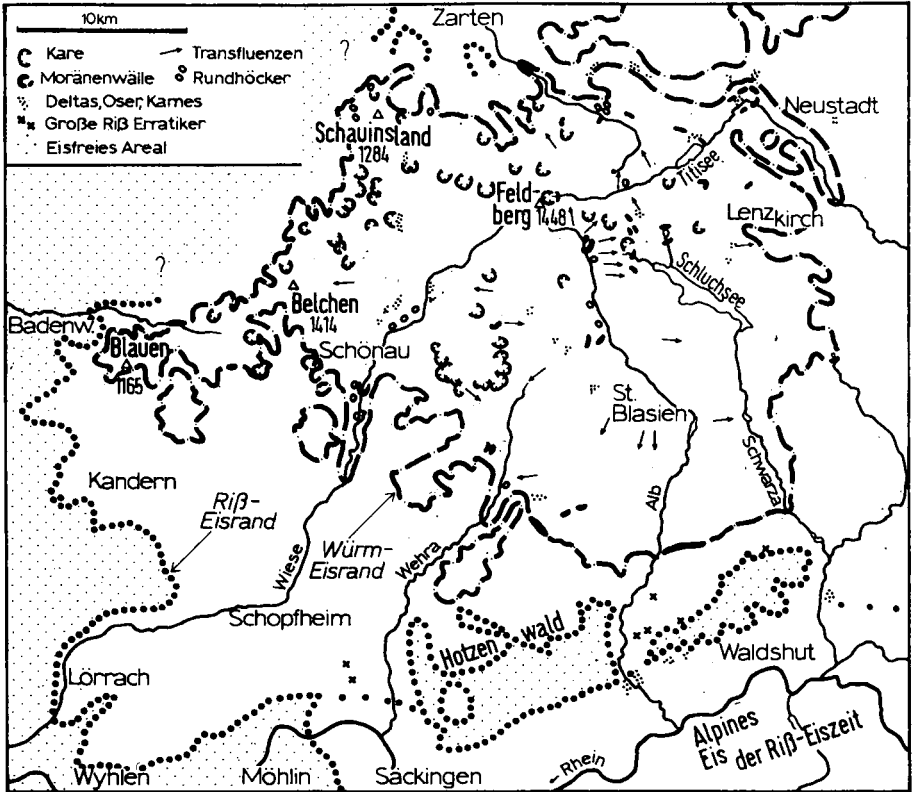


Abb. 9 : Glaziale Erscheinungen im Südschwarzwald - GEYER & GWINNER 1991, 283.

Auch der hochgelegene Schwarzwald zeigt Zeugen einer eiszeitlichen Vergletscherung, alle anderen Regionen waren in den quartären Kaltklimaten Periglazialgebiete, wofür die weite Verbreitung quartärer Lagen im gesamten Relief ebenso Zeugnis liefert, wie die Vorkommen von kaltzeitlichen Terrassen in den Flußtälern.

6. Zu dem Verbreitungsmuster der Formen

Im Südwesten Deutschlands lassen sich 3 Hauptelemente ausweisen:

1. Der Oberrheingraben
2. Das südwestdeutsche Schichtstufenland
3. Das ehemalige Rheingletschergebiet.

7. Der Oberrheingraben

Eine weite, mit holozänen Lehmen bedeckte, durch anthropogene Eingriffe stark veränderte Flußbaue, eingetieft in eine eiszeitliche Terrasse mit Hochflutlehen und Flugsandüberlagerungen, bestimmt das Bild des Oberrheingrabens ebenso wie der markante lößüberkleidete Anstieg der Grabenbruchstufe. Flache Schwemmkegel der Seitenbäche und verschleppte Flußmündungen modifizieren das Bild ebenso wie die lokalen Dünenfelder auf der Niederterrasse.

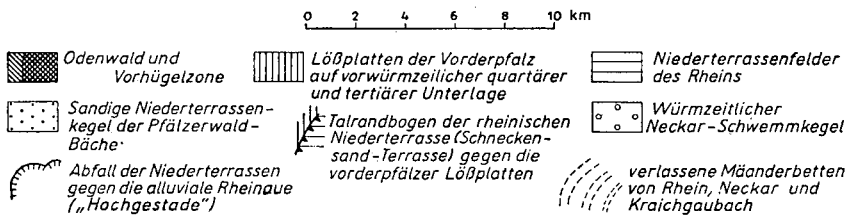
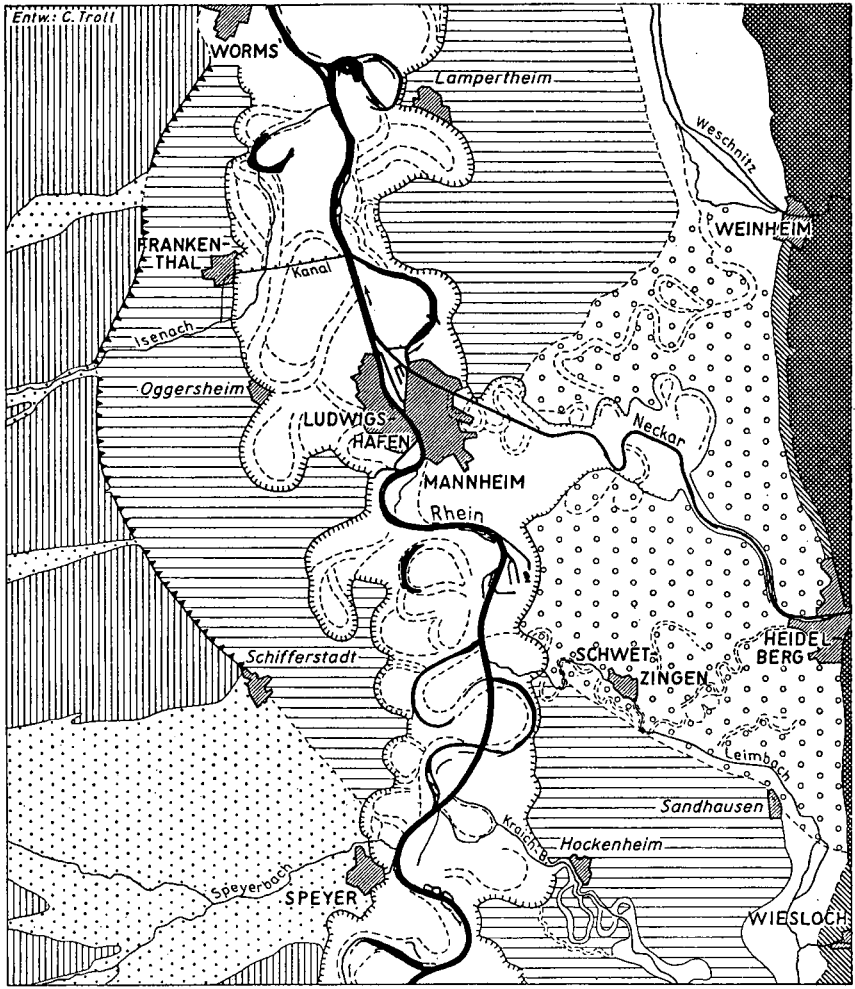


Abb. 10: Terrassenlandschaft im Oberrheingraben nach TROLL aus SEMMEL 1972. 39.

Zwischen Basel und Offenburg sind zum Schwarzwaldanstieg die tektonisch nicht so weit abgesunkenen Schollen der Vorbergzone und der Kaiserstuhlvulkan landschaftsbestimmende Elemente.

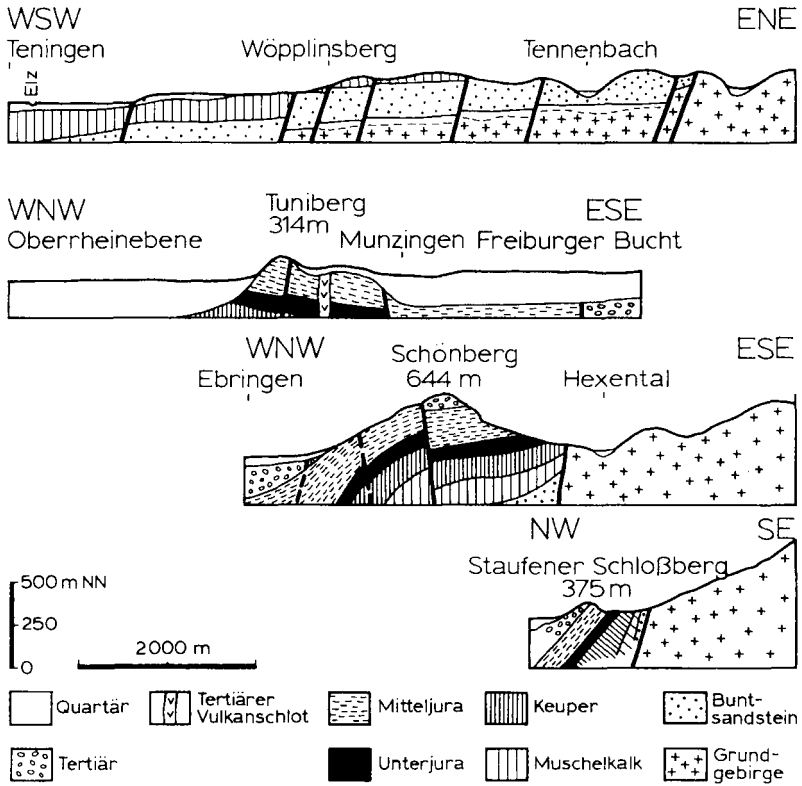


Abb. 11: Schnitte durch die Vorbergzone N und S von Freiburg - GEYER & GWINNER 1991, 261.

8. Das Schichtstufenland

Gemäß den petrographischen Vorgaben wird die Mittelgebirgslandschaft östlich der Oberrheinbruchstufe und nördlich der Donau von Schichtstufen bestimmt, wobei alle Formenkomplexe der Schichtstufen mit den Zeugenbergen ebenso zu beobachten sind, wie die Dynamik an der Stufe mit Quellhorizonten und Rutschungen.

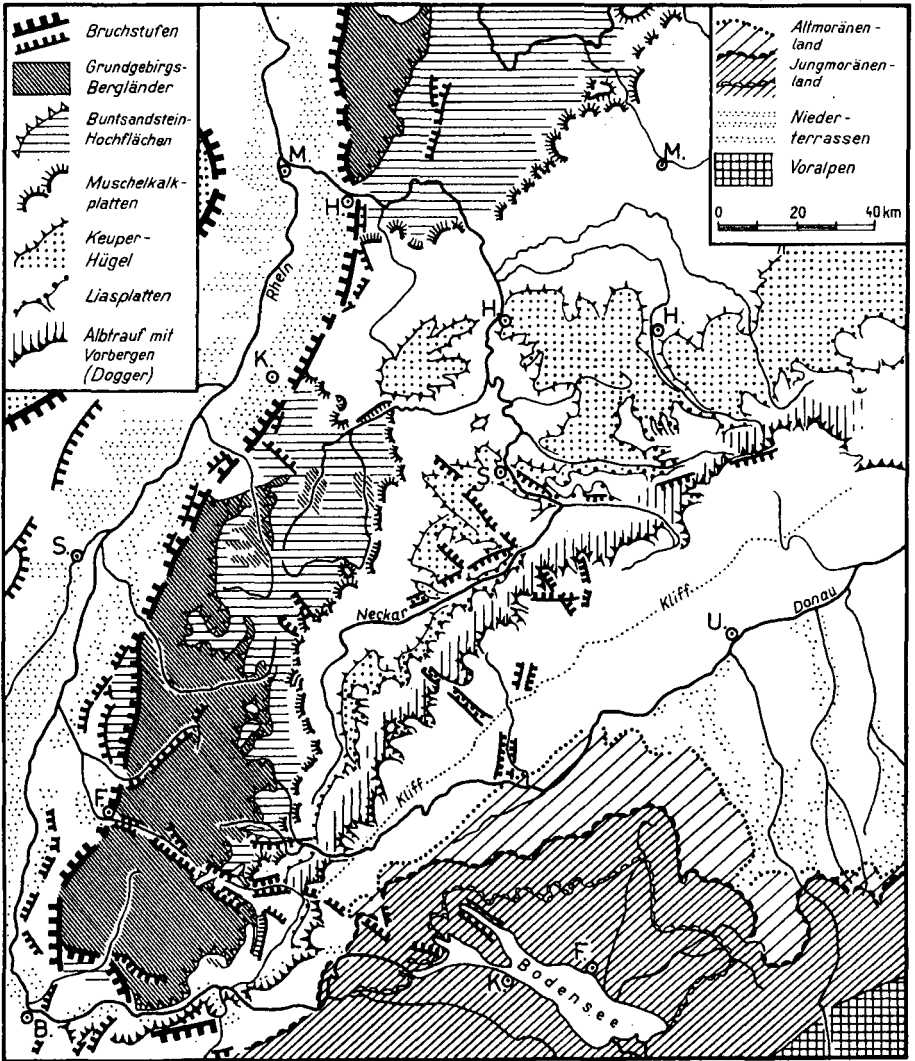


Abb. 12: Das südwestdeutsche Schichtstufenland nach Huttenlöcher aus BLUME 1971, 82.

Ob die Ebenheiten oberhalb der Stufen im Sinn der Schichtstufentheorien oder Rumpfflächen im Büdel'schen Sinne sind, wird in der Literatur sehr konträr diskutiert (siehe hierzu BLUME 1971, BREMER 1989).

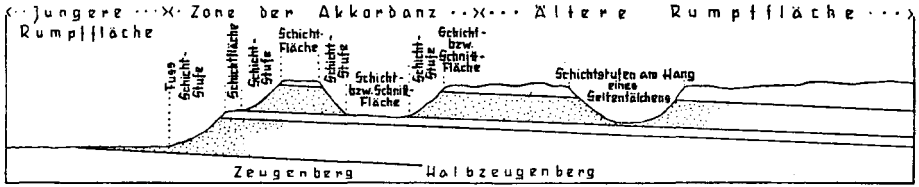
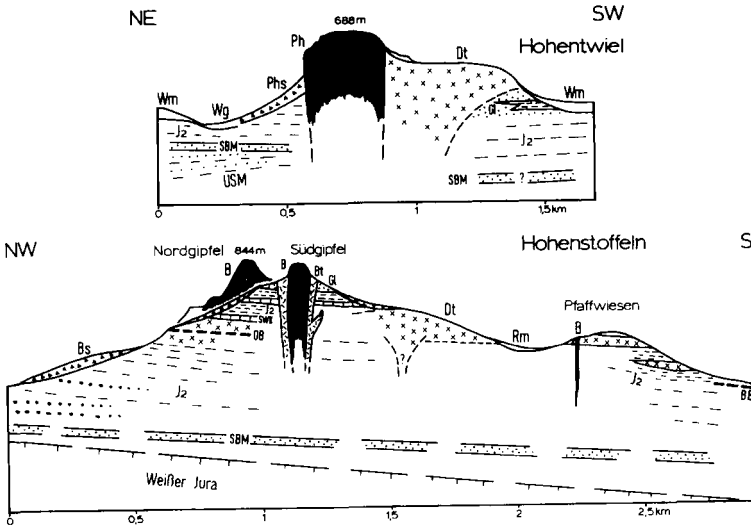


Abb. 13: Schichtstufen und Rumpfflächen in Südwestdeutschland - BÜDEL 1957, 40.

Modifikationen gibt es im Mittelgebirgsrelief durch die vulkanischen Gesteine, die gegenüber umgebenden Gesteinen eine unterschiedlichen Härte aufweisen. Dies führte zur Herauspräparierung von Vulkanschlotten, die als markante Vollformen wie im Hegau landschaftsbestimmend sind.



Profile durch Hohentwiel und Hohenstoffeln; B, Bt, Bs = Basalt, -tuff, -schutt, BB = Basisbentonit, Dt = Deckentuff, Gl = Glimmersand der OSM, J₂ = jüngere Juranagelfluh (OSM), OB = Oberer Bentonit, Ph, Phs = Phonolith, -schutt, Rm = Rißmoräne, SBM = Süßbrackwassermolasse, SWK = Süßwasserkalk der OSM, Wg, Wm = Würmschotter, -moräne, USM = Untere Süßwassermolasse. Umgezeichnet nach A. SCHREINER 1984.

Abb. 14: Herauspräparierte Vulkanschlotten im Hegau - GEYER & GWINNER 1991, 354.

Eine Sonderstellung nimmt die Schwäbischen Alb ein. Die Karstlandschaft wird überwiegend von unter periglazialen quartären Klimabedingungen entstandenen heute trockenengefallenen Tälern und Dolinen bestimmt. Nördlich der Klifflinie, die den Hochstand der Meeresmolasse dokumentiert, bestimmen Kuppen das Landschaftsbild, während südlich der Klifflinie ein Flachrelief mit Vorkommen von Juranagelfluh und plio-pleistozänen Donaueschottern dominiert.

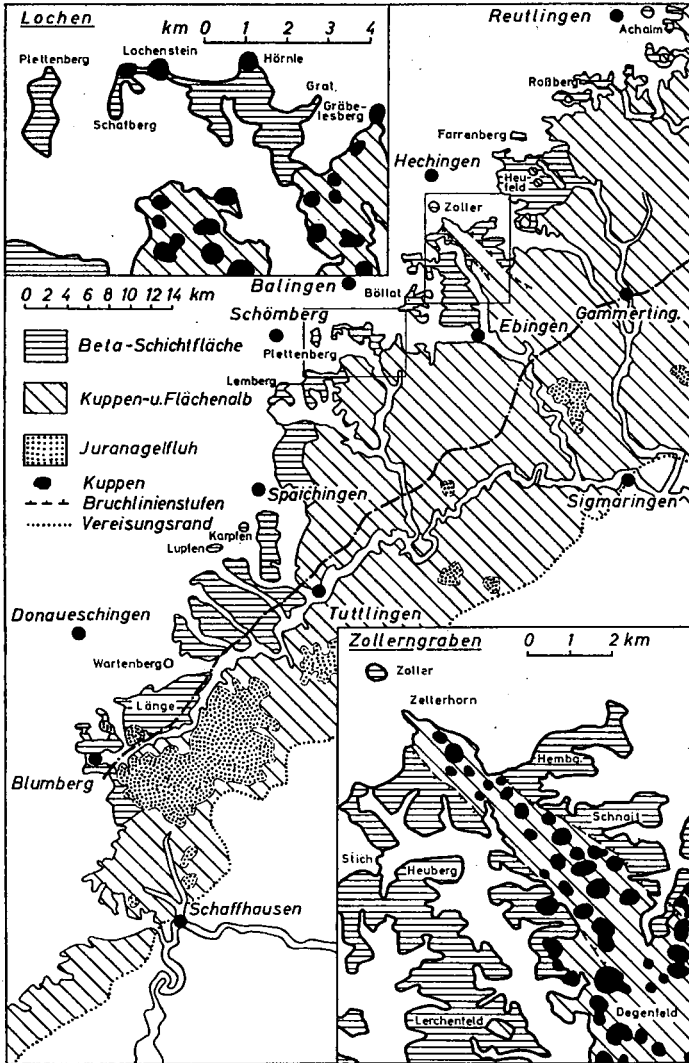


Abb. 15: Die westliche Schwäbische Alb nach DONGUS aus SEMMEL 1972, 64.

Im gesamten Mittelgebirgsrelief sind die Täler terrassiert und über Schotter mit Decklagen den Kaltzeiten des Quartärs zugewiesen.

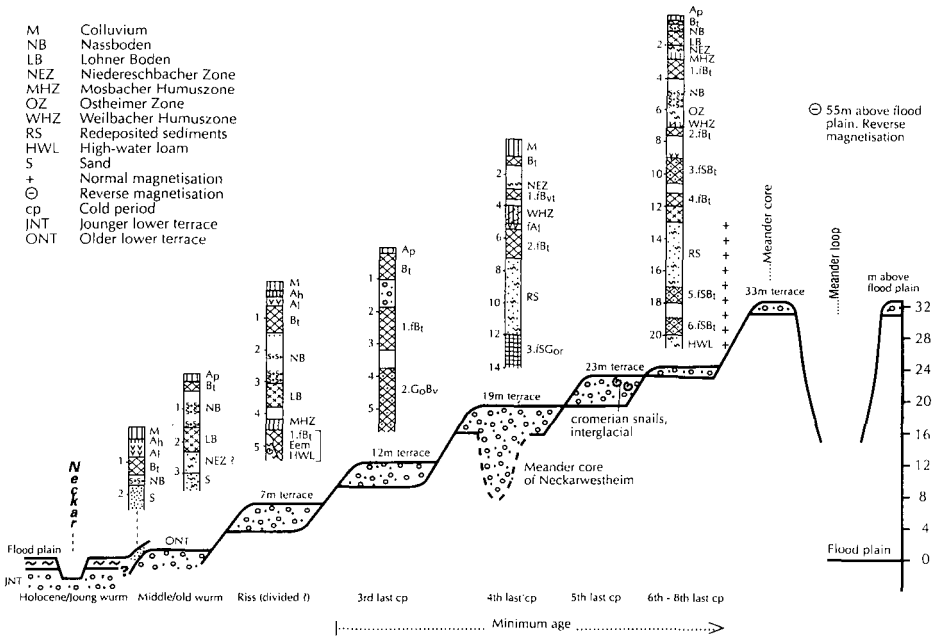


Abb. 16: Terrassenfolge im Neckar - Enzraum - BIBUS & WESLER 1995, 17.


9. Zum Rheingletschergebiet


Oberschwaben und Bodenseebecken sind von glazialen Akkumulationsformen und von Schmelzwasserablagerungen geprägt. Die zum ribeiszeitlichen Komplex gehörenden Altmoränen und die zugehörigen Schotter sind stark periglazial überprägt, selbst die jüngeren Ablagerungen des letztzeitlichen Eisvorstoßes weisen eine periglaziale Lage auf.


Abb. 17 : Pleistozäne Bildungen in Oberschwaben - GEYER & GWINNER, 1991, 222.

20km

Bildungen der Würmeiszeit


 Äußere Jungendmoräne (Schaffhausen - Stadium)

 Niederterrassenschotter, Entwässerung z. Zt. der Äußeren Jungendmoräne

 Innere Jungendmoräne (Singen - Stadium)

 Konstanz-Stadium



 Seestände im Bodenseebecken


 Entwässerung z. Zt. der Rückzugsstadien

 Drumlins

 Moore, ehemals Eisrandstauseen u.ä.

Bildungen älterer Eis- u. Kaltzeiten

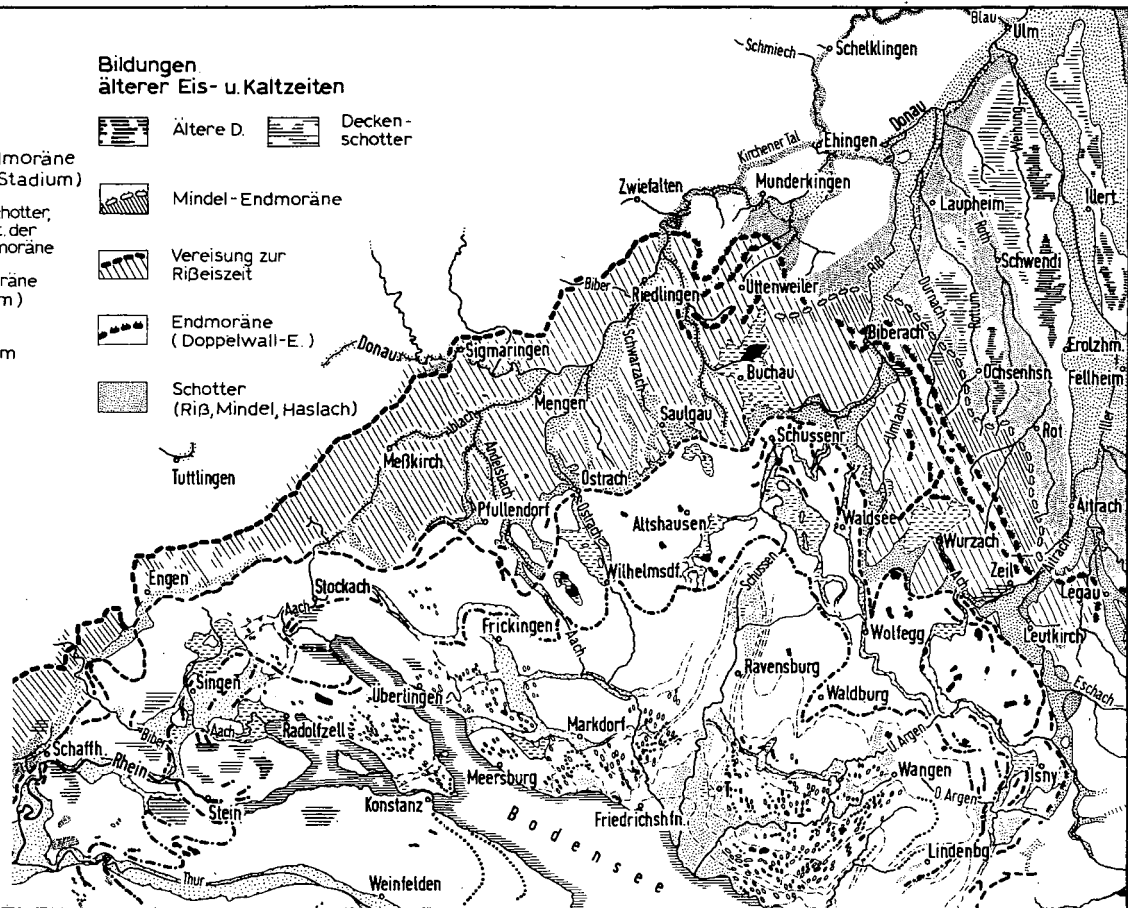
 Ältere D.  Deckenschotter

 Mindel-Endmoräne

 Vereisung zur Rißeiszeit

 Endmoräne (Doppelwall-E.)

 Schotter (Riß, Mindel, Haslach)



10. Literatur

BIBUS E. & WESLER J. (1995): The middle Neckar as an example of fluvio-morphological processes during the Middle and Late Quarternary period. Zeitschr. für Geomorph. Suppl. 100, 15-26, Stuttgart.

BLUME, H. (1971): Probleme der Schichtstufenlandschaft. Ertäge der Forschung Band 5, Darmstadt.

BREMER, H. (1989): On the geomorphology of the south German scarplands. Catena Suppl. 15, 45-68, Creglingen.

BÜDEL, J. (1957): Grundzüge der klimamorphologischen Entwicklung Frankens. Würzburger Geogr. Arbeiten, Heft 4/5, Würzburg

EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie, Stuttgart

GEYER, O. & GWINNER, M.P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg, Stuttgart

HANTKE, R. (1978-1983): Eiszeitalter 1-3, Thun.

LEMCKE, K. (1988): Geologie von Bayern I. Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit, Stuttgart.

LIEDTKE, H. & MARCINEK, J. (1995): Physische Geographie Deutschlands, Gotha.

SEMMELE, A. (1972): Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland, 1. Auflage, Erdkundliches Wissen 30, Stuttgart.

SEMMELE, A. (1996): Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland, 5. Völlig überarbeitete Auflage, Erdkundliches Wissen 30, Stuttgart.

WALTER, R. (1995): Geologie von Mitteleuropa, Stuttgart.

Zur Geschichte des Bodenseeraumes

von

F. Weller¹

Vorbemerkung

Ein bodenkundlicher Exkursionsführer ist kein Geschichtsbuch. Angesichts der außerordentlich reichen Geschichte des Tagungsortes und des Exkursionsgebietes mit ihren oft europaweiten Verflechtungen schien jedoch die Aufnahme eines historischen Abrisses wünschenswert. Er lehnt sich an das umfassende Werk von FEGER (1956, 1958, 1963) an, das allerdings mit dem Ende des Mittelalters abbricht. Die zusätzlich zu Rate gezogene Literatur ist dem Verzeichnis am Schluß des Beitrags zu entnehmen.

Vorgeschichte

In einem Gebiet, das mehrfach von gewaltigen Eismassen überfahren worden ist, kann man schwerlich Spuren menschlicher Präsenz aus davor liegenden Zeiträumen erwarten. Doch ist anzunehmen, daß paläolithische Jäger und Sammler zumindest im Riß/Würm-Interglazial wenigstens zeitweise Teile des heutigen Bodenseeraumes durchstreift haben, denn aus den umgebenden Landschaften ist ihre Anwesenheit durch Funde für lange Zeiträume belegt, namentlich in den Höhlen der Schwäbischen Alb sowie entlang dem Hochrhein. Noch näher befindet sich der 1 450 m ü. NN gelegene Fundplatz in der Höhle des Wildkirchli im Alpstein-Massiv (Säntisgebiet), der als **ältestes Zeugnis** menschlicher Anwesenheit in der Umgebung des Bodensees gilt (ca. 50 000 v. Chr.).

Mit dem Abklingen des Würmglazials nähern sich im Magdalénien die Fundplätze dem Bodenseegebiet. Zunächst handelt es sich um Stationen der Rentierjäger entlang dem Wall der Äußeren Jungendmoräne: Schussenquelle bei Bad Schussenried, Petersfels bei Engen, Keßlerloch und Schweizerbild bei Schaffhausen. Die Funde zählen teilweise zu den wertvollsten Kulturdenk-

¹ Karl-Erb-Ring 104, 88213 Ravensburg

mälern Mitteleuropas aus jener Epoche der **späten Altsteinzeit** (ca. 13 000 bis 9 500 v. Chr.).

Aus dem **Mesolithikum** (ca. 9 500 - 5 500 v. Chr.) sind zahlreiche Gerätefunde aus dem Hegau, vom Flachufer des Untersees, vom Espasinger Ried, von der Konstanzer Bucht sowie aus dem nördlichen Oberschwaben, vor allem um den Federsee, bekannt.

Die mit der Einführung von Ackerbau und Viehzucht verbundene Kulturperiode des **Neolithikums** drang in das Bodenseegebiet von Osten aus dem Donaoraum und von Südwesten aus dem unteren Rhonegebiet ein. Auffallend ist, daß die für die lößreichen Gebiete ganz Mitteleuropas charakteristischen Funde der Bandkeramik im Bodenseegebiet zurücktreten. Hier gehören die Neolithiker verschiedenen anderen Kulturgruppen (z. B. Michelsberger, Schussenrieder, Horgener Kultur) an, in denen sich östliche und westliche Einflüsse widerspiegeln. Später brachen im Zug einer großen Wanderungsbewegung die Schnurkeramiker oder Streitaxtleute in das Gebiet ein, welche auch das Pferd als Haustier mitbrachten. Etwa zur gleichen Zeit brachten Einwanderer aus Spanien die Glockenbecherkultur mit, deren namengebende Tongefäße im Hegau mehrfach gefunden wurden. Hier trafen somit Kulturen aus verschiedenen Teilen Europas zusammen.

Der Lebensraum der Jungsteinzeitmenschen war im Bodenseeland auf bestimmte Gebiete begrenzt. Besiedelt und begangen war das schweizerische Mittelland vom Genfer und Neuenburger See, von dort über das Tal der Aare und ihrer südlichen Nebenflüsse zum Rhein, dann durch den Hegau nach Norden zur Donau und zum Neckar. Ein anderer Siedlungsstreifen zog sich den Hochrhein entlang abwärts. Der Hegau und das westliche Bodenseegebiet waren somit wichtige Mittelpunkte der jungsteinzeitlichen Siedlung. Besonders dicht waren die Ufer des Untersees und manche Abschnitte auch des Überlinger Sees besiedelt. Wichtige Zeugnisse der Michelsberger Kultur finden sich auf dem Hohenkrähen. Am Südufer des Obersees zog sich eine dünne Kette von Siedlungen hin; auch im mittleren Thurtal finden sich einzelne Dörfer, aber das ganze übrige Hinterland ist unbewohnt und menschenleer.

Eine Besonderheit sind die sog. **Pfahlbauten**, die sich an den Seeufern vom Genfer See bis zum Bodensee finden. Die ursprüngliche Annahme, daß hier Häuser zur größeren Sicherheit auf in den Seeboden gerammte Pfähle in das Wasser gebaut worden waren, ist inzwischen weitgehend aufgegeben worden. Man geht heute davon aus, daß zur Zeit der Errichtung der „Pfahlbauten“ der Seespiegel erheblich niedriger war und die Häuser auf dem Strand in der Nähe des Wassers standen. Bei einer späteren Klimaveränderung wurden die Dörfer am Seeufer vom steigenden Wasser erfaßt

und mußten aufgegeben werden. Dieser ganze Vorgang hat sich in der Bronzezeit wiederholt, so daß wir eine steinzeitliche und eine bronzezeitliche „Pfahlbaukultur“ unterscheiden.

Der Siedlungsraum der **Bronzezeit** im Bodenseegebiet entspricht im wesentlichen dem der Jungsteinzeit. Um 1 200 v. Chr. dringen Völker aus Osteuropa nach Mitteleuropa und damit auch in die Bodenseelandschaft vor. Sie bringen ihre eigene Kultur mit, neuartige Tongefäße und Bronzewerkzeuge, als wichtigstes wohl die Kenntnis des Eisens. Die stattlichen Grabhügel der mittleren Bronzezeit verschwinden, die Toten werden jetzt verbrannt, die Asche in großen Urnen bestattet unter Beigabe zahlreicher Kleingefäße; man nennt diese Epoche die **Urnenfelderkultur**. Es waren Jahrhunderte der Unruhe, die jetzt folgten; die Wohnsiedlungen finden sich nun oft auf Anhöhen, die leichter zu verteidigen sind und mit künstlichen Hindernissen, Gräben und Mauern umgeben werden. Auf vielen Hegaubergen gibt es Zeugnisse der Urnenfelderkultur.

Auf die unruhige Urnenfelderzeit folgt um das Jahr 800 v. Chr. die **Hallstatt-** oder ältere Eisenzeit. Jahrhunderte des Friedens führen zu beträchtlichem Wohlstand. Auch neues Land wird nun erschlossen: Die Siedlung rückt vielfach von den Seeufern gegen das bisher unbewohnte Hinterland vor. In dieser frühen Keltzeit entstehen monumentale Fürstengräber mit reichem Inhalt. In der Nähe dieser Fürstengräber finden sich dann mitunter auf Berghöhen befestigte Fürstensitze, Wehranlagen, die gewaltige Erdarbeiten verursacht haben; eine der eindrucksvollsten dieser Art ist die Heuneburg unweit Hundersingen über der Donau. Auch im Gebiet des vorarlbergischen Feldkirch lassen sich ganze Befestigungssysteme feststellen. Alles dies läßt auf eine angesehene Führungsschicht schließen, ein Stammeskönigtum, das eine höhere Form des organisierten politischen Lebens voraussetzt, als wir für die frühere Zeit annehmen dürfen.

Im 5. Jahrhundert v. Chr. gerät diese späte Hallstatt-Kultur plötzlich in lebhaftere Bewegung; es beginnen die großen keltischen Wanderungen der nach einem westschweizerischen Fundort benannten **La-Tène-Zeit**. Fast schlagartig hört die großartige Hallstatt-Periode mit ihren prunkhaften Fürstengräbern bei uns auf. Im Bodenseegebiet scheint es stellenweise zu harten Kämpfen gekommen zu sein; eine Reihe von Burgen der Verteidiger, unter anderem in Vorarlberg, zeugt davon. Durch regen Kontakt mit dem Mittelmeergebiet nehmen die Kelten vor allem die Anregungen der griechisch-etruskischen Welt auf und bilden sie zu ihrem eigenen Stil um. Der Siedlungsraum im Bodenseegebiet hat sich gegenüber der Hallstatt-Zeit kaum verändert. Schwerpunkt der Besiedlung ist nach wie vor der Hegau und das westliche Ufergebiet des Bodensees.

Die Römer am Bodensee

Durch die Gründung der Kolonie *Augusta Raurica* (August) bei Basel im Jahr 44 v. Chr. sowie durch den Ausbau von Genf und die Neuanlage von Nyon wurde Helvetien von den Römern erschlossen. Am Bodensee finden wir römische Truppen erst zur Zeit des Augustus, und zwar im Kampf mit den Rättern, einem Volk vermutlich illyrischer Herkunft. Ihr Land war den Römern wichtig, weil sie bedeutende Alpenpässe beherrschten. Im Jahr 15 v. Chr. drang Tiberius von Gallien her gegen den Bodensee vor und besiegte in einer Seeschlacht die Kriegsflotte der keltischen Vindeliker. Dann rückte er gegen die Quellflüsse der Donau; anschließend schlug er das rätische Heer und das der Vindeliker.

Das Bodenseegebiet war nun fest in der Hand der Römer, von denen es zum größten Teil der Provinz Rätien, zum kleineren der Provinz Gallien zugeteilt war. Die **Provinz Rätien** bestand nicht nur aus dem Gebiet der rätischen Stämme, sondern umfaßte auch Teile Helvetiens und das gesamte Vindelikien. Die Grenzen Rätiens umschlossen das heutige Graubünden, zogen sich dann zwischen dem Zürich- und dem Walensee nach Norden, überschritten die Thur bei der Station *Ad Fines* (Pfy) und den Rhein bei *Tasgetium* (Eschenz) und liefen dann über den Randen zur Donau; weiter folgten sie dem Lauf der Donau bis Passau und schlossen endlich das Allgäu und das westliche Tirol ein. Das alles war die Provinz Rätien, deren Hauptstadt Augsburg war und die von einem *procurator*, einem zivilen Statthalter, verwaltet wurde; dazu gehörte somit auch das zweifellos nicht von Rättern bewohnte Oberschwaben und das helvetische Land im Hegau und Thurgau. Das westliche, an Rätien angrenzende Gebiet gehörte zunächst zur Provinz Gallien, während die Baar und das Neckarland zu den *agri decumates* gerechnet wurden. Zur Sicherung der alten Völkerstraße, die von Südwesten her durch den dichtbesiedelten Hegau nach Norden ins Donau- und Neckarland führte, wurde das große Legionslager *Vindonissa* (Windisch) im Aargau angelegt.

Gegen Ende des 1. Jahrhunderts wurde fast der gesamte südwestdeutsche Raum in das römische Imperium einbezogen und durch den Limes gegen Germanien abgeschirmt. Dadurch wurden die Römerkastelle samt ihrer militärischen Besatzung im Bodenseegebiet überflüssig. Das Land entwickelte sich rasch zur normalen römischen Provinz. Diese war für das eigentliche Bodenseegebiet weiterhin die Provinz Rätien: das Helvetierland westlich von Eschenz und Pfy jedoch gehörte nun, ebenso wie das rechtsrheinische Dekumateland, zur Provinz Obergermanien, deren Hauptstadt Mainz war. Eine Folge der Einschmelzung des Landes in das römische Reich war schließlich die Verleihung des **römischen Bürgerrechts** an alle Einwohner durch Kaiser Caracalla im Jahre 212.

Durch das Gebiet führten wichtige **Fernverkehrsstraßen**, welche in Nord-Süd-Richtung Oberitalien über die Alpenpässe mit den Gebieten nördlich des Bodensees, in Ost-West-Richtung Gallien mit den Ebenen Pannoniens und dem schon damals unruhigen Balkan verbanden, aber auch für den Verkehr zwischen den **Städten** im Gebiet selbst wichtig waren. Von diesen waren im Bodenseegebiet die bedeutendsten: *Brigantium* (Bregenz), *Arbor Felix* (Arbon) und *Tasgetium* (Eschenz) sowie an der oberen Iller *Cambodunum* (Kempten). Sie haben sich allesamt aus ehemals keltischen Städten entwickelt. Während in diesen Städten die römische Kultur vorherrschte, erhielten sich auf dem Land noch lange Zeit die typischen Lebensformen der späten La-Tène-Zeit. Eine Ausnahme bildeten jedoch die von den Römern nach dem Vorbild südlicher Landgüter neu erbauten *villae rusticae*.

Die friedliche Entwicklung am Bodensee wurde nach über zwei Jahrhunderten jäh gestört durch den Einbruch der **Alamannen**, einem Verband mehrerer germanischer Stämme, deren ursprüngliches Siedlungsgebiet jenseits von Elbe und Saale lag. Sie überrennen 233 den Limes und können nur mit Mühe an der oberen Donau aufgehalten werden. Im Jahr 258 dringen sie bei einem erneuten Angriff gegen den Oberrhein und den Bodensee vor. Jetzt wird der Bodenseeraum Grenzland: Das Gebiet nördlich des Sees vom Oberrhein bis zur Iller wird Alamannenland, während die Landschaften südlich des Sees und östlich der Iller dem römischen Reich erhalten bleiben. Zwar erreichten in der Folgezeit römische Feldzüge mehrmals die obere Donau, und im ausgehenden 3. Jahrhundert scheinen die Römer sogar auf das Gebiet bis zum Limes vorgedrungen und die Alamannen zur Anerkennung der römischen Herrschaft gebracht zu haben. Von irgendwelcher Dauer waren diese Eroberungen jedoch nicht. Im allgemeinen hat die römische Herrschaft nur noch bis zu der befestigten Linie Hochrhein - Bodensee - Iller gereicht. Zu dieser Linie gehörte auch das Kastell **Konstanz**. Im Jahr 378 kam es dann zum letzten römischen Feldzug auf alamannischem Boden, und 401 zog der kaiserliche Heermeister Stilicho alle römischen Truppen, die noch nördlich der Alpen standen, zur Verteidigung des Mutterlandes gegen die Westgoten zurück. Damit war das ganze Gebiet nördlich der Alpen den Alamannen preisgegeben. Nur im Bergland von Chur und im rätischen Rheintal konnte sich ein römischer Statthalter behaupten.

Die Alamannen

Auf den Trümmern der römischen Kultur entwickelte sich das politische, soziale, wirtschaftliche und kulturelle Leben der Alamannen. Inwieweit sie bei ihrer „Landnahme“ eine „ethnische Säuberung“ vornahmen oder die kelto-romanische Bevölkerung unterwarfen und allmählich mit ihr verschmolzen (namentlich südlich des Sees), ist unklar, ebenso die Frage, ob die Alamannen ihre Siedlungen generell nicht an die bisherigen Dörfer und Gutshöfe anlehnten. Unbestritten ist dagegen, daß ihre Nachfahren bis auf den heutigen Tag rund um den Bodensee ansässig sind, wenn auch durch mancherlei Zuzug vermischt.

Der Siedlungsraum beschränkte sich zunächst auf das bereits zur Zeit der Römer landwirtschaftlich genutzte offene Land. Nach wie vor war das **westliche Bodenseegebiet** der bevorzugte Siedlungsraum. Ein Beleg dafür sind u. a. die ältesten germanischen Ortsnamen mit der Endung „ingen“ in Verbindung mit einem Personennamen. Sie liegen am dichtesten im Hegau, auf der Baar und im Donautal sowie südlich von Schaffhausen, hier vielfach in der späteren Form auf „ikon“. Im Linzgau werden sie nach Osten zu immer seltener und hören östlich von Teuringen und Ailingen völlig auf. Im Thurgau reichen sie am See nur bis Scherzingen und Güttingen, im Thurtal enden sie mit Wigoltingen und Amlikon, in Vorarlberg fehlen sie vollständig.

Die Zeiten blieben unruhig. Erwähnt sei der Durchzug der Hunnen unter Attila (451). Nachhaltigere Wirkung hatte die Tatsache, daß die Alamannen zwischen zwei neu gebildete Großmächte gerieten, das Reich der Franken im nördlichen Gallien und am Niederrhein unter König Chlodwig und das der Ostgoten in Italien unter König Theoderich. Theoderich brachte die rätischen Alpenpässe unter seine Kontrolle, Chlodwig schlug 496 die Alamannen vernichtend bei Zülpich (?). Danach mußten sie den nördlichen Teil ihres Siedlungsgebietes zwischen Main und mittlerem Neckar an die Franken abtreten. Möglicherweise wurde dadurch die Erschließung bislang kaum bewohnter Gebiete in der Schweiz, in Oberschwaben und im Allgäu ausgelöst, die im 6. Jahrhundert begann und bis in die Karolingerzeit hinein andauerte.

Die Ausdehnung des fränkischen Machtbereichs nach Süden mußte Theoderich unerwünscht sein. In einem noch erhaltenen Schreiben an Chlodwig nahm er mit höflich diplomatischen Wendungen die Alamannen unter seinen Schutz. Chlodwig gab nach, und das Bodenseegebiet gehörte dreißig Jahre lang zum **ostgotischen Reich**. Nach dem Tode Theoderichs (526) suchte der Ostgotenkönig Witigis die Hilfe der Franken gegen den oströmischen Kaiser Justinian und überließ ihnen dafür die

Schutzherrschaft über das gotische Alamannia. Damit gehörten Alamannien und Rätien zum großen **fränkischen Reich**, das allerdings keine Einheit mehr war, da die Söhne Chlodwigs nach dessen Tod (511) das Erbe geteilt hatten.

In diesem 6. Jahrhundert erscheint zum erstenmal im alamannischen Raum eine Art von politischer Zentralgewalt, das **Herzogtum**. Das fränkische Königreich verlieh den westfränkischen Herzogstitel an das Haupt des führenden alamannischen Geschlechts. Der Herzog war der Vertreter des

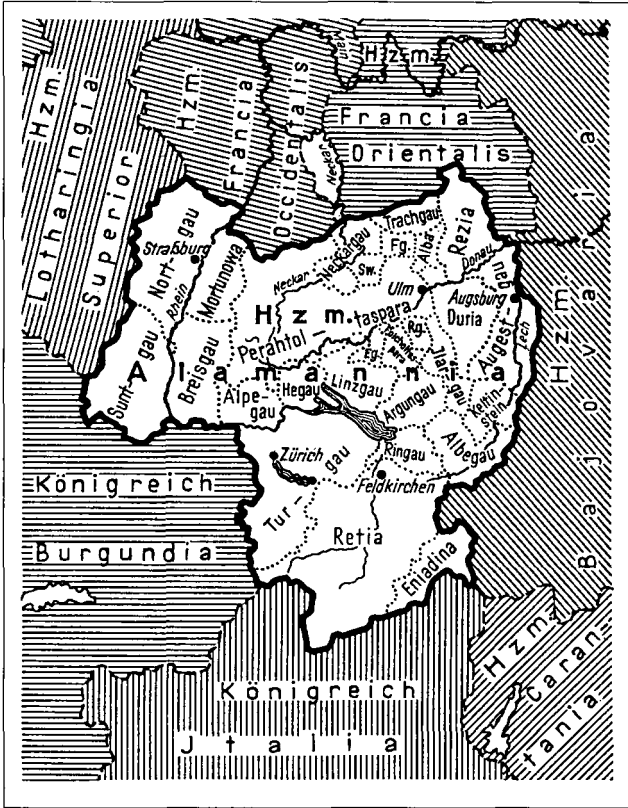


Abb. 1: Das Herzogtum Alamannia mit dem Bodensee im Zentrum (aus WELLER und WELLER 1971)

Königs und diesem gegenüber für das Stammesgebiet verantwortlich. Während des 6. und 7. Jahrhunderts lag der Schwerpunkt des politischen alamannischen Lebens im westlichen Bodenseegebiet und Hegau. Hier hatte der Herzog seine großen Eigengüter; nach seiner Pfalz zu **Bodman** ist schließlich der Bodensee benannt.

In die Wende vom 6. zum 7. Jahrhundert fällt ein Ereignis von größter geistesgeschichtlicher Bedeutung: die Annahme des **Christentums** durch die Alamannen, die bis dahin durchweg „Heiden“

gewesen waren, während die römische Bevölkerung südlich des Sees wohl schon im 4. Jahrhundert das Christentum angenommen hatte. Um 590 wurde das **Bistum Konstanz** geschaffen, wobei der Bischof weitgehend von seinem herzoglichen Herrn abhängig war. Um das Jahr 610 kam eine Schar

irischer Mönche unter Führung des Abtes Kolumban für zwei bis drei Jahre nach Bregenz. Für die Missionsgeschichte des Bodenseelandes wäre seine Tätigkeit wohl belanglos gewesen, wäre nicht sein Jünger **Gallus** - gegen Kolumbans Willen - zurückgeblieben. Als Eremit zieht er sich in das abgelegene Tal der oberen Steinach südlich des Sees zurück, wo ein kleines Kloster entsteht, aus dem sich ein Missionszentrum für die Christianisierung des Landes entwickeln sollte.

Die starke Bevölkerungszunahme, die wir für die in Alamannien friedlichen Zeiten des 7. Jahrhunderts annehmen dürfen, führte zu einem gesteigerten Landsausbau, insbesondere zur Besiedlung und politischen Erschließung der bisher weithin menschenleeren Teile Oberschwabens und des östlichen Bodenseegebietes. Die politische Erschließung des neugewonnenen Landes findet in der Neuentstehung von **Gauen** ihren Ausdruck. Zu den altbesiedelten Landschaften Linzgau, Hegau, Klettgau, Thurgau treten nun die Gauen des Ausbaulandes: der Argengau östlich der Schussen, der Nibelgau im Gebiet von Leutkirch, der Heistergau um Bad Waldsee, der Alpgau (= Allgäu) im Südosten u. a. Bei allen diesen Gauen handelt es sich in dieser Zeit wohl um Herrschaftsbereiche des alamannischen Hochadels. Der Bodensee bildete das Zentrum des vom Elsaß bis zum Lech und vom mittleren Neckar bis Graubünden reichenden **Herzogtums Alamannia** (Abb. 1).

Die Karolingerzeit

Nach wiederholten Aufständen der Alamannen gegen die fränkische Vorherrschaft ließ der Hausmeier Karlmann beim Gerichtstag in Cannstatt einen Teil des alamannischen Adels hinrichten (746). Das folgenschwere Ergebnis war das Ende des alamannischen Herzogtums. Das Hausgut der Herzöge wurde zerschlagen, die bisherigen großen Herrschaftsbereiche aufgelöst und nach fränkischem Vorbild in kleinere Grafschaften eingeteilt, Amtsbezirke, an deren Spitzen ein vom König ernannter und völlig abhängiger Graf als Vertreter der fränkischen Staatsautorität stand. Durch Heiraten mit den einheimischen Adelsgeschlechtern wurden diese Grafen rasch mit dem Land verbunden. Diese kluge Verschmelzungspolitik hat nicht nur zu einer raschen Befriedung Alamanniens geführt, sondern die Voraussetzungen zu erneutem und mächtigem Einfluß des Landes im politischen und kulturellen Leben des Frankenreichs geschaffen.

Einen machtvollen Aufschwung erlebte das Bodenseegebiet unter **Karl dem Großen** (768 - 814), der selbst eine alamannische Fürstentochter, Hildegard, geheiratet hatte und damit der Einbeziehung der Alamannen in das Frankenreich, nicht als Unterworfenene, sondern als voll berechnigte und den

Staat tragende Schicht, öffentlich Ausdruck verlieh. In erheblichem Umfang wurden nun alamannische Adlige, vor allem auch die Söhne aus fränkisch-alamannischen Ehen, zu führenden Stellen im Reichsdienst herangezogen. Eine Blütezeit abendländischer Kultur begann, damit auch das „Goldene Zeitalter“ des bereits 724 mit tatkräftiger Unterstützung durch Karl Martell von Abt Pirmin gegründeten **Klosters Reichenau**. Im karolingischen Jahrhundert steigt es zu abendländischer Bedeutung empor; nicht nur in religiöser, sondern auch in politischer, wissenschaftlicher und künstlerischer Hinsicht. Das **Kloster St. Gallen** hatte zunächst im Schatten dieser Entwicklung gestanden. Doch im Jahr 818 erhielt es von Kaiser Ludwig dem Frommen einen Immunitätsbrief, durch den es als Königskloster in des Reiches Schutz genommen wurde und sich zum zweiten großen Kloster des Bodenseeraumes entwickeln konnte. Der Stolz des Klosters waren seine beiden Schulen, in denen nicht nur die jungen Mönche, sondern auch Söhne des Adels für wichtige Aufgaben außerhalb des Klosters herangebildet wurden. Unter **Salomon III.** kam in St. Gallen die Buchmalerei zu ihrer höchsten Blüte. Er war 889 zum Abt des Klosters, ein Jahr später auch zum Bischof von Konstanz gewählt worden und hatte beide Ämter dreißig Jahre lang inne. Salomon war in erster Linie Politiker. Unter Ludwig dem Kind waren er und sein Freund Hatto, der Erzkanzler und Reichenauer Abt, die eigentlichen Machthaber in der großen Politik auf deutschem Boden.

Herzogtum Schwaben

Im Jahr 917 hatte der alamannische Adel den jungen Purchart (Burkhard I.) zum Herzog des Stammes ausgerufen. Er wurde auch von Heinrich I., dem ersten deutschen König aus sächsischem Haus, anerkannt. Das **Herzogtum Schwaben**, wie es jetzt in der Regel genannt wurde, war in der Folgezeit durch äußere und innere Gefahren vielfach bedroht. Von Südwesten drang der König von Hochburgund ins schweizerische Mittelland vor. Er konnte jedoch abgewehrt werden (914 Schlacht bei Winterthur). Von Osten verbreiteten die Einfälle der Ungarn Angst und Schrecken. Sie verwüsteten 926 u. a. das Kloster St. Gallen und belagerten Konstanz. Erst durch den Sieg **König Ottos I.** auf dem Lechfeld bei Augsburg (955) konnte die Bedrohung endgültig gebannt werden. Im gleichen Jahr brach auch der Aufstand Liudolfs gegen seinen Vater Otto I. zusammen, von dem er sieben Jahre zuvor zum Herzog von Schwaben ernannt worden war. Da auch in anderen Teilen des Reiches immer wieder dynastische und partikularistische Interessen weltlicher Fürsten der Reichsgewalt entgegenwirkten, gliederte der König die deutschen Bischöfe und die Äbte der Reichsklöster als sicherste Stützen der königlichen Macht in die Reichsverfassung ein. Die wichtigsten politischen Aufgaben und Missionen wurden durch die Reichsbischöfe besorgt. Zu diesem ottonischen Reichs-

episkopat gehörte auch der **Konstanzer Bischof Konrad I.** sowie der aus dem Geschlecht der Grafen von Bregenz stammende **Gebhard II.** Auf diesen beiden Bischöfen von überragender Bedeutung baut sich in der Folgezeit die wesentliche Tradition des bischöflichen Stuhles von Konstanz auf; sie sind auch die einzigen Konstanzer Bischöfe, die später als Heilige verehrt werden.

Empörungen der Herzöge gegen den König und damit Spaltungen Schwabens in zwei Parteien blieben auch in der Folgezeit nicht aus. Genannt sei die trotz vielseitiger guter Ratschläge und Vermittlungsversuche bis zum bitteren Ende im Jahre 1030 fortgesetzte Empörung Herzog Ernsts II. gegen seinen Stiefvater, Kaiser Konrad II. Besonders gefährlich wurde die Situation, als sich die Spannungen zwischen König und Herzog mit denen zwischen König und Papst im Rahmen des **Investiturstreites** verquickten. Obwohl König Heinrich IV. dank seinem Gang nach Canossa 1077 die Befreiung vom Kirchenbann durch Papst Gregor VII. erreicht hatte, wählten seine Gegner kurz darauf den Grafen Rudolf von Rheinfelden, Herzog von Schwaben, zum Gegenkönig. Durch zwei Jahrzehnte sollten nun Tod und Verwüstung durch die deutschen Lande ziehen. Nirgends aber prallten die Gegensätze so hart aufeinander, nirgends wurde so haßerfüllt und verbissen gekämpft wie in Schwaben, vor allem in dessen geistigem Zentrum, dem Bodenseeraum. Dabei traten nicht nur weltliche, sondern auch geistliche Herren als Führer des Kampfes hervor, besonders der königstreue St. Galler Abt Ulrich III., und der zur Gegenseite zählende Bischof Gebhard III. von Konstanz. Erst 1096 kam es zum allgemeinen Friedensschluß in Schwaben, und 1122 schließlich zum Ende des Investiturstreits zwischen König und Papst durch das Wormser Konkordat.

Den Titel eines Herzogs von Schwaben hatten seit 1079 Friedrich I. von **Hohenstaufen** und seine Nachkommen inne; aber ihre Hausmacht und ihr Einfluß beschränkten sich auf den Nordosten des schwäbischen Raumes. Im Südwesten hatten die Zähringer das Gebiet von der Ortenau bis zum Zürichsee in der Hand; zwischen Donau und Bodensee besaßen die Welfen die unbestrittene Herrschaft. So waren drei politische Schwerpunkte entstanden, jeder in der Hand eines herzoglichen Geschlechts, gestützt auf eine zahlreiche Dienstmanschaft und die Schirmherrschaft über bedeutende Klöster. Die Gegensätze führten insbesondere zwischen Welfen und Staufern zu langen und heftigen kriegerischen Auseinandersetzungen, welche die Stäuffer nach sehr wechselvollem Verlauf schließlich zu ihren Gunsten entscheiden konnten. Mit Konrad III. war 1138 zum erstenmal ein Staufer von der Mehrheit der deutschen Fürsten zum König gewählt worden. Nach seinem Tode 1152 einigten sich die beiden großen Parteien der Staufer und der Welfen rasch auf seinen Neffen, den Schwabenherzog Friedrich III., als Nachfolger. Er war vom Vater her Staufer, von mütterlicher Seite aber Welfe und hatte bereits als Vermittler zwischen Welf VI. und König Konrad die Auf-

merksamkeit auf sich gezogen. Als Kaiser Friedrich I. Barbarossa ist er in die Geschichte eingegangen.

Unter **Barbarossas** Regierung wird das Römische Kaisertum Deutscher Nation die unbestrittene Vormacht Europas. Aus der Herrschaft über Deutschland, Italien und Burgund erwachsen noch einmal wie zu den Zeiten der Karolinger und der Ottonen die Ansätze zu einem gesamt-abendländischen Denken, im politischen Bereich ebenso wie im kirchlichen und im kulturellen. Dabei hat Barbarossa den Bodenseeraum erstmals in die staufische Interessensphäre einbezogen. Zu Beginn seiner Regierung lag kein staufischer Besitz in weitem Umkreis des Sees; als er 1190 auf dem Kreuzzug in Kleinasien starb, waren die Stauer bei weitem die mächtigsten Herren im Bodenseeraum. Dieses Gebiet war als wichtigster Zugang vom schwäbischen Hausbesitz Barbarossas zu den Pässen Graubündens von größter Bedeutung. Von hier aus führte durch das Rheintal der kürzeste Weg hinüber zur Lombardei, wo des Staufers treueste Parteigänger und erbitterteste Feinde saßen. Aus diesem Grunde hat Barbarossa auch die südlichen Ausgänge der Bündnerpässe, Chiavenna und das Veltlin, zum Herzogtum Schwaben geschlagen, und aus diesem Grunde lag ihm daran, den Bodenseeraum unter seine unmittelbare Kontrolle zu bekommen. Dafür suchte und erreichte er die endgültige Aussöhnung mit den Zähringern und den Welfen. Mit besonderer Liebe hat er die Beziehungen zu Konstanz gepflegt, wo er seine Hoftage hielt, und wo wichtige politische Entscheidungen gefällt wurden. Seine zahlreichen Land- und Herrschaftserwerbungen im Bodenseeraum krönte Barbarossa schließlich durch den Vertrag mit Welf VI., der ihm das gesamte oberschwäbische Welfenerbe überließ.

So war im Verlauf von knapp zwei Jahrzehnten der Bodenseeraum ein fast völlig staufisches Herrschaftsgebiet geworden. Für diesen Komplex an Gütern und Rechten wurden nun feste staufische Stützpunkte geschaffen, vor allem **Städte**, als wichtigste um 1180 Überlingen. Bewußt gefördert wurde von den Stauern auch der niedere Adel, die Dienstmansschaft oder Ministerialität. Er stellte überall das Gerüst der Verwaltung dar und war unentbehrlich im Kriegsdienst. Der **Burgenbau** wurde charakteristisch für die Baugeschichte der Stauerzeit. Rund 250 Burgen gehörten schließlich zum staufischen Hausgut. Für die Ritterschaft des niederen Adels war der einfache Turm, allenfalls umgeben von Nebengebäuden, typisch, während der Hochadel sich viel ausgedehntere Anlagen schuf. Von beiden Typen gibt es heute noch eindrucksvolle Beispiele im Bodenseeraum.

Unter Barbarossas Sohn, Kaiser Heinrich VI., erreichte das Reich der Stauer seine größte Macht und Ausdehnung. Doch nach seinem Tod regte sich die Opposition erneut und wählte den Welfen

Otto von Braunschweig, Sohn Heinrichs des Löwen, zum Gegenkönig. König Philipp von Schwaben wurde 1208 ermordet. Nachdem Papst Innozenz III. den Kirchenbann über den Welfen ausgesprochen hatte, schickten die deutschen Fürsten Boten nach Sizilien und ließen Heinrichs siebzehnjährigen Sohn Friedrich auffordern, das Erbe seiner Vorfahren und des Reiches Krone zu übernehmen. Dieser brach 1212 von Sizilien nach Deutschland auf und erreichte im September den Bodenseeraum. König Otto zog ihm mit seinem Heer entgegen. Fast gleichzeitig langten sie vor den Toren von Konstanz an, wo Bischof Konrad dem Staufer die Tore öffnete, den drei Stunden später erschienenen Welfen jedoch nicht einließ. Damit war die Entscheidung gefallen. König Otto zog sich zurück, **Friedrich II.** begann seinen Siegeszug durch das Reich. Mit ihm zogen die Bischöfe von Chur und Konstanz, die Äbte von St. Gallen und Reichenau; ein Teil des Bodenseeadels begleitete ihn nach Mainz und Frankfurt, wo ihn die Fürsten feierlich zum deutschen König wählten. Unter ihm erlebte das Stauferreich seine letzte glanzvolle Periode, der jedoch keine lange Dauer beschieden war. Als Friedrichs junger Enkel **Konradin**, der 1267 im Bodenseeraum sein Heer zum Zug nach Süden gesammelt hatte, 1268 in Neapel öffentlich hingerichtet wurde, starb nicht nur der letzte Staufer, sondern auch der letzte Herzog von Schwaben.

Vom Interregnum bis zur Reformation

Als das Interregnum, die „kaiserlose, schreckliche Zeit“, 1273 mit der Wahl des aargauischen Grafen **Rudolf von Habsburg** zum deutschen König beendet wurde, stand zum erstenmal ein Vertreter jenes Geschlechtes an der Spitze des Reiches, das die kommenden Jahrhunderte in weiten Teilen der Welt prägen sollte. Die von Rudolf und seinen Nachkommen angestrebte Erneuerung des Herzogtums Schwaben scheiterte jedoch am Widerstand der Kurfürsten. So trat hier eine weitgehende **territoriale Zersplitterung** ein, denn nunmehr waren auch viele kleine Herren reichsunmittelbar. Dazu zählten neben dem **Adel** viele der in den vorhergegangenen Jahrhunderten zahlreich entstandenen **Klöster** sowie mit zunehmender Bedeutung die **Reichsstädte**. Letztere waren vor allem im 13. Jahrhundert aus vorangegangenen Marktflücken im Bodenseeraum in besonderer Dichte entstanden. In den Reichsstädten setzte sich die Entwicklung eines aus Bürgern bestehenden und von der Bürgerschaft gewählten Kollegiums, des Rates, zum entscheidenden politischen Organ erstmals durch. War zunächst nur ein kleiner Teil der Bürgerschaft, das **Patriziat**, wahl- und mit-spracheberechtigt, so änderte sich dies mit der Entstehung der **Zünfte**, berufsständischer Korporationen, denen bis auf wenige Ausnahmen jeder Bürger entsprechend seinem Stand und Gewerbe beitreten mußte. Im 14. Jahrhundert gewannen die Zünfte in allen Reichsstädten des Bodenseeraum-

mes, teilweise erst nach heftigen Auseinandersetzungen, ein Mitwirkungsrecht im Rat und Gericht, teilweise sogar ein Übergewicht.

Besonders wichtig war der Reichsstadt-Status für die äußeren Beziehungen der Städte. Nur Reichsstädte konnten eine eigene Außen- und Wirtschaftspolitik betreiben, Bündnisse schließen und wieder auflösen. Solche **Bündnisse** zwischen den Städten wurden im 13. und 14. Jahrhundert immer wieder geschlossen; am häufigsten beteiligt waren Konstanz, St. Gallen, Lindau, Überlingen, Buchhorn, Ravensburg und Wangen. Zielsetzung dieser Bündnisse war in erster Linie die Erhaltung des Landfriedens, vor allem wegen des von den Bürgern betriebenen **Handels**. Wichtige Handelsgüter waren das aus Bayern, Tirol und dem Salzkammergut stammende Salz, das Getreide aus Oberschwaben, der Wein und insbesondere das rings um den Bodensee hergestellte Leinen. Der Handel mit Leinen bildete auch die wichtigste Grundlage der von 1380 bis 1530 bestehenden „Großen Ravensburger Handelsgesellschaft“, des größten wirtschaftlichen Unternehmens Oberdeutschlands im Spätmittelalter, dessen Niederlassungen sich von Italien und Spanien über Frankreich und Belgien bis nach Österreich und Ungarn erstreckten.

Nach dem Sieg Rudolfs über König Ottokar von Böhmen (1278) verlagerte sich das politische Schwergewicht in Deutschland nach Osten. Rudolf verlieh das als erledigtes Reichslehen an das Reich gefallene Herzogtum Österreich an seinen ältesten Sohn Albrecht. Der bisherige habsburgische **Hausbesitz** im Aargau und Thurgau, im Elsaß, im Schwarzwald und am Bodensee erschien nun gering gegenüber dem großen, geschlossenen und festgefügt Lande; und dieses Land sollte der Ausgangspunkt zu weiteren Erwerbungen von ähnlichen Ausmaßen werden. Von nun an ruhte die Macht Habsburgs auf zwei ungleichen Säulen, dem von den Vogesen bis zum Bodensee verstreuten Altbesitz im Westen und dem großen geschlossenen Territorium im Osten. Bald wurden die Begriffe „Haus Habsburg“ und „Haus Österreich“ gleichgesetzt; und später sollte für das Land, von dem einst Rudolf seinen Ausgang genommen hatte, der etwas geringschätzig Ausdruck „**Vorlande**“ üblich werden. Doch auch hier suchte Rudolf seine Macht zu stärken. Nachdem sich die angestrebte Wiedereinrichtung des Herzogtums Schwaben nicht verwirklichen ließ, bestellte er aus zuverlässigen Getreuen Landvögte, die im Namen des Reiches die noch vorhandenen Rechte wahrnehmen, die Besitzungen verwalten und entfremdetes Gut nach Möglichkeit zurückgewinnen sollten. Das andere Mittel war die Ausdehnung der eigenen Hausmacht, vor allem beiderseits des Bodensees, durch Erbschaft und günstige Käufe.

Ein großes Anliegen war Rudolf die Sicherung des allgemeinen Friedens. Im Jahr 1281 ließ er von Konstanz aus einen „oberschwäbischen Landfrieden“ verkünden und zog in den folgenden Jahren selbst durch das Land, um die Burgen der Landfriedensbrecher zu zerstören. Doch die darauf folgenden friedlichen Regierungsjahre nahmen mit Rudolfs Tod 1291 ein jähes Ende. Sofort brach rings um den Bodensee gegen den zum Nachfolger ausersehenen Sohn Rudolfs, den wenig beliebten Albrecht von Habsburg, ein allgemeiner Aufstand aus, in dessen Verlauf der Bischof von Konstanz die Reichsstadt Buchhorn zerstörte.

Zunächst weniger spektakulär, aber für die kommenden Jahrhunderte ungleich folgenreicher war der im selben Jahr geschlossene **ewige Bund der drei Waldorte**, der reichsfreien Talschaft Uri mit denen von Schwyz und Unterwalden. Bis zur Bildung der Schweiz in ihren heutigen Grenzen sollten allerdings noch einige unruhige Jahrhunderte vergehen, in deren Verlauf die Eidgenossen sich in zahlreichen Kämpfen von der Herrschaft der Habsburger und des Reiches lösten und ihren eigenen Herrschaftsbereich nahezu auf das ganze Südufer des Bodensees ausdehnten. Im Zuge dieser Entwicklung, in die zeitweilig auch Gebiete jenseits des Sees und Rheins einbezogen waren, wechselten mehrfach die Fronten. So schloß die mächtige **Reichsstadt Zürich**, die sich 1351 mit den Eidgenossen verbündet hatte, in späteren Jahren Bündnisse mit Österreich, was zu mehreren kriegerischen Auseinandersetzungen mit den Innerschweizern einschließlich der Belagerung der Stadt führte. Besonders unruhig war es auch in der Nordostschweiz, wo sich aus einem lokalen Konflikt der Appenzeller Bauern und der Bürger der Stadt St. Gallen mit dem Abt die **Appenzeller Wirren** entwickelten, in deren Verlauf es nach entscheidenden Siegen der Appenzeller und ihrer Verbündeten gegen den Bodensee-Städtebund und die Österreicher kurzzeitig zu einem „Bund ob dem See“ kam, der sich bis über den Arlberg und ins Allgäu ausdehnte, bereits nach zwei Jahren aber unter dem vereinten Druck des Adels, der Bischöfe von Konstanz und Augsburg und der Stadt Konstanz wieder zusammenbrach.

In all diesen bewegten Zeiten war **Konstanz** wiederholt der Ort, wo sich die verfeindeten Parteien zu Verhandlungen trafen, wo Vermittlungsversuche stattfanden und Frieden geschlossen wurden. Das herausragende Konstanzer Ereignis jener Zeit aber war zweifellos das von 1414 bis 1418 hier tagende **Konzil**, mit dem der Bodenseeraum ein letztes Mal in seiner Geschichte zum Schauplatz weltpolitischer Geschehnisse wurde. Das wichtigste Ergebnis des Konzils war die **Beendigung der Kirchenspaltung**, des Schismas, durch die Absetzung bzw. Abdankung der drei rivalisierenden Päpste und die Wahl eines einzigen neuen Papstes. Wesentlich bekannter geworden ist das Konzil durch die 1415 erfolgte Verbrennung des als Ketzer verurteilten tschechischen Theologen **Johannes**

Hus. Viel weniger bekannt ist, daß neben diesen kirchlichen Ereignissen während des Konzils auch zahlreiche weltliche Angelegenheiten behandelt wurden. Davon war **die Belehnung des Nürnberger Burggrafen Friedrich von Hohenzollern mit der Mark Brandenburg** durch König Sigismund nicht das auffälligste, wohl aber das folgenschwerste Ereignis, durch das die Hohenzollern in den Stand gesetzt wurden, in den kommenden 500 Jahren zunehmend in die europäische Geschichte einzugreifen - mehrfach triumphierend über das ihnen stammesverwandte, ebenfalls ursprünglich schwäbische Kaiserhaus der Habsburger.

Die Gunst des Luxemburgers Sigismund hatte sich der Nürnberger Burggraf durch treue Dienste erworben, zuletzt als Feldhauptmann gegen den während des Konzils in die Reichsacht erklärten Herzog Friedrich IV. von Österreich, der sich mit dem abgesetzten Papst Johann XXIII. verbunden hatte. Dadurch brach die österreichische Herrschaft zwischen dem Aargau und dem Schwarzwald zunächst völlig zusammen. Erst im Jahr 1425 konnte der Herzog den größeren Teil der alten habsburgischen Besitzungen zurückerhalten. Vieles blieb jedoch für alle Zeiten verloren, darunter auch der Aargau mit der **Habsburg**, der Stammburg des Geschlechtes. Das Jahr 1415 war für den vorderösterreichischen Besitz wesentlich schlimmer als die bekannten Schlachten bei Sempach 1386 und bei Morgarten 1315.

Eine Wende trat ein, als nach dem Tod König Sigismunds 1437 wieder ein Vertreter des Hauses Habsburg zum Nachfolger gewählt wurde. Jetzt konnte die Wiedererrichtung **Vorderösterreichs** eingeleitet werden, die allerdings nur noch nördlich des Sees von längerem Erfolg gekrönt war, nachdem am Ende des sog. Schwaben- oder Schweizerkrieges 1499 auch Schaffhausen und Basel sich endgültig dem eidgenössischen Bund anschlossen, womit dieser die Rheingrenze erreicht und teilweise sogar überschritten hatte. Auch Konstanz hatte insgeheim Verhandlungen mit den Eidgenossen über einen Beitritt aufgenommen, doch wurde dies 1510 durch das persönliche Eingreifen Kaiser Maximilians, der schon 1507 einen glanzvollen Hoftag zu Konstanz gehalten hatte, vereitelt.

Von der Reformation bis zum Ende des alten Reiches

Die Reformation im Bodenseeraum wurde wesentlich von dem **Züricher Reformator Huldrych Zwingli** beeinflusst, dessen Wirken nicht nur den größten Teil der Nordschweiz für den neuen Glauben gewann, sondern dessen Ideen zunächst auch nördlich des Sees weitere Verbreitung fanden als die Lehre Luthers. Daß die Reformation Zwinglis dem **Bauernkrieg** von 1525 wesentliche Impulse

verlieh, steht außer Zweifel. Hinzu kam der nicht geringe Eindruck, den das Beispiel der schweizerischen Bauernheere, insbesondere der Appenzeller, bei ihren vorangegangenen Freiheitskämpfen in der Nachbarschaft hinterlassen hatte. Deshalb verwundert es nicht, daß der Bauernkrieg, der den Bauern die Befreiung von der Leibeigenschaft und vielerlei anderen Abhängigkeiten bringen sollte, vom Hochrhein, Bodensee und dem Allgäu aus seinen Anfang nahm. Als der Aufruhr ganz Südwestdeutschland ergriffen hatte, schritt der Schwäbische Bund, der eine Vielfalt von kleinen und kleinsten politischen Organismen zusammenfaßte, dagegen ein. Feldhauptmann war Truchseß Georg von Waldburg, genannt der „Bauernjörg“, der sowohl durch sein hartes Vorgehen, wie auch durch geschickte Diplomatie rasch Herr der Lage wurde. Auffallend ist, daß er seine eigenen Untertanen milder behandelte, ebenso die Mitglieder des „Seehaufens“, soweit sie sich an den mit ihm geschlossenen Weingartener Vertrag hielten.

Die Niederlage der Bauern war zweifellos eine wichtige Ursache dafür, daß die Reformation in Oberschwaben nur sehr begrenzt Fuß fassen konnte. Die einzigen Herrschaftsgebiete, in denen sie zum Tragen kam, waren die **Reichsstädte**, doch ergab sich auch hier kein einheitliches Bild. Während einige, wie beispielsweise Lindau, rein protestantisch wurden, entwickelten sich in anderen, wie in Ravensburg, paritätische Verhältnisse; wieder andere, wie Überlingen, verblieben beim alten Glauben. Besonders kompliziert gestalteten sich die Verhältnisse in **Konstanz**. Die Stadt, die sich bereits im 13. Jahrhundert aus der Herrschaft des Bischofs gelöst hatte und zur freien Reichsstadt geworden war, wurde zu einem Zentrum der Oberdeutsch-Schweizer Reformation, was Bischof und Domkapitel zwangen, ihren Sitz nach Meersburg zu verlegen. Doch nach dem für die protestantische Seite unglücklichen Ausgang des Schmalkaldischen Krieges (1546/47) verlor Konstanz seine Reichsfreiheit, wurde zur vorderösterreichischen Landstadt und rekatholisiert, womit sowohl dem Vordringen der reformatorischen Lehre aus der Schweiz als auch einer Hinwendung der Stadt zur Eidgenossenschaft entgegen gewirkt wurde. Der Bischof blieb weiterhin in Meersburg.

Der **Dreißigjährige Krieg** berührte den Bodenseeraum zunächst nur wenig, doch ab 1632 war er 16 Jahre lang Schauplatz kriegerischer Auseinandersetzungen kaiserlicher, schwedischer und französischer Truppen. Dabei kam es zur Belagerung von Konstanz, Überlingen und Lindau. Dörfer und Burgen gingen in Flammen auf, darunter noch im Jahr vor Kriegsende die Ravensburg, einst welfisches und staufisches Machtzentrum in Oberschwaben und danach Sitz der österreichischen Landvögte in Schwaben. Schlimmer als die eigentlichen Kriegshandlungen lasteten die Einquartierungen und Kontributionen der wechselnden Besatzungsmächte, das Rauben, Morden und Brandschatzen marodierender Soldaten sowie eingeschleppte Seuchen, insbesondere die Pest, auf dem

Land. Eine starke Entvölkerung war die Folge; auch der Viehbestand war weithin vernichtet, die Felder brachgefallen. Die Städte, schon im 16. Jahrhundert durch die Verlagerung der Fernhandelswege beeinträchtigt, konnten den Niedergang zum großen Teil erst im 19. Jahrhundert aufholen.



Abb. 2: Das kleinräumige Mosaik reichsunmittelbarer Territorien im Bodenseeraum um 1789 (aus WELLER und WELLER 1971)

Politisch brachte der **Westfälische Frieden** von 1648 u. a. die endgültige Anerkennung der **Unabhängigkeit der Schweiz** durch das Reich. Nördlich des Sees bestand der „Fleckerlteppich“ aus kleinen Herrschaftsgebieten weiter (Abb. 2), doch hatte Österreich eine beherrschende Stellung inne. Wenn auch **Vorderösterreich** selbst ein aus zahlreichen von einander getrennten „Fleckerln“ bestehendes Gebilde war, so war es als Ganzes doch das weitaus größte einheitlich regierte Territorium, dessen Einfluß sich die dazwischen eingestreuten nominell reichsfreien Herrschaften nicht entziehen konnten. Dieser Einfluß war für die Stabilisierung des Katholizismus zweifellos von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Eng verbunden mit der **Gegenreformation** ist die **Barockisierung Oberschwabens**. „Barock ist der Stil der Gegenreformation, ist Kunst gewordene Ideologie: In gewollter Absetzung zum Protestantismus mit seiner Bezogenheit auf das Wort, auf die Heilige Schrift ... setzte die gegenreformatorische Strategie zur inneren Rückgewinnung vom Protestantismus gefährdeter Gebiete auf die menschlichen Sinne. Der Mensch sollte nicht belehrt, sondern

ergriffen werden“ (WEHLING 1995). Deshalb finden wir die eindrucksvollsten Schöpfungen des Barock in diesem Landstrich nicht in profanen, sondern in kirchlichen Bauten, insbesondere denen der die Gegenreformation tragenden Klöster.

19. und 20. Jahrhundert

Die kleinstaatliche Vielfalt unter der Vorherrschaft Österreichs hatte nach dem Westfälischen Frieden noch rund 150 Jahre lang Bestand. Doch dann brachen diese Strukturen innerhalb weniger Jahre unter den Folgen der Französischen Revolution völlig zusammen. Der **Reichsdeputationshauptschluß** von 1803 bestimmte die Auslöschung der geistlichen Reichsstände (**Säkularisation**) und die Aufhebung der Reichsunmittelbarkeit der Reichsstädte und kleineren Adelherrschaften (**Mediatisierung**), um mit diesen Gebieten die größeren rechtsrheinischen deutschen Territorien für ihre in den Koalitionskriegen an Frankreich verlorenen linksrheinischen Besitzungen zu entschädigen. Davon wurde der Bodenseeraum entsprechend seiner politischen Struktur besonders betroffen. Zu den in ihren Besitzungen verbliebenen alteingesessenen Adelsgeschlechtern kamen nun neue hinzu, die von der Verfügungsmasse Besitz ergriffen und Klöster in Schlösser umwandelten. Doch auch sie konnten sich nur noch kurze Zeit ihrer Reichsunmittelbarkeit erfreuen. 1805 verzichtete Kaiser Franz auf die vorderösterreichischen Lande, die unter Bayern, Württemberg und Baden aufgeteilt wurden. **Bayern** und **Württemberg** wurden Königreiche, **Baden** Großherzogtum. Die drei Länder waren die gewichtigsten unter den sechzehn Mittel- und Kleinstaaten, die sich unter Napoleons Protektorat zum **Rheinbund** zusammenschließen mußten. Sie erhielten das Recht, alle in ihre Gebiete eingesprengten reichsunmittelbaren Fürsten und Grafen ihrer Souveränität zu unterwerfen. Nur das Haus Hohenzollern konnte seine politische Selbständigkeit behaupten.

Mit der Gründung des Rheinbundes hörte das alte Deutsche Reich auf; Franz II. legte am 6. August 1806 die deutsche Kaiserkrone nieder. In den Jahren 1809 und 1810 tauschten Bayern, Württemberg und Baden manche Gebiete gegenseitig aus und setzten damit die bis 1945 geltenden Grenzen fest. Nach der Niederwerfung Napoleons verzichtete Österreich in der Wiener Kongreßakte 1815 auf den Rückerwerb seiner schwäbischen Landschaften, abgesehen von Vorarlberg. Durch die Neugliederung gab es jetzt am nördlichen Bodenseeufer anstelle der bisherigen Zersplitterung nur noch drei staatliche Territorien (Abb. 3). Trotzdem war die **Spaltung** des Gesamtgebietes stärker als vorher, da die neuen Machthaber strikt auf die Respektierung ihrer Souveränität achteten. Zudem fehlte Vorderösterreich als verbindende Klammer. Und schließlich entfiel auch die Einheit des

katholischen Bistums, als in Anpassung an die neuen Landesgrenzen 1827/28 das **Erzbistum Freiburg** und das **Bistum Rottenburg** neu entstanden, das 1200jährige Bistum Konstanz, einst das größte im Deutschen Reich, jedoch sang- und klanglos ausgelöscht wurde.

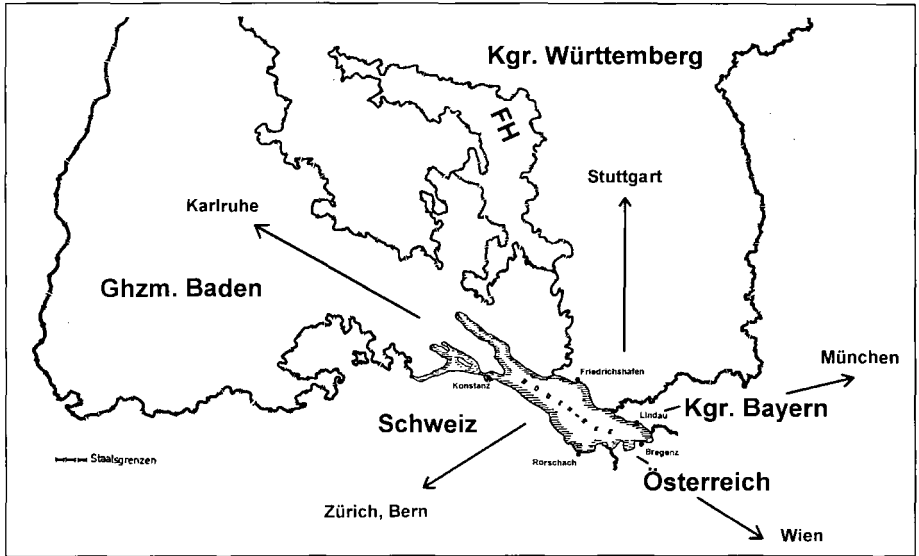


Abb. 3: Die Bodensee-Anrainerstaaten nach 1810 (FH = Fürstentümer Hohenzollern)

Die drei neuen Anrainerstaaten hatten ihre politischen und wirtschaftlichen Zentren weitab vom See. Doch suchten sie auch hier Präsenz zu zeigen; am deutlichsten König Friedrich I. von Württemberg, der die ehemalige Reichsstadt Buchhorn mit dem ehemaligen Kloster Hofen zur Stadt **Friedrichshafen** vereinigte und diese zur Sommerresidenz der württembergischen Könige machte. Doch kann dies nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Bodenseeraum - von allen Seiten betrachtet - in eine **Randlage** geraten war. Die wesentlichen Entscheidungen fielen in den Hauptstädten, und dorthin mußte man sich auch am See orientieren (Abb. 3). Sehr deutlich wurde dies später auch beim Bau der Eisenbahnen, der bevorzugt die Verbindungen zu den Hauptstädten herstellte.

Die Neugliederung erfolgte auf rechtlicher Grundlage, aber es war das von Napoleon erzwungene Recht des Stärkeren. Die Bevölkerung mußte deshalb die neuen Herren als Aggressoren empfinden, und das Verhalten der Administration in den ersten Jahren verstärkte diesen Eindruck. Noch heute erinnert man sich mit Bitterkeit der „Beutekunst“, die damals von Staats wegen in die Landeszentren abtransportiert wurde, soweit sie nicht in den Jahren unmittelbar davor verschleudert worden

war. In Württemberg kam erschwerend hinzu, daß das weitgehend katholische Oberschwaben nun von Beamten aus dem pietistisch geprägten, rein protestantischen **Altwürtemberg** verwaltet wurde. Besonders ablehnend gegen das neue Regime verhielten sich verständlicherweise die Vertreter des mediatisierten oberschwäbischen Adels. Sie genossen zwar als „**Standesherrn**“ zahlreiche Privilegien, konnten sich aber mit dem Verlust ihrer Souveränität nur schlecht abfinden. Darum ist der oberschwäbische Adel bis heute nicht nach Stuttgart, sondern nach Bayern und Österreich orientiert, während die übrige Bevölkerung sich letztlich dann doch zunehmend als Badener, Württemberger oder Bayer empfand - so sehr, daß es bei der Bildung des „Südweststaates“, des Bundeslandes **Baden-Württemberg**, im Jahre 1952 erhebliche Widerstände zu überwinden gab.

Doch bis dahin sollte es noch ein langer Weg sein, der die Badener und Württemberger trotz der Revolution von 1848 und dem von Konstanz ausgehenden „Heckerzug“ letztlich als treue Untertanen 1866 gemeinsam mit dem habsburgischen Österreich gegen das hohenzollerische Preußen, 1870/71 mit Preußen gegen Frankreich in ein neues **Deutsches Reich** unter seinem Hohenzollernkaiser, 1914 - 18 gemeinsam mit Österreich in den **Ersten Weltkrieg** und den Untergang der Monarchien und schließlich 1939 - 45 mit Österreich unter einem Diktator im Großdeutschen Reich vereint in die Katastrophe des **Zweiten Weltkrieges** führte, während südlich des Sees der demokratisch verfaßte Bundesstaat der **Schweiz** seine **Neutralität** wahren konnte. In den Kriegs- und Nachkriegsjahren trennte die von beiden Seiten streng bewachte deutschschweizerische Grenze quasi zwei Welten. Besonders krass machte sich dies zwischen Konstanz und dem unmittelbar benachbarten Kreuzlingen bemerkbar.

Inzwischen ist seit dem Ende des Krieges mehr als ein halbes Jahrhundert vergangen, eine Zeit des Friedens, wie sie in dieser Dauer dem Bodenseeraum im Lauf seiner Geschichte nicht allzu oft beschieden war. Dies ermöglichte auch hier einen wirtschaftlichen Aufschwung, wie er in diesem Ausmaß angesichts des Tiefstandes der unmittelbaren Nachkriegszeit kaum vorstellbar war. Eine wichtige Voraussetzung dafür war zweifellos die nach den Jahren der Abriegelung sukzessiv einsetzende Öffnung der Grenze. Die stimulierende Wirkung blieb jedoch nicht nur auf **Handel, Gewerbe und Fremdenverkehr** begrenzt, sondern erstreckte sich auch auf **Wissenschaft, Kunst und Kultur**. Davon zeugen die auf hohem Niveau stehenden Konzert- und Theaterveranstaltungen rund um den See ebenso wie die internationalen Kongresse, von denen namentlich das alljährliche Treffen der Nobelpreisträger in Lindau genannt sei. Und nicht zuletzt waren es die Aufgaben einer Integration über Grenzen hinweg, die den damaligen baden-württembergischen Ministerpräsidenten Kurt Georg Kiesinger 1961 bewogen, Konstanz als Sitz einer neuen **Universität** vorzuschlagen.

Literaturverzeichnis

- BURKHARDT, M., W. DOBRAS und W. ZIMMERMANN (1991): Konstanz in der frühen Neuzeit - Reformation, Verlust der Reichsfreiheit, Österreichische Zeit (Geschichte der Stadt Konstanz, Bd. 3). Stadler, Konstanz.
- CHRISTLEIN, R. (1978): Die Alamannen - Archäologie eines lebendigen Volkes. - 180 S. - Theiss, Stuttgart und Aalen.
- DREHER, A. (1972): Geschichte der Reichsstadt Ravensburg. 2. Bde. zus. 884 S. - Anton Konrad Verlag, Weißenhorn.
- EITEL, P., und E. L. KUHN (Hrsg.) (1995): Oberschwaben - Geschichte und Kultur. - 242 S., Universitätsverlag Konstanz.
- FEGER, O. (1956 - 1963): Geschichte des Bodenseeraumes. Bd. 1 - 3, 270, 388 und 416 S. - Thorbecke, Konstanz - Lindau - Stuttgart.
- MAURER, H. (Hrsg.) (1982): Der Bodensee. - Landschaft - Geschichte - Kultur. - 674 S. - Thorbecke, Sigmaringen (identisch mit Bd. 99/100 der Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 1982).
- MAURER, H. (1989): Konstanz im Mittelalter. Bd. I: Von den Anfängen bis zum Konzil. Bd. II: Vom Konzil bis zum Beginn des 16. Jahrhundert. (Geschichte der Stadt Konstanz, Bd. 1 und 2) - Stadler, Konstanz.
- MAURER, H. (1991): Schweizer und Schwaben - Ihre Begegnung und ihr Auseinanderleben am Bodensee. - Stadler, Konstanz.
- SCHLICHTHERLE, H. (1990): Siedlungsarchäologie im Alpenvorland I. Befunde und Funde zum frühen Jungneolithikum am westlichen Bodensee. - Theiss, Stuttgart.
- SCHOTT, D., und W. TRAPP (Hrsg.) (1984): Seegründe - Beiträge zur Geschichte des Bodenseeraumes. - 398 S. - Drumlin Verlag, Weingarten.
- TADDEY, G. (Hrsg.) (1977): Lexikon der deutschen Geschichte. - Personen - Ereignisse - Institutionen. Von der Zeitwende bis zum Ausgang des 2. Weltkrieges. - 1352 S. - Kröner, Stuttgart.
- WEHLING, H.-G. (Hrsg.) (1995): Oberschwaben. - Schriften zur politischen Landeskunde Baden-Württembergs, Bd. 24, hrsg. von der Landeszentrale für politische Bildung von Baden-Württemberg. 240 S. - Kohlhammer, Stuttgart.
- WELLER, K., und A. WELLER (1971): Württembergische Geschichte im südwestdeutschen Raum. - 392 S. - Theiss, Stuttgart und Aalen.



Landnutzung im Bodenseeraum

von

F. Weller¹

Einführung

Die standörtliche Vielfalt des Bodenseeraumes (vgl. Abschnitt „Standortgliederung“) ermöglicht bzw. erfordert eine darauf abgestimmte vielseitige landbauliche Nutzung. Die Skala reicht von intensiven Sonderkulturen über Äcker, Grünland und Wälder bis zu extensiv oder nicht genutzten Moor- und Riedflächen. Dabei machen sich sowohl regionale (vor allem klimatische) als auch lokale (vor allem edaphische) Unterschiede bemerkbar. Das Ergebnis der Anpassung ist im Laufe der Zeit einem mehr oder weniger starken Wandel unterworfen - je nach den Bedürfnissen der Menschen, aber auch nach dem Stand ihrer Kenntnisse, technischen Hilfsmittel, Nutzpflanzen und -tiere sowie ihrer Betriebsstrukturen und ihrer immer stärkeren marktwirtschaftlichen und agrarpolitischen Verflechtungen.

Die landwirtschaftliche Erschließung

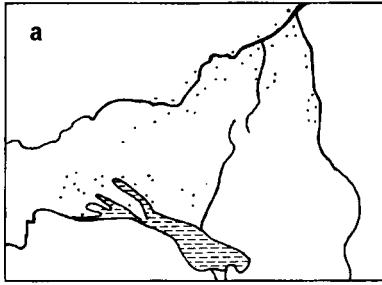
Wie in anderen mitteleuropäischen Gebieten setzt auch im Bodenseegebiet die **neolithische Landwirtschaft** gezielt auf den für den Ackerbau günstigsten Standorten ein. Das waren hier die Parabraunerden und ähnlich gut geeignete Böden im niederschlagsärmeren Westen (HASENFRATZ 1995, RÖSCH 1995, SANGMEISTER 1983, SCHLICHATHERLE 1990, SICK 1982). Diese neolithischen „**Siedlungskammern**“ waren auch in den folgenden Jahrtausenden Kerngebiete von Ackerbau und Siedlung und sind es bis heute geblieben. Sie sind seit langem weitgehend entwaldet. Für die zunehmende Bevölkerung späterer Epochen reichte die Produktion der alten Kerngebiete nicht mehr aus. Mehr und mehr mußten deshalb zusätzlich auch Bereiche mit ungünstigeren Standortbedingungen in die landwirtschaftliche Nutzung einbezogen werden. Dabei wurden Gebiete mit zwar nur mittel- bis flachgründigen, aber basenreichen, nicht vernässenden Böden bevorzugt, selbst wenn sie sich in höheren kühlen Lagen befanden. So verteilen sich beispielsweise die Fundplätze

¹ Karl-Erb-Ring 104, 88213 Ravensburg

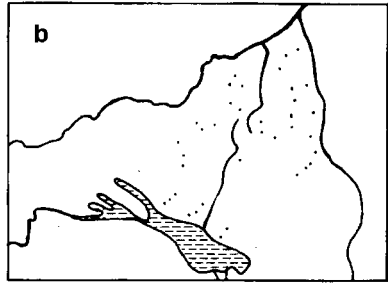
keltischer, römischer und **alamannischer** Höfe übereinstimmend weit über die alten Siedlungskammern hinaus bis in die kältesten Teile der Gäulandschaften (Baar) und auch auf die Höhen der Schwäbischen Alb und des Randens, während die basenärmeren Böden des Schwarzwaldes mit ganz wenigen Ausnahmen selbst in dessen wärmeren Teilen in jenen Zeiten unbesiedelt blieben. Im Alpenvorland konzentrierten sich die Siedlungen neben dem westlichen Bodenseegebiet auf den ebenfalls niederschlagsarmen Donaoraum, während der niederschlagsreiche Südosten trotz mineralreicher Böden nahezu siedlungsfrei blieb (entsprechende Übersichtskarten bei BITTEL et al. 1981, PLANCK 1986, CHRISTLEIN 1978).

Die von den **Alamannen** bei der **Landnahme** gegründeten Dörfer sind häufig noch an den Namen zu erkennen. Sie tragen die Endung -ingen in Verbindung mit einem Personennamen; die Endung -heim deutet auf den Einfluß der Franken nach Unterwerfung der Alamannen hin. Die Verbreitung dieser beiden ältesten Gruppen zeigt innerhalb des südwestdeutschen Alpenvorlandes deutlich die beiden Schwerpunkte im westlichen Bodenseegebiet und im Donaoraum (Abb. 1 a). Etwas später kamen die -dorf-Namen dazu, bei weiterem **Ausbau** die Endungen auf -hofen, -hausen, -beuren, -stetten und -weiler (Abb. 1 b + c). Östlich von Schussen und Thur setzte die großflächige **Rodung** der Waldgebiete erst während des Hochmittelalters (8. - 13. Jh.) voll ein. Im südöstlichen Oberschwaben tragen diese Rodesiedlungen sehr häufig die schon in der Ausbauezeit gebräuchlichen Endungen -hofen oder -weiler, oft mit den Personennamen der Gründer verbunden; teilweise erscheint auch nur der im Genitiv stehende Personenne. Direkte Hinweise auf den Vorgang der Rodung geben die Ortsnamendungen -reute und -schwand (Abb. 1 c).

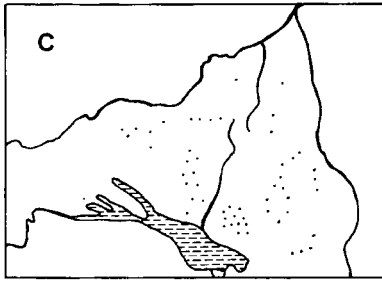
„Die Siedlungen des Südostens unterschieden sich von denen des Nordwestens nicht nur durch ihr Alter. Die Landnahmesiedlungen wurden vermutlich von Stammesverbänden angelegt und gemeinschaftlich im sogenannten Villikationssystem organisiert. In den jungen Rodesiedlungen wurden hingegen von den weltlichen und geistlichen Grundherren, die vom Reich die Verfügung über große, noch unerschlossene Gebiete erhalten hatten, Individualbesitz an die Bauern vergeben. Stellenweise verlieh das Reich selbst Land, so an die Freien Bauern auf der Leutkircher Heide. Auch in der Form zeigen sich Unterschiede. Bedingt sowohl durch die individuelle Landzuteilung wie durch die bewegteren Geländeformen blieben im Südosten die verstreuten Kleinsiedlungen landschaftsbestimmend, im Gegensatz zu den größeren Dörfern des Nordwestens, wo der Bauer viel stärker der Gemeinschaft eingeordnet war“ (SICK 1982).



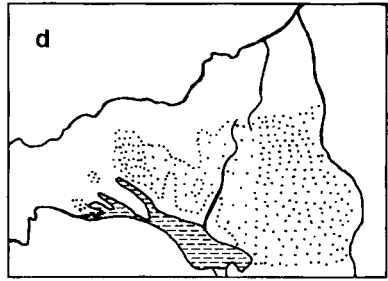
-ingen, -heim



-dorf, -stetten, -hausen, -beuren



-hofen, -weiler, -reut,
genetivische Form



Bereich der Vereinödung

Abb. 1: Verteilung typischer Ortsnamenendungen verschiedener Siedlungsepochen im südwestdeutschen Alpenvorland (nach KÖHLER 1971)

In einem langen Prozeß der Besiedlung entstand eine Dreigliederung: Das **Altsiedelland** des Hegaus und Klettgaus im Westen, das **Jungsiedelland** des Allgäus und der Voralpenlandschaften St. Gallens, Appenzells und Vorarlbergs im Osten und der **Übergangsraum** des Linzgaus, Schussengaus und Thurgaus in der Mitte.

„Diese Grundstruktur des Siedlungsbildes entstand, als der Bodenseeraum im Hochmittelalter Zentrum des Herzogtums Schwaben war. Im Spätmittelalter zerfiel er in zahllose Territorien und verlor an eigenständiger Bedeutung. ... In dieser Zeit ... Namentlich im 13. und 14. Jahrhundert wurden viele kleinere Orte zu **Wüstungen**“ (SICK 1982). Davon waren besonders die Altsiedelgebiete

betroffen; so verschwanden im Hegau 34 % der bisherigen Siedlungen (TESDORPF 1972). Die Bevölkerung wanderte in die Städte ab oder konzentrierte sich in den größeren Dörfern.

Einen entgegengesetzten Prozeß stellt die sog. **Vereinödung** dar, eine von den Bauern selbst beschlossene frühe Form der Flurbereinigung und Aussiedlung. Sie hatte schon im 16. Jahrhundert im Gebiet der Reichsabtei Kempten begonnen und breitete sich zunächst in Bayerisch-Schwaben und nach Vorarlberg aus, ehe sie um 1700 auf das heutige Oberschwaben übersprang und sich bis westlich des Schussenbeckens fortsetzte (Abb. 1 d). „Die Vereinödung war nach der Rodung der Vorgang, der die Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur im nördlichen Seegebiet am tiefgreifendsten umgestaltet hat. Sie fand ihre Fortsetzung in der modernen **Flurbereinigung**, die seit dem Ende des 19. Jahrhunderts durch Ländergesetze geregelt wurde und nun die altbesiedelten Dorfgebiete erfaßte, an denen die Vereinödung gescheitert war. So wurden vor und nach dem Zweiten Weltkrieg zahlreiche Gemarkungen im Hegau und nördlichen Oberschwaben bereinigt und durch Feldwegetze besser erschlossen. Der Grad der Arrondierung und die Zahl der Aussiedlungen blieben in den großen Dörfern jedoch viel geringer als bei den vereinödeten Kleinsiedlungen. Vorbildliche Erfolge erzielte die Güterzusammenlegung der Schweiz. ... Besonders große Fortschritte machte die von hohen staatlichen Zuschüssen (bis 80 % der Kosten) begünstigte Flurreform im Zweiten Weltkrieg, als die Schweiz isoliert und zu verstärkter Selbstversorgung und Rationalisierung der Agrarwirtschaft gezwungen war. Oft waren umfassende Wegbauten, Ent- oder Bewässerungsmaßnahmen und Aussiedlungen damit verknüpft (Gesamtmeliorationen)“ (SICK 1982).

Die Siedlungsformen

„Die **Ortsformen** des Bodenseeraumes“ (Abb. 2) „spiegeln die Phasen der Siedlungsgeschichte noch deutlich wieder. Im altbesiedelten Gebiet, d. h. am westlichen Seeufer, im Klettgau und Hegau, im nordwestlichen Thurgau und auch im Alpenrheintal bestimmen große Dörfer das Siedlungsbild. Meist sind es unregelmäßige Haufendörfer; in den Tälern treten auch Reihendörfer auf. Topographisch wird die Lage auf Schwemmfächern und Terrassen bevorzugt. ... Die Dörfer ... haben ihre Größe erst durch die Bevölkerungszunahme und die Entwicklung einer unterbäuerlichen Schicht seit dem Hochmittelalter erlangt; das stärkste Wachstum fällt in die letzten Jahrzehnte. So legt sich um den Kern der Haufen- oder Reihendörfer heute oft ein Ring mit Wohn- und Gewerhebauten an regelmäßigen Straßenzügen mit verstädertem Charakter.“

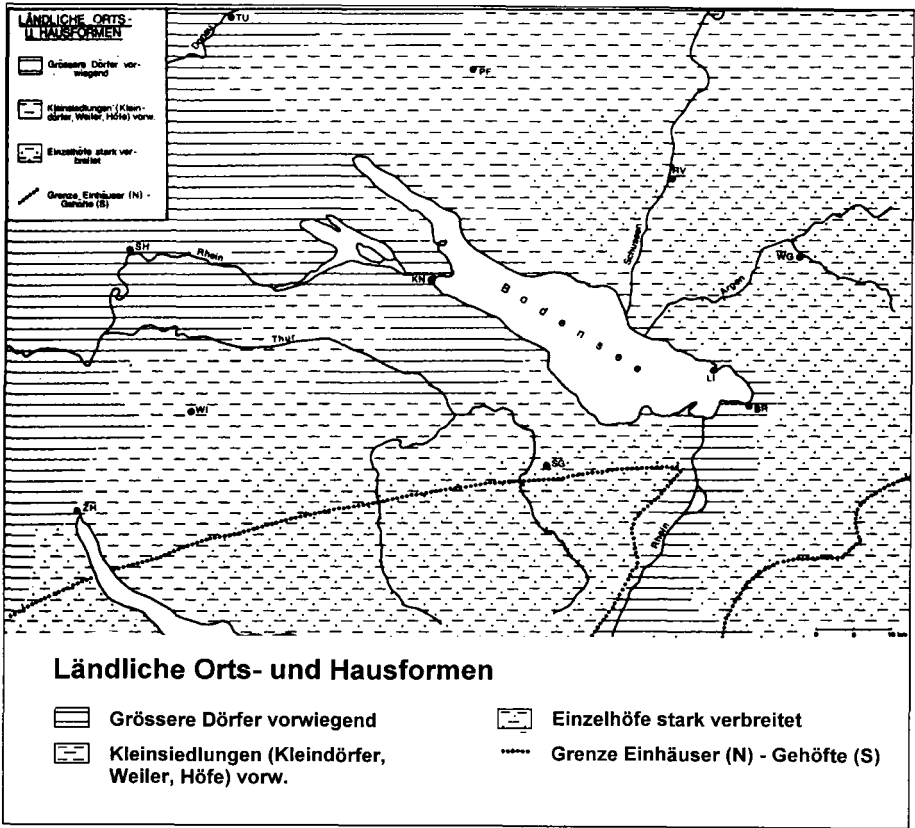


Abb. 2: Ländliche Orts- und Hausformen im Bodenseeraum (aus SICK 1982)

Im Linz- und östlichen Thurgau und im ... württembergischen Oberschwaben überwiegen neben Kleindörfern die Weiler, durchsetzt mit Einzelhöfen. Diese Siedlungsstruktur ist ... die Folge der stärkeren Reliefgestaltung und der späteren ausbau- und rodezeitlichen Erschließung; sie wurde durch die Vereinödung noch wesentlich verstärkt. Die verstreuten Kleinsiedlungen sind weithin bäuerlich geblieben, während sich Gewerbe und neutrale Dienstleistungen (Verwaltung, Kirche, Schule, Geschäfte und Verkehr) auf die größeren Dörfer in den Tälern konzentrierten. Die Bevölkerungsdichte ist geringer, die Siedlungsdichte jedoch wesentlich höher als im Dorfsiedlungsgebiet des Nordwestens.

Im Süden und Südosten, dem jüngst besiedelten und reliefreichsten Gebiet, sind schließlich die Einzelhöfe der letzten Ausbau- und Rodezeit beherrschend“ (SICK 1982).

Bei den **Hausformen** (Abb. 2) ist grundsätzlich zwischen dem Einhaus, bei dem alle Wohn- und Wirtschaftsteile unter einem Dach vereint sind, und dem Gehöft mit getrennten, um einen Hof angeordneten Gebäudeteilen zu unterscheiden. Beide Grundformen kommen im Gebiet in verschiedenen Varianten vor, die hier jedoch nicht im einzelnen behandelt werden können (Näheres bei BUCHMÜLLER 1982, 1988, ELLENBERG 1990, SACHS 1985). Im größten Teil des Bodenseeraumes, von der Alb bis zum Alpenrand und im Alpenrheintal, überwiegt das Einhaus mit quer zur Firstlinie laufender Anordnung von Wohnteil, Stall und Scheune. Geregelt, einen Hofraum geschlossen umgebende Gehöfte finden sich südlich des Sees in den Kantonen St. Gallen, Appenzell und im südlichsten Thurgau. Diese traditionellen Hausformen werden zunehmend durch moderne Anlagen mit städtischen Wohnbauten und rationellen Wirtschaftsgebäuden, inklusive Silotürmen, ersetzt, wobei vor allem bei den Aussiedlungen das Gehöft wieder bevorzugt wird.

So wie die Hausformen sind auch die **Flurformen** (Abb. 3) das Ergebnis einer langen wechselvollen Entwicklung. „In der heutigen Verbreitung lassen sich drei Flurformenzonen unterscheiden: Im Nordwesten (Hegau, Klettgau, Kt. Schaffhausen, westlicher Thurgau) überwiegt die stark parzellerte Gewinnflur mit schmalen Streifenverbänden und Besitzungen (Streifengemengflur). Im östlichen Hegau, im Linz- und Thurgau und in Teilen von Oberschwaben schließt sich ein weniger stark parzellierter Übergangsbereich an, in dem breitere Streifen und blockförmige Fluren vermischt auftreten (Block- und Streifenflur). Es folgt im südöstlichen württembergischen Oberschwaben, in Vorarlberg und in den Alpenkantonen der Schweiz das Gebiet vorherrschender Blockflur in geschlossenem Besitz (Blockeindöflur), nur im Alpenrheintal von Streifenfluren unterbrochen. Diese Verbreitung stimmt im ganzen mit dem Gang der Besiedlung überein, wobei Parzellierung und Gemengelage von den älter- zu den jüngerbesiedelten Räumen abnehmen. ... Die Ursachen dieser Entwicklung sind die Einführung der Dreifelderwirtschaft mit der Besitzverteilung auf die einzelnen Zelgen und Gewanne, die Aufteilung von Gutsland und die Realerteilung (Freiteilbarkeit)“ (SICK 1982).

Die Verbreitung der **Erbformen** (Abb. 3) mit Realteilung im Westen und geschlossener Vererbung (Anerbensitte) im Osten deckt sich heute im Bodenseeraum weithin mit den Bereichen der Gewinn- bzw. der Blockflur. Als Ursachen werden sowohl natürliche Standortunterschiede als auch der Einfluß der territorialen Zugehörigkeit genannt. Zudem hat sich der unterschiedliche Gang der Erschließung ausgewirkt. So wurde in den Altsiedelgebieten die germanische Rechtsauffassung mit der allgemeinen Erbberechtigung in der Dorfgemeinschaft aufrecht erhalten, während in den jünger besiedelten Rodegebieten die Grundherrschaft, die Individualbesitz zuteilte, an der Erhaltung der

Bauernlehen und damit an der geschlossenen Vererbung interessiert war. Am stärksten blieb die Kleinparzellierung bei den ertrags- und arbeitsintensiveren Spezialkulturen im Seeufergebiet (SICK 1982).

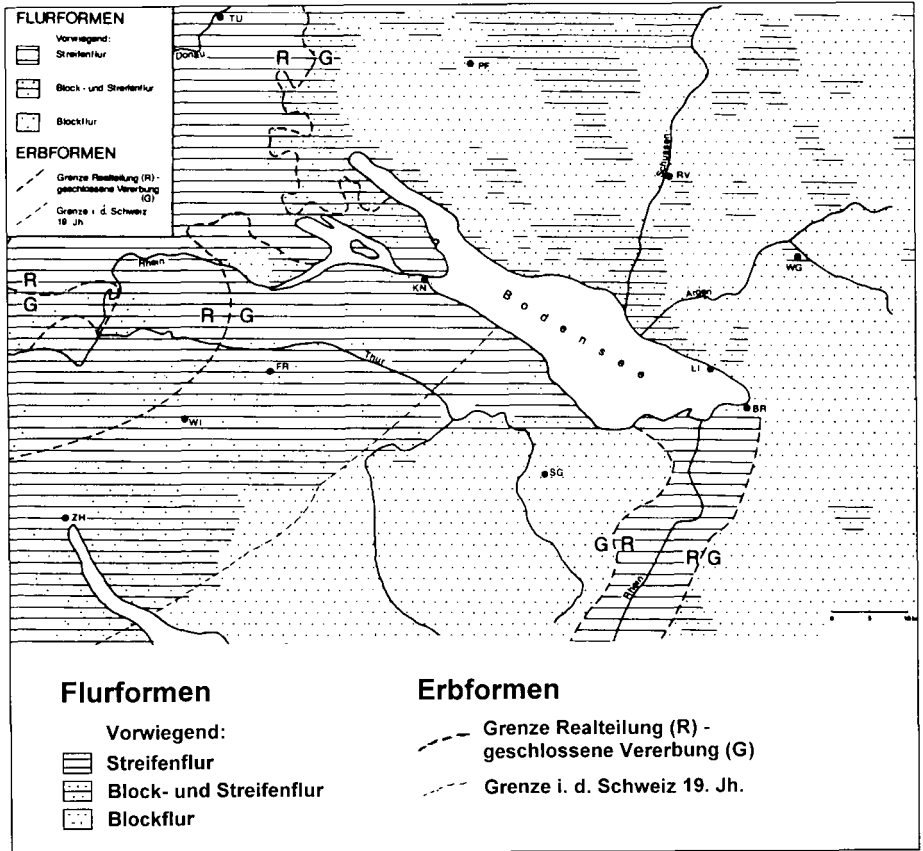


Abb. 3: Flur- und Erbformen im Bodenseeraum (aus SICK 1982)

Waldwirtschaft

Durch die landwirtschaftliche Erschließung wurde der Wald weit zurückgedrängt. Hinzu kam die Belastung der noch verbliebenen Wälder durch die in früheren Jahrhunderten weit verbreitete Waldweide und durch den Raubbau an Holz für vielerlei Zwecke. Dadurch waren die Wälder wie in anderen Teilen Europas auch weithin devastiert. Sie wurden erst durch eine gezielte Forstwirtschaft

und die damit verbundene strikte Trennung von Wald und Weide wieder aufgebaut (Näheres bei ELLENBERG 1996). Dabei kam es in Oberschwaben zu einer besonders starken „**Verfichtung**“, deren standörtliche Probleme 1947 zur Gründung einer Arbeitsgemeinschaft „Oberschwäbische Fichtenreviere“ führten, welche den Anstoß zur Entwicklung des Südwestdeutschen Verfahrens der Forstlichen Standortkunde gab (SCHLENKER 1964).

Der durchschnittliche **Waldanteil** an der Gesamtfläche Oberschwabens liegt heute bei etwa 30 % (SICK 1995). Deutlich höher ist er im Bergland der Allgäuer, Vorarlberger und Nordschweizer Voralpen, wo die landwirtschaftlich genutzten Flächen als Rodungsinseln eingestreut sind, während im übrigen Gebiet die Wälder als Inseln in der offenen Landschaft liegen, bevorzugt auf landbaulich schwierig zu bewirtschaftenden Böden (v. a. Pseudogley u. ä.) und an Hängen. Die größeren Waldflächen sind überwiegend im Besitz des Staates oder von Adelshäusern; Bauern- und Gemeindewälder verteilen sich auf viele kleine Inseln, besonders ausgeprägt in den Drumlinlandschaften. Seit dem letzten Jahrhundert hat die Waldfläche durch Neuaufforstungen landwirtschaftlich schwieriger Standorte wieder zugenommen, am stärksten in den Voralpen.

Verschiedentlich hat sich holzverarbeitende Industrie entwickelt, u. a. zwei große Papierfabriken am Nordrand des Schussenbeckens in Nachbarschaft zum Altdorfer Wald, dem größten geschlossenen Waldkomplex in der Umrandung des Bodenseegebietes. Zur Verbesserung der Marktstruktur wurden in den letzten Jahrzehnten „Holzhöfe“ geschaffen, die das von den einzelnen Waldbesitzern anfallende Holz zu größeren, einheitlichen Partien aufbereiten.

Ackerbau und Grünland

Daß bereits neolithische Siedler in den „Siedlungskammern“ des westlichen Bodenseeraumes Ackerbau betrieben, ist seit längerem durch Pollendiagramme und Großrestfunde belegt. Und daß die Ackerflächen erst durch Rodung des Waldes geschaffen werden mußten, ist heute kaum mehr in Frage gestellt (entspr. Literatur. bei ELLENBERG 1996). Auch konnte wahrscheinlich gemacht werden, daß die Nutzung in Form des **Wald-Feld-Baus**, also eines Wechsels von Ackernutzung und Wiederbewaldung (shifting cultivation), erfolgte und weder permanente Felder noch Grünland kannte (RÖSCH 1987, 1990). Holzkohleanalysen in einem Pollenprofil von Hornstaad auf der Höri werden als Beweis für eine Brandrodung im Zusammenhang mit dem Wald-Feld-Bau gewertet (RÖSCH 1993).

Als **Ackerfrüchte** sind im Bodenseeraum für das Jungneolithikum nachgewiesen: Nacktweizen (in Hornstaad > 60 % des Getreides), Gerste, Emmer und wenig Einkorn, Erbsen, Linsen, Rispen- und Kolbenhirse, Mohn, Lein (KÖRBER-GROHNE 1987). Von letzterem benutzte man damals schon nicht nur die Fruchtkapseln zur Nahrung, sondern auch die Fasern zur Herstellung von Leinwand und Fischnetzen. Ackerbohne und Dinkel kamen in der Bronzezeit hinzu. Der **Dinkel** wurde schließlich zur Hauptgetreideart der Alamannen, zum alamannischen Korn schlechthin. Sein Anteil übertraf in Südwestdeutschland und in der Schweiz noch Ende des 19. Jahrhunderts den von Weizen und Roggen (GRADMANN 1901). Inzwischen ist er jedoch längst von ertragreicheren Weizensorten auf kleine Reste zurückgedrängt, hat allerdings in den letzten Jahren eine gewisse Renaissance erlebt durch eine verstärkte Nachfrage nach Dinkelmehl, das wegen seines hohen Klebergehalts nicht nur für hochwertige Backwaren, sondern auch für die Herstellung von Spätzle, dem schwäbischen Nationalgericht, besonders geeignet ist.

Die ursprüngliche Aufgabe der Landwirtschaft war die **Eigenversorgung** der Hofbewohner mit allen benötigten Nahrungsmitteln und Rohstoffen (Subsistenzwirtschaft). Diese Aufgabe bestimmte die Vielseitigkeit der Betriebe. Mit der Entwicklung von breiteren Adelsschichten und städtischen Bürgern trat die Notwendigkeit von deren Versorgung hinzu. „Mangels anderer Einkünfte lebte die oberschwäbische Herrenschaft von den Abgaben der Bauern. Die barocken Klosteranlagen und Schlösser Oberschwabens sind mit dem Mehrwert aus der bäuerlichen Arbeit gebaut worden“ (BLICKLE 1995). Eine besondere Bedeutung für den Bodenseeraum erlangte im späten Mittelalter die Herstellung und der Vertrieb von Leinwand. Auf den Höfen wurde der Lein (Flachs) nicht nur angebaut, sondern auch verarbeitet. Der europaweite **Leinwandhandel** bildete die wichtigste Grundlage für die Wohlhabenheit der Reichsstädte, unter denen Ravensburg mit seiner von ca. 1380 bis 1530 bestehenden Großen Handelsgesellschaft besonders hervortrat (DREHER 1972). Auch in den folgenden Jahrhunderten spielte die Leinwanderzeugung nach einem Niedergang während des 30jährigen Krieges noch eine wichtige Rolle, wobei nun die Ostschweiz mit St. Gallen den Schwerpunkt bildete. Schweizerische Garnhändler kauften nun verstärkt Garn und Flachs in Oberschwaben auf. Doch im 18. Jahrhundert ging die Leinwandweberei zugunsten der nun sich durchsetzenden Baumwollverarbeitung zurück. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts bildeten die Leineweber im südlichen Oberschwaben zwar immer noch das am stärksten besetzte Handwerk, doch um 1880 war es völlig verschwunden (KUHN 1984).

Der Zwang zur Selbstversorgung, insbesondere mit Brotgetreide, hatte zunächst auch in dem niederschlagsreichen Jungsiedelland am Alpenrand bestanden. Um die Wende zur frühen Neuzeit gaben jedoch die Bergbauern in der Ostschweiz und in Vorarlberg den Ackerbau auf und stellten sich auf **Graswirtschaft** und **Viehzucht** zur Fleisch-, Butter- und Käsegewinnung um. Der dadurch verursachte Rückgang der eigenen Getreideproduktion sowie Bevölkerungszuwachs und Gewerbeentwicklung brachte die Gegenden südlich und östlich des Sees zunehmend in Abhängigkeit von Getreideimporten aus der „**Kornkammer**“ **Oberschwaben**. Nach Oberschwaben lieferten die Schweiz und Vorarlberg dafür Butter und Schmalz in einem wertmäßig allerdings viel geringeren Umfang (KUHNS 1984). Entscheidender für den wertmäßigen Ausgleich war die starke Kaufkraft des vom Textilgewerbe geprägten „protoindustriellen“ nordschweizerischen Raumes mit seinem Heer von Heimarbeitern (GÖTTMANN 1991). Heute noch künden die städtebaulich eindrucksvollen Kornhäuser, auch „Gred“ genannt, von der einstigen Bedeutung des Kornhandels, der zu einem großen Teil per Schiff über den See abgewickelt wurde.

Mit dem Bau der Eisenbahn verlor nicht nur der Frachtverkehr auf dem Bodensee an Bedeutung; auch der Getreideanbau an sich geriet durch den Wegfall des Entfernungsschutzes und dem nun entstehenden weiträumigen **Agrarmarkt** in der gesamten Region in eine entscheidende Krise. Seit den 1860er Jahren kam zunehmend billiges Getreide aus Osteuropa, vor allem aus Ungarn, an den See. Bald fiel die Schweiz weitgehend als Absatzmarkt des oberschwäbischen Getreides aus. In Vorarlberg ging der Ackerbau bis zum 1. Weltkrieg auf die Hälfte zurück, im Thurgau schon bis 1890, bis 1929 auf ein Sechstel des vorigen Umfangs, jeweils zugunsten der Grünland- und Milchwirtschaft (KUHNS 1984). In großem Stil erfolgte die Umstellung im **Allgäu**, das uns heute als typisches Grünlandgebiet geläufig ist, in dem selbst ebene Flächen als Wiesen oder Weiden genutzt werden. Diese Flächen waren jedoch seit ihrer Erstkultivierung im Mittelalter bis ins letzte Jahrhundert hinein überwiegend Ackerland, das häufig in Form der **Feld-Gras-Wirtschaft** (Egartenwirtschaft), dem mehrjährigen Wechsel von Acker- und Grünland, bewirtschaftet worden war. „Die Hartkäseproduktion nach Schweizer Vorbild und die durch die Eisenbahn verbesserten Verkehrs- und Absatzwege verschafften der Allgäuer Milchwirtschaft nach 1870 geradezu goldene Jahre“ (KUHNS 1984). In unserem Jahrhundert erhielt die Umwandlung von Acker- in Grünland in den 20er und 30er Jahren durch den Ausbau des modernen **Molkereiwesens** nochmals einen kräftigen Schub (SCHWARZ 1968. STAT. LANDESAMT BA.-WÜ. 1994).

Insgesamt war durch die Loslösung vom Zwang zur Selbstversorgung und dem damit möglichen Übergang vom Acker zum Grünland eine **bessere Anpassung der landwirtschaftlichen Produk-**

tion an die natürlichen Standortverhältnisse möglich geworden: Im niederschlagsreichen Jungsiedelland im Südosten dominiert heute ganz eindeutig das Grünland, im niederschlagsärmeren Nordwesten das Ackerland. Dazwischen liegt ein Streifen mit gemischter Nutzung; diese ist auch im Nordwesten verbreitet, soweit die Boden- und Reliefverhältnisse örtlich Ackerbau zu sehr erschweren (vgl. Abb. 4 sowie den Beitrag „Standortsgliederung“). Festzuhalten bleibt, daß die starke Verbreitung des Grünlandes eine Erscheinung der Neuzeit ist. Mit dem Übergang vom reinen Weidebetrieb zur Stallhaltung des Viehs trat zusätzlich auch eine qualitative Veränderung des Grünlandes ein: An die Stelle extensiver Weiden traten Mähwiesen.

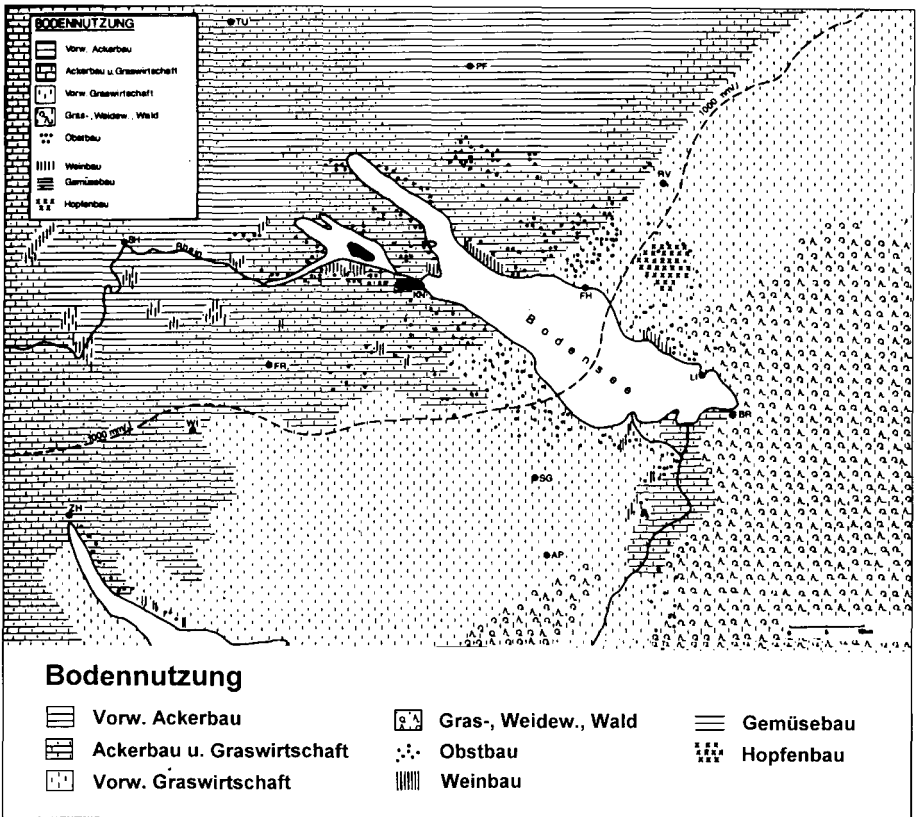


Abb. 4: Landwirtschaftliche Bodennutzung im Bodenseeraum (aus SICK 1982)

Die für die Stallhaltung benötigte Einstreu lieferte zunächst noch der Getreidebau; nach dessen Wegfall wurde Stroh zur Mangelware. Deshalb erfreuten sich die ungedüngten **Streuwiesen** auf den

im Allgäu nicht seltenen feuchten bis nassen Standorten jetzt besonderer Wertschätzung. Doch durch die zunehmende Umstellung auf einstreulose Aufstallungsformen und Güllewirtschaft verloren sie ihren Wert für die Landwirte. Inzwischen sind im württembergischen Allgäu etwa 80 % der ehemals vorhandenen Streuwiesen verschwunden. Knapp die Hälfte davon wurden in Futterwiesen umgewandelt, etwa 25 % fielen brach, und etwa 20 % wurden mit Hybridpappeln und Fichten aufgeforstet (KAPFER und KONOLD 1996). Die wenigen noch vorhandenen Reste zählen heute wegen ihres Reichtums an seltenen Tier- und Pflanzenarten zu den besonders geschützten Biotopen (Näheres im Beitrag „Vegetation“ von Böcker). Die notwendige Pflege erfolgt vielfach durch die Landwirte im Rahmen von Pflegeverträgen. Das Hauptproblem bei der Pflege ist der Abtransport und die Verwertung des anfallenden Mähgutes (vgl. BRIEMLE et al. 1991).

Auf den **Futterwiesen** wurden durch intensive Düngung, häufigere Schnitte und den Übergang von der Heugewinnung zur Silierung die Erträge entscheidend gesteigert, was einen hohen **Viehbesatz** ermöglicht. Die Spitzenwerte liegen im Allgäu über 2 GVE/ha (Landesdurchschnitt 0,97; Werte von 1991). Die intensive Bewirtschaftung hat zu einer starken **Reduzierung der Artenzahl** des Grünlands und zur **Nitratbelastung** in Böden und Gewässern geführt, letzteres zusätzlich auch durch die Entwässerungsmaßnahmen der Niedermoore mit nachfolgender Stickstoffmineralisation. Die mit der Intensivierung der Grünlandnutzung verbundenen Probleme waren in den letzten Jahren Gegenstand von Untersuchungen verschiedener Forschergruppen der Universität Hohenheim im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Umweltgerechte Nutzung von Agrarlandschaften“ (UNIVERSITÄT HOHENHEIM 1995). Auf weitere Details kann hier nicht eingegangen werden; eine sehr instruktive, umfassende Darstellung der Entwicklungen in der Kulturlandschaft Allgäu haben kürzlich SEIFFERT et al. (1995) gegeben, dort finden sich auch zahlreiche Literaturangaben zu Detailfragen. Zusätzlich sei auf KONOLD (1996) verwiesen. Angewandte Forschung und Beratung ist Aufgabe der Staatl. Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft (LWG) Aulendorf.

Im niederschlagsärmeren Westen und Norden des südwestdeutschen Alpenvorlandes nimmt das Ackerland heute rd. $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein. Die hier über Jahrhunderte betriebene **Dreifelderwirtschaft** (Wintergetreide, Sommergetreide, Brache) hat auch in ihrer verbesserten Form mit Hackfrucht oder Futterpflanzen anstelle der Brache inzwischen längst freien Fruchtfolgen Platz gemacht. Wegen seiner besseren Mechanisierbarkeit hat der **Getreidebau** wieder zugenommen, wobei Weizen und Brau- oder Futtergerste die bevorzugten Arten sind. Die Hackfrüchte (Kartoffeln, Futterrüben u. a.) haben hingegen überall abgenommen und bedecken weniger

als 2 % der Nutzfläche (SICK 1995). Bedeutend gestiegen ist dagegen der Anbau von Handelsgewächsen, insbesondere von **Raps**. Das gleiche gilt für den Futterbau, namentlich dem **Grün(Silo)Mais**, der sich seit 1960 dank seinem ertragreichen, mechanisierbaren Anbau für die Veredelungswirtschaft bis in kühle Gebiete oberhalb 700 m ausgebreitet hat. Im wärmeren Bodenseegebiet kommt der Anbau von **Körnermais** hinzu, der im Rheintal schon seit dem 18. Jahrhundert Tradition hat (KUHN 1984).

Sonderkulturen

Im Unterschied zur höhergelegenen, kühleren Umgebung wird das Bodenseegebiet schon seit Jahrhunderten von wärmebedürftigen Sonderkulturen geprägt. Dabei hat sich aber ein Wandel vollzogen: War es früher vor allem der Weinbau, so ist es heute der Obstbau.

G. SPAHR (1982) geht davon aus, daß die Kulturrebe schon vor den Römern am Bodensee Eingang gefunden hat, ohne allerdings einen Beweis dafür zu nennen. Doch mißt auch er den Römern den entscheidenden Einfluß bei der Einführung des **Weinbaus** zu unter Hinweis auf den römischen Ursprung der Benennungen vieler Produkte, Arbeiten und Werkzeuge in der Winzersprache. In der Merowinger- und Karolingerzeit wurden mehrere Orte mit Weinbau erwähnt, darunter auch solche in der näheren Umgebung von Konstanz.

Im Mittelalter dehnte sich der Weinbau in Überlingen auf die ganze Gemarkung aus und wurde vom 14. Jahrhundert an zur Haupterwerbsquelle der Stadt. Die jährliche Produktion soll zwischen 1550 und 1620 im Durchschnitt 2 292 Fuder (= 26 404 hl) betragen haben. Auch Konstanz war in diesen Zeiten von Reben umkränzt. Wie in Überlingen war und ist auch hier die Spitalstiftung maßgebend für den Rebbau tätig. Die einträglichste Stiftung an das Konstanzer Spital war sicher die des Weingutes Halttau auf Meersburger Gelände im Jahre 1272, das heute noch zum Heiliggeistspital gehört. Aber nicht nur an den Ufern des Sees selbst, sondern auch an den Rändern der angrenzenden Zungenbecken dehnte sich der Weinbau weithin aus. So hatte beispielsweise Ravensburg seit dem 11. und 12. Jahrhundert einen ausgedehnten Rebbesitz an den Hängen beiderseits der Schussen und selbst noch in der Ebene, was auch auf Stichen aus dem 17. Jahrhundert und selbst noch auf dem Stadtplan von 1827 dokumentiert wird. In den Städten bildeten die Rebleute eine eigene Zunft. Die meisten Reben im Seegebiet besaßen die Klöster, nicht nur die ortsansässigen, sondern auch weiter entfernte, wie z. B. Ottobeuren, Ochsenhausen, Isny und Kempten oder Einsiedeln.

Den durch Frostschäden sowie eingeschleppte Pilzkrankheiten und Schädlinge, insbesondere die Reblaus, ausgelösten Niedergang des Weinbaus im 19. und 20. Jahrhundert vermitteln die Zahlen für den Bereich des heutigen Kreises Konstanz (Tab. 1). Zur Förderung des darniederliegenden Weinbaus gründete Pfarrer Heinrich Hansjakob 1881 den Winzerverein Hagnau, die erste deutsche Weingärtnergenossenschaft; 1888 nahm die Weinbaudomäne Meersburg, das heutige Staatsweingut, die Vermehrung von Edelreben auf. In den letzten Jahrzehnten hat sich der Weinbau wieder konsolidiert und sogar etwas ausgedehnt. Seine größte Konzentration hat er an den Seehängen von

Tabelle 1: Abnahme der Rebfläche im Bereich des heutigen Kreises Konstanz (nach SPAHR 1982)

Jahr	Rebfläche (ha)
1809	1 170
1873	1 030
1904	606
1927	369
1948	73
1965	25

Meersburg und Hagnau, doch werden auch andernorts lokale Sonnhanglagen genutzt - von den Drumlins bei Lindau bis zum Hohentwiel bei Singen, wo der Weinbau mit 500 m ü. NN seine höchste Lage in Deutschland erreicht. In der Schweiz findet er sich ebenfalls an zahlreichen lokalen Sonnhanglagen in den Kantonen Thurgau, Zürich und Schaffhausen (Schwerpunkt Hallau im Klettgau) sowie an den Hängen des Alpenrheintales (vgl. Abb. 4). Die bevorzugten Sorten sind Müller-Thurgau, Ruländer und Spätburgunder.

Beweise für eine Nutzung von Apfel, Birne, Süßkirsche, Pflaume und Walnuß finden sich schon in neolithischen Siedlungsresten, doch dürften die Früchte von spontan in den Wäldern gewachsenen Bäumen gesammelt worden sein. Ob daneben auch schon Bäume bewußt in Hausnähe gepflanzt wurden, ist zweifelhaft. Aber auch in diesen Fällen müßte es sich um Wildformen gehandelt haben, denn einfache Kulturformen lassen sich erst seit der römischen Kaiserzeit (etwa ab Christi Geburt) nachweisen (GÖTZ und SILBEREISEN 1989, KÖRBER-GROHNE 1996, WILLERDING 1984). Die Römer betrieben den Anbau der von ihnen importierten Obstarten vorwiegend in Gärten in der Nähe ihrer Villen. Diese Beschränkung des **Obstbaus** auf die nähere Umgebung der Siedlungen

war auch für die Merowinger- und Karolingerzeit typisch. Im „Capitulare de Villis“ Kaiser Karls des Großen werden Apfelsorten namentlich aufgeführt und zur Vermehrung empfohlen. Neben den karolingischen Kammergütern und Meierhöfen waren die Klöster Orte, in denen der Obstbau besonders gepflegt wurde. Sichtbares Zeichen ist der auf dem berühmten St. Galler Klosterplan aus der Karolingerzeit ausgewiesene große Obstbaumgarten (FEGER 1956, S. 149).

Eine stärkere Ausbreitung des Obstbaus in die freie Landschaft begann erst im 15. und 16. Jahrhundert, doch wurde diese Landschaft auch danach noch viel mehr vom Weinbau geprägt. Erst im 19. und 20. Jahrhundert - zeitgleich mit dem Niedergang des Weinbaus und dem Bau der Eisenbahn - entwickelte sich der Obstbau zu der die Bodenseelandschaft so stark prägenden Kultur, die zu einem bedeutenden Marktfaktor der Region werden sollte. Schon vor 1914 rollten Güterzüge mit Bodenseeäpfeln bis nach Berlin und Ostdeutschland (MLR 1992).

Die charakteristische Baumform war auch im Bodenseegebiet zunächst der Hochstamm. Doch konnte sich diese Anbauform nach dem 2. Weltkrieg gegen die wieder zunehmende Konkurrenz des Importobstes wirtschaftlich nicht mehr behaupten. Deshalb erfolgte ab Mitte der 50er Jahre die Umstellung des Erwerbsobstbaues von den weiträumigen, vielfach überalterten, uneinheitlichen und schwer zu bewirtschaftenden Hochstamm-Beständen zu einheitlichen, mit modernen Maschinen rationell zu bewirtschaftenden **Niederstamm-Dichtpflanzungen**. Diese Umstellung ist im Erwerbsobstbau des Bodenseegebiets besonders konsequent vollzogen worden. Daneben haben sich aber auch noch vielerorts kleinere oder größere Hochstammbestände erhalten, insbesondere in maschinell nur schwer zu bearbeitenden Hanglagen und ganz allgemein im Selbstversorgeranbau und bäuerlichen Mostobstbau, der auch in höheren Lagen außerhalb des engeren Bodenseegebietes betrieben wird. Wegen seiner besonderen Bedeutung für Landschaftsbild und Artenschutz bemühen sich seit den 80er Jahren zahlreiche Initiativen um den Erhalt dieses „**Streuoobstbaues**“. Das dort anfallende Obst wird zum größten Teil nicht als Tafelobst verwendet, sondern über Fruchtsaftkeltereien und Brennereien verwertet. Darin liegt auch eine wichtige Möglichkeit zur Erhaltung dieser Anbauform (Näheres und weiterführende Literatur bei WELLER 1996). Für die im intensiven **Marktobstbau** anfallenden Tafeläpfel wurden parallel zur Umstellung der Baumbestände moderne Obstlager und Markteinrichtungen geschaffen. Die Erfolge des Bodenseeobstmarktes haben in den 90er Jahren zu weiteren Pflanzungen in großem Umfang geführt. So hat sich der Obstbaumbestand in der Bodenseeregion Baden-Württembergs von knapp sechs Millionen im Jahr 1987 auf knapp 12 Millionen im Jahr 1992 verdoppelt (MLR 1992), wodurch die führende Stellung innerhalb des Landes weiter ausgebaut wurde.

Von den Obstarten steht der **Apfel** mit weitem Abstand an der Spitze, doch werden auch Birnen, Süß- und Sauerkirschen, Pflaumen, Zwetschgen, Mirabellen und Renekloden sowie Beeren in nennenswertem Umfang angebaut. In Tabelle 2 sind die Apfelernten der Obstregion Bodensee in den Jahren 1994 und 1995 zu denen des gesamten Landes Baden-Württemberg in Vergleich gesetzt,

Tabelle 2: Erntemengen (dt) bei Äpfeln in Baden-Württemberg
(Quelle: Statistisches Landesamt Bad.-Württ. 1995 und 1996)

Jahr	Marktobstbau		Streu- und Gartenobstbau	
	Ba.-Wü. gesamt	davon Bodensee	Ba.-Wü. gesamt	davon Bodensee
1994	3 370 781	2 073 596	8 466 178	292 719
1995	1 749 399	1 117 673	3 198 353	79 211

getrennt in Marktobstbau einerseits und Streu- und Gartenobstbau andererseits. Daraus geht sowohl die führende Rolle des Bodenseegebietes beim Marktobstbau als auch sein geringer Anteil am Streu- und Gartenobstbau hervor.

Seine stärkste Verbreitung erlangte der Marktobstbau im östlichen Bodenseegebiet, wo man wegen der für den Ackerbau ungünstigen hohen Niederschläge eher nach Alternativen suchte. Doch finden sich auch im Westen markante Zentren, namentlich auf den am Fuß der Molasseberge gelegenen tiefgründigen Hangfußlagen, von denen der Bodmaner Hangfuß mit seiner geschlossenen Niederstammbeplantzung besonders zu nennen ist (vgl. Beitrag „Standortsgliederung“). Die hohen Sommerniederschläge im Osten sind für die Entwicklung der Apfelbäume an sich durchaus förderlich, erhöhen jedoch auch die Gefahr von Infektionen durch den Schorfpilz, weshalb dessen Bekämpfung hier besondere Bedeutung zukommt. Die meisten Obstbauern praktizieren heute eine „Integrierte Produktion“, bei der man sich bemüht, nicht einseitig nur die „chemische Keule“ einzusetzen. Dies gilt auch für die Düngung. Zur wissenschaftlichen Unterstützung bei der Lösung von Problemen in Anbau, Lagerung und Vermarktung wurde 1959 die Versuchsstation für Obstbau auf dem Schuhmacherhof bei Ravensburg-Bavendorf als Außenstelle der Universität Hohenheim gegründet (vgl. Exkursion H 7).

Ausschließlich auf das östliche Bodenseegebiet beschränkt ist als weitere Sonderkultur der **Hopfen**, dessen Anbau schwerpunktmäßig im Raum Tettngang betrieben wird, wenn auch nicht so ausschließlich, wie es Abbildung 4 zeigt. Die auffallenden Rankgerüste finden sich in einem breiten

Streifen, der von Friedrichshafen bis nördlich Ravensburg reicht. Der hier erzeugte Tettlinger Aromahopfen ist wegen seiner Qualität weltweit gesucht.

Kräutergärten erfreuten sich schon in den karolingischen Klöstern der besonderen Zuwendung der Mönche, wie aus dem lateinischen Gedicht „Hortulus“ des Reichenauer Abtes Walahfrid Strabo zu ersehen ist. Es gilt als das bedeutendste Zeugnis der frühen Geschichte des Gartenbaus in Deutschland (STOFFLER 1978). Heute besitzt die **Insel Reichenau** als Zentrum gärtnerischen **Gemüsebaues** überregionale Bedeutung (vgl. Exkursion H 3). Neben ihrem marktwirtschaftlichen Gewicht haben die dortigen Gemüsebaubetriebe auch übergebetliches Ansehen für die Anwendung bzw. Erprobung neuer Kulturmethoden erringen können. Als ein markantes Beispiel sei die Pilotfunktion im Bereich der praktischen Anwendung biologischer Pflanzenschutzmaßnahmen erwähnt (MLR 1995). Von dem Reichenauer Beispiel angeregt haben sich in der Umgebung noch andere Orte dem Gemüsebau zugewandt, insbesondere auf den leicht zu bearbeitenden Böden der Moos-Iznanger Sandflächen (vgl. Beitrag „Standortgliederung“). Ein Wallfahrtsort für Blumenfreunde ist seit Jahrzehnten die Insel Mainau (Exkursion H 4).

Sonstige Formen der Landnutzung

Einige weitere, nicht landbauliche Formen der Landnutzung seien wenigstens noch akzessorisch erwähnt. Ein Spezifikum des Alpenvorlandes ist der **Kiesabbau**. Er wurde früher in zahlreichen kleinen bäuerlichen Kiesgruben betrieben. Heute ist er auf einige wenige Großunternehmen konzentriert, die insbesondere die reichen Vorkommen in den glazifluvialen Schotterebenen, inklusive der Sander vor den Endmoränenwällen, ausbeuten. Die mit diesen großflächigen Eingriffen in die Landschaft verbundenen Probleme erfordern lange Genehmigungsverfahren mit genauen Auflagen für Abbau- und Rekultivierungsmaßnahmen.

Dagegen ist der früher ebenfalls weit verbreitete **Torfabbau** heute stark eingeschränkt. In der Vergangenheit war nahezu keines der zahlreichen Moore des Alpenvorlandes unangetastet geblieben, sei es durch Entwässerung zur Gewinnung von Kulturland oder eben durch den Abbau des Torfes. Weit verbreitet war der Abbau als Brenntorf in vielen kleinen Torfstichen für den örtlichen Bedarf. Größere Ausmaße nahm der Abbau nach der Errichtung der Eisenbahnen an, die nicht nur den Transport großer Torfmengen über weite Strecken ermöglichten, sondern teilweise auch vorübergehend selbst mit Torf befeuert wurden. Einen weiteren Absatzmarkt erschloß die Verwendung zur

Bodenverbesserung und Herstellung gärtnerischer Erden. Der durch Torfwerke betriebene Großabbau ist heute genau so wie der bäuerliche Abbau durch restriktive Bestimmungen weitgehend eingestellt. Genehmigungen mit strengen Auflagen werden vor allem noch für die Gewinnung von Badetorf für die oberschwäbischen Moorbäder erteilt. Über die Problematik der Moore existieren zahlreiche Publikationen; einen kurzgefaßten Überblick über die Verhältnisse in Oberschwaben gab kürzlich POSCHLOD (1996). Daß auch in der neutralen Schweiz während des 2. Weltkrieges zur Sicherung der Nahrungsversorgung Moore in großem Stil „melioriert“ wurden (HAGEN 1995), mag vielleicht manchen überraschen.

Die meisten und insbesondere die großen Moore des Alpenvorlandes sind durch Verlandung von Stillgewässern entstanden. Solche finden sich hier auch heute noch in großer Zahl. Dabei handelt es sich teils um natürliche Seen, teils um künstlich aufgestaute Weiher. Angesichts des vielfältigen Beziehungsgeflechts zwischen **Gewässern** und terrestrischer Umgebung soll auch deren Nutzung kurz gestreift werden. Eine Nutzung für den **Fischfang** wurde schon in der Altsteinzeit betrieben. Ab der Mitte des 14. Jahrhunderts nahm die Nachfrage nach Fischen durch die Entwicklung der Städte und Klöster stark zu, was zur Anlage zahlreicher Weiher in der ohnehin an Seen nicht armen Landschaft führte. Solche **Weiher** hatte es auch schon früher gegeben. Die ältesten waren als Speicherbecken für den Betrieb von Mühlen errichtet worden. Darüber hinaus dienten die Weiher weiterer vielfältiger Nutzung, z. B. als Staubecken für die Wiesenbewässerung und die Flößerei, als Flachsrostgruben, Eisweiher u. a. Meist erfüllte ein Weiher mehrere Funktionen. Genauere Angaben sind dem umfassenden und sehr detaillierten Werk von KONOLD (1987) zu entnehmen. Im Bereich von Quellbächen finden sich vielerorts Forellenzuchten. Im Bodensee ist der Blaufelchen der wichtigste Speisefisch, der auf keiner Speisekarte fehlen darf. Wissenschaftliche Unterstützung erhält das Fischereiwesen durch die Staatliche Fischereiforschungsstelle in Langenargen. Im Mittelalter waren die Bodenseefischer in eigenen Zünften organisiert. Um das Fischereirecht gibt es bis in die Gegenwart Auseinandersetzungen. Die Fischereihöheit teilen sich die drei Staaten Deutschland, Österreich und Schweiz. In der ufernahen Flachwasserzone, der sog. „Wisse“ oder „Weiße“, hat der jeweilige Anliegerstaat die Fischereihöheit, während für die tieferen Seeteile („Schweb“, „hoher See“ oder „blauer See“ genannt) ein Kondominium aller drei Staaten besteht (WEPFER 1982). Als grenzüberschreitendes Gremium besteht bereits seit über 100 Jahren die Internationale Bevollmächtigten-Konferenz für die Bodenseefischerei (WAGNER 1993).

Gefischt wurde und wird natürlich auch in den Fließgewässern. Außerdem wird deren kinetische Energie seit langem für **Mühlen** und andere Triebwerke genutzt. Dazu gehören in neuer Zeit auch

die **Elektrizitätswerke**. Von den ursprünglich installierten kleinen privaten Unternehmen sind nur noch wenige in Betrieb. Größere Laufkraftwerke befinden sich am Rhein und an der Iller. Das größte Unternehmen sind die Illwerke, welche die Wasservorräte der Vorarlberger Alpen zur Erzeugung des Stroms verwenden, das sie in Zeiten des Spitzenbedarfs u. a. über die Grenze in das südwestdeutsche Verbundsystem einspeisen.

So lange der Transport von Gütern auf dem Wasserweg günstiger war als auf dem beschwerlichen Landweg, wickelte sich über den Bodensee ein lebhafter Lastschiffverkehr ab (BURMEISTER 1982). Der See lenkte dadurch die Warenströme geradezu auf sich. Doch mit dem Bau der Eisenbahnen wurde er vom verbindenden zum trennenden Element, das man zwar auf Fähren überqueren konnte, im übrigen aber möglichst weiträumig umfuhr. Von den derzeit bestehenden Fährverbindungen wird die Autofähre zwischen Konstanz und Meersburg mit Abstand am stärksten frequentiert; die Fähre Friedrichshafen - Romanshorn ermöglicht dem nördlich des Sees gelegenen Gebiet u. a. den Bahnanschluß an den Schweizer Zentralflughafen Zürich-Kloten. Im übrigen wird der **Schiffsverkehr** auf dem See heute jedoch weniger vom Fracht- und Transitverkehr als von Sport und Touristik bestimmt. Das Angebot reicht vom einfachen Ruderboot über Segeljachten und Motorboote aller Größen bis zu den Fahrgastschiffen der „Weißen Flotte“. Dazu kommen im Sommer die Scharen der Surfer und Badegäste.

Ohne Zweifel verursachen die zahlreichen touristischen Aktivitäten auf dem See eine starke Belastung. Die größeren Gefahren gehen jedoch vom Umland aus, insbesondere durch den Eintrag von Schadstoffen. Das bedeutet zum einen eine Bedrohung des großen **Trinkwasserspeichers**, den seit dem Bau der Bodenseewasserversorgung nicht nur ufernahe Gemeinden, sondern auch der relativ wasserarme, dicht besiedelte mittlere Neckarraum nördlich der Schwäbischen Alb nützt. Das Wasser wird bei Sipplingen in 60 m Tiefe entnommen, in das Wasserwerk auf dem Sipplinger Berg gepumpt, dort aufbereitet und in Stollen unter der Alb hindurch nach Norden geleitet (vgl. Exkursion H 2).

Die in den ersten Jahrzehnten nach dem Krieg in einem vorher nicht gekannten Ausmaß ansteigende **Verschmutzung** des Sees bedroht aber nicht nur seine Eigenschaft als Trinkwasserspeicher, sondern das gesamte Ökosystem des Sees durch Eutrophierung, Sauerstoffmangel, Gefahrstoffe und Krankheitserreger. Um ein „Umkippen“ des von Natur aus oligotrophen Sees zu verhindern, bedurfte es koordinierter Maßnahmen aller Anliegerstaaten. Dies führte zur Gründung der Internatio-

nenalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), die vom Institut für Seenforschung in Langenargen und anderen wissenschaftlichen Institutionen unterstützt wird.

Eine der Quellen für die **Eutrophierung** nicht nur des Bodensees, sondern auch der vielen kleinen Gewässer, waren zweifellos überhöhte Düngergaben in der Landwirtschaft, insbesondere mit Stickstoff (Gülle, leichtlösliche Mineraldünger), die auch im Grundwasser vorübergehend zu nicht tolerierbaren Nitratkonzentrationen geführt hatten. Hauptgründe für den entscheidenderen P-Eintrag waren jedoch häusliche Abwässer. Durch den Übergang zu P-ärmeren Waschmitteln und den Anschluß an moderne Kläranlagen mit der dritten Reinigungsstufe zur P-Fällung konnte der Eintrag spektakulär gesenkt werden. Große Probleme bereiteten manche Industriebetriebe, z. B. die Papierfabriken im Schussenbecken, die ganz wesentlich zur extremen Belastung der Schussen beitrugen und teilweise erst nach Androhung eines Entzugs der Betriebsgenehmigung zu einer sehr kostspieligen Klärung ihrer großen, sauerstoffzehrenden Abwassermengen gebracht werden konnten.

Die **Industrialisierung** setzte im Gebiet relativ spät ein. Natürlich hatte es auch schon im 19. Jahrhundert Fabriken gegeben. Vor allem die Textilindustrie gewann früh an Bedeutung. Sie entwickelte sich zunächst als „Proto-Industrie“ schwerpunktmäßig in der Ostschweiz, in Vorarlberg und im angrenzenden Oberschwaben aus der seit Jahrhunderten in Heimarbeit betriebenen Flachs- und später Baumwollverarbeitung. Die Industrialisierung des Textilgewerbes zog den Aufbau einer Maschinenbauindustrie nach sich, deren Zentren allerdings außerhalb des engeren Bodenseeraumes in Zürich, Winterthur, Schaffhausen und Basel lagen. Zahlreiche Schweizer Firmen gründeten Filialunternehmen nördlich des Sees. Die Entwicklung folgte bevorzugt entlang den inzwischen gebauten Bahnlinien und konzentrierte sich auf die Umgebung der Städte, deren mittelalterliche Kerne mehr und mehr hinter den Industriebauten und Wohnsiedlungen verschwanden. Schwerpunkte waren und sind das Schussenbecken, das Hegaubecken und das Alpenrheintal. Eine besondere Stellung nimmt Friedrichshafen ein, wo im Anschluß an den Luftschiffbau des Grafen Zeppelin eine ganze Reihe von Folgeunternehmen entstanden ist. Daß sie in großem Umfang für die Rüstung produzierten, ist der Stadt im Zweiten Weltkrieg zum Verhängnis geworden, als englische Kampfflugzeuge sie zu einem großen Teil in Schutt und Asche legten. Heute ist Friedrichshafen die bedeutendste Industrie- und Messestadt am See, ihr Flughafen der einzige, auf dem neben kleineren Firmen- und Privatflugzeugen auch größere Maschinen der Tourismusbranche starten und landen können.

Die inzwischen bis in kleine Gemeinden des Hinterlandes vorgedrungene Industrie kollidiert allerdings mit einem anderen bedeutenden Wirtschaftszweig, dem **Fremdenverkehr**, für den nicht nur attraktive gastronomische Einrichtungen, sondern die landschaftlichen Schönheiten eine wichtige Grundlage sind. Dies war mit ein Grund dafür, daß Gesichtspunkte der Landschaftsplanung bei den Überlegungen zur Raumordnung der regionalen Planungsträger in den letzten Jahrzehnten erhöhte Bedeutung erlangten, woraus sich u. a. auch ein spezieller Bodenseeuferplan ergab, der die Freihaltung der noch nicht bebauten Uferabschnitte festlegt. Neben den zahlreichen Angeboten einer hochstehenden Hotellerie und Gastronomie finden sich in Seenähe wie vor allem im Hinterland vielerlei Möglichkeiten für Ferien auf dem Bauernhof. Wenn auch die Landwirtschaft Oberschwabens heute nur noch etwa 3 % des Bruttosozialproduktes bestreitet, so prägt sie doch immer noch den weitaus größten Teil der Landschaft. Von diesem Kapital zehren auch die zahlreichen Kur- und Erholungsorte. Es sorgsam zu pflegen, wird neben der Produktion von Konsumgütern auch künftig eine wichtige Aufgabe der Landnutzung sein.

Literaturverzeichnis

- BITTEL, K., W. KIMMIG und S. SCHIEK (Hrsg.) (1981): Die Kelten in Baden-Württemberg. - 533 S. - Theiss, Stuttgart.
- BLICKLE, P. (1995): Oberschwaben als Bauernlandschaft. - In: WEHLING, H.-G. (Hrsg.): Oberschwaben. - Schriften zur politischen Landeskunde Baden-Württembergs, Bd. 24, S. 73 - 94. - Hrsg. von der Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg. - Kohlhammer, Stuttgart.
- BRIEMLE, G., D. EICKHOFF und R. WOLF (1991): Mindestpflege und Mindestnutzung unterschiedlicher Grünlandtypen aus landschaftsökologischer und landeskultureller Sicht. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 60, 160 S. - Karlsruhe.
- BUCHMÜLLER, K. (1982): Das Bauernhaus in Oberschwaben. - Wolfegger Reihe im W. B. Literatur-Vertrieb. 131 S. - Stuttgart.
- BUCHMÜLLER, K. (1988): Das Südoberchwäbische Bauernhaus. - Wolfegger Reihe. 184 S. - Stuttgart.
- BURMEISTER, K.-H. (1982): Geschichte der Bodenseeschifffahrt bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts. In: MAURER, H. (Hrsg.): Der Bodensee. - Landschaft - Geschichte - Kultur. - S. 165 - 188. - Thorbecke, Sigmaringen. (Identisch mit Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 99./100. Heft).
- CHRISTLEIN, R. (1978): Die Alamannen. Archäologie eines lebendigen Volkes. - 180 S. - Theiss, Stuttgart.
- DREHER, A. (1972): Geschichte der Reichsstadt Ravensburg. - 2 Bde., zus. 884 S. - Konrad, Weißenhorn.
- ELLENBERG, H. (1990): Bauernhaus und Landschaft in ökologischer und historischer Sicht. - 585 S. - Ulmer, Stuttgart.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen, 5. Aufl, 1096 S. - Ulmer, Stuttgart.
- FEGER, O. (1956): Geschichte des Bodenseeraumes. Bd. 1, 270 S. - Thorbecke, Lindau und Konstanz.
- GÖTTMANN, F. (1991): Getreidemarkt am Bodensee. Raum - Wirtschaft - Politik - Gesellschaft (1650 - 1810) (Beiträge zur südwestdeutschen Wirtschafts- und Sozialgeschichte 13). 516 S. - Scripta Mercaturae Verlag, St. Katharinen.
- GÖTZ, G., und R. SILBEREISEN (1989): Obstsorten-Atlas. 362 S. - Ulmer, Stuttgart.

- GRADMANN R. (1901): Der Dinkel und die Alemannen. - Württ. Jahrbuch für Statistik und Landeskunde, 103 - 158 (zit. n. KÖRBER-GROHNE 1987).
- HAGEN, C. (1995): Das Meliorationswerk an den Nussbaumer Seen. In: SCHLÄFLI, A. (Hrsg.): Die Nussbaumer Seen. Ittlinger Schriftenreihe, Bd. 5, S. 99 - 114. - Frauenfeld.
- HASENFRATZ, A. (1995): Die frühen Jäger und Siedler im Seebachtal. In. SCHLÄFLI, A. (Hrsg.): Die Nussbaumer Seen. Ittlinger Schriftenreihe, Bd. 5, 61 - 76. - Frauenfeld.
- KAPFER, A., und W. KONOLD (1996): Streuwiesen. Relikte vergangener Landbewirtschaftung mit hohem ökologischen Wert. In: KONOLD, W. (Hrsg.): Naturlandschaft - Kulturlandschaft, Die Veränderung der Landschaften nach der Nutzbarmachung durch den Menschen. S. 185 - 200. - ecomed, Landsberg.
- KÖHLER, A. (1971): Vom Wesen und Werden der Oberschwäbischen Landschaft. In: Oberschwaben - Gesicht einer Landschaft. - S. 11 - 51. - Otto Maier, Ravensburg.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1987): Nutzpflanzen in Deutschland - Kulturgeschichte und Biologie. - 490 S. - Theiss, Stuttgart.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1996): Pflaumen - Kirschpflaumen - Schlehen. Heutige Pflanzen und ihre Geschichte seit der Frühzeit. - 314 S. - Theiss, Stuttgart.
- KONOLD, W. (1987): Oberschwäbische Weiher und Seen. - Geschichte, Kultur, Vegetation, Limnologie, Naturschutz.-Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 52 (2 Bde.), zus. 634 S. - Landesanstalt für Umweltschutz Bad.-Württ., Karlsruhe.
- KONOLD, W. (1996): Von der Dynamik einer Kulturlandschaft. Das Allgäu als Beispiel. In: KONOLD, W. (Hrsg.): Naturlandschaft - Kulturlandschaft. Die Veränderung der Landschaften nach der Nutzbarmachung durch den Menschen. S 121 - 136. - ecomed, Landsberg.
- KUHN, E. L. (1984): Die Industrialisierung des Bodenseeraums. In: SCHOTT, D., u. W. TRAPP (Hrsg.): Seegründe. Beiträge zur Geschichte des Bodenseeraumes, S. 167 - 209. - Drumlin Verlag, Weingarten.
- MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (MLR) (1995): Gartenbau in Baden-Württemberg. - 2. Aufl, 98 S. - Stuttgart.
- PLANCK, D. (1986): Die Zivilisation der Römer in Baden-Württemberg. In: FILTZINGER, PH. et al. (Hrsg.): Die Römer in Baden-Württemberg, 117 - 163, 3. Aufl.- Theiss, Stuttgart.
- POSCHLOD, P. (1996): Moore in Oberschwaben. - Entstehung, Kulturgeschichte und Gedanken zur Zukunft. In: KONOLD, W. (Hrsg.): Naturlandschaft - Kulturlandschaft. - Die Veränderung der Landschaften nach der Nutzbarmachung durch den Menschen. - S. 161 - 184.

- RÖSCH, M. (1987): Zur Umwelt und Wirtschaft des Jungneolithikums am Bodensee. Botanische Untersuchungen in Bodman-Bissenhalden. - Arch. Nachr. Baden 38/39, 42 - 53.
- RÖSCH, M. (1990): Veränderungen von Wirtschaft und Umwelt während Neolithikum und Bronzezeit am Bodensee. - Ber RGK 71, 161 - 186.
- RÖSCH, M. (1993): Prehistoric land use as recorded in a lake-shore core at Lake Constance. - Vegetation History and Archeobotany 2, 4, 213 - 232.
- RÖSCH, M. (1995): Geschichte des Nussbaumer Sees aus botanisch-ökologischer Sicht. In: SCHLÄFLI, A. (Hrsg.): Die Nussbaumer Seen. Ittinger Schriftenreihe, Bd. 5, 43 - 59. - Frauenfeld.
- SACHS, P. (1985): Bauernhäuser im Bodenseekreis. - 411 S. + 1 Faltkarte. - Gessler, Friedrichshafen.
- SANGMEISTER, E. (1983): Die ersten Bauern. In: MÜLLER-BECK, H., (Hrsg.): Urgeschichte in Baden-Württemberg, 429 - 471. - Theiss, Stuttgart.
- SCHLENKER, G. (1964): Entwicklung des in Süddeutschland angewandten Verfahrens der Forstlichen Standortskunde. In: Standort, Wald und Waldwirtschaft in Oberschwaben, S. 5 - 26, hrsg. v. d. Arbeitsgem. „Oberschwäbische Fichtenreviere“, Stuttgart.
- SCHWARZ, G. (1968): Entwicklung der Hauptnutzungs- und Kulturarten in Baden-Württemberg. Stat. Monatshefte Bad.-Württ. 16, 129 - 132.
- SCHLICHOTHERLE, H. (1990): Siedlungen und Funde jungsteinzeitlicher Kulturgruppen zwischen Bodensee und Federsee. In: Die ersten Bauern, Bd. 2. - Schweizerisches Landesmuseum, 135 - 156.
- SEIFFERT, P., K. SCHWINEKÖPER und W. KONOLD (1995): Analyse und Entwicklung von Kulturlandschaften. - Das Beispiel Westallgäuer Hügelland. 456 S. + 2 Faltkarten. - ecomed, Landsberg.
- SICK, W.-D. (1982): Die ländlichen Siedlungen des Bodenseeraumes. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 99./100. Heft, 121 - 144 (1981/82).
- SICK, W.-D. (1995): Oberschwaben als Wirtschaftsraum. - In: WEHLING, H.-G. (Hrsg.): Oberschwaben. - Schriften zur politischen Landeskunde Baden-Württembergs, Bd. 24, hrsg. von der Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg, S. 45 - 72. - Kohlhammer, Stuttgart.
- SPAHR, G. (1982): Geschichte des Weinbaus im Bodenseeraum. In: MAURER, H. (Hrsg.): Der Bodensee. Landschaft - Geschichte - Kultur, S. 189 - 229. - Thorbecke, Sigmaringen. (Identisch mit: Schriften des Ver. für Gesch. des Bodensees und seiner Umgebung, 99/100, 189 - 229, 1981/82).

- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1994): Lange Reihen zur demographischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung 1950 bis 1993. Statistik von Baden-Württemberg 488, 109 - 120, Stuttgart.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1994 und 1995): Statistische Berichte Baden-Württemberg. Obsternte in Baden-Württemberg 1994 und 1995. - Agrarwirtschaft 2/95 und 6/96, je 8 S. - Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- STOFFLER, H.-D. (1978): Der Hortulus des Walahfrid Strabo. 102 S. - Thorbecke, Sigmaringen.
- TESDORPF, J. C. (1972): Die Entstehung der Kulturlandschaft am westlichen Bodensee. Veröff. d. Komm. f. geschichtl. Landeskunde in Baden-Württemberg, - B 72 (zit. n. SICK 1982).
- UNIVERSITÄT HOHENHEIM (Hrsg., verantwortlich Prof. Dr. J. Jeddies) (1995): Sonderforschungsbereich 183 "Umweltgerechte Nutzung von Agrarlandschaften". - Abschlußbericht 1987 - 1994. 585 S. - Stuttgart-Hohenheim.
- WAGNER, B. et al. (Hrsg.) (1993): Bodenseefischerei. Geschichte, Biologie und Ökologie, Bewirtschaftung. - Zum 100jährigen Jubiläum der Internationalen Bevollmächtigten-Konferenz für die Bodenseefischerei. - 172 S. - Thorbecke, Sigmaringen.
- WELLER, F. (1996): Streuobstwiesen - Herkunft, heutige Bedeutung und Möglichkeiten der Erhaltung. In: KONOLD, W. (Hrsg.): Naturlandschaft - Kulturlandschaft. - Die Veränderung der Landschaften nach der Nutzbarmachung durch den Menschen. S. 137 - 160. - ecomed, Landsberg.
- WEPFER, H.-U. (1982): Aus der Geschichte der Bodenseefischerei. - in: MAURER, H. (Hrsg.): Der Bodensee. - Landschaft - Geschichte - Kultur. S. 145 - 164. - Thorbecke, Sigmaringen. (Identisch mit Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 99./100. Heft).
- WILLERDING, U. (1984): Ur- und Frühgeschichte des Gartenbaues. In: FRANZ, G. (Hrsg.): Geschichte des deutschen Gartenbaues. - S. 39 - 68. - Ulmer, Stuttgart.

Standortsgliederung des Exkursionsgebietes

von

F. Weller¹

Einführung

Da der Standort im ökologischen Sinn als „Gesamtheit der an dem Wuchsort einer Pflanze auf sie einwirkenden Umweltfaktoren“ (WALTER 1951, S. 9) nicht nur von den edaphischen, sondern auch von den klimatischen und orographischen Gegebenheiten geprägt wird, ist die Vielfalt der Standorte innerhalb einer Landschaft i. d. R. noch größer als die der Böden. Die gleiche Bodeneinheit kann beispielsweise mit verschiedenen Stufen der Hangneigung und/oder der Wärme und/oder der Spätfrostgefährdung auftreten. Je nach der Beschaffenheit des Geländes kann die Größe einigermaßen homogener Standortseinheiten zwischen wenigen Quadratmetern und mehreren Hektaren betragen. Auch das Ausmaß der Standortsunterschiede und der gegenseitigen Verzahnung verschiedener Standortseinheiten ist sehr variabel. Meistens findet sich ein mehr oder weniger kleinräumiges Mosaik.

Dieses Mosaik aus verschiedenen, in sich jeweils homogenen Standortseinheiten kann i. d. R. nur bei genauen Kartierungen einzelner Gemeinden, Gewanne oder Parzellen in großen Maßstäben (> 1 : 25 000) dargestellt werden. Bei kleineren Maßstäben wird eine Zusammenfassung räumlich benachbarter Standortseinheiten (Ökotope) zu übergeordneten Standortgruppen oder Standortkomplexen (Ökochoren) notwendig. Zahl und Vielfalt der Standortseinheiten innerhalb eines solchen heterogenen Standortkomplexes können selbst bei ein und demselben Maßstab je nach den Geländebeziehungen sehr verschieden sein. Wichtig ist jedoch, daß sie jeweils ein landschaftstypisches Verteilungsmuster aufweisen, das sich von denjenigen anderer Standortkomplexe deutlich unterscheidet.

Eine solche Gliederung in Standortkomplexe liegt für Baden-Württemberg im Maßstab 1 : 250 000 landesweit vor (WELLER 1990, DURWEN et al. 1996). Sie basiert auf zahlreichen genaueren Kar-

¹ Karl-Erb-Ring 104. 88213 Ravensburg

tierungen von Teilgebieten, ergänzt durch Stichprobenerhebungen typischer Standorte in den übrigen Gebieten nach dem von ELLENBERG und Mitarbeitern entwickelten kombinierten Verfahren der Standortsanalyse (Näheres zur Methodik u. a. bei WELLER u. DURWEN 1994).

In Anbetracht der Größe des Exkursionsgebietes, das sich über einen rd. 200 km langen Streifen von Basel bis Leutkirch beiderseits der deutsch - schweizerischen Grenze erstreckt, mußte von einer Wiedergabe der Gliederung in Standortkomplexe für das Gesamtgebiet abgesehen werden. Stattdessen wurde exemplarisch als zentraler Teil das Westliche Bodenseegebiet herausgegriffen. Im übrigen beschränkt sich die Darstellung auf die übergeordneten Teil- und Großlandschaften, zu denen benachbarte Standortkomplexe zusammengefaßt sind. Bei einer derartig fortschreitenden Zusammenfassung treten allerdings zwangsläufig mehr und mehr die großräumigen geomorphologischen und geologischen sowie regionalklimatischen Gesichtspunkte in den Vordergrund gegenüber den ökologisch oft entscheidenderen örtlichen Boden- und Klimaverhältnissen. Für diese grobe Übersicht wurde die Gliederung nach vergleichbaren Kriterien auf die angrenzenden Gebiete der Schweiz erweitert.

Wertvolle Hilfe leisteten dabei folgende Kartenwerke: Wärmegliederung der Schweiz 1 : 200 000 (SCHREIBER et al. 1977), Klimateignungskarten für die Landwirtschaft in der Schweiz 1 : 200 000 (JEANNERET et al. 1977), Bodeneignungskarte der Schweiz 1 : 200 000 (FREI et al. 1980), Bodenkarte der Schweiz 1 : 500 000 (FREI u. PEYER 1984). Des weiteren sei auf die von forstlich-standortkundlicher Seite erarbeitete Regionale Gliederung von Baden-Württemberg hingewiesen, deren Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Grundsatz den hier vorgestellten Groß- und Teillandschaften vergleichbar sind (SCHLENKER, MÜLLER et al. 1973, 1975, 1978, 1986).

Grobgliederung des gesamten Exkursionsgebietes (Abb. 1)

Die Exkursionen bewegen sich fast durchweg in dem von den eiszeitlichen Gletschervorstößen geprägten Alpenvorland. Lediglich die Exkursionen D 5 und D 8 führen zu Zielen, die weit außerhalb dieses Bereiches im Westen liegen. Deshalb umfaßt der großräumige Überblick (Abb. 1) einen Bereich vom Rhein im Westen bis zur Iller im Osten. In diesem Bereich werden mit Ausnahme des Odenwaldes (III) sämtliche Großlandschaften Südwestdeutschlands tangiert, vom Oberrheinischen Tiefland (I) über den Schwarzwald (II), das Neckarland (IV), die Schwäbische Alb (V), das Hoch-

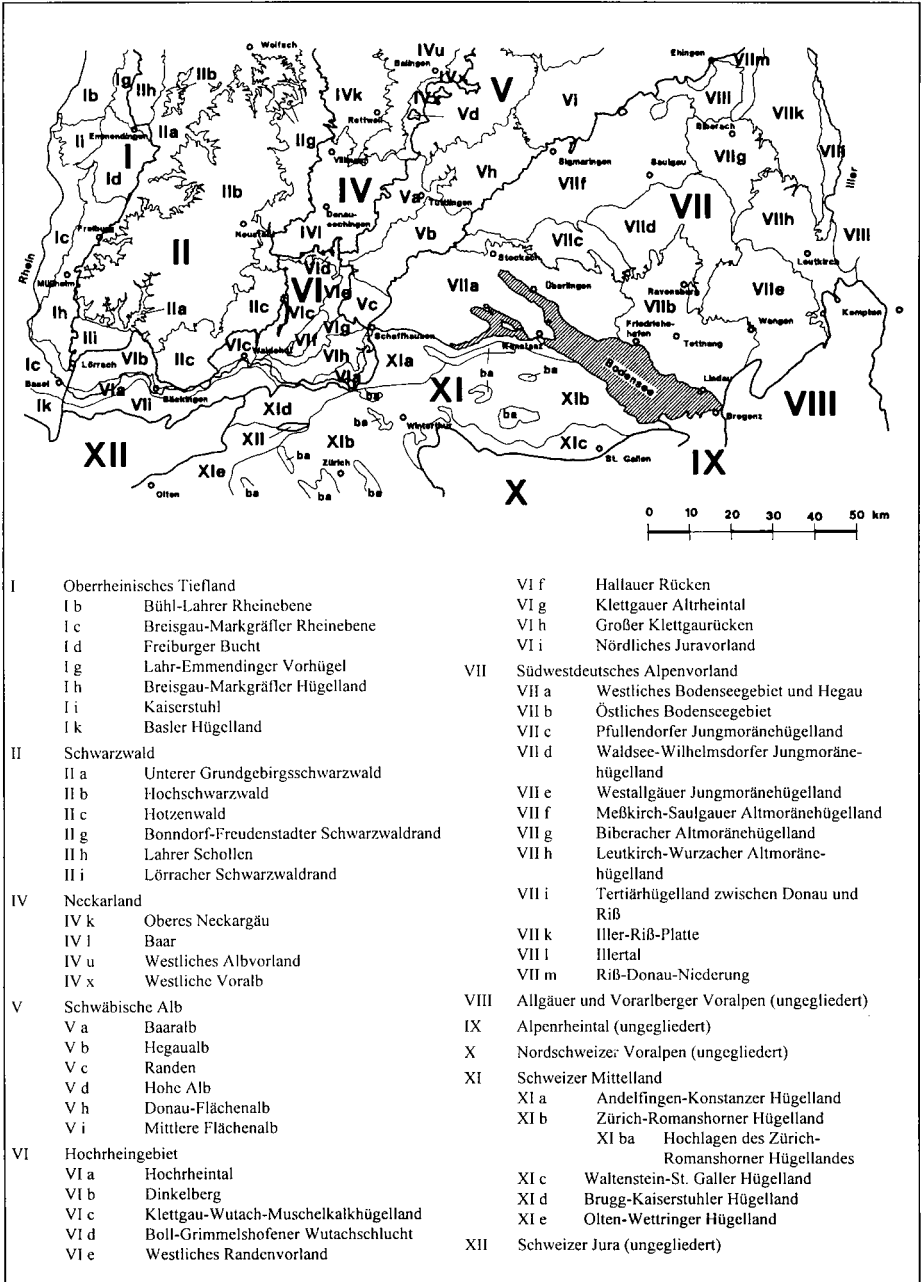


Abb. 1: Grobgliederung des gesamten Exkursionsgebietes in Groß- und Teillandschaften entsprechend den geomorphen Großeinheiten und dem Regionalklima

reingebiet (VI) und das Alpenvorland (VII). Sie werden nachstehend in ihren wichtigsten Standortseigenschaften grob charakterisiert. Bezüglich weiterer Details zu Geologie, Geomorphologie, Hydrologie, Klima, Böden und Vegetation sei auf die speziellen Kapitel dieses Bandes verwiesen.

I Oberrheinisches Tiefland

Das Oberrheinische Tiefland ist durch seine Lage im Oberrheingraben gegen die umliegenden Großlandschaften morphologisch klar abgegrenzt. Auch innerhalb des Gebietes erkennt man eine klare morphologische Trennung zwischen der aus Rheinaue und Niederterrasse bestehenden **Rheinebene** (I a - d) einerseits und dem **Rheinhügelland** (I e - k) andererseits, das im Kern aus Rand-schollen am Fuß der Randgebirge bzw. aus vulkanischen Gesteinen (Kaiserstuhl I i) gebildet wird und größtenteils von einer mächtigen Lößdecke eingehüllt ist. Dank seiner tiefen Lage zeichnet sich das Oberrheinische Tiefland insgesamt durch sein großräumig sehr warmes Klima aus. Infolge der Ansammlung bodennaher Kaltluft in windarmen Strahlungsnächten ist der größte Teil der Rheinebene jedoch mehr oder weniger stark spätfrostgefährdet, während sich das Rheinhügelland meist über den gefährdeten Bereich erhebt (abflußträge Mulden ausgenommen!).

Im Unterschied zu den nördlich angrenzenden Bereichen der Rheinebene (I b und I d) ist die **Breisgau-Markgräfler Rheinebene (I c)** einschließlich der Rheinaue größtenteils ausgesprochen grundwasserfern. Da sie auch besonders schotterreich ist, sind \pm trockene Standorte weit verbreitet, zumal im Raum Breisach - Neuenburg, wo sich zusätzlich der Regenschatten der Hochvogesen auswirkt. Hier ist die Trockenheit teilweise so groß, daß ohne Bewässerung weder eine landwirtschaftliche noch eine forstwirtschaftliche Nutzung mit Aussicht auf wirtschaftlichen Erfolg betrieben werden kann. Wo dagegen die Schotter von mächtigeren Lehmdecken mit hoher nutzbarer Feldkapazität überzogen sind, bestehen sehr gute Voraussetzungen für den Landbau, namentlich entlang dem Fuß des Hügellandes, wo sich der von den Hügeln abgeschwemmte Löß in einer teilweise bis zu zwei Kilometer breiten Zone angereichert hat. Wo diese Bereiche zusätzlich dem frostmildernden Einfluß lokaler Windsysteme von den Hügeln und Tälern des Schwarzwaldes her unterliegen, zählen sie zu den bestgeeigneten Standorten ganz Mitteleuropas für wärmebedürftige und frostempfindliche Sonderkulturen.

Gleiches gilt für die tiefgründigen Parabraunerden und Kolluvien des Hügellandes, das im **Breisgau-Markgräfler Hügelland (I h)** seine größte Breite erreicht. Geringer ist die Produktivität

dagegen in den durch Erosion auf das Stadium von Pararendzinen und Löß-Rohböden zurückgeworfenen Bereichen, doch werden sie dank der besonderen wärme-klimatischen Gunst der exponierten Randlagen bevorzugt für den Weinbau genutzt. Dabei sind in den letzten Jahrzehnten durch die Schaffung von Großterrassen vielfach erhebliche Eingriffe in die Landschaft erfolgt, namentlich im **Kaiserstuhl (I i)**. Wo die Lößauflage völlig abgetragen ist, finden sich auf den anstehenden Gesteinen örtlich sehr flachgründige Standorte, die besonders im niederschlagsarmen Westen an sonnseitigen Steilhängen teilweise für eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung zu trocken sind, jedoch für den Artenschutz höchst wertvolle Trockenbiotope bilden (Kalktrockenrasen, Flaumeichenwälder). Nach Osten nimmt mit Annäherung an den Schwarzwald dank der vermehrten Steigungsregen die Trockenheit allgemein ab.

II Schwarzwald

Die insbesondere im Westen stark zertalte Mittelgebirgslandschaft des Schwarzwaldes bildet nicht nur morphologisch, sondern auch klimatisch und edaphisch einen starken Kontrast zum Oberrheinischen Tiefland. Infolge der großen Höhenunterschiede (von 130 m ü. NN bis 1 495 m ü. NN) sowie der variierenden Inklinat-ion und Exposition der Hänge findet sich die gesamte Skala der in Südwestdeutschland vorhandenen Wärmestufen vom ausgeprägten Weinbauklima an den dem Oberrheinischen Tiefland benachbarten tiefsten sonnseitigen Hanglagen bis zu den höchsten Hochlagen Südwestdeutschlands, in denen selbst der Anbau anspruchsloser Getreide- und Ackerfütterpflanzen ausscheidet und neben der Forstwirtschaft nur eine ± extensive Grünlandwirtschaft möglich ist. Zudem steigen die durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmengen von rd. 1 000 mm am Westfuß bis auf örtlich > 2 000 mm in den Hochlagen an.

Insgesamt ist das Klima im Vergleich zu den umgebenden Landschaften deutlich humider und stärker ozeanisch getönt, was nicht nur in den höheren Niederschlagsmengen, sondern auch in deren vom mitteleuropäischen Normaltyp abweichenden eher gleichmäßigen Verteilung über das Jahr sowie in geringeren Temperaturschwankungen zum Ausdruck kommt. Letzteres ist nicht nur eine Folge der hohen Luftfeuchtigkeit, sondern auch der günstigen Abflußmöglichkeiten für die in Strahlungs-nächten entstehende bodennahe Kaltluft, insbesondere auf der Westseite, wo selbst die Talsohlen dank lokaler Windsysteme häufig wenig spätfrostgefährdet sind. Ausgenommen sind jedoch abflußträge, eingeschlossene Tal- und Muldenlagen, namentlich am Ostrand im Einzugsbereich von Donau und Wutach, die zu den am stärksten spätfrostgefährdeten Lagen des Landes gehören.

Dort sinken auch die Niederschlagsmengen unter 1 000 mm ab. Trotzdem sind - im Unterschied zum Oberrheinischen Tiefland - weder hier noch in den warmen Tieflagen des Westrandes trockene Standorte in nennenswertem Umfang zu finden. Selbst hier sind mittel- bis flachgründige Böden noch als mäßig frisch einzustufen, tiefgründige als frisch. Daneben finden sich im ganzen Gebiet, insbesondere in den Hochlagen, verbreitet ± feuchte bis nasse Standorte.

Die höhenbedingten klimatischen Unterschiede erfordern bei der Standortsgliederung die Ausweisung mehrerer Höhenstufen in der Kategorie der Standortskomplexe. Für die Grobgliederung wurden die kollinen und submontanen Stufen zum **Unteren Grundgebirgs-Schwarzwald (II a)**, die montanen und hochmontanen Stufen zum **Hochschwarzwald (II b)** zusammengefaßt. Die Grenze zwischen beiden Teillandschaften verläuft mit expositionsbedingten Abweichungen um 600 m ü. NN.

Da dem Schwarzwald kalkhaltige Gesteine mit Ausnahme einiger Muschelkalkinseln am Ostrand völlig fehlen und die Entbasung durch das humide Klima gefördert wird, finden sich praktisch durchweg ± saure Standorte. Im Unterschied zum (außerhalb des Kartenausschnittes liegenden) Nordschwarzwald ist im Südschwarzwald das Deckgebirge weitgehend abgetragen. Dank der im Durchschnitt höheren potentiellen Trophie der aus den kristallinen Gesteinen des Grundgebirges hervorgegangenen Böden (vorwiegend Braunerden bis Podsolen) ist der Südschwarzwald in größerem Umfang landwirtschaftlich genutzt als der Nordschwarzwald, doch herrscht auch hier im Unterschied zu allen umgebenden Landschaften der Charakter eines Waldlandes, da der Landbau durch die Hängigkeit des Berglandes, die hohen Niederschläge und das kalte Klima der Hochlagen stark behindert ist. Eine Ausnahme stellt der die Südostabdachung bildende **Hotzenwald (II c)** dar, auf dessen Hochflächen nicht nur das Grünland, sondern auch der Ackerbau teilweise mittlere bis gute Voraussetzungen findet, namentlich in deren tieferen Bereichen am Südrand. Dagegen sind die noch erhaltenen Reste des Buntsandsteins am Ostrand (**II g**) sowie auf den abgesunkenen Schollen am Westrand (**II h**) und in der Südwestecke des Schwarzwaldes (**II i**) selbst auf größeren Verebnungen meist von geschlossenen Wäldern bedeckt.

IV Neckarland

In der Großlandschaft Neckarland ist das gesamte Schichtstufenland vom Muschelkalk bis zum Dogger zusammengefaßt. In den außerhalb des Kartenausschnittes gelegenen nördlichen Landes- teilen bilden diese Schichten ausgedehnte Teillandschaften von den **Gäulandschaften** des Muschelkalks und Lettenkeupers (IV a - k) über das **Keuperbergland** (IV m - s) und das **Albvor- land** des Lias (IV t - w) bis zur **Voralb** des Doggers (IV x - z). Im Süden sind diese Zonen auf einen insgesamt nur 15 - 20 km breiten Streifen zwischen dem nach Westen allmählich ansteigen- den Schwarzwald (II) und der im Osten steil aufragenden Schwäbischen Alb (V) zusammenge- drängt. Sie werden hier in einer einzigen Teillandschaft **Baar (IV I)** zusammengefaßt.

Dafür waren neben der geringen Breite der einzelnen Zonen einige weitere Gründe noch wichtiger: Zum einen unterscheidet sich das gesamte Gebiet wegen seiner Höhenlage (meist > 700 m ü. NN) durch ein kälteres Klima vom übrigen Neckarland, zum anderen stellt es als große Landschafts- mulde zwischen den noch höheren Lagen des Schwarzwaldes (II) und der Schwäbischen Alb (V) ein Kaltluftsammlbecken mit großräumig verbreiteter sehr starker Spät- und Frühfrostgefahr dar. Die damit verbundenen stärkeren Temperaturschwankungen und die für diese Höhenlage geringe Niederschlagsmenge von teilweise < 750 mm charakterisieren eine kontinentale Klimatönung. Und schließlich haben sich in den weiten Niederungen dieser abflußträgen Hochmulde, die heute noch größtenteils von der Donau entwässert wird, große Niedermoore entwickelt, wie sie in dieser Aus- dehnung sonst nirgends im Neckarland vorkommen. Außerhalb dieser ± feuchten bis nassen, teil- weise überschwemmungsgefährdeten Niederungen werden die Bodenverhältnisse von den Verwitte- rungsdecken der sehr unterschiedlichen mesozoischen Gesteine geprägt, wobei mäßig frische bis wechselfeuchte, lehmige bis tonige Böden überwiegen.

V Schwäbische Alb

Die aus den Kalksteinen und Mergeln des Weißen Jura (Malm) aufgebaute Schwäbische Alb bildet die oberste und zugleich mächtigste Stufe des südwestdeutschen Schichtstufenlandes. Gegen das nördliche Vorland fällt sie mit fast durchweg bewaldeten Steilhängen ab, während sie nach Süd- osten allmählich zum Alpenvorland hin einsinkt. Die Gliederung in Teillandschaften orientiert sich in erster Linie an den geomorphologischen und regionalklimatischen Gegebenheiten. Eine wichtige Rolle spielt dabei die sog. Klifflinie, welche die bewegtere und im Durchschnitt höhere **Kuppenalb**

im Norden (V d - g) von der morphologisch ausgeglicheneren und meist tiefer gelegenen **Flächenalb** im Süden (V h - l) trennt. Besondere Verhältnisse liegen im Südwesten vor: Hier ist die Weißjura-Tafel der Alb als Ganzes deutlich verschmälert und in ihrem nordwestlichen, an die Baar angrenzenden Bereich, der **Baaralb (V a)**, durch die Täler der Donau und ihrer Zuflüsse in zahlreiche voneinander getrennte, stark zerlappte Hochflächen mit steilen Hängen zerschnitten. Südöstlich des Donautales dagegen fällt die **Hegualb (V b)** als ein zusammenhängendes Hügelland gegen das Alpenvorland (VII) ab, wogegen der im Süden anschließende **Randen (V c)** wieder eine stärkere Zertalung, hier durch Zuflüsse des Rheins, aufweist.

Am Nordrand der **Hohen Alb (V d)** erreicht die Schwäbische Alb mit knapp über 1 000 m ü. NN ihre höchsten Lagen. Die ganze Teillandschaft bildet zusammen mit den Hochflächen der Baaralb (V a) die kälteste Region der Schwäbischen Alb im wärme-klimatischen Grenzbereich für den Ackerbau. Zugleich zählt sie zu den niederschlagsreichsten Teilen der Alb, doch bleiben die Niederschlagsmengen mit einem Jahresdurchschnitt von maximal knapp über 1 000 mm deutlich unter denen vergleichbarer Höhenlagen am Westrand des Schwarzwaldes. Im doppelten Regenschatten von Schwarzwald und Alb gehen sie bis zu dem auf rd. 550 m ü. NN absinkenden Südfuß der **Hegualb (V b)** auf rd. 750 mm zurück, zugleich nimmt die durchschnittliche Wärme um gut 2° C zu. Insgesamt ist das Klima der Schwäbischen Alb im Unterschied zum Schwarzwald eher kontinental getönt, was in den abflußträgen Tallagen durch Kaltluftansammlungen in windarmen, klaren Nächten und die dadurch erhöhte Frostgefahr noch verstärkt wird. Dies gilt sowohl für die tief eingeschnittenen, wasserführenden Täler der Donau und ihrer Zuflüsse als auch für die Trockentäler der verkarsteten Hochlagen. Sie zählen - wie die Niederungen der Baar - zu den am stärksten frostgefährdeten Lagen ganz Südwestdeutschlands. Dagegen sind die abflußgünstigen Hochlagen, namentlich entlang dem Nordwestrand, wenig durch Spätfröste gefährdet.

Auf den verkarsteten Höhen der Alb hängt die Wasserversorgung der Pflanzen sehr stark von der Gründigkeit der skelett- und basenreichen Kalkverwitterungsböden ab. Es überwiegen flach- bis mittelgründige, mäßig trockene bis mäßig frische, lehmige bis tonig-lehmige Böden (Rendzina, Terra fusca) mit hohem Steinanteil. Auf der **Hegualb (V b)** kommen auch steinärmere tonige Tertiärrelikte und am Südrand Überlagerungen mit sandig-lehmigen glazialen Sedimenten vor. Tiefgründige, frische Böden sind weitgehend auf die Kolluvien der Mulden und Hangfußlagen sowie die Auen der Täler beschränkt. In letzteren bedingt der Einfluß des Grundwassers jedoch vielfach eine ± stärkere Feuchtigkeit, örtlich haben sich Niedermoore gebildet. Zudem besteht in den Auen der Donau und eines Teils ihrer Zuflüsse Überschwemmungsgefahr. Sie werden deshalb vor-

rangig als Grünland genutzt, während in den Hangfußlagen der Ackerbau dominiert. Außerhalb der Täler überwiegt im niederschlagsärmeren, wärmeren Bereich im Süden der **Hegualb (V b)** der Ackerbau, während in den relativ kalten, niederschlagsreichen Hochlagen, insbesondere auf der **Hohen Alb (V d)**, weithin Grünland, teilweise auch Wald, an seine Stelle getreten sind. Auf den vorwiegend flachgründigen Hochflächen der **Baaralb (V a)** findet sich, wie an allen Steilhängen der Alb, fast nur Wald; auch auf dem **Randen (V c)** herrscht er weithin vor.

VI Hochrheingebiet

Das Hochrheingebiet (VI) ist nicht nur die kleinste, sondern auch die geomorphologisch am wenigsten einheitliche der ausgewiesenen Großlandschaften. Hier liegen Elemente der angrenzenden Großlandschaften, teilweise in enger Verzahnung, dicht nebeneinander. Würde man allein den geologischen Schichten folgen, so wäre eine mehrfache Unterteilung des **Hochrheintales (VI a)** erforderlich. Das ist jedoch angesichts der weitgehend einheitlich von alpinen Gerölln aufgebauten Terrassen und der relativ einheitlichen regionalklimatischen Verhältnisse wenig sinnvoll. Da außerdem die Scholle des **Dinkelberges (VI b)** in ihrem östlichen Teil starke Anklänge an die Standortverhältnisse in den wärmeren Teilen des **Klettgau-Wutach-Muschelkalkhügellandes (VI c)** aufweist, wurde das Hochrheintal mit den angrenzenden, aus mesozoischen Schichten aufgebauten Hügel- und Berglandschaften zu einer eigenen Großlandschaft zusammengefaßt. Die Untergliederung in Teillandschaften orientiert sich dann wieder weitgehend an den geomorphologischen Verhältnissen.

Die Verebnungen des **Hochrheintales (VI a)** sinken von rd. 400 m ü. NN am Rheinfall bis auf rd. 260 m bei Basel ab. Sie werden fast durchgehend von eiszeitlichen Terrassen gebildet, während die Aue nur kleine Flächen einnimmt; weiten Strecken fehlt sie ganz. Die aus mesozoischen Schichten, insbesondere Muschelkalk, aufgebaute Scholle des **Dinkelberges (VI b)**, die sich örtlich bis über 500 m ü. NN erhebt, ähnelt in ihrem lößreicheren Westteil mehr dem Breisgau-Markgräfler Hügel-land (I h), im lößärmeren Ostteil dagegen mehr dem **Klettgau-Wutach-Muschelkalkhügelland (VI c)**. Letzteres bildet eine zertalte Gäulandschaft, die vom Rand des Hochrheintales bei Waldshut nach Nordosten bis auf rd. 900 m ü. NN gegen den Schwarzwald (II) und die Baar (IV l) ansteigt, von der sie durch die bis auf 500 m ü. NN eingeschnittene **Boll-Grimmelshofener Wutachschlucht (VI d)** getrennt ist. Östlich der Wutach bilden die Schichten des Keupers, Lias und Doggers das zum Randen (V c) ansteigende **Westliche Randenvorland (VI e)**, das nach Südwesten

in den **Hallauer Rücken (VI f)** ausläuft. Südöstlich davon trennt die pleistozäne Schmelzwasser-rinnè des **Klettgauer Altrheintals (VI g)** den **Großen Klettgaurücken (VI h)** vom übrigen Hügelland ab. Seine über 600 m ü. NN ansteigenden Höhen fallen nach Norden mit einer markanten Steilstufe des Weißjuras ab; im übrigen sind sie meist von tertiären und quartären Sedimenten überdeckt. Südlich des Rheins geht das Hochrheingebiet von Schaffhausen abwärts unmittelbar in das Schweizer Mittelland (XI) über; weiter westlich schieben sich die stark zertalten Höhenzüge des Schweizer Juras (XII) dazwischen. An dessen Nordrand bilden die verschiedensten mesozoischen Schichten vom Buntsandstein bis zum Jura ein von zahlreichen Verwerfungen durchzogenes bewegtes Hügel- und Bergland, das namentlich in seinem Ostteil vielfach von pleistozänen Sedimenten überdeckt ist. Aus klimatischen Gründen wird dieses mit wenigen Ausnahmen deutlich unter 600 m ü. NN gelegene **Nördliche Juravorland (VI i)** dem Hochrheingebiet zugerechnet.

Das **Hochrheintal (VI a)** und das **Klettgauer Altrheintal (VI g)** zeichnen sich durch ein relativ warmes, kollines Klima aus, das an den sonnseitigen Hängen der angrenzenden Hügellandschaften sogar Weinbau ermöglicht. Nachteilig ist jedoch die mindestens mittlere Spätfrostgefährdung großer Teile dieses Gebiets. Eine geringe Gefährdung besteht dagegen in den abflußgünstigen Hochlagen, in denen jedoch die durchschnittliche Wärme geringer ist, am geringsten in den höchsten Lagen am Nordrand des **Klettgau-Wutach-Muschelkalkhügellandes (VI c)**, die örtlich so kalt sind wie die Hochlagen der Baar (IV l) und des Randens (V c). Dazwischen überwiegen submontane Stufen mit - je nach Höhenlage und Exposition - mäßig warmem bis mäßig kühlem Klima.

Die mittleren jährlichen Niederschlagsmengen liegen mit 800 bis > 1 100 mm im ganzen Gebiet relativ hoch. Trotzdem weist die Vegetation überraschenderweise selbst auf tiefgründigen Böden noch einzelne Trockenheitszeiger auf. Die Ursache für dieses sonst nirgends in Südwestdeutschland zu beobachtende Phänomen, das mit ein Grund für die Ausweisung einer eigenen Großlandschaft Hochrheingebiet (VI) war, dürfte die für die Wasserversorgung der Pflanzen ungünstige jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge mit einem Maximum im Winter sein (WELLER 1987).

Auf den Terrassen des **Hochrheintales (VI a)** und des **Klettgauer Altrheintals (VI g)** überwiegen tiefgründige Feinlehm- bis Sandlehmböden (Parabraunerden). Da sie meist weder durch Grundwasser noch Überschwemmungen beeinflusst werden, stellen sie großflächig die besten Ackerbaustandorte des ganzen Gebietes dar. Dagegen ist der Obstbau durch die Spätfrostgefährdung beeinträchtigt. In den Hügellandschaften wechseln nicht nur die Relief-, sondern auch die Bodenverhältnisse stark. Dabei überwiegen auf dem **Dinkelberg (VI b)** und dem **Großen Klettgaurücken (VI h)**

mittel- bis tiefgründige, ansonsten eher mittel- bis flachgründige Böden. Im **Klettgau-Wutach-Muschelkalkhügelland (VI c)** sind die lehmigen bis tonig-lehmigen Böden besonders skelettreich und wegen ihrer Durchlässigkeit je nach Gründigkeit ± trocken bis frisch, im übrigen Gebiet infolge von Stauhorizonten häufiger auch wechsellustig bis wechselfeucht.

Ackerbau ist in allen Hügellandschaften möglich, Hanglagen und Bodenverhältnisse erfordern jedoch eine mehr oder weniger starke Kombination mit Grünland und/oder Wald. Außerdem finden sich verbreitet geeignete Standorte für den Obstbau, namentlich auf den abflußgünstigen Lagen des Dinkelberges (VI b), des Großen Klettgaurückens (VI h) und des Nördlichen Juravorlandes (VI i). Für den Weinbau eignen sich einige Sonnhänge des Dinkelberges (VI b), des Großen Klettgaurückens (VI h) und namentlich des Hallauer Rückens (VI f).

VII Südwestdeutsches Alpenvorland

Diese Großlandschaft umfaßt das gesamte Alpenvorland nördlich des Bodensees und Seerheins bis zu dem von Schaffhausen in nordöstlicher Richtung verlaufenden Südrand der Schwäbischen Alb (V). Östlich des Bodensees wird sie von den hier besonders weit nach Norden vorspringenden Molassebergen der **Allgäuer und Vorarlberger Voralpen (VIII)** begrenzt. In deren Verlängerung folgt die östliche Abgrenzung der Iller bis zur Mündung in die Donau bei Ulm.

In diesem Gebiet sind die Molasseschichten der tertiären Trogfüllung größtenteils von Geschiebemergeln der riß- und würmeiszeitlichen Vorstöße des Rheingletschers überdeckt (VII a -h). Nur der Nordosten blieb davon unbeeinflusst. Aber auch hier lieferten die teils sandigen, teils tonigen Molasseschichten nur im **Tertiärhügelland zwischen Donau und Riß (VII i)** auf größerer Fläche das Substrat für die Bodenbildung, während sie auf der **Iller-Riß-Platte (VII k)** größtenteils von Deckenschottern früherer Glazialzeiten überlagert sind, die ihrerseits teilweise Lößlehmedden unterschiedlicher Degenerationsstadien tragen. Das breite **Illertal (VII l)** selbst kennzeichnen durchlässige Niederterrassen- und Auenstandorte, während die **Riß-Donau-Niederung (VII m)** größtenteils von frischen bis feuchten Auenböden und großen Niedermooren geprägt wird.

Innerhalb des Moränehügellandes des Rheinvorlandgletschers trennt der Wall der Äußeren Würmendmoräne das bewegtere **Jungmoränehügelland (VII a - e)** mit Böden vorwiegend geringer Entkalkungstiefe vom morphologisch ausgeglicheneren **Altmoränehügelland (VII f - h)** mit Böden

großer Entkalkungstiefe. Die weitere Gliederung in Teillandschaften orientiert sich vor allem an den regionalklimatischen Gegebenheiten, wobei sich namentlich das **Bodenseebecken (VII a - b)** durch sein wärmeres Klima von den übrigen Gebieten abhebt, die großflächig durch ein mindestens mäßig kühles Klima gekennzeichnet sind, das beispielsweise den Anbau von Körnermais bereits ausschließt. Die kühlestn Bereiche finden sich großflächig in den kühlen Lagen des **Pfullendorfer (VII c)** und des **Westallgäuer Jungmoränehügellandes (VII e)** sowie des **Meßkirch-Saulgauer (VII f)** und des **Leutkirch-Wurzacher Altmoränehügellandes (VII h)**.

Die durchschnittlichen Jahresniederschläge nehmen von den niederschlagsärmsten Gebieten im Norden (Raum Ehingen - Ulm < 700 mm) und Westen (Hegaubecken < 750 mm) mit Annäherung an die Voralpen (VIII) bis auf 1 600 mm kräftig zu. In den südöstlichen Teillandschaften (**VII b, e, h**) liegen sie fast durchweg > 900 mm mit einem ausgeprägten Sommermaximum. Hier fehlen deshalb - im Unterschied zu den übrigen Teillandschaften, namentlich dem **Westlichen Bodenseegebiet (VII a)** - selbst nur mäßig trockene Standorte nahezu völlig.

Die als eigene Teillandschaften ausgewiesenen breiten Täler von Donau, Riß und Iller (**VII l, m**) sind als Ganzes ± stark kaltluftgefährdet. Darüber hinaus befinden sich in den übrigen Teillandschaften zahlreiche ähnlich gefährdete Lagen, namentlich in den zur Donau führenden Tälern und in den Zungenbecken, insbesondere des Pfrunger Rieds, des Federseerieds und des Wurzacher Rieds. Selbst in Bodenseenähe sind die Beckenlandschaften (Hegaubecken, Salemer Becken, Schussenbecken u. a.) großräumig stark gefährdet. Dagegen zeichnen sich die über die Kaltluftseen hinausragenden Höhen durch eine geringe Gefährdung aus. Wo ihre Hänge direkt zum Bodensee abfallen, namentlich entlang dem Überlinger und Untersee, zählen sie zu den frostsichersten Lagen ganz Südwestdeutschlands. Gleiches gilt für die rings vom See umgebenen Inseln.

Auf dieser geringen Gefährdung durch Spät- und Frühfröste beruht die oft beschworene Klimagunst der Insel Mainau, die im übrigen nicht wärmer ist als die meisten anderen seenahen Lagen und damit unter den im Oberrheinischen Tiefland (I) vorherrschenden Wärmestufen liegt. Wenn trotzdem häufig von „subtropischen“ Verhältnissen gesprochen wird, so ist dies eine den Fremdenverkehr fördernde Übertreibung. Die hier kultivierten Vertreter „subtropischer“ Vegetation bedürfen im Winter eines Schutzes gegen die Kälte.

Eine große Vielfalt besteht hinsichtlich der Bodenverhältnisse. Zu den großräumigen, durch Alter und Regionalklima bedingten Unterschieden (tiefere und stärkere Entbasung sowie häufigere Pseu-

dovergleyung in den Altmoränelandschaften sowie in den niederschlagsreichen südöstlichen Jungmoränelandschaften) kommen kleinräumig solche des Substrates und der örtlichen Lage hinzu. Das Spektrum reicht auf den Mineralböden von flach- bis tiefgründigen, skelettarmen bis skelettreichen, sandigen bis tonigen, kalkreichen bis sauren, trockenen (nur im W und N) bis nassen, häufig auch wechselfeuchten Standorten mit geringer bis hoher potentieller Trophie, wobei mittel- bis tiefgründige, im **Westlichen Bodenseegebiet (VII a)** teilweise nur mäßig frische, ansonsten frische, im Westallgäuer Hügelland auch mäßig feuchte, sandige bis tonige Lehm Böden mittlerer bis hoher potentieller Trophie überwiegen. Zu diesen mineralischen Böden kommen an vielen Stellen organische Böden hinzu, großflächig namentlich in Form von Niedermooren in den Tälern und Zungenbecken, nach Südosten zunehmend auch Hochmoore.

Die wärme-klimatische Grenze des Ackerbaus wird im Südwestdeutschen Alpenvorland nirgends unterschritten, doch stehen die Relief- und Bodenverhältnisse vielfach einer ackerbaulichen Nutzung entgegen, so daß auch in den niederschlagsärmeren Bereichen vielfach kleinere oder größere Flächen nur für Grünland oder Wald geeignet sind. Mit den nach Südosten ansteigenden Niederschlägen nimmt die ackerbauliche Eignung ganz allgemein ab. Im wärmeren **Bodenseegebiet (VII a - b)** finden sich außerhalb der spätfrostgefährdeten Becken in großem Umfang günstige Standorte für den Obstbau. Dagegen sind weinbaulich geeignete Standorte auf wenige sonnseitige Hanglagen beschränkt, insbesondere bei Meersburg und Hagnau.

XI Schweizer Mittelland

Im Schweizer Mittelland (XI) setzt sich das Alpenvorland südlich des Bodensees in einem nach Südwesten verlaufenden Streifen fort, der sich zwischen dem **Schweizer Jura (XII)** und den **Nord-schweizer Voralpen (X)** teilweise bis auf eine Breite von nur 25 km verschmälert. Die Palette der Standortseinheiten ist derjenigen des Südwestdeutschen Alpenvorlandes sehr ähnlich, doch bestehen in deren Verbreitung und Anordnung teilweise deutliche Unterschiede. Morphologisch fällt das Fehlen einer dem Bodenseebecken vergleichbaren zentralen Beckenlandschaft auf. Stattdessen wird das Gebiet von mehreren \pm parallel von den Voralpen (X) nach Nordwesten zum Rhein und zur Aare verlaufenden schmälere Zungenbecken und Tälern und dazwischen liegenden Höhenrücken geprägt. Ein Altmoränehügelland ist nur in bescheidenen Resten erkennbar; ansonsten wird der Bereich außerhalb der Jungendmoräne (**XI d - e**) eher von den Terrassen verschiedener Eiszeiten und von Molasserücken, im **Olten-Wettinger Hügelland (XI e)** teilweise auch von Juraschichten ge-

prägt. Auch im Jungmoränehügelland (XI a - c) ist die den geologischen Untergrund bildende Obere Süßwassermolasse viel häufiger an der Bodenbildung beteiligt als nördlich des Bodensees.

Wärme klimatisch ist der größte Teil des Schweizer Mittellandes den Verhältnissen im nördlichen Bodenseegebiet (VII a und b) vergleichbar, während die für den weitaus größten Teil des Südwestdeutschen Alpenvorlandes charakteristischen kühleren Stufen hier auf die schmale Randzone des **Waltenstein-St. Galler Hügellandes (XI c)** entlang dem Rand der Nordschweizer Voralpen (X) sowie die höheren Rücken innerhalb des **Zürich-Romanshorner Hügellandes (XI b)** beschränkt sind. Zu letzteren zählen u. a. der Seerücken nördlich und einige weitere Höhen südlich des Thurtals, der Pfannenstiel östlich und der Albis westlich des Zürichsees sowie der Irchel westlich Winterthur. Sie sind als eigene Teillandschaften zu klein und würden deshalb erst bei einer feineren Untergliederung auf der Ebene der Standortkomplexe, wie etwa der Schiener Berg innerhalb des Westlichen Bodenseegebiets (VII a, vgl. Abb 2), ausgewiesen. Im Interesse einer stärkeren Differenzierung wurden sie - abweichend vom sonstigen Vorgehen - auf dem Kartenausschnitt als **Hochlagen des Zürich-Romanshorner Hügellandes (XI ba)** gesondert dargestellt.

Die Niederschläge steigen von 850 mm bei Schaffhausen gegen die Voralpen hin deutlich an (St. Gallen 1 400 mm). Der dem Westlichen Bodenseegebiet (VII a) ähnliche Bereich mit Tendenz zu gelegentlicher Sommertrockenheit beschränkt sich deshalb auf das **Andelfingen-Konstanzer Hügelland (XI a)**, während das **Zürich-Romanshorner Hügelland (XI b)** mehr dem Östlichen Bodenseegebiet (VII b), das kühl-feuchte **Waltenstein-St. Galler Hügelland (XI c)** dem Westallgäuer Jungmoränehügelland (VII c) vergleichbar ist.

Die Kaltluftgefährdung weist ähnlich große Unterschiede auf wie nördlich des Bodensees. Stark gefährdet sind vor allem die weiten Tallandschaften, namentlich das Thurtal, wenig gefährdet dagegen die abflußgünstigen Hanglagen oberhalb der angestauten Kaltluftmassen und insbesondere entlang den Seen, namentlich am Bodensee und Zürichsee.

Die Vielfalt der Böden ist ähnlich wie im Südwestdeutschen Alpenvorland, doch tritt der Anteil der Moore zurück, was vor allem auf dem weitgehenden Fehlen vergleichbar breiter, abflußträger Zungenbecken beruht. Die durchschnittliche Feuchtigkeit, Entbasung und Pseudovergleyung der grundwasserfernen Mineralböden nimmt mit Annäherung an die Alpen zu. Mehr oder weniger trockene, flachgründige Böden finden sich örtlich über durchlässigem Untergrund am ehesten im **Andelfingen-Konstanzer Hügelland (XI a)**, doch überwiegen hier mittel- bis tiefgründige, ±

frische Böden bei weitem. Sie bilden zusammen mit dem mäßig warmen Klima die günstigsten Ackerbaustandorte im Norden des Schweizer Mittellandes. Auch im angrenzenden **Zürich-Romanshorner Hügelland (XI b)** finden sich ackerfähige Standorte in großem Umfang, während das feucht-kühle **Waltenstein-St. Galler Hügelland (XI c)** deutlich weniger für den Ackerbau geeignet ist. Auf den ackerbaufähigen Standorten der übrigen Gebiete findet außerhalb der Kaltluftammelbecken auch der Obst- und Gemüsebau vielfach gute Voraussetzungen, in den wärmsten Sonnhanglagen ist auch Weinbau möglich, namentlich am Zürichsee.

Gliederung des Westlichen Bodenseegebietes in Standortkomplexe (Abbildungen 2 bis 7)

Bei dem wegen seiner zentralen Lage im Exkursionsgebiet für eine detaillierte Gliederung herausgegriffenen Westlichen Bodenseegebiet (VII a) handelt es sich um die standörtlich vielfältigste Teillandschaft ganz Baden-Württembergs. Die Ursache liegt im Zusammentreffen einer im Kern von tertiären Sedimenten und Vulkanbildungen aufgebauten Mittelgebirgslandschaft mit dem ganzen Formenschatz der Hinterlassenschaften des mächtigen Rheinvorlandgletschers, die sich von Grund- und Endmoränen über Drumlins, Zungenbecken und Schmelzwasserrinnen bis zu ausgedehnten Schotterterrassen und Seen einschließlich der Inseln, großer Verlandungszonen und Niedermoore erstrecken.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die räumliche Zuordnung der Standortkomplexe. Dabei handelt es sich um einen stark vereinfachten und verkleinerten Ausschnitt aus der farbigen Originalkarte im Maßstab 1 : 250 000 (WELLER 1990), bei dem für die Schwarz-Weiß-Darstellung insbesondere auf eine Wiedergabe der topographischen Grundlage verzichtet werden mußte. Desgleichen unterblieb die Aufnahme der umfangreichen Erläuterungstabelle, in welcher jeder Standortkomplex nach seinen landschaftlichen Merkmalen, den typischen Ausprägungsstufen der verschiedenen Standortfaktoren und der davon abhängigen Eignung für bestimmte Kulturen charakterisiert wird. Stattdessen geben die Abbildungen 3 bis 7 einen Überblick über die räumliche Verteilung typischer Ausprägungsstufen einiger Standortfaktoren sowie der dadurch bestimmten vorrangigen landbaulichen Nutzungsmöglichkeiten. Bei diesen Abbildungen handelt es sich um ebenfalls stark vereinfachte Schwarz-Weiß-Wiedergaben von Karten aus dem Digitalen Landschaftsökologischen Atlas (DURWEN et al. 1996), die aus den Daten der Tabelle abgeleitet wurden.

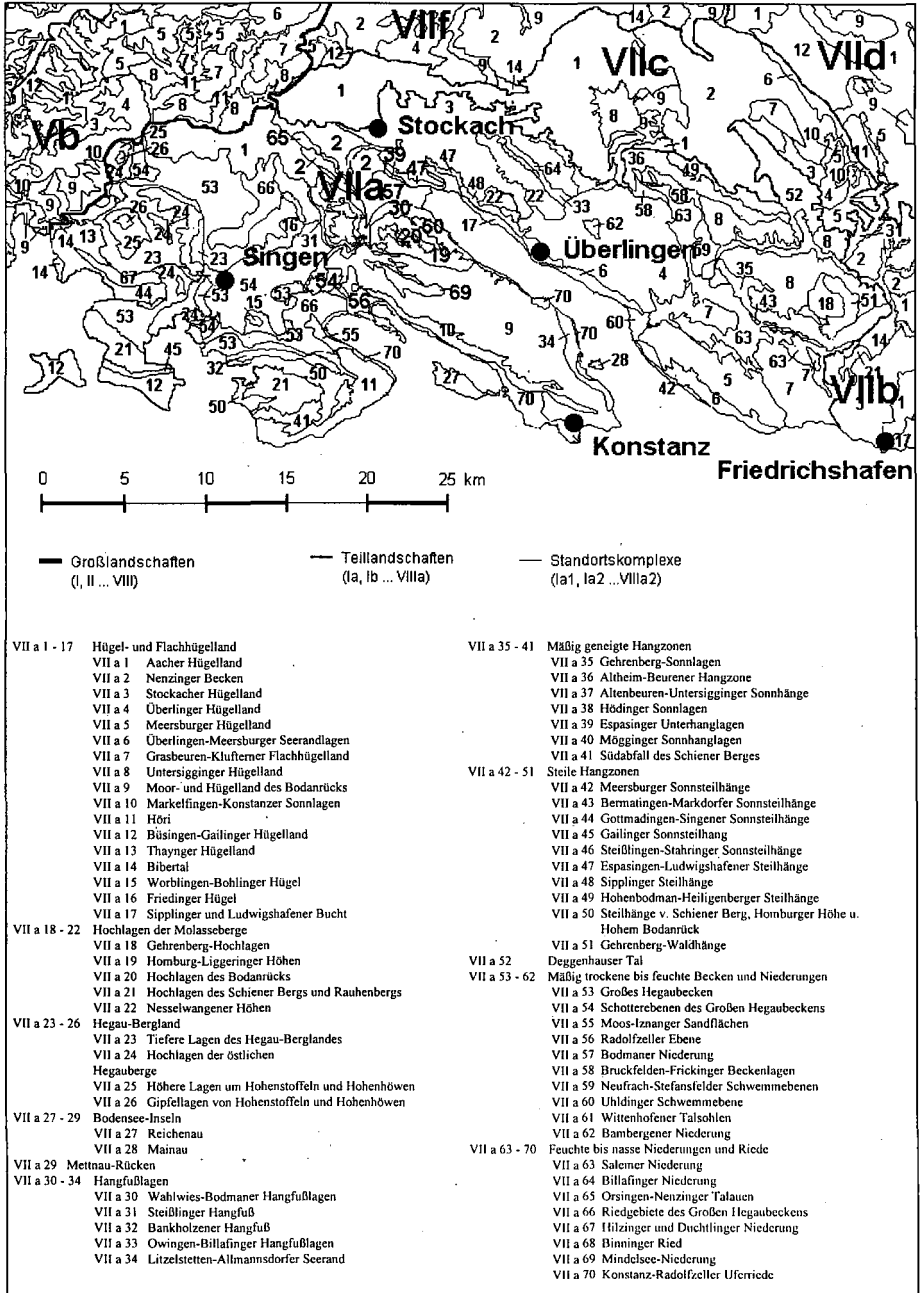


Abb. 2: Gliederung des Westlichen Bodenseegebietes und Hegaus (VII a) in Standortskomplexe

Geomorphe Einheiten (Abb. 3)

Wie aus den Abbildungen 2 und 3 hervorgeht, wird das Gebiet weithin von \pm bewegten **Hügel- und Flachhügellandschaften** geprägt, welche die **Zungenbecken** umgeben, für die große **Ebenen** bis allenfalls flachhügelige Abschnitte charakteristisch sind. Wo das Hügelland größere Höhen erreicht,

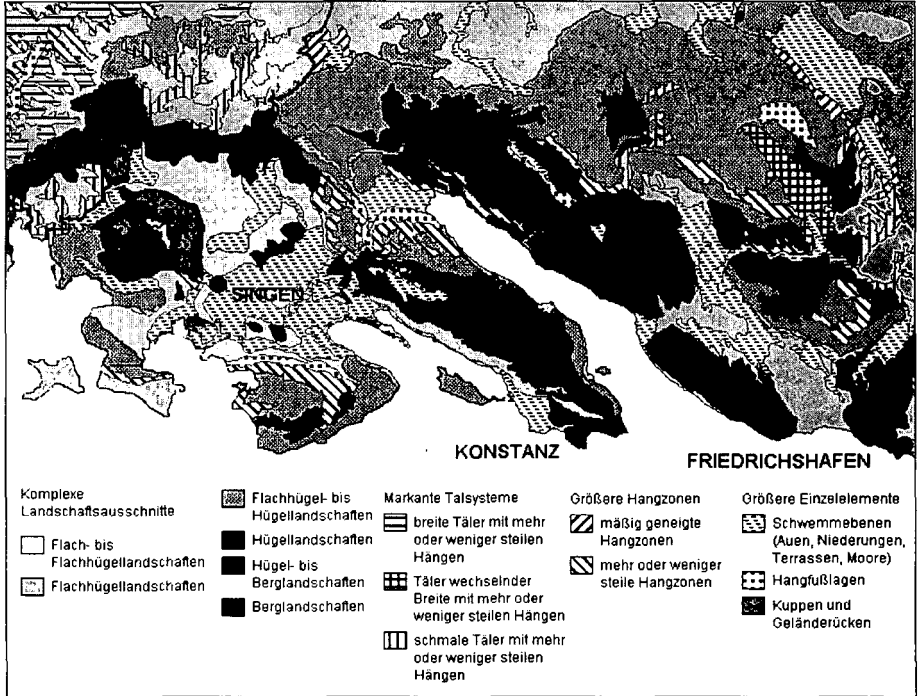


Abb. 3: Geomorphe Einheiten

fällt es teilweise mit markanten **Steilhangzonen** gegen die Beckenlandschaften ab, namentlich bei-
derseits des Überlinger Sees, um den Schiener Berg und Gehrenberg sowie entlang dem Nordrand
des Gebietes im Anstieg zum höheren und kälteren Pfullendorfer Jungmoränehügelland (VII c).
Nördlich des Überlinger Sees sowie im Hegau-Bergland finden sich komplexere **Berglandschaften**
mit herausragenden Kuppen und Geländerücken. Am Fuß der Steilhänge haben sich im Übergang
zu den Tiefebene teilweise breite **Hangfußzonen** entwickelt (VII a 30 bis 33). Eine morpho-
logische Besonderheit bildet das weit zwischen die höheren Lagen des Pfullendorfer Jungmoräne-
hügellandes hineingreifende **Deggenhauser Tal** (VII a 52). Ansonsten fehlen dem Gebiet markante

Talsysteme weitgehend - im Unterschied zu den umgebenden Landschaften, namentlich im Nordwesten (V b).

Charakteristische Wärmestufen (Abb. 4)

Die Angaben relativer Wärmestufen in Abbildung 4 sind aus der auf phänologischer Basis erstellter Wuchsklimakarte von Baden-Württemberg 1 : 200 000 (ELLENBERG et al. 1955) abgeleitet. Dabei entspricht die Differenz von einer Stufe zur anderen jeweils etwa einer Woche Vegetationszeit. Da innerhalb eines Standortkomplexes je nach örtlicher Höhenlage, Exposition und Inklination verschiedene Wärmestufen vorkommen können, gibt die dargestellte Stufe meist einen Mittelwert aus zwei bis drei, vereinzelt auch bis zu vier Stufen an. Sofern die wiedergegebene Stufe in dem Komplex überwiegt, wird dies durch einen zugesetzten Punkt angezeigt.

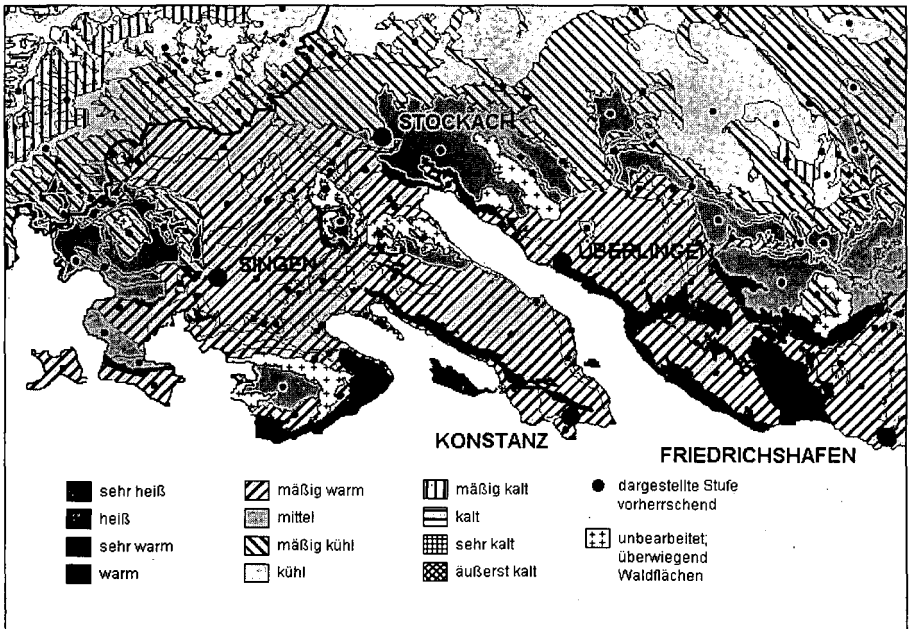


Abb. 4: Charakteristische Wärmestufen

Die beiden wärmsten Stufen des Landes kommen im Bodenseegebiet nicht vor, und auch die Stufe „**sehr warm**“, die noch für Weinbau ausreicht (238 - 245 Tage mit Lufttemperaturmittel $> 5^{\circ}\text{C}$), ist auf wenige sonnseitige Hanglagen begrenzt. Vorherrschend tritt sie nur in den **Meersburger** und **Bermatingen-Markdorfer Sonnsteilhängen (VII a 42 und 43)** auf, die jedoch wegen ihrer geringen Ausdehnung auf der verkleinerten Karte kaum in Erscheinung treten. Daneben findet sie sich örtlich auch noch innerhalb der als „**warm**“ gekennzeichneten Bereiche, die sich ebenfalls weitgehend auf sonnseitige Hanglagen sowie Seerandlagen beschränken. Für den größten Teil des Westlichen Bodenseegebietes ist die Stufe „**Mäßig warm**“ (224 - 231 Tage mit Mittel $> 5^{\circ}\text{C}$) charakteristisch, für höhere Lagen auch die Stufe „**mittel**“. Als überwiegend „**mäßig kühl**“ (210 - 217 Tage) und damit beispielsweise für den Anbau von Körnermais bereits nicht mehr geeignet erweisen sich nur die Hochlagen des Gehrenbergs, des Bodanrücks und der Hegauberge sowie einiger schattseitiger Hangzonen (**VII a 18, 20, 24, 25, 49, 52**). In den nördlich angrenzenden höheren Teillandschaften (**VII c, d, f, V b**) ist die Stufe „**mäßig kühl**“ dagegen großflächig verbreitet und geht mit zunehmender Höhe in noch kältere Bereiche mit Ausnahme der beiden kältesten Stufen des Landes über.

Charakteristische Stufen der Kaltluftgefährdung (Abb. 5)

Im Unterschied zu den auf Abbildung 4 dargestellten durchschnittlichen Wärmeverhältnissen informiert Abbildung 5 über die oft nur einige Stunden währende Temperaturverteilung, die durch bodenbürtige Kaltluft in windarmen Strahlungs Nächten entsteht. Infolge des Absinkens der kalten Luftmassen sind dann die Kaltluftammelbecken, namentlich das Große Hegabecken im Westen und das Salemer Becken im Osten, am kältesten und deshalb **großräumig stark gefährdet durch Spät- und Frühfröste**, während die abflußünstigen Hochlagen nur eine **geringe** oder sogar **sehr geringe Gefährdung** aufweisen. Im übrigen Hügelland herrscht im Durchschnitt **eine mäßige Gefährdung**, wobei jedoch je nach örtlicher Situation innerhalb der Standortkomplexe erhebliche Unterschiede auftreten können. Besonders interessant sind die Verhältnisse entlang den **Seeufern**: Meist sind die seenahen Lagen (einschließlich der Inseln) nur wenig gefährdet, insbesondere dort, wo das Land rasch ansteigt. So gehören beispielsweise die Sipplinger Steilhänge (VII a 48) zu den spätfrostsichersten Lagen ganz Südwestdeutschlands. Wo jedoch aus den großen Landschaftsbecken die gesammelte Kaltluft in hoher Schichtung auf den See zuströmt, reicht die stark gefährdete Zone bis an das Seeufer.

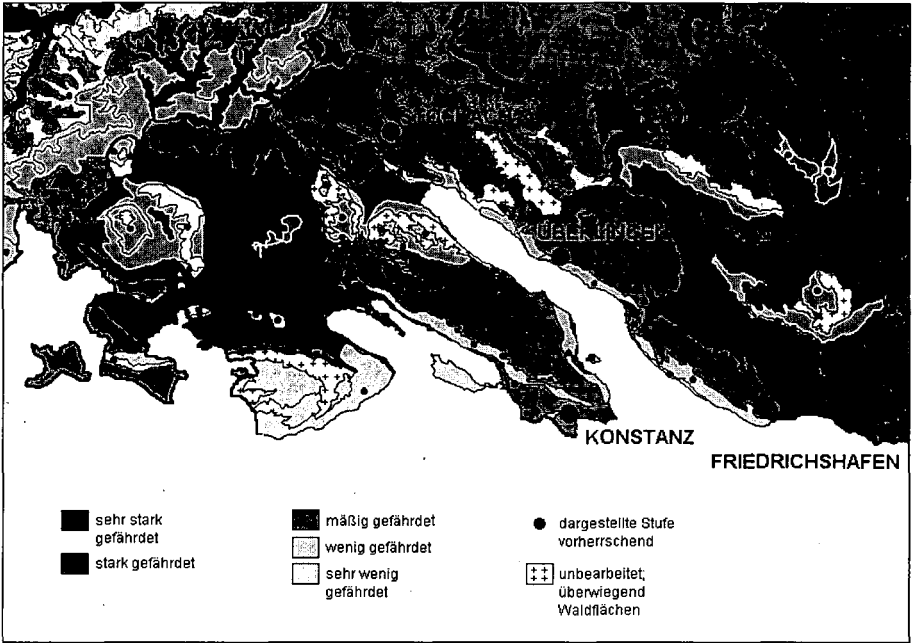


Abb. 5: Charakteristische Stufen der Kaltluftgefährdung

Noch stärker gefährdete Gebiete finden sich in abflußträgen Situationen in den angrenzenden Teillandschaften. Davon sind auf dem Kartenausschnitt im Nordosten das Pfrunger Ried (VII d 12) sowie im Nordwesten einige Täler der Hegaualb (V b 11) zu erkennen, während sich die abflußgünstigen Hochlagen der Hegaualb durch eine im Durchschnitt geringe Gefährdung auszeichnen.

Anteil ± trockener und feuchter Böden an den Standortkomplexen (Abb. 6)

Von den Bodenfaktoren sei hier die für die Landnutzung besonders wesentliche Bodenfeuchte herausgegriffen. In den meisten Standortkomplexen des Westlichen Bodenseegebietes überwiegen die günstigen **mittleren ökologischen Feuchtestufen** „mäßig frisch“ und „frisch“. Daneben finden sich jedoch, oft in kleinräumiger Verzahnung, auch trockenere und feuchtere Standorte in sehr unterschiedlichen Anteilen. Über ihre Verbreitung informiert Abbildung 6. Als **trocken** im Sinne dieser Karte zählen alle Standorte ab der Stufe „mäßig trocken“ (charakterisiert durch die Salbei-Glatthaferwiese), als **feucht** ab der Stufe „mäßig feucht“ (Fuchsschwanz-Glatthaferwiese).

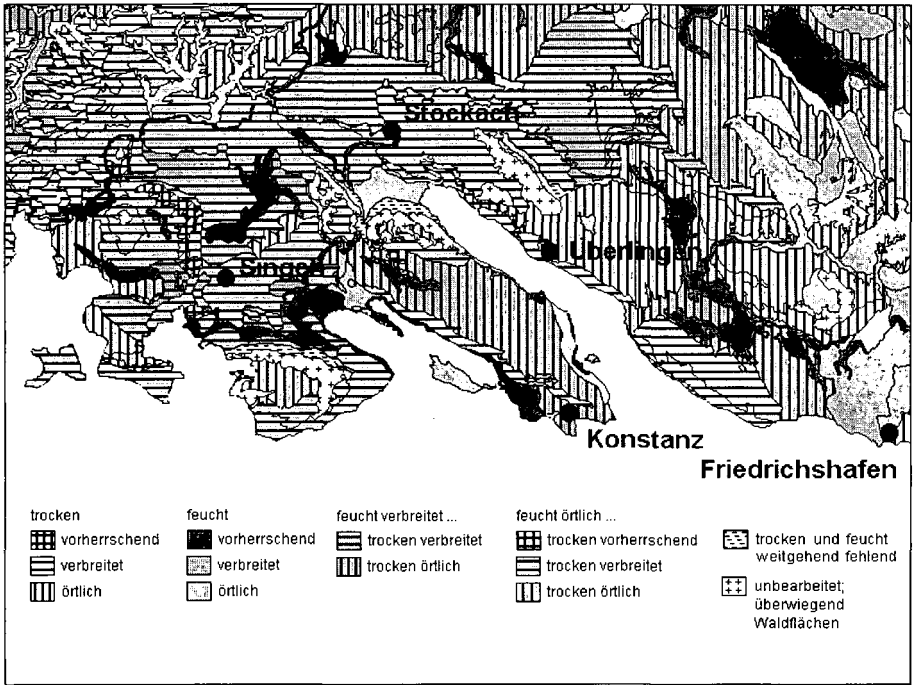


Abb. 6: Anteil trockener und feuchter Böden

Wie aus der Karte hervorgeht, gibt es nur ganz wenig Standortkomplexe, in denen weder trockene noch feuchte Böden eine Rolle spielen. Solche Verhältnisse sind praktisch auf die tiefgründigen **Kolluvien der Hangfußlagen** unterhalb der Molassesteilhänge begrenzt (VII a 30-33). In den großen **Niederungen und Rieden** (VII a 63-70) herrschen \pm feuchte Böden großflächig vor, während das Vorherrschende **trockener Böden** auf kleinere Standortkomplexe begrenzt ist, wobei es sich neben den **Hochlagen der östlichen Hegauberge** (VII a 24) im wesentlichen um **sonnseitige Steilhänge** handelt (VII a 40, 42, 44, 48). Im übrigen finden sich in den meisten Standortkomplexen sowohl trockene als auch feuchte Böden, wobei sich der Anteil der trockenen Standorte nach Osten mit zunehmenden Niederschlägen auf örtliche Vorkommen vermindert.

Vorrangige landbauliche Nutzungsmöglichkeiten (Abb. 7)

Auch weitere wichtige Standortfaktoren (Hangneigung; Gründigkeit, Potentielle Trophie, Kalkgehalt und Azidität der Böden; Gefährdung durch Überschwemmungen und Hangrutschungen) weisen im Gebiet große Unterschiede ihrer Ausprägung auf, doch muß auf eine Wiedergabe der entsprechenden Karten aus Platzgründen verzichtet werden. Schließlich ist es auch nicht das vorrangige Ziel der Standortkartierung, möglichst viele Einzelfaktoren darzustellen, sondern diese zu kombinieren und darauf aufbauend Aussagen über die Eignung der Standorte für bestimmte Formen der Landnutzung zu vermitteln. Solche **Eignungskarten** liegen sowohl speziell für einzelne Kulturarten (Ackerbau, Grünland, Erwerbsobstbau, Weinbau) als auch in Form einer integrierenden Aussage zu den aus standortkundlicher Sicht jeweils vorrangig erscheinenden landbaulichen Nutzungsmöglichkeiten vor. Abbildung 7 zeigt daraus einen vereinfachten Ausschnitt.

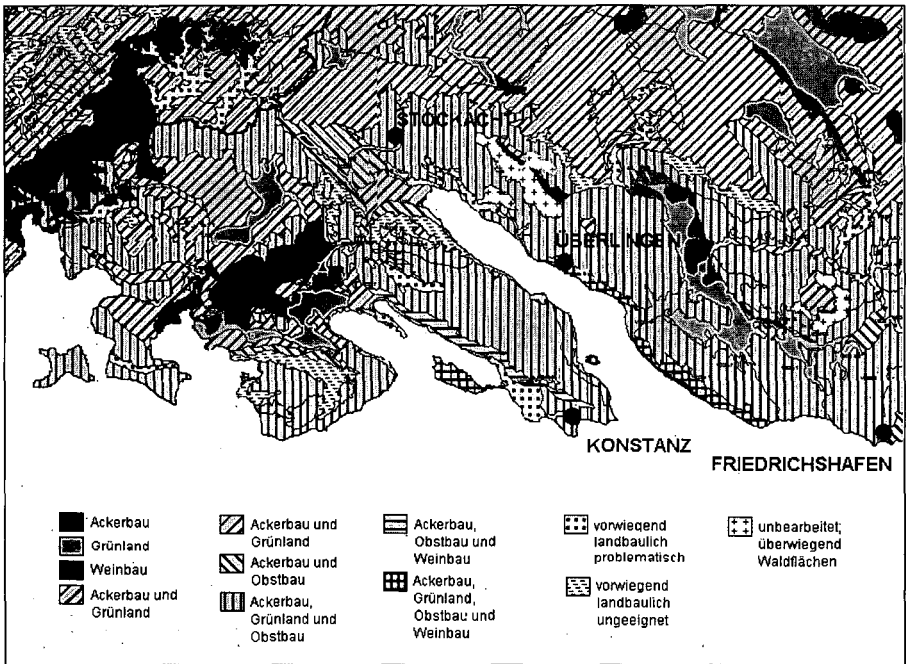


Abb. 7: Vorrangige landbauliche Nutzungsmöglichkeiten

Wie angesichts der bereits geschilderten Vielfalt der Standortverhältnisse nicht anders zu erwarten, weisen auch die Nutzungsmöglichkeiten große Unterschiede auf. Weit verbreitet sind gute Voraussetzungen für eine **Kombination von Ackerbau, Grünland und Intensivobstbau**, in den wärmsten Lagen auch **Weinbau**. In kaltluftgefährdeten Beckenlagen muß jedoch auf frostempfindliche Sonderkulturen verzichtet werden. Soweit hier geeignete Böden großflächig vorkommen, wie namentlich auf den Terrassen und tiefgründigen Randalagen (VI a 54, 58, 59), bestehen gute Voraussetzungen für **ackerbauliche Schwerpunkte**; im übrigen muß der Ackerbau - wie auch in den hängigen Lagen des höheren Berglandes - mit Grünland kombiniert werden. Große Teile der Tieflagen sind so feucht, daß sie nur als **Grünland** genutzt werden können, namentlich im Großen Hegaubecken und im Salemer Becken (VII a 63, 65, 66), oder selbst dafür größtenteils zu naß sind (VII a 68, 69, 70). Letztere zählen jedoch zu den für den **Artenschutz** wertvollsten Gebieten. Ähnliches gilt hinsichtlich anderer artenreicher Biozöosen für die wegen ihrer Steilheit und oft auch Trockenheit als landbaulich problematisch oder ungeeignet eingestuften Hanglagen. Solche landbaulich schwierigen, aber für den Artenschutz wertvollen Standorte kommen in kleinerem Umfang auch in zahlreichen anderen Standortkomplexen vor, die auf der Karte als \pm gut geeignet für landbauliche Kulturen ausgewiesen sind. Über ihre Verbreitung informiert eine „Karte der potentiellen Schwerpunkte für Schutz, Pflege und Entwicklung in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs 1 : 250 000“, auf die hier nur verwiesen werden kann (WELLER und DURWEN 1994).

Für detailliertere Planungsmaßnahmen sind Karten in größeren Maßstäben erforderlich, die einzeln publiziert wurden (VOGELGSANG et al. 1975, WELLER et al. 1980), meist aber nur als handkolorierte Unikate vorliegen. Das gilt auch für die im Maßstab 1 : 10 000 angefertigten forstlichen Standortskarten (vgl. hierzu MÜHLHÄUSSER et al. 1983, LÜSCHER 1993).

Für technische Unterstützung gilt Frau Wiltrud Walz und Herrn Wolfgang Bortt besonderer Dank.

Literaturverzeichnis

- DURWEN, K.-J., F. WELLER, CHR. TILK., H. BECK, S. KLEIN, A. BEUTTLER (1996): Digitaler Landschaftsökologischer Atlas Baden-Württemberg 1 : 200 000. - Hrsg.: Institut für Angewandte Forschung „Landschaftsentwicklung & Landschaftsinformatik“ (IAF) der Fachhochschule Nürtingen, in Kooperation mit und gefördert von dem Umweltministerium und dem Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg. CD-ROM mit Begleitbuch, Springer Electronic Media.
- ELLENBERG, H., unter Mitwirkung von CH. ELLENBERG, M. KOHLMAYER, O. ZELLER u. a. (1955): Wuchsklimakarte von Baden-Württemberg 1 : 200 000. - Reise und Verkehrsverlag, Stuttgart.
- FREI, E., und K. PEYER (1984): Bodenkarte der Schweiz 1 : 500 000. - In: Atlas der Schweiz, 2. Ausgabe, Bundesamt für Landestopographie, Wabern - Bern.
- FREI, E., U. VÖKT, R. FLÜCKIGER, H. BRUNNER und F. SCHAI (1980): Bodeneignungskarte der Schweiz 1 : 200 000. - 4 Karten + 145 S. Text. Eidg. Justiz- und Polizeidepartment - Bundesamt für Raumplanung, Eidg. Volkswirtschaftsdepartment - Bundesamt für Landwirtschaft, Eidg. Department des Innern - Bundesamt für Forstwesen, Bern.
- JEANNERET, F., und PH. VAUTIER, unter Mitwirkung von J. CAPUTA, R. HÄBERLI, B. MESSERLI u. a. (1977): Klimateignungskarten für die Landwirtschaft in der Schweiz 1 : 200 000. - 5 Karten + 47 S. Text + 14 S. Tabellen. Eidg. Justiz- und Polizeidepartment - Der Delegierte für Raumplanung - Eidg. Volkswirtschaftsdepartment - Abteilung für Landwirtschaft, Bern.
- LÜSCHER, P. (1993): Bodenkunde - In: ARGE BGU/Dickmann/Aqua Terra: Kartierungsschlüssel für die Wälder im Kanton Thurgau. 21 S., Frauenfeld.
- MÜHLHÄUSSER, G., unter Mitwirkung von W. HÜBNER und G. STUMMER (1983): Die Forstliche Standortskarte 1 : 10 000 nach dem baden-württembergischen Verfahren. - Mitt. Ver. für Forstl. Standortskde. u. Forstpflanzenzüchtung 30, 3-13. Ulmer, Stuttgart.
- SCHLENKER, G., und S. MÜLLER unter Mitarbeit von ... (1973-1986): Erläuterungen zur Karte der Regionalen Gliederung von Baden-Württemberg. Mitt. für Forstl. Standortskde. u. Forstpflanzenzüchtung, 23, 3-66 (1973); 24, 3-38 (1979); 26, 3-52 (1978); 32, 3-42 (1986). Ulmer, Stuttgart.
- SCHREIBER, K.-F., unter Mitwirkung von N. KUHN, C. HUG, R. HÄBERLI und C. SCHREIBER (1977): Wärmegliederung der Schweiz 1 : 200 000. - 5 Karten + 64 S. Text, Eidg. Justiz- und Polizeidepartment - Der Delegierte für Raumplanung, Bern.

- VOGELGSANG, W., F. WELLER, J. SCHIEFER und S. MÜLLER (1975): Ökologische Standortskarte der Gemarkung Sipplingen 1 : 5 000. - In: EBERHARD, K., et al.: Landschaftsplan Sipplingen. Hrsg.: Min. f. Ernährung, Landwirtschaft u. Umwelt Baden-Württemberg, Stuttgart.
- WALTER, H., (1951): Einführung in die Phytologie. III. Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I. Teil: Standortslehre. - 525 S.. Ulmer, Stuttgart.
- WELLER, F. (1987): Die Beurteilung des Wasserhaushaltes bei der landbaulichen Standortskartierung in Baden-Württemberg. - Mitt. Ver. für Forstl. Standortskde. u. Forstpflanzenzüchtung 33, 41-48. Ulmer, Stuttgart.
- WELLER, F. (1990): Ökologische Standortseignungskarte für den Landbau in Baden-Württemberg 1 : 250 000. - 32 S. + 2 Karten + Tabellen. Hrsg.: Ministerium für Landlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart.
- WELLER, F., und K.-J. DURWEN (1994): Standort und Landschaftsplanung. Ökologische Standortskarten als Grundlage der Landschaftsplanung. 188 S. + 1 Karte. ecomed, Landsberg.
- WELLER, F., W. VOGELGSANG, J. SCHIEFER und U. WAGNER unter Mitarbeit von W. HÜBNER, G. MÜHLHÄUSSER, S. MÜLLER und R. REMPP (1980): Ökologische Standortseignungskarten von Teilräumen der Region Bodensee-Oberschwaben. - 59 S. + 4 Karten. Ravensburg.

Böden und Bodenverbreitung

von

K. Stahr* und K. Peyer**

Inhaltsverzeichnis:

0. Einleitung: Historisches zur bodenkundlichen Erforschung des Raumes und zur landschaftlichen Vielfalt
- I. Jungmoränengebiete des Schweizer Mittellandes, Oberschwabens und des Allgäus
 - a) Tieferes Schweizer Mittelland
 1. Ebenen
 2. Hügelland
 - b) Hügel- und Flachhügelland des Deutschen Bodenseegebietes
 1. Becken und Niederungen
 2. Hügelland
 - c) Moränenbedecktes Schweizer Molassehügelland
 - d) Molasserücken des westlichen und östlichen Bodenseegebietes
 - e) Oberschwäbische Hügellandschaft der äußeren Jungmoränen (Pfullendorf, Wilhelmsdorf, Waldsee)
 - f) Westallgäuer Hügelland (Leutkirch, Kisslegg, Wangen)
- II. Oberschwäbisches Altmoränen-Hügelland
- III. Der Hegau einschließlich der Hegau-Alb
- IV. Karstgebiete des Schweizer Juras und der Schwäbischen Alb
 - a) Tafel-Jura einschließlich Randengebiet
 - b) Ketten-Jura
 - c) Kuppenalb der Baar
 - d) Donau-Flächenalb
- V. Rheintal
 - a) Alpenrheintal
 - b) Hochrheintal zwischen Stein am Rhein und Basel
 - c) Klettgau und Dinkelberg
- VI. Alpenrand
 - a) Faltenmolasse
 - b) Nagelfluhgebiet
- VII. Zusammenfassung
- VIII. Literaturverzeichnis

*) Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart

***) Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich, Reckenholzstr. 191

0. EINLEITUNG:

Historisches zur bodenkundlichen Erforschung des Raumes und zur landschaftlichen Vielfalt

Der Naturraum um den Tagungsort Konstanz mit dem Schweizer Mittelland und Oberschwaben wird nach Südosten vom Anstieg der Alpen mit den nördlichen Kalkalpen und den helvetischen Decken sowie einer vorgelagerten Flyschzone begrenzt. Nach Nordwesten wird der Raum abgeschlossen durch die Tafel der Jurakalke, welche die Schwäbische Alb bilden, die sich nach Südwesten fortsetzt über das Randengebiet in den Schweizer Tafel- und Faltenjura. Durch diese Juralandschaft schneidet sich der Rhein zwischen Stein am Rhein und Schaffhausen hindurch und erschließt damit die Schichtstufenlandschaft des Klettgau und der Baar, welche sich östlich an den Schwarzwald anlegen, um schließlich selbst bei Waldshut das Kristallin des Schwarzwaldes zu erreichen. Weiter westlich sind dem Kristallin-Schwarzwald noch die sedimentbedeckten Staffelschollen der Weitenauer Vorberge und des Dinkelbergs vorgelagert, bevor am Rheinknie bei Basel die Oberrheinische Tiefebene erreicht wird.

Die dominierende Landschaft aber bleibt das Schweizer Mittelland und der Oberschwäbische Molassetrog, welche mehrfach durch alpine Vergletscherung überprägt wurden, bevor sich die holozänen Böden entwickeln konnten. Als Besonderheiten aus dem Tertiär, die auch die heutige Bodenvergesellschaftung noch überprägen, sind uns die phonolitischen und basaltischen Vulkanruinen und Deckentuffe des Hegau überliefert und weniger bekannt die am Südrand der Schwäbischen Alb entlangziehende, breite fluviatile Graupensandrinne.

Die Bodengesellschaften des Untersuchungsraums sind auf der einen Seite durch eine gewisse Eintönigkeit, dann aber auch durch eine vor allem kleinräumige Vielfalt gekennzeichnet. Die Eintönigkeit ist dadurch bedingt, daß mehr als 80 % der terrestrischen Böden aus mergeligen Ausgangsgesteinen hervorgegangen sind, die sich auch hinsichtlich ihres Mineralbestandes und ihrer chemischen Zusammensetzung nicht sonderlich unterscheiden, wohl aber hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung. Die Vielfalt ist großräumig dadurch bedingt, daß in der Landschaft auch rein silikatische (Vulkanite) und karbonatische (Jurakalke) Gesteine vorkommen. Auch das Regionalklima ändert sich deutlich. So weist das Bodenseebecken eine deutliche Gunst des Wärmeklimas aus, die überprägt ist von einer von Westen nach Osten und von Norden nach Süden zunehmenden Durchfeuchtung. Nach Norden zu den Höhen der Schwäbischen Alb nehmen die Temperaturen ebenfalls stark ab; die Niederschläge dagegen weniger stark zu. Für die Vielfalt von größerer Bedeutung sind aber die kleinräumigen Unterschiede, welche in den Glazial-, Molasse-, Kalkstein- und Vulkangebieten zu einem sehr engräumigen

Wechsel von jungen und vollentwickelten, von flachgründigen und tiefgründigen, von terrestrischen und hydromorphen, von Mooren und mineralischen Böden führen.

Ist auch die Landschaft um den Bodensee bereits zur Steinzeit relativ dicht besiedelt worden und haben auch die Kulturepochen nachrömischer Zeit noch bis heute ihre Spuren hinterlassen, so ist doch die naturhistorische Beobachtung und insbesondere die bodenkundliche Erforschung des Raumes weit hinter der Zeit zurückgeblieben. Gleichwohl fand auch die intensive Aneignung der Böden zur Nutzung schon sehr früh statt. So ist urkundlich erwähnt, daß Abt Hatto I. im Jahre 818 den ersten Rebstock auf der Insel Reichenau pflanzte. Einer seiner Nachfolger Abt Walahfrid Strabo erweiterte die Wein- und Gemüsekulturen und schuf mit seinem 'Hortulus' eine Beschreibung der gartenbaulichen und weinbaulichen Tradition auf der Insel bereits 842 bis 849. Der großherzoglich-badische Staatsrat in Hegne auf dem Bodanrück, JOHANN BAPTIST VON HOFER, fertigte 1822 eine ausführliche Beschreibung über Landwirtschaft und Gartenbau im sogenannten See-Kreis. Hierin ist über den Boden auf der Insel Reichenau folgendes zu lesen: "Der Boden ist in der Insel nicht allenthalben gleich, wie es bei aufgeschwemmten und viele Jahrhunderte in Kultur gestandenem Erdreiche gewöhnlich der Fall ist. Indessen ist in dem Reb- und Ackergelände sandiger oder kiesiger Leimen mit kiesiger Unterlage die vorherrschende Erdart und in den Niederungen, wo die Wiesen sind, findet sich moorigter Boden mit einer Unterlage von Ton- und Kieselerde, welche das Niedersinken der Wasser erschwert." - Welch eine treffliche Beschreibung einer Pararendzina-Moor-Gesellschaft!

Die Geowissenschaft widmet sich in ihrer Erforschung des Raumes seit dem frühen 18. Jahrhundert als SCHEUCHZER von 1702 - 1706 die Fossilfunde aus dem Tertiär von Öhningen beschrieb, die Entwicklung der Lebewelt, den Vulkanismus und besonders auch die Glazialgeschichte. ALBRECHT PENCK schuf im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts die Gliederung der Eiszeiten im Alpenvorland und schuf mit E. BRÜCKNER, 1909, mit seinem Buch 'Die Alpen im Eiszeitalter' die Grundlagen für das Verständnis der Bodendecke im Voralpenraum. Der beste Kenner der landschaftlichen Entwicklung des Konstanzer Raumes und des Hegaus und Oberschwaben ist A. SCHREINER, der 1974 und 1994 in seinen Erläuterungen zur geologischen Karte des Landkreises Konstanz (1:50 000) auch die Geschichte der geowissenschaftlichen Erforschung des Raumes zusammengefaßt hat.

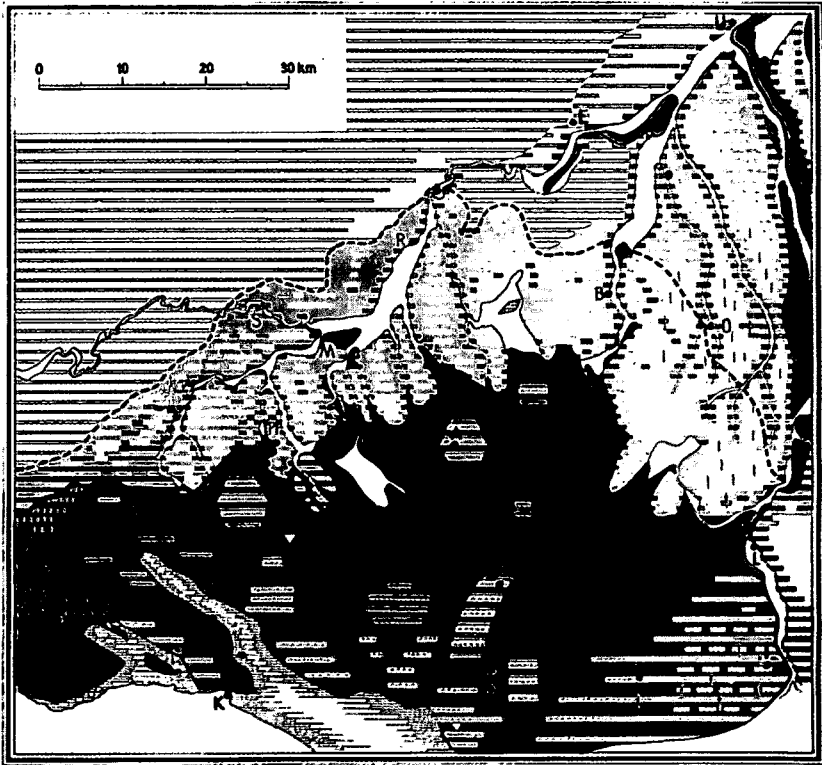
Die bodenkundliche Erforschung des Raumes setzte intensiver erst nach dem 2. Weltkrieg ein. Sie hat drei Wurzeln:

- Von der Iller nach Westen arbeitete sich der Arbeitskreis 'Oberschwäbische Fichtenreviere' vor, um unter Leitung des Bodenkundlers Gustav Adolf KRAUS und des Vegetationskundlers Gerhard SCHLENKER sowie des Pollenanalytikers R. HAUFF die

forstlichen Standorte Oberschwabens zu erforschen, die Landschaften zu gliedern und insbesondere den Einfluß waldwirtschaftlicher Eingriffe auf Standortsveränderungen zu dokumentieren. Zu dieser Arbeitsgruppe stießen bald auch die jungen Bodenkundler H.W. ZÖTTL, S. MÜLLER und J. WERNER. Aus der Feder von J. WERNER stammen die 10 Jahre später (1964) erschienenen "Grundzüge einer regionalen Bodenkunde des südwestdeutschen Alpenvorlandes". Hier zeigt WERNER umfassend den Kenntnisstand zur Regionalisierung und zur Bodenentwicklung in den Glazial- und Molassegebieten Oberschwabens auf. Wenn diese Schrift auch in ihrer umfassenden Art bis heute nicht wieder erreicht wurde, so war sie die Grundlage für viele detailliertere Untersuchungen zur Bodenentwicklung, Bodendynamik und Bodenvergesellschaftung im oberschwäbischen Bereich. So hat später in Anlehnung an die regionale Gliederung von JÖRG WERNER H.-P. BLUME (1968) die Stauwasserböden der Alt- und Jungmoränenlandschaft verglichen. Auch SIEGFRIED MÜLLER (1968) in seinen "Waldböden im Farbbild" greift auf die Wernerischen Erfahrungen zurück und beschreibt phantasievoll seine Gedanken zur Boden- und Standortsentwicklung wichtiger Böden Baden-Württembergs. Auch jüngere Arbeiten zur Regionalisierung der Bodendecke Oberschwabens (SCHLICHTING et al., 1987; HORNIG et al, 1991; GEOL.LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 1993-1995) greifen immer noch auf die Erfahrungen JÖRG WERNER's zurück.

- Während die forstliche Standortkunde zunächst sehr stark bodenkundlich orientiert war und erst später zunehmend von der Vegetationskunde geprägt wurde, ging die standortkundliche Erfassung des Grünlandes und des Obstbaus eher von vegetationskundlichen Erhebungen aus. Sie wurde in sehr starkem Maße von H. ELLENBERG und seinen Schülern geprägt und durchgeführt (ELLENBERG, 1954; ELLENBERG et al, 1956). Aus dieser Arbeitsgruppe entstand aus detaillierter Landschaftskenntnis heraus eine agrarökologische Gliederung Baden-Württembergs (1:250 000), die Klima und Boden und als integrierendes Element die spontane Vegetation berücksichtigte und auf den Standorteignungskarten speziell für den Erwerbsobstbau (WELLER und SILBEREISEN, 1978) sowie für den Landbau allgemein (WELLER, 1990) aufbauen. Die hier gelegten Grundlagen sind bis heute die Entscheidungsbasis für die Entwicklung des Landbaus in der Region (WELLER und DURWEN, 1994).

- Die dritte große Linie kommt aus der Erforschung der Moore. Diese wurden hauptsächlich durch die unermüdliche Aktivität von K.H. GÖTTLICH, der von Sigmaringen aus sämtliche Mooregebiete Oberschwabens erkundete, erforscht. Einen regionalen Überblick über die Senkenböden geben vor allem seine Moorkarten, z.B. Blatt 8124 Waldsee (1968), aber auch monographische Publikationen über das Hoßkircher Moor, das Pfrunger Ried, den Federsee und das Langenauer Ried.













- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | Para-Braunerden geringer Entkalkungstiefe |  | Terra fusca |
|  | Para-Braunerden großer Entkalkungstiefe |  | Terra fusca-artige Para-Braunerden |
|  | Sand-Para-Braunerden großer Entkalkungstiefe |  | Podsole |
|  | Sekundäre Steuäseeboden (Übergänge zum Pseudogley, Pseudogley, Stagnogley) |  | Para-Braunerden geringer Entkalkungstiefe aus alpinem Material mit rötlichem B-Horizont |
|  | Primäre Ton-Pseudogleye, zT auch Ton-Para-Braunerden |  | Durch menschliche Wirtschaft stark degradierte Waldböden |

Abbildung 1: Bodenübersichtskarte des südwestdeutschen Alpenvorlandes (verändert nach Werner 1964) - Auenböden und große Mooregebiete sind weiß, Grundwasserböden wurden nicht berücksichtigt, Bodensee und Federssee sind schraffiert. Die Buchstaben mit Punkten bezeichnen nicht Ortschaften.

1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025

Eine der wesentlichen Erkenntnisse der bodenkundlichen Erforschung in den letzten 50 Jahren ist, daß die Variabilität innerhalb einer Bodengesellschaft mit Abfolgen wie Pseudogley, Parabraunerde, Pararendzina, Kolluvium, Gley und Moor wesentlich größer ist als die regionale Differenzierung entlang eines Klimagradienten, z.B. von West nach Ost auf den Schotterflächen der Jungmoränenlandschaft mit rubifizierter Parabraunerde, Parabraunerde mit geringer Entkalkungstiefe, Parabraunerde mit großer Entkalkungstiefe und Parabraunerde-Braunerde.

Die Darstellung der Böden wird hier auf deutscher Seite in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden, KA 4, 1994) durchgeführt. Die Schweizer Darstellung lehnt sich an die "Klassifikation der Böden der Schweiz" (1992) an. Eine Vereinheitlichung der Nomenklatur erschien bei dem vorhandenem Datenmaterial nicht sinnvoll. Erkannte doch schon JÖRG WERNER (1964): "Da der Systematik und der Nomenklatur in der Bodenkunde von der Natur weit bescheidenere Rollen zugewiesen sind als in den biologischen Wissenschaften, ist in diesen Punkten eine gewisse Freizügigkeit erlaubt. Es wird daher mehr Wert darauf gelegt, den naturgegebenen Verhältnissen des Arbeitsgebiets gerecht zu werden und verständlich zu sein als darauf, sich unbedingt an die derzeit üblichen Bodentypenbezeichnungen zu halten."

I. JUNG MORÄNENGEBIETE DES SCHWEIZER MITTEL LANDES, OBER-SCHWABENS UND DES ALLGÄUS

a) Tieferes Schweizer Mittelland

Die Ebenen des tieferen Schweizer Mittellandes bilden zusammen mit dem leicht gewellten Moränehügelland das klimatisch begünstigte Ackerbauggebiet. Das nordschweizerische, tiefere Mittelland liegt 350 bis 450 m ü.M. Der Niederschlagshaushalt ist mäßig trocken bis ausgeglichen (Klimaeignungskarte der Schweiz, 1980) mit 900 bis 1.000 mm Niederschlag pro Jahr und die Vegetationsdauer beträgt mehr als 210 Tage.

Die vorkommenden Böden dieser Region entstanden in den Ebenen aus Torf, sandigen bzw. tonigen Alluvionen sowie aus Schotter (Niederterrassenschotter, erodierte und vom Würmgletscher überfahrene Schotterfluren). Im leicht gewellten Moränehügelland sind entsprechend dem markant vorhandenen Moränere relief zusätzlich Böden in Mulden, Gletscherzungenbecken und auf Grundmoränen sowie Rücken, flachen Drumlins und Endmoränen ausgebildet (Bodeneignungskarte der Schweiz, 1980).

1. Ebenen

Im Exkursionsgebiet sind als Teile dieser Landschaft das Thurgauer und Zürcher Thurtal von Sulgen im Osten bis zur Einmündung der Thur in den Rhein bei Flaach zu betrachten. Dazu zählen auch die Ebenen von Rheinau und Marthalen sowie die Rheinebene bei Diessenhofen.

Im **östlichen Thurtal** (Kt. Thurgau) kommen auf den überwiegend feinkörnigen, tonigen bis lehmigen Alluvionen gleyige Braunerden und Kalkbraunerden, eingestreut auch Gleye vor. Die Thur ist seit dem Ende des 19. Jahrhunderts korrigiert und mit Dämmen versehen, die Ebene vielerorts künstlich drainiert. Generell sind sehr fruchtbare, tonhaltige, skelettarme Böden mit großer Wasser- und Nährstoffspeicherung anzutreffen, die sich für die Ackernutzung gut eignen.

Örtlich, v.a. in der Umgebung von Frauenfeld, sind tonige (pelitische) Braunerden vorhanden, die bei intensivem Ackerbau und nicht schonender Bodenbearbeitung zur Verdichtung neigen.

Im **westlichen Thurtal** trifft man verbreitet sandige Alluvionen und rezente Schotter an (z.B. Flaach, Kt. Zürich). Auch in diesem Abschnitt ist die Thur korrigiert und mit Dämmen versehen. In den vergangenen Jahren ist die Kontroverse zwischen Vertretern des Natur- und Landschaftsschutzes, die naturnahe Thuruferzonen möglichst mit Auenwäldern und periodischer Überschwemmung anstreben und den Landwirten, die einen sicheren Hochwasserschutz verlangen, im Gang und Kompromisse zeichnen sich ab.

Die Bodenabfolge in der Ebene von Flaach umfaßt folgende Glieder:

Fluvisol, mit der Horizontfolge Ahp - AB - BC - C, (ehemalige Aueböden), in Flußnähe und/oder flachen Talmulden gelegen, karbonatreich, sandig, skelettreich, ziemlich flachgründig, kleiner Speicher für Nährstoffe und Wasser. Es sind vorwiegend Ackerböden mit großen Ertragschwankungen und mit Risiken für Nährstoffverluste.

Schwach ausgeprägte **Braunerden**: Ahp - Bw - BC - C, oft teilweise entkarbonatet, sandig/kiesig, mäßig tiefgründig. Diese vom Fluß entfernten Zonen sind ziemlich fruchtbare Acker- und Gemüseböden. Einrichtungen für die Bewässerung sind teilweise vorhanden (Bodenkartierung Flaach, FAP, 1982).

Die teilweise bewaldete **Ebene von Marthalen - Rheinau** (Kt. Zürich) bildet "Erosions"-Terrassen in den Niederterrassenschottern des Rheins. Örtlich findet man eine mächtige saure Alluvialsandschicht über dem karbonathaltigen Schotter (RICHARD und LÜSCHER,

1983). Unter Mischwald trifft man **stark saure, schwach ausgeprägte Parabraunerden** an, mit der Horizontabfolge F - Ah - (E)B - Bw - Bt - IIC. Die tonarmen (5 - 10 % Ton) B-Horizonte von 80 bis 100 cm Mächtigkeit, die auf reinem Schotter lagern, sind zwar vollumfänglich durchwurzelbar, speichern aber nur knappe Wasser- und Nährstoffreserven. Die Tonanreicherung im Bt-Horizont verursacht diesbezüglich einen leichten Speicherbonus und eine etwas höhere Basensättigung, insgesamt neigen die Waldbestände dieser Ebene aber zu Trockenheit und wenig Standfestigkeit.

In der **Ebene von Diessenhofen** (Kt. Thurgau) dominieren landwirtschaftliche Nutzungen, v.a. Ackerbau. Die Würm-Niederterrasse liegt auf 400 - 440 m ü.M. Die mittlere Niederschlagsmenge beträgt 907 mm. Verbreitet trifft man mäßig tiefgründige bis ziemlich flachgründige Parabraunerden an (BODENKARTIERUNG Diessenhofen, FAP, 1981). Dazu nachfolgend einige Profildaten:

Ausgeprägte, schwach saure Parabraunerde, stark kieshaltig, sandiger Lehm, mäßig tiefgründig.

St. Katharinental, Diessenhofen, 410 m ü.M., Talterrasse, Schotter, Acker im Fruchtwechsel. Koordin.: 697.000/283.100.

Ahp 0 - 20 cm: pH (CaCl₂): 6,6; 19 % Ton; 24 % Schluff; 4,2 % org. Substanz (Mull)

AE 20 - 40 cm: pH 6,6; 19 % Ton; 27 % Schluff; 1,5 % org. Substanz

It 40 - 80 cm: pH 6,7; 24 % Ton; 24 % Schluff.

Geeignet für Ackernutzung im Fruchtwechsel (Getreide bevorzugt). Mittlere bis gute Erträge.

2. Hügelland

Im tieferen schweizerischen Mittelland, insbesondere im **nördlichen Kanton Zürich** (unteres Glatthal, Rafzerfeld, Weinland), im **westlichen Kanton Thurgau** und im **östlichen Kanton Schaffhausen** ist die Landschaft des leicht gewellten Moränehügellandes mit einer typischen Bodengesellschaft verbreitet. Fluvioglaziale Schotterebenen wechseln ab mit Mulden, Zungenbecken und Grundmoränen einerseits und Rücken, flachen Drumlins und Endmoränen andererseits. Genutzt werden die dominierenden Flächen mit günstiger Topographie und braunen, entwickelten Böden vorwiegend als Ackerland im Fruchtwechsel, d.h. Brot- und Futtergetreide, Körner- und Silomais, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben und Feldgemüse sowie kleinen Anteilen Ansaatwiesen. Auch werden gelegentlich Obst und Beeren sowie vereinzelt Tabak und Hopfen angebaut. Muldenlagen

mit Nassböden sowie steilere Hänge und Kuppen mit steinig/flachgründigen Böden tragen Dauerwiesen und -weiden. Örtlich sind südexponierte Hänge mit Reben bestockt. Das tiefere Hügelland erhebt sich auf 400 bis 500 m ü.M. Die Niederschlagsmenge pro Jahr beträgt im Mittel 900 bis 950 mm. Die Vegetationszeit dauert mehr als 210 Tage.

Der schematische Überblick in Abb. 2 zeigt eine typische Bodenabfolge als Landschaftsschnitt (Bodenkartierung Region Stammheim, FAP, 1985).

Unter dem Einfluß der sehr heterogenen Bodenausprägung und der allgemein intensiven Ackernutzung sind die in der Region vorkommenden Grundwasserreservoirs für Trinkwasser oft stark der Nitratbelastung unterworfen. Die landwirtschaftliche Ausbildung und Beratung fördert Landnutzungsprogramme, welche die Senkung des Nitratgehalts im Grundwasser auf Werte von deutlich unter $40 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ zum Ziel hat.

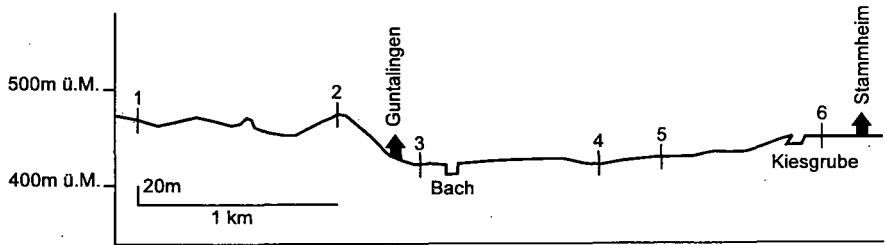


Abb. 2: Landschaftsschnitt Region Stammheim, Kt. Zürich;
Tieferes, leicht gewelltes Moränenhügelland
Korrd.: 699.000/276.500 bis 702.200/275.200.

(Deutsche Bodenbezeichnung in Klammern)

- 1 **Parabraunerde** (Parabraunerde)
schwach sauer, skeletthaltig, sandiger Lehm, sehr tiefgründig
(Moränenplateau, Acker)
- 2 **Regosol** (Pararendzina)
karbonatreich, skelettreich/steinig, lehmiger Sand, ziemlich flachgründig
(Kuppe, Moränendrumlin, Wiese)
- 3 **Braunerde** (Kolluvisol)
neutral, gleyig, skelettarm, sandiger Lehm, tiefgründig, (Hangfuß, Kolluvium
und Alluvionen, Acker)
- 4 **Halbmoor** (Niedermoor)
schwach sauer, schwach grundnaß/drainiert, tieftorfig (Moder und Torf, 50 -
70 % org. Substanz) (Talmulde, Torfmoor, Wiese)
- 5 **Buntgley** (Kalkgley)
karbonathaltig, wechselnd grundnaß/drainiert, skelettarm, Lehm, ziemlich
flachgründig (Seebodenlehm, Wiese)
- 6 **Braunerde** (Braunerde)
schwach sauer, stark skeletthaltig/kiesig, sandiger Lehm, mäßig tiefgründig
(fluviatile Schotterterrasse, Acker)

Ein ziemlich ausgedehnter Teil der Landschaft des tieferen, leicht gewellten Moränenhügellandes mit fluvioglazialen Schottern liegt im nordwestlichen Kanton Zürich. Ausgeprägte Parabraunerden sind insbesondere im **Rafzerfeld** ziemlich verbreitet, die zu den besten Ackerböden des Landes zählen (FREI, 1965). Dabei ist auch hier ein Konflikt bezüglich Nutzung der Flächen für die Landwirtschaft, für Trinkwassergebrauch aus Grundwasser und für Kiesentnahme entstanden.

I. b) **Hügel- und Flachhügelland des deutschen Bodenseegebietes**

1. **Becken und Niederungen**

Die größeren Becken und Niederungen führen zentripetal in den Bodensee. In den Obersee münden hauptsächlich das Tal der Argen bei Langenargen, welches aus dem östlichen Oberschwaben gespeist wird, dann das große Schussenbecken von nördlich Weingarten über Ravensburg nach Friedrichshafen. Die kleineren ehemaligen Zungenbecken des Deggenhauser Tals und des Salemer Beckens, die Fortsetzung des Überlinger Sees in die Bodmaner Niederung, die Fortsetzung des Zeller Sees in die Radolfzeller Ebene sowie das große Hegau-Becken zwischen Singen, Engen und Aach.

Das relativ schmale **Argental** wird in seinem Mittellauf von Kalkpaternien eingenommen, die sich aus holozänen sandig-schluffigen Auensedimenten entwickeln. Vereinzelt kommen kalkhaltige Auengleye und Vegen vor. Die Übergänge zu den Hängen bilden Parabraunerden, Braunerden und auch Pararendzinen, die aus den Molassesedimenten der steilen Hänge entstanden sind. Im unteren Argental dominieren weiterhin die Kalkpaternien, der Anteil der Auengleye nimmt zu und begleitend treten Niederterrassen auf, auf denen sich Parabraunerden entwickelt haben. Im unmittelbaren Einzugsbereich des Bodensees finden wir Kalkgleye vergesellschaftet mit Niedermooren.

Das obere große **Schussenbecken**, nördlich von Weingarten, ist umrahmt von flachen Unterhängen, die hauptsächlich pseudovergleyte Parabraunerden und Parabraunerde-Pseudogleye tragen. Zum zentralen Bereich des Beckens nimmt die Hydromorphie zu und bei hohem Grundwasserstand sind Kalkgleye und typische Auengleye vergesellschaftet mit kleineren Niedermoorflächen. Diese Bodengesellschaft zieht sich bis südlich Ravensburg hinunter. Dort weitet sich das Becken und man findet Bodenentwicklungen, die sich hauptsächlich aus Beckentonen entwickelt haben. Hier dominieren Pseudogleye, Pseudogley-Pelosole und Gleye. Im östlichen Teil, wo mehr sandig-kiesige Ablagerungen erhalten sind, haben sich Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden gebildet. Im breiten unteren Teil des Schussenbeckens überwiegen aus feinsandig schluffigen

Sedimenten gebildete Gleye und Braunerde-Gleye, die heute zum großen Teil drainiert und stark versauert sind. In Anfängen von kleinen Tälchen findet man auch verbreitet Anmoorgleye und Niedermoore, vor allem auf der östlichen Talseite Richtung Tettang. Flußbegleitend, dort, wo Beckentone hauptsächlich Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind, nimmt der Grad der Pseudovergleyung stark zu. Auch Pseudogley-Pelosole sind dort zu finden. Die eigentliche Schussen-Aue ist schmal und wird von Auengleyen, Kalkgleyen und Kalkpaternien eingenommen.

In der relativ engen Niederung des **Deggenhauser Tales** flankieren Molassehänge mit überwiegend Parabraunerden und Pararendzinen sowie mit einer Vielzahl hydromorph veränderter Böden die Niederung (vgl. Abschn. I d). Im oberen Teil des Deggenhauser Tales findet sich ein größeres Niedermoorgebiet vergesellschaftet mit Gleyen und Anmooren mit kleinflächig sehr stark wechselnder Ausbildung und oberflächlich flächenweise stark vererdeten Torfen. Talab verengt sich die Senke und wird überwiegend durch mergelige Kolluvisole sowie auf Verebnungen und Unterhängen durch Parabraunerden geprägt. Im tieferen Teil und vor allem im Übergang zur Salemer und Marktdorfer Senke nehmen die hydromorphen Eigenschaften zu. Es finden sich jetzt Kalkvegen und Kalkgleye bei stark wechselndem Relief mit Übergängen zu Auengleyen, Anmooren und kleinflächig sogar Niedermooren. Im unteren Teil der Senke in Richtung auf Marktdorf nimmt der Grad der Vermoorung zu und Moore sind mit Kalkgleyen vergesellschaftet. In das breite Salemer Becken hinauf findet sich ein buntes Mosaik hydromorpher, grundwasserbeeinflusster, kalkhaltiger und zum Teil staunasser Böden. Auf Terrassen und Verebnungen oberhalb der Senke sind regelmäßig Parabraunerden und pseudovergleyte Parabraunerden ausgebildet. In den Senken selbst überwiegen Kalkgleye, Kalkvegen, Gleye und Niedermoor-Inseln. An den Hangfüßen finden sich mächtige Pararendzina-Kolluvisole und Braunerde-Kolluvisole. Zur Senke zu sind die Kolluvisole auch teilweise vergleyt.

Während die **Salemer-, Marktdorfer- und Deggenhauser-Niederungsgebiete** sich im Geschiebemergelhügelland verzweigen, finden sich am oberen Ende des **Überlinger Sees** und des **Zeller Sees** breite, offene Niederungen, die aus einer Verlandung des nacheiszeitlichen Bodensees hervorgegangen sind. Auf kalkreichen Seesedimenten, wie Seekreiden, die sich über Beckenton abgelagert haben, finden sich Kalkgleye, Kalkanmoorgleye und Kalkmoorgleye. Seitlich der Tiefenlinie sind auch stellenweise Niedermoore vergesellschaftet mit Anmoorgleyen zu finden. An aufragenden Rücken geht auf kiesigen bis lehmigen oder mergeligen, jungwürmeiszeitlichen Ablagerungen die Entwicklung bis zur Parabraunerde vergesellschaftet mit Pararendzinen in erodierter Situation und Kolluvisolen und Gleyen in lokalen Depressionen.

Westlich des Bodensees und insbesondere des Zellersees öffnet sich nach Nordosten das große **Hegau-Becken**. Dieses Becken war während des Singener Glazialstadiums (1. Rückzugsstadium nach dem Hochglazial) ein weites Zungenbecken, das zwischen den Vulkanen des Hohenhewens und Hohenstoffelns durch eine breite Schmelzwasserrinne nach Südwesten entwässert wurde. Nach dem Abschmelzen des Eises entwickelten sich vor allem im Nordosten des Hegaubeckens, zwischen Mühlhausen, Aach und Steißlingen ausgedehnte Niedermoorgebiete, wogegen Hochmoore sich nicht entwickeln konnten. In der flachwelligen Landschaft wechseln jedoch die Böden kleinräumig, so daß auch hier über Kalkgleye auf kleinen Erhebungen Parabraunerden vorkommen können. Nach Südosten wird dieser Senkenraum durch die breite **Singener Schotterebene** abgeschlossen. Hier hat der Gletscher die Schotter sedimentiert, nachdem die nach Nordwesten führende Schmelzwasserrinne nicht mehr tief genug lag. Auf den grundwasserfernen Schotterfluren überwiegen Parabraunerden, die teilweise vor allem in erhöhter Lage den 'rubefizierten Parabraunerden' MOLL's (1968) entsprechen (vgl. SCHWERTMANN et al. 1982). In die großflächigen Parabraunerde-Vorkommen können sich auch kleinflächig Pararendzinen, Kolluvisole und Kalkgleye einschalten (vgl. Exkursion D3).

2. Hügelland

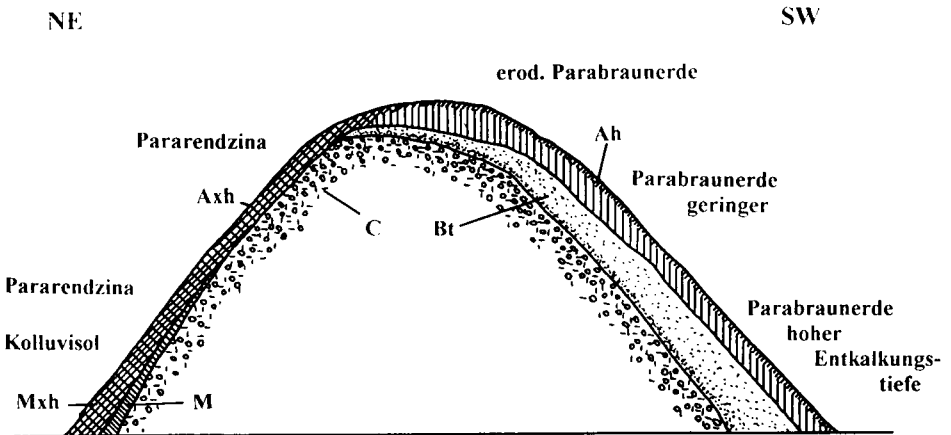


Abb. 3: Böden im Jungmoränenhügelland: Schematisierter Schnitt durch den Drumlin Schönenberg, Gemeindewald Reichenau, Kreis Konstanz (nach Goetz et al., 1975).

Entlang des Bodensees ziehen sich von Osten nach Westen durch den würmeiszeitlichen Gletscher geprägte Moränenhügelländer. Diese Hügelländer sind geprägt auf Kuppen und Hochflächen durch eine Bodenvergesellschaftung, die hauptsächlich Parabraunerden und in den flachen Depressionen pseudovergleyte Parabraunerden aufweist. Die Entkalkungstiefe nimmt deutlich von Westen, aus dem Raum Schiener Berg/Bodanrück, mit ca. 1 m bis in den Bereich Lindau/Bregenz auf ca. 1,50 m zu. In Landschaftsteilen wie um **Eigeltingen** oder zwischen **Salem** und **Überlingen** und schließlich zwischen **Lindau** und **Tettngang** überwiegen **Drumlinfelder** mit einer erosionsbedingten Bodengesellschaft von Parabraunerden auf Hochflächen und unter alten Wäldern, Pararendzinen an Oberhängen und Erosionslagen sowie Kolluvisolen, Gleyen und Niedermooren in den Senken.

Auch in den übrigen Bereichen finden wir in den Senken Kolluvisole, Gleye, Anmoore und Niedermoore in kleinflächiger Abfolge. Im östlichen Teil bei Tettngang finden sich häufiger sandigere Ablagerungen, die vor allem unter Wald stärker versauert sind, in denen sich podsolige Parabraunerden und podsolige Braunerden finden. In den sandigen Ablagerungen ist die Parabraunerde in diesem Raum auch als Bänderparabraunerde ausgebildet. Größere Flächen mit Vermoorung finden sich nordöstlich von Friedrichshafen und im Bereich von Senken auf dem Bodanrück. Durch die lange und oft kontinuierliche, ackerbauliche Nutzung ist die Ausbildung von Kolluvisolen an Unterhängen allgemein verbreitet. Größere Flächen solcher Kolluvisole finden sich am Unterhang des Schiener Bergs sowohl auf der Nordseite Richtung Radolfzell als auch auf der Südseite zum Untersee zu. Zu dieser Landschaftseinheit gehören auch die beiden großen Bodensee-Inseln Mainau und Reichenau. Hier sind durch die lange gartenbauliche Tradition Hortisole bzw. Pararendzina-Hortisole entstanden, welche die intensive Beeinflussung durch kleinflächige Kulturmaßnahmen dokumentieren. Die Hortisole werden durchragt von einzelnen Parabraunerde- und Pararendzinarücken, weisen aber auch vererdete Relikte von Moorgebieten auf.

I. c) Moränenbedecktes Schweizer Molassehügelland

Das zu dieser Landschaft zählende Gebiet des **östlichen Seerückens** und der östlich angrenzenden **Rücken von Muolen/Amriswil** liegen über der schwach geneigten, mittelländischen Oberen Süßwassermolasse der kalkreichen und sehr feinkörnigen Bodenseeschüttung des Tertiärs. Sehr karbonatreiches Geschiebe wurde, oft vermengt mit lokal aufgearbeitetem Molassemergel, meist in Form von verdichteter Grundmoräne, seltener als Seiten- oder Endmoräne, im Quartär abgelagert. Das hügelige Gelände liegt auf 450 bis 550 m ü.M. (BODENKARTIERUNG Muolen, FAP, 1986). Die mittlere

Jahrestemperatur beträgt ca. 8,5° C. Die Vegetationsperiode dauert um 210 Tage. Im Mittel werden 960 bis 1070 mm Niederschlag pro Jahr gemessen. Verbreitet sind **staunasse Braunerden** (vgl. nachfolgendes Beispiel).

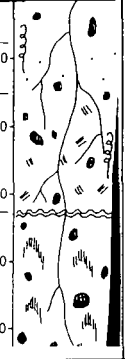
Horizont	Profilskizze	Tiefe	org. Substanz %	Ton %	Schluff %	Kalk %	pH (CaCl ₂)
Ah		0 - 15 cm	5,0	25	34	0	6,0
AB(cn)		15 - 30 cm	1,0	28	37	0	6,5
Bg(x)		30 - 65 cm		32	38	0	6,7
BCg(x)		65 - 120 cm		35	44	11	7,6

Abb. 4: Muolen, Kanton St. Gallen, Borstwinkel, 500 m ü.M., eben, Würm-Grundmoräne, Naturwiese, Koord.: 741.800/242.200

Pseudogleyige Braunerde, skelettarm, Lehm über tonigem Lehm, tiefgründig

Landwirtschaftliche Eignung: Gut geeignet für Ackerbau, sehr gut für Futterbau.

Der **westliche Seerücken** (Kt. Thurgau) stellt ebenfalls ein typisches Glied der Landschaftseinheit des tieferen Molassehügellands mit teilweiser Moränenüberdeckung dar. Es sind Plateaus und Hanglagen, die sich örtlich bis auf eine Höhe von rund 700 m u.M. erheben, dazwischen Mulden sowie einzelne Steilhänge mit mehr als 25 % Hangneigung. Hier sind bewaldete Gebiete verbreitet, wo gleyige **Saure Braunerden, vergesellschaftet mit sauren Parabraunerden und Gleyen**, anzutreffen sind. Die Fachexkursion CH2, die in dieses Gebiet oberhalb Ermatingen führt, stellt typische Böden und Waldvegetationen vor (KARTIERUNGSSCHLÜSSEL, 1993).

Die Landschaftseinheit des tieferen schweizerischen Molassehügellands mit teilweiser Überdeckung mit Moränen und älteren fluvioglazialen Schottern, mit der entsprechenden Bodengesellschaft, oft mit Wald bestockt, setzt sich im **nördlichen Kanton Zürich** fort, v.a. in den Gebieten des Kohlfirsts, des Irchels, des Stadlerbergs und der Egg.

I d) **Molasserücken des westlichen und östlichen Bodenseegebietes**

Im gesamten Oberschwäbischen Raum gilt als generelles Bauprinzip, daß die Vollformen aus Molassesedimenten aufgebaut sind und lediglich eine mehr oder weniger dünne Decke aus Geschiebemergel tragen, die dann aber bodenbildend wird. Bodenbildung aus Molassegesteinen finden wir dort, wo die Molasseberge als Nunataks aus dem würmzeitlichen Eis herausgeragt und damals durch Bodenfließen von ihrer glazigenen Sediment- und interglazialen Bodendecke entblößt wurden. Größere Flächen von Molassegesteinen, die bodenbildend sind, finden sich dort, wo die würmzeitlichen Gletscher die Hänge übersteilt haben und dann bereits beim Abschmelzen des Eises das Molassegestein wieder an die Oberfläche kam, wie zum Beispiel zu beiden Seiten des **Überlinger Sees** oder an den Flanken des **Heiligenbergs** oder des **Deggenhauser Tals**. Schließlich finden sich in den Bereichen, wo die Bäche beim Übergang von hochliegenden glazilimnischen Becken in tiefere Lagen hohe Gefällsstrecken zurücklegen müssen, junge V-Täler, die durch spätglaziale und holozäne Erosion entstanden sind, wie das Tal der **Schussen** zwischen Aulendorf und Mochenwangen oder der **Wolfegger-Aach** zwischen Wolfegg und Baienfurt.

In den steilsten Bereichen dieser Molassegebiete ist die Bodenentwicklung durch noch andauernde Wind- und Wassererosion so wenig weit fortgeschritten, daß vor allem in Oberhangbereichen Syrosete mit Pararendzinen vergesellschaftet sind - dies meist auf sandigen Mergeln. Gut zu beobachtende Beispiele findet man am Südhang des **Sipplinger Berges** zwischen Sipplingen und Überlingen, am **Heiligenberg** und östlich von Weingarten. Auch dort, wo junge Bergrutschmassen abgegangen sind, finden wir an steilen Hängen überwiegend Pararendzinen, wie im Tal der Wolfegger Aach oder am Nordhang des Hohen Bodanrücks bei Bodman. An flacheren Ober- und Mittelhängen, wo sich eine permanente Waldvegetation halten konnte, sind aus den mergeligen Molassegesteinen Parabraunerden zum Teil mit großer Entkalkungstiefe entstanden. Diese voll entwickelten Böden tragen häufig in ihrer Deckschicht Beimengungen glazialer (jungwürmzeitlicher) Sedimente. In diesen Molasse-Parabraunerden sind häufig die Tongehalte nicht so stark differenziert zwischen Al und Bt wie dies bei Parabraunerden aus Geschiebemergeln oder Terrassenschottern beobachtet wird. Die Ursache mag in der kürzeren Bildungszeit, wahrscheinlich aber in der stärkeren Versauerungstendenz der Oberböden dieser sandigeren Substrate zu suchen sein.

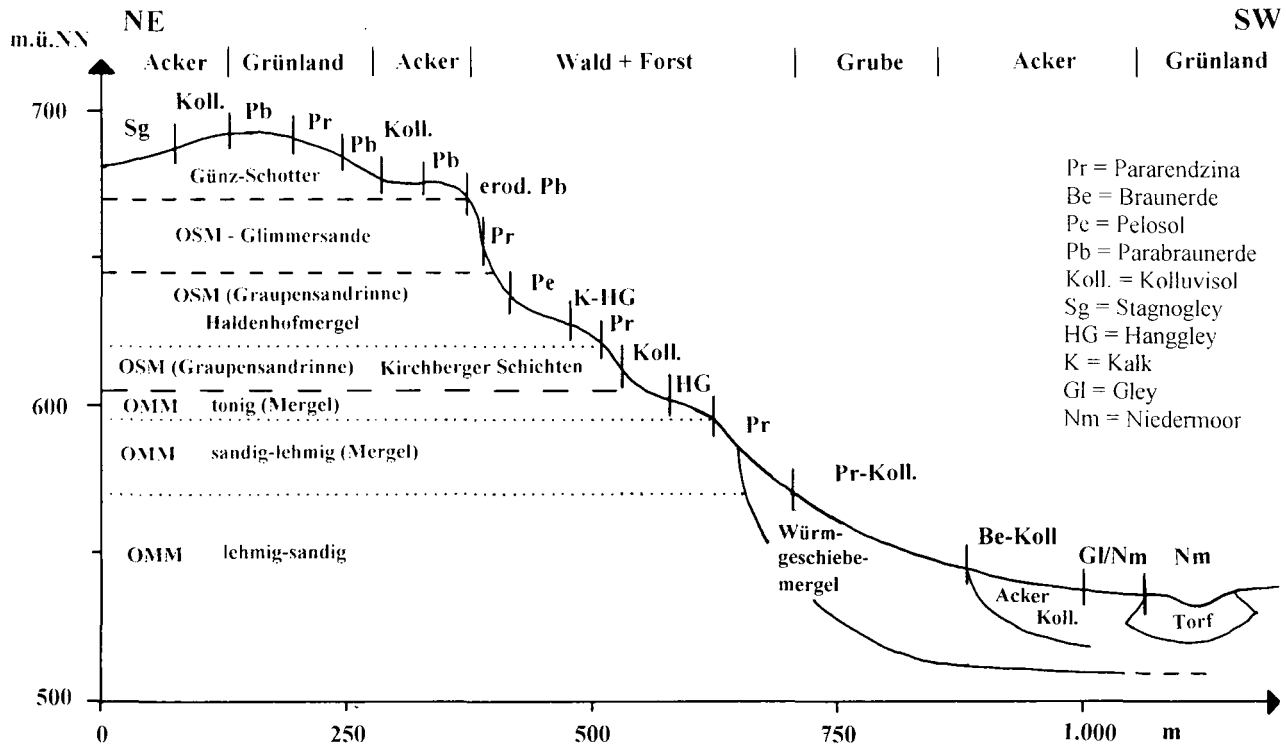


Abbildung 5: Schematisierter Schnitt durch die Bodengesellschaft des Bodanrucks mit Ginzschotter auf der Hochfläche, Molassesedimente am Hang und Jungmoränen in der Senke. Ohne Berücksichtigung periglazialer Deckschichten.

In den geschichteten Molassegesteinen finden sich häufig hangparallel ausstreichende Bereiche geringerer Wasserleitfähigkeit, die als Quellhorizonte wirken. Entlang dieser Quellhorizonte kommt es vielfach zu Rutschungen und in der Folge zur Ausbildung hydromorpher Böden, wie Hanggleye, Hangnaßgleye bis hin zu kleinen Anmooren und Niedermooren. Lokal finden sich hauptsächlich auf tonigeren Sedimenten, wie sie in der oberen Meeresmolasse und auch stellenweise in der oberen Süßwassermolasse vorkommen gelblich-rötlich gefärbte Pelosole, meist mit schwacher Tendenz zur Pseudovergleyung. An den weniger steilen Südhängen finden wir in diesem Bereich zum Teil Ackerterrassen, auf denen eine Abfolge von Pararendzina und mächtigeren Pararendzina-Kolluvien bzw. Pararendzina-Hortisolen erhalten ist. Generell finden wir in diesem Raum an Unterhängen, dort, wo diese Molassehänge früher oder bis heute landwirtschaftlich teilweise obstbaulich genutzt wurden oder werden, mächtige Kolluvien vergesellschaftet mit Parabraunerden auf Rücken und Gleyen in Senken. In Quellenpositionen wird häufig Kalkausscheidung beobachtet. Dort finden wir Sinterkalkbildungen und mit diesen vergesellschaftet Kalkgleye, kalkhaltige Gleye, Humusgleye und Anmoore. Kleinflächig sind hier auch in Senkenzügen oder in Depressionen alter Rutschungen Niedermoore ausgebildet, Beispiele finden sich am Nordhang des **Schiener Berges**, südlich Radolfzell und am Nordhang des **Bodanrück** und schließlich auch nordöstlich Markdorf und im Deggenhauser Tal. Bewaldete Oberhänge, in denen sandige Gesteine und zum Teil Konglomerate Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind, neigen die Böden zu starker Versauerung und es finden sich podsolige Parabraunerden und Braunerden unter Auflagehumusformen. Voll entwickelte Podsole sind allerdings bisher nicht beobachtet worden. Eine spezielle Bearbeitung der Böden der Molasserücken steht noch aus. Sie wurden bisher lediglich 'mit'-beobachtet bzw. 'mit'-kartiert.

I. e) Oberschwäbische Hügellandschaft der äußeren Jungmoränen (Pfullendorf, Wilhelmsdorf, Waldsee)

Dieses Jungmoränengebiet bildet den zentralen Teil Oberschwabens von Stockach im Westen (Exkursion D4) bis nach Bad Waldsee im Osten (Exkursion D8).

Westlich Stockach ist diese Jungmoränenlandschaft nicht ausgeprägt, weil sich hier der Bereich der äußeren Würm-Endmoräne auf die Alb und weiter nach Südwesten in den Bereich der Hegau-Vulkane hineinzieht und so einen anderen Charakter entwickelt hat.

Der nördliche äußere Rand wird von der äußeren Jungendmoräne mit ihrer Sandschürze gebildet. Dieses Gebiet wird sehr einheitlich von Parabraunerden eingenommen, die in

Dellen mit Pseudogley-Parabraunerden und in tieferen Depressionen mit Kalkgleyen vergesellschaftet sind. Insbesondere dort, wo die Moräne kiesig ist, hat sich eine typische Parabraunerde entwickeln können mit einer Entkalkungstiefe, die von Westen nach Osten von ca. 1 m auf 1,30 m zunimmt (WERNER, 1964) und deren Bt-Horizont in der gleichen Richtung heller wird. Hinter der Girlande der äußeren Endmoräne reihen sich eine Vielzahl von glazialen Depressionen, meist Zungenbecken, getrennt durch radiale Moränenrücken auf, deren westlichstes - das Becken von **Zoznegg** (Exkursion D4) und deren östlichstes - das von **Bad Waldsee** ist. In diesen Becken lassen sich vier verschiedene Bodengesellschaften beobachten, bei denen überall an den Hängen die oben beschriebene Abfolge Parabraunerde, Pararendzina, Kolluvisol zu finden ist.

Die am wenigsten ausdifferenzierte Form ist die mit noch offenen Seen in den Becken, wie zum Beispiel dem **Ilmensee**. Der See ist meist ein Rest eines größeren, noch nicht vollständig verlandeten, glazialen Sees und an seinem Rande findet sich vom Hang her eine Abfolge von Kalkgleyen, Anmoorgleyen und Niedermooren. Die meisten Niedermoorflächen sind heute als Grünland genutzt und im Wasserstand reguliert. Durch die Wasserstandsregulierung sind auch die Übergänge zwischen See und Niedermoor häufig nicht mehr natürlich, sondern durch junge See-Erosion übersteilt oder durch mineralische Sedimente aus Zuläufen überprägt. Kleinere Auen sind hauptsächlich durch Kalkpaternien geprägt.

Der zweite Typ hat die weiteste Verbreitung und kommt vor allem um **Altshausen** vor. Hier sind die Senken vollständig verlandet, alle Böden haben aber noch Grundwassereinfluß. Das Zentrum der Senke wird von mehr oder weniger großen Niedermoorflächen eingenommen. Die Niedermoore sind fast überall genutzt und die Torfe deshalb stark vererdet. Manchmal sind die Torfe soweit vererdet, daß Moorgleye oder Anmoorgleye sekundär entstanden sind. Diese kommen auch im Randbereich der Moore regelmäßig vor. Da die Hänge zum Teil bis heute ackerbaulich genutzt werden, ist häufig zu beobachten, daß Kolluvien in Mächtigkeiten bis zu 1 m den randlichen Bereich der Moore überlagern.

Den dritten Typ bilden große, vollständig verlandete Zungenbecken, die im Zentrum Hochmoorschilde tragen. Die Hochmoore nehmen aus klimatischen Gründen in ihrem Anteil von Westen nach Osten zu. Die am weitesten nach Westen vorgeschobenen Hochmoore liegen im **Pfrunger Ried**, das auch das größte zusammenhängende Moorgebiet darstellt (GÖTTLICH, 1960, 1967, 1968; MACHHADJI, 1974). Auch in die Hochmoorgebiete wurde vom Menschen durch Entwässerung und vor allem durch Torfstiche stark eingegriffen, so daß die heute noch angetroffenen Hochmoorreste häufig aus oberflächlich stark zersetztem Torf bestehen und das Moor nicht mehr weiter wächst.

Die letzte Bodengesellschaft hat sich dort ausgebildet, wo glaziale Senken zunächst von Seen eingenommen waren, dann auch mit spätglazialen und frühholozänen Seesedimenten verfüllt wurden. Später wurden sie aber durch fluviatile Erosion angeschnitten, so daß die Seen in einem relativ frühen Stadium ausliefen und die Bäche sich in die Beckensedimente rückwärts einschneiden. Hier finden wir heute mineralische Böden aus Seesedimenten, die häufig Pelosol-Eigenschaften haben. Wegen der Lage in der Landschaft und den stauenden Charakter der feinschichtigen Ablagerungen ist die Ausbildung als Pseudogley-Pelosol die häufigste. Daneben finden sich Pararendzina-Pelosole und Pseudogleye. An flachen Hängen finden sich auch Braunerde-Pelosole, in Senken Gleye.

Auch außerhalb der eigentlichen Senkenbereiche ist der Anteil kleinflächig verteilter Gleye, Anmoorgleye und Niedermoore recht hoch. Flächenhaft überwiegt dort aber die schon von der Endmoräne her bekannte Parabraunerde-Pararendzina-Kolluvisol-Catena. Die Pseudovergleyung ist in der kuppigen, würmeiszeitlichen Grundmoränenlandschaft relativ schwach, wenn auch häufig (WERNER, 1964; BLUME, 1968; BLEICH et al., 1987).

I. f) Westallgäuer Hügelland (Leutkirch, Kisslegg, Wangen)

Das von der Entstehung her fast identisch mit der vorbeschriebenen oberschwäbischen Jungmoränenlandschaft zu betrachtende Westallgäuer Hügelland zeigt eine deutliche Abweichung in seinen Bodengesellschaften von den bisher beschriebenen Landschaften. Diese Unterschiede sind im Laufe der Forschungsgeschichte nicht immer in ihrem Ausmaß erkannt worden. Das hängt damit zusammen, daß die morphologischen Merkmale der Parabraunerden in den 50iger Jahren noch nicht so gut erkannt wurden (OSTENDORFF, 1955) und spätere spezielle Arbeiten meist nur auf Erfahrungen aus den westlichen oder östlichen Arbeitsgebiet beruhen. Deutlicher als von WERNER, 1964, erkannt, wurden die Unterschiede von BLEICH et al., 1987, S. 12, in der Kartenskizze der Bodenlandschaften herausgearbeitet.

Generelle Tendenzen, die den westlichen und östlichen Bereich unterscheiden, sind:

1. im Osten abnehmende bzw. fast fehlende Tonverlagerung,
2. deutlich zunehmende Entkalkungstiefen, trotz gleicher oder sogar höherer Kalkgehalte der Ausgangsmaterialien,
3. Neigung zu Pseudovergleyung und Hangvergleyung auch im stärker geneigten Gelände,

4. zunehmende Neigung zur Ausbildung von Hochmooren und schließlich Zunahme von Moder- und Feuchtmoder-Humusformen im Wald.

Durch diese Tendenzen kommt es trotz des gleichen Bodeninventars zu einer deutlichen Verschiebung in den Bodengesellschaften gegenüber dem westlichen Bodenseegebiet oder dem zentralen Oberschwaben.

Im einzelnen können in dieser Landschaft 5 verschiedene Bodenassoziationen festgestellt werden (HORNIG et al., 1991).

Die **Parabraunerde-Braunerde-Gley-Assoziation** kommt auf durchlässigen, grobporigen, zumeist auch grobkörnigen Substraten vor. Diese sind im Bereich der äußeren Jungendmoräne, ihren Sandrñ, aber auch in jüngeren Schmelzwasserablagerungen ausgebildet. Daneben kommen in einzelnen Bereiche lößähnlicher Substrate vor, die sich hinsichtlich der Bodenentwicklung gleich verhalten. In diesem Bereich ist die Tendenz zur Tonverlagerung noch am stärksten entwickelt. Auf den Sandrñ, würmzeitlichen Schmelzwasserablagerungen und Schotterterrassen finden wir Parabraunerden großer Entkalkungstiefe, die häufig mit Annäherung an den Grundwasserspiegel stark abnimmt. Je höher die Entkalkungstiefe desto stärker ist die Versauerung im Oberboden und es wird Podsoligkeit unter Wald beobachtet. Unter Acker und Grünland sind diese Böden mäßig humos und auch mäßig versauert. Im Bereich der kiesigen Endmoränen kommen wie im tieferen Teil der Schmelzwasserablagerungen meist kalkhaltige Gleye bis hin zum Anmoorgley vor. Einzelne Toteislöcher sind häufig vermoort und wurden dann durch Auffüllungen oder Ackerkolluvien zugedeckt. Im welligen Gelände treten bei den häufig zu beobachtenden Texturwechseln Hanggleybraunerden und Übergänge zu Pseudogleyen auf.

Die größte Verbreitung im Westallgäuer Rheingletschergebiet hat die **Braunerde-Hanggley-Assoziation**. Sie findet sich in Bereichen, wo die Grundmoränenlandschaft durch kiesärmere, schluff- und tonreiche Sedimente geprägt wird. Hier sind an den Hängen Braunerden und Hanggleye eng miteinander vergesellschaftet bzw. mit all ihren Übergängen vorhanden. Die Unterböden haben eine sehr hohe Lagerungsdichte und deshalb bildet sich hier auch bei relativ steiler Neigung oft ein ganzjährig auftretender Hanggrundwasserspiegel aus (STAHR et al., 1994). In schlechter durchlässigen Bereichen sind unabhängig vom Relief in diesem klimatisch-feucht-kühlen Raume Vergleyung und Pseudovergleyung zu beobachten. In stärker erodierten Positionen kommen punktförmig Pararendzinen vor, im Bereich ehemaliger Ackerterrassen können auch schon am Oberhang Kolluvisole auftreten. Auch diese Kolluvisole zeigen häufig bereits Vergleyungserscheinungen.

Die dritte Assoziation (**Pararendzina-Kolluvisol-Gley**) findet sich in kies- und blockreichen Gebieten großer Reliefenergie und sandig-lehmiger Bodenart der Feinerde. Diese Gebiete mögen von Natur aus der ersten Assoziation ähnlich gewesen sein. Sie wurden aber durch Entwaldung und ackerbauliche Nutzung stärker umgeprägt. Heute sind hier Pararendzinen in Oberhang und Kuppenlage weit verbreitet. Häufig sind die Pararendzinen im A-Horizont noch ton- und eisenoxidreicher, was auf ihre Braunerde- oder Parabraunerde-Vergangenheit hindeutet. Vergesellschaftet sind diese Pararendzinen mit Braunerden bzw. Parabraunerde-Braunerden geringer Entkalkungstiefe bzw. mäßiger Erosion. Kolluvien sind stärker an alte Nutzungsgrenzen denn an das Relief gebunden. In diesem stark ausgeprägten Relief wurden die Senken als Wald oder Grünland genutzt und haben deshalb keine kolluviale Überhöhung erfahren. Gut ausgeprägte Kolluvien (Ackerterrassen) sind am Hang meist morphologisch noch erkennbar.

Die vierte Bodenassoziation (**Gley-Niedermoor**) bilden die Unterhänge und Senkenränder großer Depressionen sowie die vielen kleinen glazigenen Depressionen der Landschaft. Hier findet sich eine intensive Wechsellagerung unterschiedlichster Sedimente, die wegen der großen Durchfeuchtung der Landschaft allesamt zur Pseudovergleyung, Vergleyung oder Vermoorung neigen. In diesen Bereichen treten Pseudogleye, Kalk- und Eisengleye, Hanggleye, An- und Niedermoore auf. Dort, wo in kleinen Rücken das Grundwasser dauernd tiefer steht, sind auch Braunerden und Übergänge zu Parabraunerden zu beobachten. Diese Bereiche sind wegen ihres Reliefs häufig noch bis in die jüngere Zeit intensiver landwirtschaftlich genutzt worden, was zu einer stärkeren Erosion und auch zu bedeutenden Stoffausträgen geführt hat (PEINEMANN, 1975; HAUFFE, 1982; BLEICH et al., 1987). Besonders betroffen sind im schwach-sauren Bereich Phosphorausträge, die dann zur Eutrophierung angrenzender Gewässer führen.

In tieferen Depressionen und verlandeten ehemaligen Zungenbecken-Seen finden wir **Anmoor-, Niedermoor- und Hochmoor-Assoziationen**, z.B. **Gründlen-Ried** südlich **Leutkirch** oder **Riedmüllermoos** westlich **Isny**. Hier finden sich von Bergkiefern bewachsene Hochmoorbereiche als Inseln in großflächigen Niedermooren mit Fichtenwäldern am Rande und häufig auftretendem Randlagg. Außerhalb des Moorbereichs ist häufig ein rascher Übergang von Anmoor, Naßgley, Gley zu terrestrischen Böden zu beobachten. Wegen des stark humiden Charakters des Klimas sind die Moore vom Wasserhaushalt her autark und entwässern nach außen zum Rand lang. Diese hohe Humidität in der Landschaft sichert die Stabilität der Hochmoorschilde.

II. OBERSCHWÄBISCHES ALTMORÄNEN-HÜGELLAND

Östlich und vor allem nördlich des Gebietes der Würmvereisung zieht sich ein 20 bis 30 km breiter Streifen des Altmoränengebietes von **Memmingen** über **Ochsenhausen**, **Biberach**, **Riedlingen**, **Sigmaringen** nach **Meßkirch**. Westlich hiervon wird der Bereich Richtung Engen, Schaffhausen wesentlich schmaler und zumal sich auch die Bodengesellschaft ändert, wird er hier mit dem Hegau behandelt. Zwischen Sigmaringen und Riedlingen wird der Bereich von der Donauniederung durchzogen und zur Donau hin haben sich mehrere würmzeitliche Schmelzwasserrinnen durch das Altmoränengebiet den Weg gebahnt, deren bekannteste die Riss darstellt.

Das Altmoränengebiet hat im Interglazial eine Bodenentwicklung erlebt, die soweit sie in Resten erhalten ist, derjenigen der heutigen Jungmoränenlandschaft entsprochen haben dürfte (KÖSEL, 1996). Während der Würmeiszeit war der Raum Periglazialgebiet. Während dieser Zeit wurde allerdings auf den hoch gelegenen Flächen nur wenig Löß sedimentiert. Dagegen unterlagen sie einer intensiven Frostverwitterung. Durch Kryoturbation und Solifluktion entstanden aus den ehemaligen Böden vermischt mit periglazialen Sedimenten junge Deckschichten, die sich aber mineralogisch nicht vom Liegenden differenzieren lassen (KÖSEL, 1996). Ebenso lassen sich eemzeitliche und holozäne Bodenhorizonte, soweit sie nicht durch zwischenzeitliche Ablagerungen getrennt sind, morphologisch nicht differenzieren. Trotzdem läßt sich leicht erkennen, daß die eemzeitliche Bodenbildung und periglaziale Entwicklung die Struktur der rezenten Bodendecke stark beeinflusst hat. Generell wird etwa die doppelte Entkalkungstiefe gegenüber dem Jungmoränengebiet gefunden, so daß hier die Böden häufig 2 bis 3 m tief entkalkt sind. Dadurch entstehen auch bei stärkerer anthropogener Erosion kaum noch Pararendzinen. Außerdem wurde das Relief durch das Bodenfließen eingeebnet. Dies mag die Höhenamplituden um mehrere Meter verringert haben, gleichwohl dürfte das heutige Altmoränengebiet bereits während der Risseiszeit geringere Reliefunterschiede gehabt haben als die heutige Jungmoränenlandschaft, da es weiter vom Gebirgsrand entfernt ist. Die kalkfreien, solifluidalen Sedimente an Unterhängen und in Depressionen lagern sehr dicht und begünstigen deshalb die Pseudovergleyung. Dagegen verringert die Abnahme der Reliefunterschiede in einem gleichzeitig etwas trocknerem Gebiet die Neigung zur Vermoorung.

Die kuppigen Hochflächen des Gebietes sind durch eine charakteristische Catena geprägt, die auf den Kuppen mit pseudovergleyten Parabraunerden beginnt. Auffällig ist, daß im Geschiebemergel der Steingehalt wesentlich niedriger als in den würmzeitlichen Ablagerungen ist und das dieser Steingehalt auch zur Deckschicht meist nochmal abnimmt.

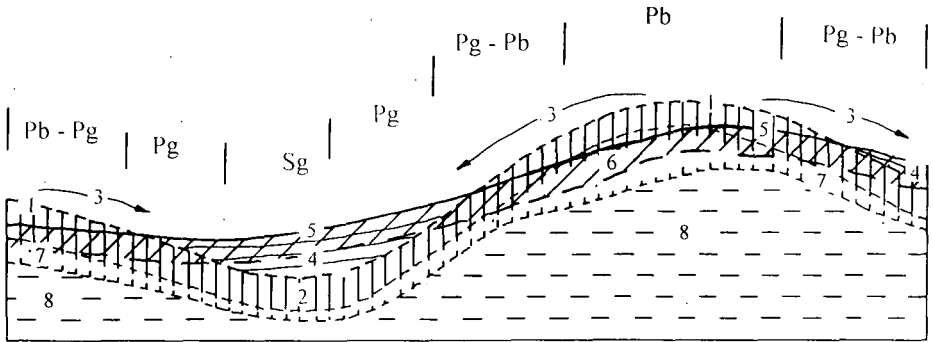


Abb. 6: Entstehung der heutigen Bodendifferenzierung in den zentralen Riedelteilen des Altmoränengebietes durch Bodenumlagerungen infolge würmzeitlicher Solifluktion (schematisiert). Ergänzt nach Werner (1964).

Pb = Parabraunerde; Pg = Pseudogley; Sg = Stagnogley

- 1: Landoberfläche nach dem Rückzug des Riß-Gletschers
- 2: Entkalkung und Verlehmung im Riß/Würm-Interglazial
- 3: Solifluktion während des Würm-Glazials
- 4: Solifluktions-Sedimente
- 5: Landoberfläche seit dem Ende des Würm-Glazials
- 6: Spätglaziale Deckschicht (ca. 40-60 cm mächtig)
- 7: Entkalkung und Verlehmung im Postglazial
- 8: Unverwitterter Geschiebemergel

Dies hat zum Teil die Ursache, daß die Ablagerung größere Strecken über Molasse-sedimente transportiert wurden und dabei feineres Material aufgenommen haben. Wichtiger ist aber, daß durch Entkalkung 30 bis 40 % des Steingehalts, wie auch bei den holozänen Böden der würmzeitlichen Ablagerungen, verlorengeht. Etwa derselbe Anteil dürfte nochmals durch physikalische Verwitterung im Periglazial zerstört worden sein, so daß nur noch die Geschiebe sehr widerstandsfähiger Gesteine erhalten geblieben sind. Auf den Kuppen ist die Entkalkungstiefe häufig nur wenige Dezimeter höher als im angrenzenden Jungmoränengebiet. Hangab nimmt sie (vgl. Abb. 6) jedoch rasch zu, gleichzeitig nimmt auch die Pseudovergleyung zu, so daß sich Pseudogley-Parabraunerden, Parabraunerden-Pseudogleye hangabwärts anschließen. Weit verbreitet treten flache Depressionen auf, die von sekundären und primären Pseudogleyen bis hin zu Stagnogleyen und Moorstagnogleyen eingenommen werden. Südlich von **Biberach**, zwischen Biberach und Ochsenhausen und zwischen Biberach und Bad Buchau finden sich große Flächen mit wenig Relief, die eine noch stärkere Tendenz zur Pseudovergleyung zeigen und kaum noch Parabraunerden enthalten.

Dort, wo etwas mehr Relief erhalten ist, wie zwischen **Saulgau** und **Buchau** oder auf den Höhen um **Bad Wurzach** sind die Unterhänge durch vergleyte Kolluvisole, die in Gleye und häufig Niedermoore übergehen, gekennzeichnet. In Senken, in denen eemzeitliche Vermoorung beobachtet wurde, die dann durch Solifluktsdecken und/oder holozäne Kolluvien überdeckt wurden, sind häufig. Offene Seen finden sich nicht mehr. Die Tendenz zur Ausbildung von Hochmooren ist allerdings aus klimatischen Gründen gering, doch finden sich in den großen Waldgebieten kleinere isolierte Hochmoorinseln in Depressionen, wie südlich Ummendorf oder westlich Kanzach.

Da sich die Donau in der Nacheiszeit kaum mehr tiefer geschnitten hat, sind die würmzeitlichen Schmelzwassertäler, welche in die Donau entwässern, durch hohe Grundwasserstände gekennzeichnet. Hier finden sich Kalkvegen neben Vegen und Gleyen. Große Abschnitte dieser Täler sind aber heute von zusammenhängenden Niedermoorflächen eingenommen (**Ummendorfer Ried**).

Weniger durch Grundwasser und Stauwasser geprägt sind lediglich die flachkuppigen Höhenzüge der Rissendmoräne. Hier überwiegen Parabraunerden großer Entkalkungstiefe, vergesellschaftet mit pseudovergleyten Parabraunerden. Depressionen mit Pseudogleyen und tiefere Senken mit Gleyen treten hier flächenmäßig zurück. Auch in dem Bereich, wo die Rißendmoräne zwischen Riedlingen und Sigmaringen über die Flächenalb führt, ist die Tendenz zur Pseudovergleyung geringer. Hier ist eine Verzahnung mit Terrae calcis zu beobachten.

Eine Sonderstellung nehmen zwei große Senkengebiete ein: Das **Wurzacher Ried** und das **Federsee-Becken**. Beide sind Becken, die schon während der Risseiszeit angelegt wurden und die während der Würmeiszeit nach Süden durch die Würmendmoräne abgeschnitten wurden und die einen Sandr-Kegel haben, der von der Würmendmoräne in das alte Becken hineinführt. So kann man von Süden bzw. Süd-Westen eine Abfolge von holozänen Parabraunerden über Gleye zu Mooren feststellen. Beide Gebiete sind heute große zusammenhängende Naturschutzgebiete. Sie sind wohl weniger wegen ihrer Böden so doch wegen ihrer Bedeutung als Hochmoor-Ökosysteme (Wurzacher Ried) oder als Niedermoor-Moorsee-Ökosysteme (Federsee Ried) bekannt geworden. In beiden Gebieten ist durch natürliche Veränderung der Grundwasserspiegel im Holozän sowie durch Torfstich und Kulturmaßnahmen die Landschaft vor allem in den Randbereichen stark verändert worden. Trotzdem stellen sie bis heute wichtige erdgeschichtliche Urkunden dar und bergen auch eine Vielzahl kulturhistorischer Dokumente.

III. DER HEGAU EINSCHLIESSLICH DER HEGAU-ALB

Dieser Bereich ist hinsichtlich seiner geologischen und landschaftsgeschichtlichen Entstehung wegen seiner daraus ableitbaren kontrastierenden Morphologie und der historischen und bis heute andauernden Landnutzung der vielfältigste Landschaftsraum im Exkursionsgebiet. Diese Vielfalt läßt sich wie folgt beschreiben:

Im Zuge der Alpenentstehung wurde die Juratafel der Schwäbischen Alb im Süden abgesenkt, nach Norden angehoben. Im entstehenden Molassebecken wurden marine und fluviatile Sedimente abgelagert. Der nördliche Küstenraum des miozänen Meeres schließt der Hegau nach Nordwesten ab. Parallel hierzu schnitt sich wenig später als großes Flußsystem die Graupensandrinne in Südwest-Nordost-Richtung hindurch und wurde anschließend wieder verfüllt. Während dieser Zeit entstand mit der Kette der Basaltvulkane Hohenstoffeln, Hohenhewen, Hewenegg und dem Wartenberg sowie mit den Phonolitvulkanen des Hohentwiel, des Hohenkrähen, des Mägdeberges und schließlich des kleinen Friedinger Schloßbergs der Vulkanismus dem Gebiet sein Gepräge.

Im Pleistozän unterschneidet im Norden die Donau vom Schwarzwald kommend das Gebiet, in dem sie sich tief in die Tafel der Schwäbischen Alb einschneidet. Von Süden entwässert der Rhein in Gegenrichtung fließend und hat inzwischen das mit Donauwasser gefüllte Karstsystem rückschreitend bei Aach angeschnitten. Während des Pleistozäns rückten von Süden bzw. Südosten die Gletscher in den Hegau vor. Während der Risseiszeit erreichte das Eis die heutige Stadt **Engen** und umfloß den Hohenhewen. Während der Würmeiszeit erreichte sie nur den südlich gelegenen Hohenstoffeln, während der Hohentwiel als Nunatak aus einer mächtigen Eisdecke herausragte. Da in dem Raum das Eis dem Schmelzwasser den Weg direkt zum Rhein abgeschnitten hatte, bildeten sich tief eingeschnittene Schmelzwassertäler, die die Wassermassen nach Westen um das Eis zum Rhein führten. Sie erscheinen heute unvermittelt in Jurakalke, Süßwassermolasse, basaltische und glaziale Sedimente eingeschnitten und bilden eine eigentümliche Tallandschaft. Der Hegau wird durch die Exkursionen D3 und D9 erschlossen.

Das flachwellige Hügelland der Hegau-Alb wird auf seinen Hochflächen von alten Böden geprägt, die das Terra fusca-Stadium erreicht haben. Teilweise überdecken die Terra fusca ältere, mit roten, bohnerreichen Tönen gefüllte Karsthohlräume (alttertiäre Terra rossa-Relikte) KUHN (1990). Als jüngere Veränderung zeigen die Terra fusca häufig einen schluffigeren Oberboden, der zu Braunerde-Terra fusca überleitet. An den Kanten der Hochflächen sind auch Rendzinen zu finden. An flachen Hängen findet man Bodenentwicklungen, bei denen Kalksteinlösungsrückstand aus Terra fusca mit jungem, humosem, karbonatischem Material vermischt ist (Terra fusca-Rendzina/Braunerde-Rendzina).

Flache Depressionen, meist als Trockentäler ausgebildet, sind durch humose Kolluvisole gekennzeichnet.

Zur Donau hin und zu den Hegauer Schmelzwassertälern wird das Relief steiler. Hier treten die Weißjura-Kalksteine Dolomite und Mergel als Ausgangsmaterialien jüngerer Böden hervor. Die Bodengesellschaft besteht aus Rendzinen, Pararendzinen, Pararendzina-Pelosolen und Übergängen zu Braunerden, an Unterhängen und in Senken sind wieder meist kalkreiche Kolluvisole ausgebildet, wo Grundwasseranschluß besteht auch Kalkgleye.

Der südliche Teil der Hegau-Alb wird von der sogenannten Juranagelfluh überdeckt. Die Juranagelfluh entspricht der oberen Süßwassermolasse und ist eine grobkörnige bis lehmige Schüttung, die von der Schwäbischen Alb und aus ihren nördlichen und westlichen Vorlandbereichen bis hin zum Schwarzwald stammt. Die Bodenbildung führt deshalb teilweise zu Böden der Kalkserie, wie Rendzinen, zum Teil auch zu solchen der Mergelserie, wie Pararendzinen und Parabraunerden und schließlich gar zu Bildungen der Tonserie, wie Pelosolen. Die Juranagelfluh hat den Karst abgedeckt und damit die Ausbildung von oberflächlichen Grundwasserkörpern in den Talungen begünstigt. So finden wir Kolluvien am Hangfuß und Talrand und Kalkgleye in der Niederung.

Landschaftsgeschichtlich deutlich hiervon abgesetzt sind die meist dünnen Rissmoränendecken auf der Albtafel. Hier kommen in ebener Lage Parabraunerden und pseudovergleyte Parabraunerden vor. An eingeschnittenen Hängen kommen Pararendzinen, die bei Kalksteinunterlagerung sogar in Rendzinen übergehen können, vor. In Senken haben sich Pararendzina-Kolluvisole ausgebildet, die über allochtone Vegen in Gleye übergehen.

Im südlichen, westlichen und inselartig auch im zentralen Hegau kommen Grund- und Endmoränen-Ablagerungen der Würmeiszeit vor. Hier haben sich klassische Parabraunerde-Pararendzina-Kolluvisol-Abfolgen entwickelt. Die meist steileren Hänge waren bzw. sind häufig durch Ackerterrassen eingenommen. In diesen Bereichen können die Kolluvisole bis in den Oberhang vorkommen und bis zu 50 % der Flächen einnehmen (Exkursion D9). Die Senken sind durch Kalkgleye bis Gley- Kolluvisole zum Teil über Niedermooren gekennzeichnet.

Die großen Schmelzwasserrinnen sind heute nicht mehr von Bächen durchflossen (zum Beispiel zwischen Binzingen und Welschingen) oder nur noch von kleinen Rinnsalen durchzogen (Brudertal bei Engen oder zwischen Riedheim und Hilzingen - Exkursion D3). Auf Schmelzwasserterrassen kommen hier hauptsächlich Parabraunerden mit geringer

Entkalkungstiefe vor, wie sie als rötliche und bräunliche Variante auch auf den Schottern östlich Singen beobachtet werden können. Generell findet man aber bis heute hier hohe Grundwasserstände, so daß Kalkvegen und Kalkgleye ausgebildet haben, die in Anmoore übergehen. In den nicht mehr durchströmten Teilen haben sich Gley-, Anmoor-Gesellschaften entwickelt, die zusammenhängende Niedermoorflächen umrahmen, deren größte nördlich des Hohenstoffeln zu finden ist.

Im zentralen Hegau werden große Flächen von den Deckentuffen eingenommen. Sie bilden Höhenzüge mit steilen Flanken und gleichwohl weichen Landschaftsformen. Die Deckentuffe sind meist tiefgründig verwittert, frische Partien sind an der Oberfläche nicht mehr erkennbar. Regelmäßig findet sich eine dezimeter- bis metermächtige Decke wärmzeitlicher Geschiebemergel darüber, die im Feinmaterial Deckentuff aufgenommen hat. Dort, wo der Deckentuff bodenbildend ist, finden sich heute Zweischicht-Pararendzinen vergesellschaftet mit Pararendzina-Kolluvien und erodierten Parabraunerden. Dort, wo die wärmzeitlichen Sedimente die Bodenbildung dominieren, sind es Pararendzinen mit untergeordnet Parabraunerden und weit verbreiteten Kolluvien. Die ganzen Deckentuff-Flächen wurden lange ackerbaulich genutzt. Heute nimmt der Grünlandanteil zu. Mächtige Bodenentwicklungen aus Deckentuff sind durch die glaziale Überprägung und später durch die anthropogenen Einflüsse nicht erhalten bzw. noch nicht beobachtet worden.

Alle Hegau-Vulkane waren von Burgen oder befestigten Bauernhöfen bestanden. Deshalb findet man in der Gipfelregion keine alten, ungestörten Böden. Charakteristisch sind humose, tonige bis lehmige Braunerden. In den Steillagen der Oberhänge finden sich auch Ranker (Erubasranker - Mullranker), Syrosemi und auf Tuffiten Pararendzinen. Sobald die Hänge etwas flacher werden, wird die Bodenentwicklung mächtiger. Es finden sich Pelosol-Braunerden und Pelosol-Parabraunerden vergesellschaftet mit Humusbraunerden und Pelosolen. Charakteristisch ist die Überdeckung der Hänge mit periglazialen, basaltischen oder phonolitischen Schuttdecken über mergeligen Molassegesteinen oder Deckentuff. Daraus ergeben sich verbreitet Stockwerkprofile, bei denen der obere rezente Boden weniger verwittert ist als der Untergrund. Generell haben die leicht verwitterbaren Vulkanite zur Smektitbildung und zur starken Humusbindung geführt. Die Smektitdominanz ist auch in der Umgebung in Auen-Sedimenten noch zu beobachten, die sonst keinen vulkanischen Einfluß mehr erkennen lassen. Auch in den Böden aus Vulkaniten ist häufig eine starke Umlagerung, bedingt durch anthropogen induzierte Erosion oder Terrassierung weit verbreitet. Die Vulkane des Hohentwiel, des Hohenstoffeln und des Hewenegg sind auch durch die Anlage von Steinbrüchen wesentlich verändert.

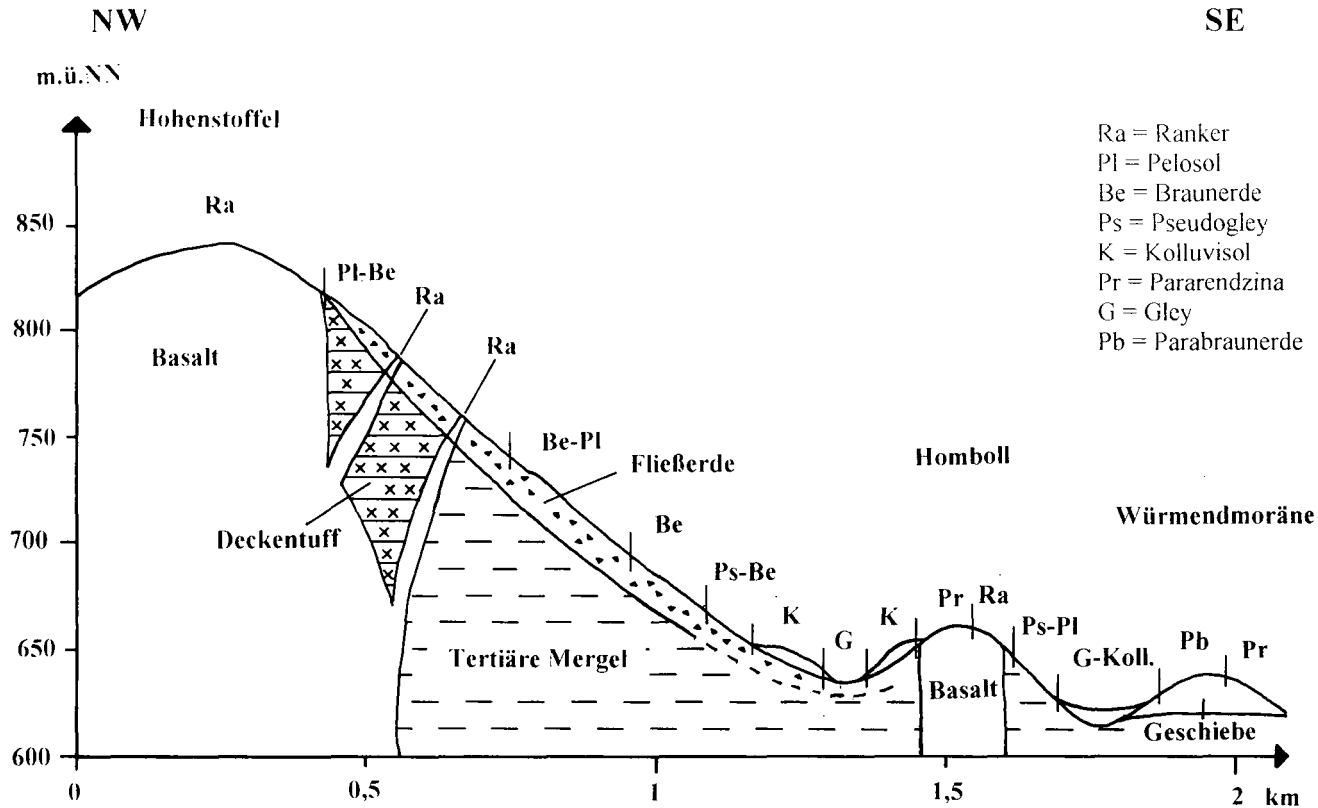


Abbildung 7: Schematischer Schnitt durch die Bodengesellschaft des Hegau vom Hohenstoffel nach Osten.

IV. KARSTGEBIETE DES SCHWEIZER JURAS UND DER SCHWÄBISCHEN ALB

a) Tafel-Jura einschließlich Randengebiet

Die Karstgebiete im Schweizer Jura, welche den Exkursionsraum tangieren, umschließen die zwei Landschaftseinheiten des Tafeljuras sowie des Kettenjuras (Geologische Karte der zentralen Nordschweiz, 1:100'000, 1984). Im Randen, dem typischen Vertreter des Tafeljuras, zeigen die horizontal übereinander gelagerten Jurakalkschichten einen Bruchschollenbau mit Plateaus und leicht geneigten Hängen auf Mergellagen und Steilhängen auf hartem Kalkstein. Der in der Nordschweiz liegende Vertreter des Kettenjuras (auch Faltenjura genannt) ist der Höhenzug oder die Antiklinale der Lägeren (Grenzgebiet im Norden der Kantone Aargau und Zürich).

In der Landschaft des Schweizer Tafel-Juras, die im nördlichsten Zipfel des Landes im Kanton Schaffhausen anzutreffen ist, dominieren Kalkstein und Mergel mit Plateaus, Steilhängen und engen Tälern. Dabei entstand ein buntes Mosaik von Bodenformen bei wechselweiser Nutzung als Wald oder als Wiesen und Äcker.

Der **Schaffhauser Randen** ist die markante Tafeljura-Landschaft. Er erhebt sich bis ca. 900 m ü.M. und zeigt eine Reihe von Taleinschnitten mit 450 bis 550 m ü.M. Das Gebiet gehört zu den regenärmsten der Schweiz mit durchschnittlich deutlich weniger als 900 mm Niederschlag pro Jahr. Die Schichtfolgen des Malm, Dogger und Lias, die nach Südosten schräg verlaufen und unter die mittelländische Molasse untertauchen, sind wechselweise aufgeschlossen oder von Kalksteinschutt bedeckt.

Die hier entwickelten Böden sind **Rendzinen** und **pelitische Kalkbraunerden** (Pararendzina-Pelosole). Nachfolgend zwei typische Reliefformen und Bodenausprägungen (BODENKARTIERUNG Merishausen Randen, FAP, 1959):

Plateau, 5 % geneigt S., 850 m ü.M., **Merishausen Randen**, Koord.: 686.500/293.000. Mähwiese, zeitweise Gebirgsacker im Fruchtwechsel, v.a. Sommergetreide; **verbraunte, pelitische Rendzina**, auf Mergel mit Malmfelsuntergrund. Horizontfolge Ahp - AB - AC - C - R. Neutral bis alkalisch, skelettärmer, toniger Lehm bis Ton, ziemlich flachgründig, ziemlich geringes Wasserspeichervermögen. Eignung als mäßig guter Gebirgsacker (Limitierung: Tongehalt, Bodenwärme) oder trockene Wiese und Weide. Ähnliche Bodenausprägungen finden sich unter großflächig vorkommendem, montanen Wald (Buchen, Fichten, Föhren).

Durachtal, 520 m ü.M., südlich des Dorfes Merishausen, Talsohle, 5 % geneigt S., Acker im Fruchtwechsel; **kalktuffige Rendzina** auf Malm-Kalksteinschutt; mullhumos, skelettreich, toniger Lehm, ziemlich flachgründig, geringe Wasserspeicherfähigkeit, eben bis schwach geneigt; mit der Horizontfolge Ah_{st} - Ah(B) - AC_k- C_k.

Eignung als mäßig gutes bis gutes Ackerland (Bearbeitung erschwert).

b) Kettenjura

Die **Lägeren** weist eine Höhe des Kamms von 780 m ü.M. und im Mittel eine Niederschlagsmenge von rund 1200 mm pro Jahr und eine Vegetationsperiode von weniger als 190 Tagen auf, wobei die Lägeren-Nordseite deutlich feuchter und kühler ist als die Südseite (Bodenkarte Baden, 1996).

Die oberste Krete wird durch harten Malmkalk gebildet. Im Anschluß an Felsrippen finden sich Karbonatgesteinsböden, mit nur rudimentärem Pflanzenbewuchs, verschiedene Formen von **Rendzinen und z.T. Kalkfels** (Standort 6, Abb. 8 mit Profildaten). Gleiche Bodenverhältnisse können auch an der Nordflanke der Antiklinale am "Steinbuck" angetroffen werden. Hangschutt- und Hanglehmdecken, z.T. auch Bergsturzmassen aus Malm, reichen in Zungen häufig bis in die Hangfußlagen. Auf diesen Substraten treten z.T. entkarbonatete, skeletthaltige bis skelettreiche und tonreiche, meist mäßig tiefgründige **Braunerden** auf (Abb. 8, Standort 9).

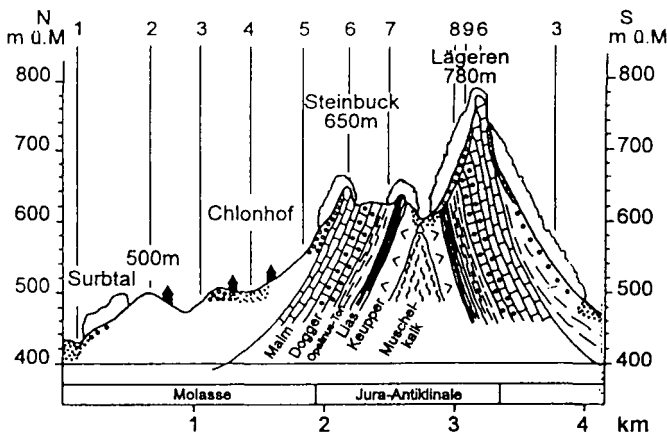


Abb. 8: Geländeschnitt Lägeren - Kanton Aargau

Standort	Boden	Ausgangsmaterial	Landschaftselement
1	BRAUNERDE-GLEY: z.T. anmoorig, drainiert; skelettfrei bis skelettarm, Lehm, mäßig tiefgründig bis tiefgründig	Alluvium	Talmulde
	FAHLGLEY (<i>Nassgley</i>): drainiert; skelettfrei, sandiger Lehm bis lehmiger Schluff, mäßig tiefgründig	Alluvium	Talmulde
2	BRAUNERDE: Wald; sauer, skelettfrei bis skelettarm, sandiger Lehm, mäßig tiefgründig bis tiefgründig	Molassesand	Kuppe
3	BRAUNERDE: schwach pseudogleyig, z.T. schwach gleyig; skelettarm, Lehm über tonigem Lehm, tiefgründig	Hanglehm und Kolluvium (Molasse)	Flachhang
4	BUNTGLEY: drainiert, z.T. anmoorig, überschüttet; skelettfrei bis skelettarm, Lehm über tonigem Lehm, mäßig tiefgründig	Kolluvium (Molasse, Riss-, Würm-Moräne)	Hangmulde
5	BRAUNERDE: schwach pseudogleyig bis pseudogleyig, z.T. gleyig, Wald; sauer bis stark sauer; skelettarm bis skeletthaltig, sandiger Lehm bis Lehm über tonigem Lehm, tiefgründig	Hanglehm (Molasse, Riss-Moräne)	Starkhang
6	KALKBRAUNERDE: skeletthaltig über skelettreich, toniger Lehm bis Ton, ziemlich flachgründig bis mäßig tiefgründig	Hanglehm (Malm)	Krete
	RENDZINA: z.T. auf Fels, z.T. verbraunt; skelettreich, toniger Lehm bis Ton, ziemlich flachgründig bis flachgründig	Hangschutt (Malm)	Krete
	KARBONATGESTEINSBODEN: (<i>Skeletthumboden</i> , <i>Syrose-Rendzina</i>) lithosolisch; skelettreich, toniger Lehm bis Ton, sehr flachgründig	Fels (Malm)	Krete
7	BRAUNERDE-PSEUDOGLEY (<i>Peloso-Pseudogley</i>): skelettfrei, lehmiger Ton, mäßig tiefgründig	Opalinuston	Kuppe
	FAHLGLEY (<i>Peloso-Gley</i>): skelettarm, lehmiger Ton, ziemlich flachgründig	Opalinuston	Mulde
8	BRAUNERDE-PSEUDOGLEY: z.T. pseudogleyig, Wald; sauer bis schwach sauer; skelettfrei bis skelettarm, lehmiger Ton, mäßig tiefgründig	Hanglehm (Dogger oder Malm)	Flachhang
9	KALKBRAUNERDE: mullreich; skeletthaltig bis skelettreich, toniger Lehm bis lehmiger Ton, mäßig tiefgründig bis ziemlich flachgründig	Hanglehm und Hangschutt (Malm)	Steilhang

An der Lägeren-Südseite tritt z.T. bereits ab 700 m ü.M. die Molasse zutage. Die Kalkbraunerden und **Braunerden** der Mischsubstrate Malm-Molasse (Standort 3) werden in Richtung Hangfuß zunehmend sandig.

An der nördlichen Flanke entstanden auf Malm-Mergel **Braunerde-Pseudogleye** (Standort 8), denen hangabwärts im Bereich der austreichenden Dogger- und Opalinustonschichten schwere **gleyige Braunerden** (*Hanggley-Pelosole*) folgen. Beim "Steinbuck" entstanden auf Dogger auch **pseudogleyige Kalkbraunerden**; Doggerschichten können aber auch als trockene Felsrippen auftreten. Örtlich kommen **pseudogleyige Braunerden auf Löß** vor (im Bereich Standort 2).

Die Transsekte führt durch den Kern der Antiklinale mit bedeutenden Opalinuston-, Lias- und Keuperaufschlüssen. Die Hänge sind infolge der Stauwirkung des Untergrundes (Tone, Mergel) rutschanfällig. Hier herrschen Böden mit stark wechselndem Wasserregime vor. Beispiele sind **Braunerde-Pseudogleye** (Standort 7). In Mulden herrscht Hangwasserüberschuß. Hier entwickelten sich **Braunerde-Gleye** und **Fahlgleye** (Standort 7) (Klassifikation der Böden der Schweiz, 1992).

Horizont	Profilskizze cm	Gefüge- form	organ. Subst. %	Ton %	Schluff %	Sand %	Skelett geschätzt Vol. %	Kalk (CaCO ₃) %	pH (CaCl ₂)	
OI		krümelig	24,5	73	13	14	15	3	6,9	
Ah		krümelig	12,2	76	10	14	30	6	7,3	
Ah(B)		bis subpolyedrisch								
(B)C		subpolyedrisch bis polyedrisch	2,0	52	15	33	40	32	7,4	
C										

Abb. 9: **Rendzina** aus Hanglehm und Hangschutt (Malm): verbraunt, skeletthaltig über skelettreich, Ton, ziemlich flachgründig, Otelfingen ZH, Eggetsacher; 700 m ü.M., Koord. 671.140/259.210, Steilhang, 75 % Neigung; Expositon S; Wald

c) Kuppenalb der Baar

Dieser Teil der Alb umfaßt die Bereiche nördlich des Donautales bzw. nördlich der Klifflinie, in der der Albkörper stark zerschnitten und der Albtrauf zerlappt ist. Die Baar-Alb grenzt nördlich an die Hegau-Alb und geht nach Westen in das Randen-Gebiet über. Die vorhandenen Hochflächenreste werden hauptsächlich von Braunerde-Terra fuscen eingenommen. Zum Rand der Hochflächen hin gehen sie in Braunerden, Rendzina-Braunerden und Rendzinen über. Die Weißjurahänge sind überwiegend von Rendzinen und Braunerde-Rendzinen aus Kalkstein und Kalksteinschutt eingenommen. Die Täler schneiden häufig bereits in die unteren Weißjuramergel ein, so daß in den Unterhängen Pararendzinen häufig sind. Vor allem nördlich Blumberg und im modernen Donautal nordwestlich Geisingen nimmt der Anteil der Pelosole zu, hangab gehen sie in Kolluvisole und tonige Gleye über. In den tiefer eingeschnittenen Tälern, wie im ehemaligen Donau-(Aitrach-)Tal sind weitverbreitet Kalkvegen und Kalkgleye zu finden. An den Rändern finden sich Rendzinen aus Kalkschutt und Kolluvisole. Die tieferen Teile der Täler sind durch eine Abfolge Kolluvisol-Anmoor-Kalkniedermoor eingenommen. Solche Niedermoore gibt es östlich Blumberg und wiederholt bis nach Geisingen.

d) Donau-Flächenalb

Die Donau-Flächenalb schließt sich nach Osten an die Hegau-Alb an, grenzt nach Süden an das Altmoränengebiet des Molassebeckens an. Sie umfaßt den Donau-Abschnitt von Tuttlingen über Friedingen, Beuron bis nach Sigmaringen. Durch Versickerung im Karst, wie zuvor schon im Bereich von Immendingen, verliert die Donau hier einen hohen Anteil ihres Wassers und fällt vor allem nach heißen und niederschlagsarmen Sommern in diesem Abschnitt trocken. Die Flächenalb wurde während der oberen Meeresmolasse vom miozänen Meer überflutet. In diesem Bereich finden sich mehr als in den westlichen Teilen der Alb Hochflächen. Diese Hochflächen werden von Terra fuscen, Braunerde-Terra fuscen und Terra fusca-Braunerden eingenommen (vgl. Exkursion D3). Die Kuppen auf der Hochfläche sind durch Rendzinen und Braunerde-Rendzinen gekennzeichnet. In Senkenzügen, in denen vor allem schluffiges Material akkumuliert wurde, können auch Parabraunerden und Kolluvisole häufig über fossilen Terrae calcis gefunden werden. Die Hänge vor allem zur Donau und zur Bära hin sind steil. Hier gibt es Protorendzinen und Rendzinen auf anstehendem Kalkstein, sowie Rendzinen aus Kalkschutt. Auf den kleinflächigen Donauterrassen findet man als Maximalstadium die Parabraunerde vergesellschaftet mit Pararendzina-Braunerden und Kolluvisolen. Die Aue der Donau wird überwiegend von Kalkvegen und Kalkgleyen eingenommen.

V. RHEINTAL

a) Alpenrheintal

Das weite Alpental des Rheins vor seiner Mündung in den Bodensee dehnt sich in einer Länge von ca. 35 km (Rheineck bis Buchs, Kanton St. Gallen, Vorarlberg und Fürstentum Liechtenstein) und ca. 5 km Breite. Diese Landschaftseinheit setzt sich aus feinkörnigen, oft schluffreichen Alluvionen und Niedermooren zusammen, örtlich umrahmt von Kiesterrassen und Schwemmfächern.

Die Ebene (400 bis 440 m ü.M., 1330 mm mittlerer jährlicher Niederschlag (Altstätten, Kanton St. Gallen) und 8° C mittlere Lufttemperatur wurde vor mehr als 100 Jahren melioriert und ist heute vorwiegend landwirtschaftlich genutzt (Mähwiesen, Acker- und Gemüsebau). Oberflächen- und Grundwasser werden mit gut ausgebautem, technischem System reguliert. Überschwemmungen sind fast vollständig gebannt. Ein großer Teil der Flächen ist mit gut unterhaltenen Röhrendrainagen künstlich entwässert, sowohl die ehemals stark grundnassen, anorganischen als auch die organischen Böden der Talebene. Örtlich trifft man nicht entwässerte Riedflächen an.

Die Palette der vorkommenden Böden umschließt **pseudogleyige Fluvisole, gleyige, alluviale Kalkbraunerden, gleyige pseudogleyige Braunerden, Gleye, Pseudogleye und Moorböden**. Nachfolgend ein typisches Profil der feinkörnigen (schluffig-tonigen) Böden der Talebene.

Horizont	Tiefe cm	Ton %	Schluff %	Sand %	organische Substanz %	Porenvolumen Vol.-%	Sickerfähige Poren Vol.-%	Durchlässigk. (aufgrund von K-Wert)	Gefügeform
Ah	0 - 20	34,2	47,0	12,6	6,2	70,8	18,0	normal	zieml. bindiges Krümelgefüge
Ag	20 - 50	26,4	64,4	7,6	1,6	48,4	8,9	schwach gehemmt	zieml. bindiges Klumpengefüge
BCg	50 - 100	29,7	65,7	3,6	1,0	52,4	6,4	gehemmt	stark bindiges Klumpengefüge
Cgg	100-120	24,9	66,6	7,7	0,8	48,1	5,1	gehemmt	stark bindiges Primitivgefüge

Abb. 10: Karbonatreicher, pseudogleyiger **Fluvisol**, skelettarm, toniger Schlufflehm, schwach staunaf, gute Wasserspeicherung. Talebene, 400 m ü.M., bis 2 % Neigung N; "Buhhof", Rheineck SG, Koord. 761.400/260.100.

Die ackerbauliche Nutzung, die nicht selten auf diesen schluffig-tonigen Fluvisolen, z.T. auch auf drainierten Moorböden betrieben wird, ist zum Teil nicht standortgerecht und sollte dem Dauergrünland Platz machen. Aus agrarpolitischen Gründen wird jedoch trotz Zielkonflikt Gemüse- und Ackerbau gefördert. Belastungen des (oft als Trinkwasser genutzten) Grundwassers sowie der Oberflächengewässer mit Nitrat bzw. Phosphat sind daher nicht immer zu vermeiden (PEYER et al, 1976).

b) Hochrheintal zwischen Stein am Rhein und Basel

Der Hochrhein mäandriert in einem engen Tal auf dieser Strecke von West nach Ost und bildet meist die deutsch-schweizer Grenze. Entlang der Flußrinne ist nur eine schmale, maximal einige Hundertmeter breite Aue entwickelt. Entsprechend des Einzugsgebietes sind die Sedimente hoch kalkhaltig. Im oberen Teil eher lehmig, im unteren dann überwiegend kiesig. Die Böden Kalkpaternien, Kalkvegen und Kalkgleye sowie kleinflächig Auengleye.

Größere Verbreitung haben flußbegleitend die Niederterrassen, welche aus kiesig-lehmigen, fluviatilen Absätzen aufgebaut sind. Zwischen Stein am Rhein und Schaffhausen handelt es sich dabei hauptsächlich um die glazifluvialen Ablagerungen des Singener Stadiums. Sie tragen Parabraunerden, kleine Dellen sind mit Kolluvisoln verfüllt. Flußabwärts sind Parabraunerden und Parabraunerde-Braunerden entwickelt, die teilweise rötliche Bt-Horizonte wie im südlichen Oberrhein-Gebiet und auf dem Singener Schotterterrassen haben. Im Bereich des Hotzenwaldes und des Dinkelbergs wird der Rhein auch von älteren, pleistozänen Terrassen begleitet. Diese zeigen auch überwiegend Parabraunerden, allerdings mit deutlicher Tendenz zur Pseudovergleyung, in Depressionen bis hin zu sekundären Pseudogleyen. Erosierte Terrassenränder können aber hier auch noch Pararendzinen und angrenzend Kolluviole tragen, während auf Verebnungen vor allem unter Wald Podsoligkeit beobachtet werden kann. Genérell sind diese Bereiche wesentlich stärker verwittert als Aue und Niederterrasse und so finden sich nur noch äußerst widerstandsfähige Gerölle in einer lehmigen Matrix.

c) Klettgau und Dinkelberg

Der Klettgau schließt sich nach Westen an das Juragebiet des Randens an und vermittelt zur Ostabdachung des Schwarzwaldes. Der Dinkelberg liegt als Staffelscholle an der Südwest-Ecke des Schwarzwaldes und wird nach Norden von der Wiese und nach Osten durch die Wehra abgegrenzt. Beide Gebiete werden in ihrer Morphologie hauptsächlich

durch die Gesteine des oberen Muschelkalkes geprägt. Daneben finden sich im Ostteil des Klettgaus und im zentralen Teil des Dinkelbergs auch Tone und Mergel der Keuperschichten.

Auf den höchsten Plateaus des Muschelkalk finden wir Terra fusca-Parabraunerden und Braunerde-Terra fuscen. Sie sind aus Lößlehm über Kalksteinverwitterungslehm entstanden. Die welligeren Plateaus zeigen nur noch geringere Verbreitung von Terra fuscen, dagegen mehr Rendzinen und Braunerde-Rendzinen, in Depressionen Kolluvisole. Auch hier ist Lößlehm über Kalkstein das Ausgangssubstrat. In den Keupergebieten überwiegen Pseudogley-Pelosole bis Pelosol-Pseudogleye, an steileren Hängen auch Pararendzina-Pelosole und Pararendzinen. Die steiler eingeschnittenen Täler im Muschelkalkgebiet haben an den Hängen Rendzinen, die zum Hangfuß in Kolluvisole übergehen. Im südwestlichen Klettgau werden Plateaus und Hochterrassen zum Teil aus rißzeitlichen Ablagerungen abgeleitet. Hier finden sich tief entkalkte Parabraunerden, Pseudogley-Parabraunerden vergesellschaftet mit Pararendzinen an Hängen und Pararendzina-Kolluvien und Gley-Kolluvien in Senken. Der bedeutendste Fluß des Klettgau ist die Wutach, welche im Spätglazial die Feldbergdonau zum Rhein umgeleitet hat und sich deshalb im Spätglazial und Holozän tief einschneiden konnte. Ihre Aue ist geprägt von Paternien und Gleyen, im Unterlauf auch von Kalkvegen. Der westliche Teil des Dinkelbergs ist stärker von oberrheinischem Löß überlagert als die übrigen Gebiete. Hier dominiert eine Parabraunerde-Pararendzina-Kolluvisol-Gesellschaft.

VI. ALPENRAND

a) Faltenmolasse

Südlich von Rorschach erhebt sich die durch Alpenfaltung aufgeschobene, nördlich exponierte Molasse. Diese Landschaft ist dank dem meist sandigen Ausgangsmaterial (untere Süßwasser- und obere Meeresmolasse) durch ein relativ sanftes Relief geprägt.

Die Region Rorschacherberg - Heiden (Kantone St. Gallen und Appenzell-Außerrhoden) repräsentiert diese Landschaft. Sie steigt bis über 800 m ü.M. an. Die Niederschläge sind mit z.T. über 1'500 mm im Mittel pro Jahr hoch, die Vegetationsdauer mit ca. 170 Tage ziemlich kurz. Die Bodennutzung beschränkt sich auf Futterbau und Forstwirtschaft.

Nachfolgend ein typischer Vertreter der entsprechenden Bodengesellschaft, umfassend meist stark saure und saure **Braunerden**, z.T. im Wald leicht podsoliert, mit **Moder- und**

Rohhumusauflagen, sowie (Hang-)Gleye und örtlich **Moorböden** (Bodenkartierung Rorschacherberg, FAP, 1974).

Horizont	Tiefe	Ton %	Schluff %	organ. Substanz %	pH (H ₂ O)	Gefügeform
Ah	0 - 18	12,1	44,0	3,5	6,3	krümelig
Ast	18 - 50	13,5	26,6	1,4	6,3	krümelig
Bw,cn	50 - 68	11,8	18,5		6,1	polyedrisch
Bw,fe	68 - 120	12,4	18,5		6,2	polyedrisch

Abb. 11: Schwach entwickelte, **Saure Braunerde**, skelettarm, sandiger Lehm und lehmiger Sand, gute Wasserspeicherung. Konvexhang, 670 m ü.M., 18 % Neigung N; "Vogelherd", Rorschacherberg; Koord. 757.100/259.500

b) Nagelfluhgebiet

Der Alpenrand zwischen Rorschacherberg und Rheintal (Kantone beider Appenzell und St. Gallen) ist geprägt durch südexponierte, zerklüftete Steilhänge aus karbonathaltigem Nagelfluhfels. Die höchsten Erhebungen erreichen deutlich über 1000 m ü.M. mit sehr feuchtem und kühlem Klima. In den vorwiegend bewaldeten Gebieten dieser Landschaftseinheit entstehen oft felsige bis skelettreiche **Lithosole** bzw. **Regosole** und flachgründige **Braunerden**. **Saure Braunerden** und **Gleye** sind eher selten, podsolige Böden kommen kaum vor. In diesen oft mehr als 50 % steilen Hängen hat der Wald eine Produktions- und eine (Erosions-)Schutzfunktion.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

Die Landschaften zu allen Seiten des Bodensees sind überwiegend durch mergelige Ausgangsgesteine gekennzeichnet. Dementsprechend ist die häufigste Bodenvergesellschaftung **Parabraunerde**, **Pararendzina** und **Kolluvisol**. Dies ist neben Gestein, Zeit und Klima hauptsächlich durch die menschliche Wirtschaftsweise bedingt. Der Klimagradient von frisch nach sehr feucht gegen den Alpenrand führt dazu, daß im wärmeren Gebiet die Tendenz fast schon zu mediterranen, **rötlichen Parabraunerden** beobachtet wird, während im östlich/südöstlichen Gebiet die Tonverlagerung zurücktritt und **Braunerden** dominieren. Bei tonigeren Ausgangssubstraten sind Übergänge zu **Pelosolen** zu beobachten. Je älter die Böden werden, desto stärker ist Stauwasser mit Übergang zu **Pseudogley** und **Stagnogley** zu beobachten. In den vielen kleinen und großen Senken des Gebietes lassen sich Übergänge von Kolluvisol zu **Gley**, Anmoor und **Niedermoor** feststellen. In den jüngeren Landschaften sind alle diese Böden durch die Kalkdynamik gekennzeichnet. In den älteren, wo der Kalk bereits stärker ausgewaschen ist, dominieren Eisen- und Manganumlagerungen an Redoxgradienten. Auch in den Senken läßt sich die zunehmende Vermoorung mit zunehmender Durchfeuchtung und das Auftreten von **Hochmooren** in den feuchteren Bereichen beobachten. Hier hat die menschliche Wirtschaft zu einem starken Abbau der Torfe mit Vererdung und Vermullung geführt.

Abweichend von den mergeligen Molasse- und Moränegebieten sind die Kalksteinlandschaften der Schwäbischen Alb, des Randen und des Schweizer Jura. Hier überwiegt die Terra fusca-Rendzina-Kolluvisol-Gesellschaft in tonig/mergeligen Bereichen sind auch hier Übergänge zu Pelosolen zu beobachten. Kalkgleye und Rendzinen finden sich auf sekundären Sinterkalken, Kalkpaternien in Auen. Auf den Vulkaniten des Hegau lassen sich **Ranker** und zum Teil **Pararendzinen** auf Kuppen und an steilen Hängen beobachten. Die fortgeschrittene Bodenentwicklung führt zu **Braunerden** und **Pelosolen**. Die Verwitterung der basischen Vulkanite führt zur Smektitdominanz bei den Böden, die selbst noch in den vergleyten Senken zu beobachten ist.

Auf die Vielfalt der Böden hat vor allem lokal hauptsächlich das Relief großen Einfluß. Dieser Einfluß wird dort stark überprägt, wo Gesteinsgrenzen auftreten. Unterschiede des Klimas führen lediglich über weite Strecken zu erkennbaren Tendenzen. Von Süden nach Norden sind auch Unterschiede des Bodenalters vom Jungmoränengebiet über das Altmoränengebiet, schließlich zur Schwäbischen Alb vorhanden. Überall hat die menschliche Wirtschaftsweise zu starken Abträgen und Aufträgen geführt, sowie durch Regulierung des Wasserhaushaltes die Senkenböden verändert.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

- ABT, K. (1990): Landschaftsökologische Auswirkungen des Agrarstrukturwandels im württembergischen Allgäu. 161 S. Dissertation Univ. Hohenheim.
- AQUINO-MOSCOSO, O. (1993): Bodenwasserhaushalt unter Grünland in Oberschwaben. Hohenheimer Bodenkundl. Hefte, 7, Univ. Hohenheim.
- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 3. Aufl., 331 S., 19 Abb., 98 Tab., 1 Beil., Hannover.
- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 4. Aufl., 392 S., 33 Abb., 91 Tab., Hannover.
- ARGE BGU/DICKENMANN/AQUA TERRA/FORSTLICHE BODENKUNDE DER WSL (1993): Kartierungsschlüssel für die Wälder im Kanton Thurgau.
- BLEICH, K.E. et al (1971): Landschaften und Böden Baden-Württembergs - insbesondere hydromorphe Böden - Exkursion B, S. 51-105, Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., 14, Göttingen.
- BLEICH, K.E., K.H. PAPENFUSS, R. R. VAN DER PLOEG, E. SCHLICHTING und Mitarbeiter (1987): Exkursionsführer zur Jahrestagung 1987 in Stuttgart-Hohenheim. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges., 54, 246 S., Göttingen.
- BLEICH, K.E., K.H. PAPENFUSS, R.R. VAN DER PLOEG, E. SCHLICHTING & Mitarbeiter (1987): Exkursionsführer zur Jahrestagung in Stuttgart-Hohenheim. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges., 54, 1-246, 42 Abb., Göttingen.
- BLUME, H.-P. (1968a): Stauwasserböden. - Arbeiten der Univ. Hohenheim, 42, 242 S., 38 Abb., 71 Tab.; Stuttgart, Ulmer.
- BLUME, H.-P. (1968b): Die pedogenetische Deutung einer Catena durch die Untersuchung der Bodendynamik. - Trans IXth internat. Congr. Soil Sci., 4, 441-449, 4 Abb., Adelaide.
- BODENKUNDL. GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ und Eidg. FORSCHUNGSANSTALT ZÜRICH-RECKENHOLZ (1992): Klassifikation der Böden der Schweiz.
- BRUNNACKER, K. (1953): Die bodenkundlichen Verhältnisse der würmeiszeitlichen Schotterfluren im Illergebiet, Geologica Bavarica 18, S. 113-130, München.
- BRUNNACKER, K. (1962): Pleistozäne Böden im nördlichen Oberschwaben. Peterm. geogr. Mitt., 1962, S. 255-259, Gotha.
- BRUNNACKER, K. (1964): Grundzüge einer quartären Bodenstratigraphie in Süddeutschland. Eiszeitalter und Gegenwart, 15, S. 224-228, Öhringen.
- DIEZ, TH. (1968): Die würm- und postwürmglazialen Terrassen des Lech und ihre Bodenbildungen. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 19, S. 102-128, 6 Abb., 6 Tab., Öhringen/Württ.
- EIDG. FORSCHUNGSANSTALT ZÜRICH-RECKENHOLZ (FAP) (Hrsg.)
(1958): Bericht zur Bodenkartierung Merishauser Randen/SH
(1981): Bericht zur Bodenkartierung Diessenhofen/TG
(1982): Bericht zur Bodenkartierung Flaach/ZH
(1985): Bericht zur Bodenkartierung Region Stammheim/ZH
(1986): Bericht zur Bodenkartierung Muolen/SG
(1996): Bodenkarte der Schweiz M 1:25'000, Blatt Baden mit Erläuterungen.
- EIDG. FORSCHUNGSANSTALT ZÜRICH-RECKENHOLZ (FAP) und BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG (1980): Bodeneignungskarte der Schweiz, M 1: 200'000, mit Erläuterungen, Zürich.

- ELLENBERG, H. (1954): Naturgemäße Anbauplanung, Melioration und Landespflege. Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie, Bd. III, 109 S., Stuttgart.
- ELLENBERG, H., K.-F. SCHREIBER; R. SILBEREISEN, F. WELLER u. F. WINTER (1956): Grundlagen und Methoden der Obstbau-Standortskartierung. Obstbau (Stuttgart) 75, 75-77, 90-92, 107-110.
- FREI, E. und P. JUHASZ (1965): Geographische Verbreitung und Nutzung der Braunerden und Gleye in der Gemeinde Hüntwangen. Schweiz. landw. Forschung, 3, S. 215-250.
- FUCHS, A. (1989): Nährstoffbilanzen und Bodenentwicklung einer Catena des Jungmoränengebietes in Oberschwaben. - Dipl.-Arb. Univ. Hohenheim, Inst. Bodenkde, 83 S., 16 Abb., 16 Tab., Hohenheim.
- GEIGER, E. (1948): Untersuchungen über den Geröllbestand im Rheingletschergebiet. - Schweiz. Min. Petrogr. Mitt., 28, S. 274-287.
- GEIGER, E. (1961): Der Geröllbestand des Rheingletschergebietes im allgemeinen und im besonderen um Winterthur. - Mitt. Naturwiss. Ges. Winterthur, 30, S. 33-53.
- GEOGRAPH. INSTITUT DER UNIV. BERN und BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG (1980): Klimaeignungskarte für die Landwirtschaft in der Schweiz, M 1:200'000, Bern.
- GEOL. LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.):
(1992): Bodenkarte von Baden-Württ. 1:25 000 mit Erläuterung Blatt 7923 Saulgau Ost
(1992): Bodenkarte von Baden-Württ. 1:25 000 mit Erläuterung Blatt 8323 Tettnang
(1992): Bodenkarte von Baden-Württ. 1:25 000 mit Erläuterung Blatt 8022 Ostrach
- GEOL. LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.):Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg 1.200 000
(1994): Blatt CC 8710 Freiburg-Süd
(1993): Blatt CC 7918 Stuttgart-Süd
(1995): Teilblätter Baden-Württemberg
CC 7926 Augsburg, CC 8718 Konstanz, CC 8726 Kempten
- GERMAN, R. (1959): Die Würmvereisung an Rhein- und Illergletscher zwischen Federseebecken und Günztal. - Geologica Bavarica, 43, S. 3-73.
- GEYER, O.F. & M-P. GWINNER (1986): Geologie von Baden-Württemberg. - 472 S., 254 Abb., 26 Tab., Schweizerbart, Stuttgart.
- GOETZ, R., S. MÜLLER und F. WACKER (1971): Zusammenhänge zwischen den Tagesrhythmen der Bodentemperatur und der Profilprägung. - Mitt. Verein forstl. Standortskunde, 20, S. 67-88, Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1960): Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Moore in Oberschwaben. - Jh. Ver.vaterld. Naturkde. Württ., 115, 93-174, 24 Abb., 2 Tab., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1965): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 7922 (Saulgau) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1967): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8122 (Weingarten) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1968): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8124 (Bad Waldsee) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1971): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8324 mit Erl. (Wangen im Allgäu), Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.

- GÖTTLICH, K. (1971): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8120 (Stockach) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1972): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8320 (Konstanz) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1972): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 7924 (Biberach) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1975): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8318 (Singen - Hohentwiel-) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1975): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8322 (Friedrichshafen) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GÖTTLICH, K. (1976): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Bl. L 8118 (Tuttlingen) mit Erl., Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
- GRAUL, H. (1953): Bemerkungen zu einer geologischen Übersichtskarte des Iller-Riß-Gebietes. - Z. deutsch. geol. Ges., **105**, S. 517-524.
- GRAUL, H. (1962): Die Niederterrassenfelder im Umkreis der Alpen. - Eiszeitalter und Gegenwart, **13**, S. 181-196.
- GRAUL, H. (1962): Eine Revision der pleistozänen Stratigraphie des schwäbischen Alpenvorlandes: (Mit einem bodenkundlichen Beitrag von K. BRUNNACKER). - Petermanns geogr. Mitt., S. 253-271.
- HAUFF, R. (1953a): Das Alter der Zeiler Misen. - Mitt. Ver. Forstl. Standortkartierung, **3**, S. 17-18.
- HAUFF, R. (1953b): Zur Wuchsbezirksgliederung in Oberschwaben. - Mitt. Ver. Forstl. Standortkartierung, **3**, S. 45-50.
- HAUFF, R., G. SCHLENKER und G.A. KRAUSS (1950): Zur Standortsgliederung im nördlichen Oberschwaben. - Allg. Forst- und Jagdzeit., **122**, 3-11.
- HAUFFE, H.-K. (1979): P-Austräge aus unterschiedlich genutzten Landschaften des Bodensee-Einzugsgebietes. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges., **29**, 231-234, Göttingen.
- HAUFFE, H.-K. (1982): Nährstoffausträge aus unterschiedlich genutzten Landschaften (Untersuchungen im östlichen Bodensee-Einzugsgebiet). Univ. Hohenheim.
- HOFER, J. B. von (1822): Landwirtschaftliche Topographien - Statistische und landwirtschaftliche Notizen über die Insel Reichenau.
- HOMANN, M. & J. MERKT & H. MÜLLER (1990): Über Alter und Entwicklung des Königseggsees bei Hoßkirch (Oberschwaben). - Jh. geol. Landesamt Baden-Württ., **32**, S. 247-254, 2 Abb., Freiburg i. Br.
- HORNIG, W., W. MICKLEY und K. STAHR (1991): Genese, Eigenschaften und Verbreitung der Böden im Westallgäuer Hügelland. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, **33**, S. 199-217, Freiburg i. Br.
- HUTTENLOCHER, F. (1960): Baden-Württemberg. Kleine geographische Landeskunde. - Schriftenreihe Komm.geschichtl. Landesdk., **2**, Karlsruhe.
- KONOLD, W. (1987): Oberschwäbische Weiher und Seen. - Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württ., **52**, 1-634, 125 Abb., 48 Tab., Karlsruhe.
- KÖSEL, M. (1996): Der Einfluß von Relief und periglazialer Deckschichten auf die Bodenausbildung im mittleren Rheingletschergebiet von Oberschwaben. - Tübinger Geowiss. Arb., **D 1**, 135 S., Tübingen.

- KRAUS, E. (1922): Der Blutlehm auf der süddeutschen Niederterrasse als Rest des postglazialen Klimaoptimums. - Geognost. Jh. **34**, S. 169-222.
- KRAUS, G. A. und OLBERG, R. (1953): Landschaft, Klima, Geologie und Boden. In: Zeil, Standort, Wald und Waldwirtschaft im Fürstl. Waldburg-Zeil'schen Forst. - Mitt. Ver. Forstl. Standortskartierung, **3**, S. 5-11.
- KUHN, K. (1992): Paläoböden auf der Schwäbischen Alb - Eintrag zur Landschaftsgeschichte und zum Verständnis des heutigen Bodenmusters. Univ. Stuttgart und Hohenheim.
- MACHHADI, A.S. (1974): Der Anteil der Evapotranspiration an der Wasserbilanz verschiedener Niedermoorstandorte im südwestdeutschen Alpenvorland (Oberschwaben) mit vergleichender Untersuchung über die Meß- bzw. Berechnungsmethoden. Diss. Univ. Hohenheim, 158 S.
- MOLL, W. (1970): Beiträge zur Genese und systematischen Stellung rubefizierter Parabraunerden aus alpinen Schottern und Geschieben. Freiburger Bodenkdl. Abh., **3**, 180 S., Anhang mit Tab., Freiburg i.Br.
- MOOSMAYER, V. (1953): Zeil - Standort, Wald und Waldwirtschaft im Fürstl. Waldburg-Zeil'schen Forst - Mitt. Verein forstl. Standortskunde, **3**, S. 1-44, Stuttgart.
- MÜLLER, S. (1965a): Thermische Sprungschichtenbildung als differenzierender Faktor im Bodenprofil. - Ztschr. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, **109**, Heft 1, S. 26-34, Weinheim.
- MÜLLER, S. (1965b): Lessivierung in Abhängigkeit vom Kleinklima. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges., **4**, S. 65-70, Göttingen.
- MÜLLER, S., G. SCHLENKER und J. WERNER (1967): Südwestdeutsche Waldböden im Farbbild. - Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, **23**, Stuttgart.
- MÜLLER, T. (1989): Boden- und Standortentwicklung in einem Landschaftsausschnitt des oberschwäbischen Jungmoränengebietes. - Dipl.-Arb. Univ. Hohenheim, Inst. Bodenkde, 81 S., 16 Abb., 15 Tab., Hohenheim.
- NAGRA und SCHWEIZ. GEOLOGISCHE KOMMISSION (1984): Geologische Karte der zentralen Nordschweiz, Geologische Spezialkarte Nr. 121.
- OSTENDORFF, E. (1955): Die Bodenprovinzen Südwestdeutschlands. - Umschaudienst Akad. Raumforsch. Landesplan. **5**, S. 3, Hannover.
- PEINEMANN, N. (1975): Phosphatverteilung in Landschaften Südwestdeutschlands. - Diss. Univ. Hohenheim, 123 S., 29 Abb., 14 Tab., Hohenheim.
- PENCK, A. und E. BRÜCKNER (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. **1-3** Leipzig (C.H. Tauchnitz) 1199 S.
- PEYER, K., E. FREI, F. JÄGGLI, P. JUHASZ und M. PETRASEK (1976): Belastbarkeit des Bodens für Flüssigdünger. Mitteilungen Schweiz. Landwirtschaft, **24**, 5, 105-120.
- REGIONALVERBAND BODENSEE-OBERSCHWABEN -Hrsg.- (1980): Ökologische Standorteignungskarten von Teilräumen der Region Bodensee-Oberschwaben. S. 59, 2 Karten, Ravensburg.
- RICHARD, F. und P. LÜSCHER (1983): Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz, Band 3 ("Winzelerböden"), ETH Zürich und WSL Birmensdorf.
- SCHLENKER, G. und S. MÜLLER (1975): Erläuterungen zur Karte der Regionalen Gliederung von Baden-Württemberg II. Teil (Wuchsgebiet Südwestdeutsches Alpenvorland) - Mitt. Verein Forstl. Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, **24**, 3-38, Stuttgart.

- SCHLICHTING, E. (1966): Landschaften und Böden Südwestdeutschlands. Landw. Forschung, **20**, Sonderh., S. 60-64.
- SCHLICHTING, E. und K. HEINRICHSMEIERS (1982): Belastbarkeit von Böden mit Klärschlamm-Schwermetallen. - Landw. Forsch. Sonderheft, **39**, 238-244.
- SCHMID, Th. (1995): Wasserhaushalt und Stoffumsatz in Grünlandgebieten im württembergischen Allgäu. - Tübinger Geowiss. Arb. **C 23**, 145 S. und Anhang, Tübingen.
- SCHREINER, A. (1979): Erl. geol. Karte d. Landkr. Konstanz m. Umgebung 1:50 000. - Zur Entstehung des Bodenseebeckens. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **29**, S. 71-76, 4 Abb., Hannover.
- SCHUSTER, E. (1929): Bodenkundliches aus dem Walde. Biologische Betrachtungen. Schloß Zeil.
- SCHWERTMANN, U., E. MURAD und D.G. SCHULZE (1982): Is there holocene reddening (hematite formation) in soils of axeric temperate areas? - Geoderma, **27**, 209-223.
- SEMME, A. (1973): Periglaziale Umlagerungszonen auf Moränen und Schotterterrassen der letzten Eiszeit im deutschen Alpenvorland. - Z. Geomorphol., N.F., Supp., **17**, 118-132, 10 Abb., 3 Tab., Berlin, Stuttgart.
- STAHR, K. (1975): Qualitative und quantitative Erfassung von Schichtgrenzen. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges., **22**, 633-644, 2 Abb. 3 Tab., Göttingen.
- STAHR, K., M. KLEBER und F. RÜCK (1994): Stickstoff- und Kohlenstoffhaushalt von Grünlandökosystemen im württembergischen Allgäu - Hohenheimer Bodenkundliche Hefte **20-I**, 88 S., Hohenheim.
- WACKER, F. (1944): Natürliche Landwirtschaftsgebiete, dargestellt am Beispiel Württembergs und Hohenzollerns. Z.f.Erdkunde **12**, S. 161-181.
- WELLER, F. (1990): Ökologische Standorteignungskarte für den Landbau in Baden-Württemberg, 1:250'000, 32 S., 2 Karten, Erl., Tab. - Ministerium Ländl. Raum, Ern., Landw. und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart.
- WELLER, F. und K.-J. DURWEN (1994): Standort und Landschaftsplanung - Ökologische Standortkarten als Grundlage der Landschaftsplanung. 11 Tab., 94 Abb., 170 S., ecomed, Landsberg.
- WELLER, F. und R. SILBEREISEN unter Mitwirkung von K.F. SCHREIBER und F. WINTER (1978): Ökologische Standortseignungskarte für den Erwerbsobstbau in Baden-Württemberg 1:250 000, 32 S., 2 Karten und Erl., Tab., Minist. Ern. Landw. u. Umwelt Baden-Württ., Stuttgart.
- WERNER, J. (1964): Grundzüge einer regionalen Bodenkunde des südwestdeutschen Alpenvorlandes. - Schriftenreihe Landesforstverwaltung Baden-Württ., **17**, 91 S., 32 Abb., 5 Tab., Freiburg i.Br.
- ZÖTTL, H. (1958): Die Abhängigkeit der Bodentemperaturen vom Wasserhaushalt wechselfeuchter Standorte. Forstw. Centralblatt **77**, H. 11/12, S.- 329-335.

Vegetation im Exkursionsgebiet

von

R. Böcker¹ und W. Kunold²

Die botanische Erforschungsgeschichte des Exkursionsgebietes geht auf einen Zeitraum von mehreren hundert Jahren zurück. Ein erstes ausführlicheres Verzeichnis der Flora stellte Rot von Schreckenstein (1799) zusammen, in dem 1017 Arten, unter anderem Arten des Bodenseegebietes, wie *Saxifraga oppositifolia* (subsp. *amphibia*) bei Konstanz zusammen mit anderen heute sehr seltenen Arten. In der Folge erschienen eine überarbeitete Fassung der Flora des Donauursprungs und des Neckars, sowie weitere Lokalfloren die auf das Bodenseegebiet eingehen (Höfle 1850, Jack 1900, Leiner, Gmelin, Döll 1843, 1857-1862, Seubert 1863, 1875, Klein 1905 zitiert in LANG 1973).

Die pflanzengeographische Durchforschung dieses Bereiches wurde vor allen Dingen von EICHLER, GRADMANN und MEIGEN (1905-1926) vorangetrieben. Vegetationskundliche Beschreibungen finden sich zunächst im klassischen Werk von SCHRÖTER und KIRCHNER (1896 und 1902), das erstmalig vegetationskundliche Begriffe beinhaltet. Der Schüler Schröters, BAUMANN, gab 1911 die Vegetation des Untersees heraus. Seit dieser Zeit sind eine Vielzahl vegetationskundlicher Veröffentlichungen erschienen, die sich sowohl mit dem See als auch mit der Umgebung sowohl im Hegau als auch im Schweizer Mittelland intensiv auseinandersetzen. Für das Exkursionsgebiet ist hier besonders zu nennen BARTSCH (1925), der die Pflanzenwelt im Hegau und im nordwestlichen Bodenseegebiet beschreibt.

Die umfassendste Darstellung der Vegetation des westlichen Bodenseegebietes ist jedoch von LANG (1973) vorgelegt worden. Viele der folgenden Darstellungen beziehen sich auf die Ausführungen von Lang und sind als solche gekennzeichnet.

Potentielle natürliche Vegetation

Um die Gebietsgliederung in ihren Wesenszügen zu erfahren sei zunächst die potentielle natürliche Vegetation des westlichen Bodenseegebietes dargestellt, die TÜXEN (1956) als einen gedachten Zustand, aus Resten realer natürlicher Vegetation und mit den derzeit wirkenden Standortbedingungen unter Ausschluß der menschlichen Wirkungen schlagartig in ein Gleichgewicht gesetztes Vegetationsbild konstruiert, definiert. LANG (1973) hat diesen Zustand der Vegetation in einer Übersichtskarte kleinen Maßstabs wiedergegeben.

¹ Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie (320), Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart

² Institut für Landespflege (320), Universität Freiburg, Tennebacherstraße 4, 79106 Freiburg

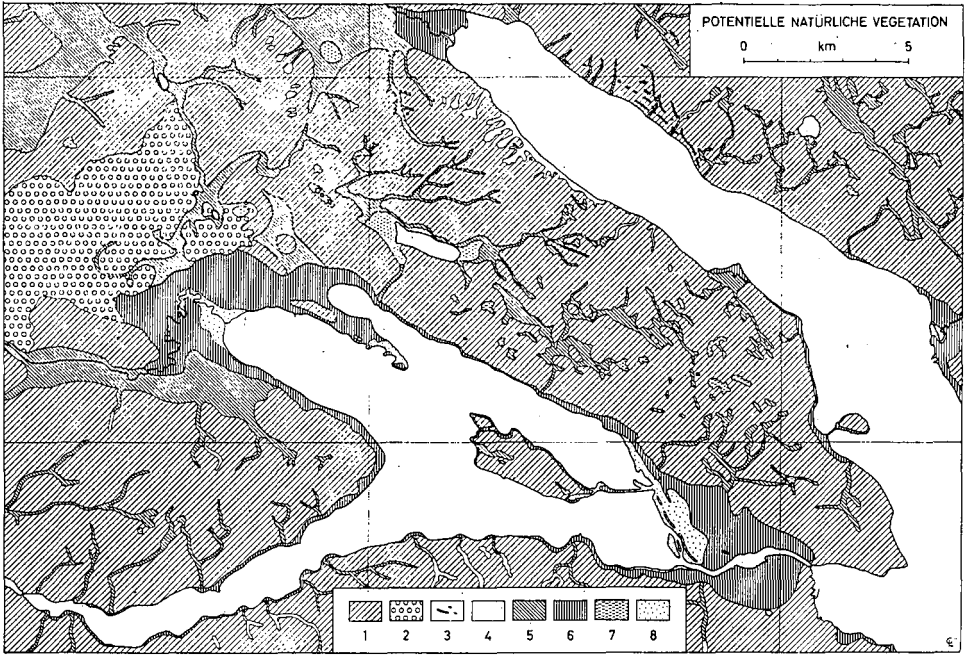


Abbildung 1: Karte der potentiellen natürlichen Vegetation des westlichen Bodenseegebietes (1 : 200000) aus LANG (1973).

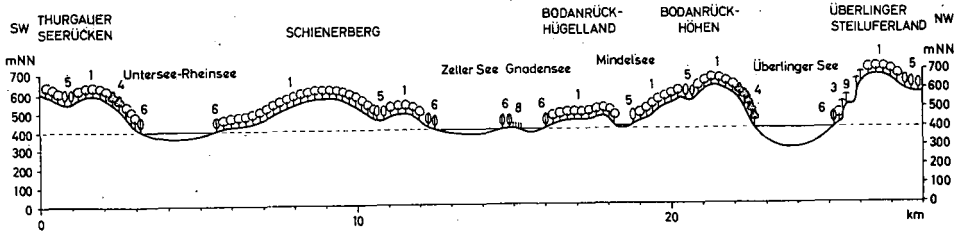


Abbildung 2: Querprofil durch das westliche Bodenseegebiet mit potentiell natürlicher Vegetation (LANG 1973). Ziffern entsprechen der Darstellung der Karte. zusätzlich 9: Saum- und Felsbandgesellschaften (Geranio-Peucedanetum, Diantho-Festucetum), Überhöhung 6-fach.

(Legende zur Karte der potentiellen natürlichen Vegetation: 1: Buchenwälder (Luzulo-Fagetum, Asperulo-Fagetum, Carici-Fagetum). 2: Traubeneichen-Hainbuchenwälder (Galio-Carpinetum). 3: Föhrenwälder (Cytiso-Pinetum, Salici-Pinetum). 4: Ahorn-Eschenwald (Aceri-Fraxinetum). 5: Erlen-Eschenwälder (Pruno-Fraxinetum, Carici remotae-Fraxinetum, Stellario-Carpinetum allietosum). 6: Eichen-Ulmenwald (Quercu-Ulmetum) u. Silberweidenwald (Salicetum albae). 7: Moorvegetation (Vaccinio-Pinetum, Carici elongatae-Alnetum, Rhynchosporetum, Caricetum lasiocarpae u.a.). 8: Seggenried u. Röhricht am Bodenseeufer (Caricetum elatae, Phalaridetum, Phragmitetum, Typhetum, Glycerietum maximae).)

Schlußgesellschaften	Wiesengesellschaften	Ackerunkrautgesellschaften
1. Buchenwälder Luzulo-Fagetum Asperulo-Fagetum Carici-Fagetum	Onobrychido-Brometum Gentiano-Koelerietum Dauco-Arrhenatheretum Alchemillo-Cynosuretum	Aphano-Matricarietum Melandrietum noctiflori Kickxietum Chenopodio-Oxalidetum Setario-Veronicetum Muscari-Allietum
2. Traubeneichen-Hainbuchenwald Galio-Carpinetum	Dauco-Arrhenatheretum	Aphano-Matricarietum Chenopodio-Oxalidetum
3. Föhrenwälder Cytiso-Pinetum Salici-Pinetum	Standort des Cytiso-Pinetum landwirtschaftlich nicht nutzbar; Keine Ersatzgesellschaften Im Bereich des Salici-Pinetum: Cirsio-Molinietum brometosum	Kein Ackerbau
4. Ahorn-Eschenwald Aceri-Fraxinetum	Standort landwirtschaftlich nicht nutzbar; Keine Ersatzgesellschaften	
5. Erlen-Eschenwälder Pruno-Fraxinetum Carici remotae-Fraxinetum Stellario-Carpinetum allietosum	Gentiano-Molinietum Primulo-Schoenetum Juncetum subnodulosi Angelico Cirsietum	Ackerbau selten: Aphano-Matricarietum polygonetosum lapathifolii Chenopodio-Oxalidetum typicum, Polygonum lapathifolium-Variante, u. rorippetosum sylvestris
6. Eichen-Ulmenwald Quercu-Ulmetum und Silberweiden-Schwarzpappelwald Salicetum albae	Cirsio-Molinietum typicum u. schoenetosum Angelico-Cirsietum	
7. Moorvegetation Vaccinio-Pinetum Carici elongatae-Alnetum Rhynchosporetum Caricetum lasiocarpae u. a.	Nach Torfstich und Entwässerung: Gentiano-Molinietum	Ackerbau selten, nur Hackfrucht: Chenopodio-Oxalidetum rorippetosum sylvestris
8. Seggenried u. Röhricht am Bodenseeufer Caricetum elatae Phalaridetum Phragmitetum Typhetum Glycerietum maximae		

Tab. 1: Schlußgesellschaften und zugehörige Ersatzgesellschaften im westlichen Bodenseegebiet (LANG 1973, Seite 188)

Aus der Vegetationsübersicht wird deutlich, daß der größte Teil des Exkursionsgebietes von Buchenwäldern bestockt wird, denen weitere Gehölze, wie Stiel- und Traubeneiche, Ulme, Ahorn und Esche, sowie Süßkirsche beigemischt sind. Das Vorherrschen der Buche in diesem Bereich wurde schon von LÜDI (1935) und SCHMID (1949) in der Vegetationskarte der Schweiz zum Ausdruck gebracht. Auch in der heutigen Verteilung der Waldgesellschaften in dem stellenweise sehr walddreichen Gebiet ist der hohe Buchenwaldanteil klar erkennbar. Nur Standorte in denen extreme Bodensituationen, wie Flachgründigkeit, Trockenheit oder Überschuß an Grundwasser vorhanden ist, erschweren der Buche dort ein Aufkommen.

Die Pollenanalysen, die die Führungsrolle der Buche seit etwa 800 vor unserer Zeitrechnung bis 800 unserer Zeitrechnung belegen, in der Zeit also als der menschliche Einfluß auf die natürlichen Waldgesellschaften noch relativ gering anzusehen war, liegen u.a. vom Mindelsee vor (s.Exkursionsführer Mindelsee, AUFDERMAUER et al. 1983). In den Pollenspektren sind für diesen Zeitraum insbesondere noch Erle und in geringen Mengen Eiche und Hainbuche nachgewiesen. Kiefer und Fichte können als Begleiter der Buche ausgeschlossen werden, Vorkommen der Tanne konnten durch pollenanalytische Belege eindeutig für den Untersuchungsraum belegt werden (SEITSCHEK 1967). Eine feinere Gliederung der Buchenwälder läßt sich im Maßstab der potentiell natürlichen Vegetation nicht darstellen, so sind Simsen-, Waldmeister- und Seggenbuchenwälder aufgrund der sehr rasch, kleinflächig wechselnden Bodensituationen nicht darstellbar und erkennbar. An vielen Stellen finden sich auch an acker- oder grünlandfähigen Standorten Ersatzvegetationstypen unterschiedlicher Kulturintensität.

Traubeneichen, Hainbuchenwälder

Trotz einer Vorherrschaft von Buchenwäldern gibt es einige Bereiche in denen andere Laubhölzer begünstigt sind. Es handelt sich um fluvioglaziale Schotter und kiesreiche Endmoränen in der Singener Niederung. Relative Trockenheit und größere Sommerwärme machen hier eine Vorherrschaft anderer Gehölzarten gegenüber der Buche möglich. Hier können v.a. Traubeneiche, Hainbuche und Winterlinde Fuß fassen. Eine genaue Aufteilung der Holzarten läßt sich aufgrund pollenanalytischer Befunde nur schwer vornehmen, da gerade dieser Bereich durch den Rodungseinfluß stark verändert wurde, ist eine Deutung der heutigen Gehölzanteile im Vergleich zu früheren nur schwer möglich, obwohl anzunehmen ist, daß die Hainbuche durch jahrhundertelange Niederwaldwirtschaft gefördert worden ist.

Kiefernwälder

Die Kiefer vermag sich aufgrund ihres ökologischen Verhaltens gegenüber der Buche nur auf zwei Standorten im Gebiet durchzusetzen, zum einen auf den nassen, nährstoffarmen Moorböden, zum anderen auf extrem trockenen und zugleich warmen Standorten. Derartige Verhältnisse liegen im Untersuchungsgebiet auf den Molasse- und Nagelfluhfelsen im Bereich

des Überlinger Sees und auf den stark durchlässigen Schnecklisandstrandwällen am Untersee vor. Hier fehlen Laubhölzer natürlich nicht ganz, so sind vor allen Dingen die trockenheitsverträglichen Eichen zu finden. Die von GAMS (1930) eingeführte Bezeichnung "Relikt-Föhrenwälder", die auf eine Einwanderung im Spätglazial hindeuten soll, scheint gerechtfertigt. Die nur kleinen natürlichen Kiefernwaldvorkommen auf den Felsen am Überlinger See sind als Geißklee-Kiefernwälder anzusprechen und auf den Strandwällen im Wollmatinger Ried und Gehrenmoos als Weiden-Kiefernwälder.

In den oligotrophen Mooren nehmen die Kiefern aufgrund der geringen Größe der in der Drumlin-Landschaft vorkommenden Moore nur eine geringe Fläche ein. Eine Nutzung der Kiefernwälder findet hier wie auf den Felsnasen in der Regel nicht statt.

Anstelle der Weiden-Kiefernwälder finden sich vielfach als Ersatz Trespen-Kohldistel-Pfeifengras-Wiesen.

Ahorn-Eschenwälder

Die Schluchten im Bereich der Molasse sind zum Bodensee hin nordexponiert mit üppig entwickelten Laubmischwäldern besetzt. Hier bilden vor allen Dingen Bergahorn, Esche, Ulme und Sommerlinde die Bestände. Diese Wälder haben einen wesentlich höheren Flächenanteil als die Relikt-Kiefernwälder. Neben den zum Bodensee abfallenden Bodanrück-Höhen finden sich derartige Wälder auch auf der Ostseite der Homburg-Höhen und an den Nordhängen des Schienerberges sowie des Thurgauer Seerückens. Da diese Standorte für andere Nutzungen ungeeignet sind, zudem bei Rodung große Erosionsgefahr besteht, decken sich hier potentielle und reale Vegetation.

Erlen-Eschenwälder

Entlang der Fließgewässer und auf den grundwasserbeeinflussten Auenböden fehlt die Buche völlig. Hier herrschen von Natur aus Erle und Esche. Aufgrund der Nutzungen dieser Flächen ist jedoch ein großer Teil in andere Kulturformationen umgewandelt, so daß nur in schmalen Gewässerrinnen noch Erlen-Eschenwälder in der realen Vegetation vorhanden sind. Mit zunehmendem Brachfallen der Wiesen stellen sich jedoch in der Folge auch wieder naturnahe Wälder ein, wenn nicht wie stellenweise im Gebiet mit standortsfremden Hybridpappeln aufgeforstet wurde (BÖCKER & KOLTZENBURG 1996).

Stieleichen-Ulmenwald und Silberweiden-Pappelwald

Im ufernahen Bereich des Bodensees läßt sich die potentielle natürliche Vegetation nur schwer konstruieren. Zum einen sind nur wenige Reste naturnaher Vegetation vorhanden, zum anderen sind starke Standortunterschiede gegeben: Das Ausgangsmaterial sind sowohl Schotter als auch Schnecklisand und Bodensee-Schlick. Entsprechend der Seespiegel-Periodik bilden sich nur schmale Streifen mit Silberweiden-Schwarzpappelwäldern als

natürliche Ufervegetation aus. In den Flachufergebieten der Flußmündungen befinden sich von Natur wahrscheinlich Stieleichen-Ulmenwälder, wie sie ähnlich heute nur noch auf der Mettnau unter Beteiligung der Esche zu finden sind. Eine Abgrenzung dieser Wälder ist relativ schwierig. In der Karte von LANG wurde generalisierend der Verlauf der 400 m-Höhenlinie angenommen.

Moorvegetation

Es befindet sich in der potentiellen natürlichen Vegetation ein ganzer Komplex von Gesellschaften von oligotroph bis eutroph, so im Oligotrophen der Waldkiefern-Moorwald, im Eutrophen dagegen der Erlen-Bruchwald. Als offene Moorgesellschaft sind lokal das Fadenseggenmoor und weitere Übergangsmoorgesellschaften ausgebildet.

Seggenriede und Röhrichte am Bodensee-Ufer

Das gesamte Bodensee-Ufer wird von sublitoraler und eulitoraler Vegetation gesäumt, meist in schmalen Streifen. Charakteristisch für das Bodensee-Ufer sind Strandrasen mit der Strandschmielen-Gesellschaft und der Nadelbinsen-Gesellschaft auf oligotrophen Kiesufeln. Schilfröhricht, Binsenröhricht und Steifseggenried auf den mesotrophen Sand-/Siltufeln. Rohrkolben- und Wasserschwadenröhricht finden sich v.a. an Stellen mit Abwassereinleitungen. Die jüngsten Kartierungen (PIER & SCHMIEDER 1997) haben den Vergleich Veränderungen der Ufervegetation am Untersee mit den Erhebungen von 1967 und 1978 dargelegt. Besonders auffällig ist die Wiederbesiedlung des Litorals mit oligotraphenten Arten, die von der jetzt wieder verbesserten Sichttiefe im See profitieren (SCHMIEDER et al. 1996).

Reale Vegetation:

Unter den Waldgesellschaften spielt der Waldmeister-Buchenwald (*Asperulo-Fagetum*) die beherrschende Rolle. Im Umkreis der Singener Niederung kommen auch Eichen-Hainbuchenwälder (*Galio-Carpinetum* und *Stellario-Carpinetum*) vor. Für die feuchten Molasseschluchten ist der Ahorn-Eschenwald (*Aceri-Fraxinetum*) kennzeichnend, auf den warmen Molassefelsen am Überlinger See der Geißklee-Kiefernwald (*Cytiso-Pinetum*). Grundwasserbeeinflusste Talböden tragen, soweit sie nicht gerodet sind, den Erlen-Eschenwald (*Pruno-Fraxinetum*). In den Mooren ist vereinzelt der Erlen-Bruchwald (*Carici elongatae-Alnetum*) oder Waldkiefern-Moorwald (*Vaccinio-Pinetum*) anzutreffen.

In der Süßwasser-Vegetation sind am Bodensee-Ufer Armlеuteralgen-beherrschte Gesellschaften (*Charetum asperae*, *Najadetum intermediae*) und Laichkraut-Gesellschaften (*Potametum lucentes*, *Zannichellietum palustris*) im Sublitoral charakteristisch, im nur sommerlich überschwemmten Eulitoral Strandrasen (*Deschampsietum rhenanae*, *Litorello-*

Eleocharietum) sowie Schilfröhricht (Phragmitetum) und Steifseggenried (Caricetum elatae). An den kleinen Binnenseen ist die Schneideried-Gesellschaft (Cladietum marisci) kennzeichnend. Die derzeitige Situation der Ufervegetation des Bodensees ist im Jahre 1993 erfaßt und in ein geographisches Informationssystem überführt worden, das einen Vergleich mit den Erhebungen von Lang 1967, 1978 zuläßt (SCHMIEDER et al. 1996). Viele der in den 70er Jahren verschollenen empfindlichen Unterwasserpflanzen sind wieder beobachtet worden.

Von den Zwischenmoorgesellschaften ist das Fadenseggenmoor (Caricetum lasiocarpae) am weitesten verbreitet. Selten kommt auch das Schnabelbinsenmoor (Rhynchosporietum) und das Schlammseggenried (Caricetum limosae) vor. Die im Gebiet häufigen Kalksümpfe tragen die Mehlprimel-Kopfbinsen-Gesellschaft (Primulo-Schoenetum). Unter den wirtschaftsbedingten Gesellschaften stehen im Kulturgrünland Futterwiesen (Daucorrrhenatheretum, Angelico-Cirsietum) im Vordergrund. Für das Exkursionsgebiet bezeichnend sind Pfeifengras-Streuwiesen (Gentiano-Molinietum).

Von der Ruderalvegetation ist v. a. die Gänsemalvenflur (Urtico-Malvetum neglectae) und die Gesellschaft des Guten Heinrich (Chenopodietum boni-henrici) zu nennen. Die Halmfrucht-Äcker werden überwiegend von der Kamillen-Gesellschaft (Aphano-Matricarietum), seltener von der Ackerlichtnelken-Gesellschaft (Melandrietum noctiflori) und der Tännelkraut-Gesellschaft (Kickxietum) besiedelt. Auf den Hackfrucht-Äckern findet sich gewöhnlich die Gänsefuß-Sauerklee-Gesellschaft (Chenopodio-Oxalidetum), in den Intensivkulturen und Gärten die Borstenhirse-Ehrenpreis-Gesellschaft (Setario-Veronicetum). Die Rebkulturen sind durch die Weinbergslauch-Gesellschaft (Muscari-Allietum) ausgezeichnet.

Literatur:

- AUFDERMAUER, J., H. BERNER, W. BERNHAUER, N. FRHR. V.U.Z. BODMAN, R. BRETTHAUER, R. BUCHWALD, K. EIDEL, U. EINSLE, C. GACK, K. GÖTTLICH, K. HENN, F. KIEFER, J. KLESS, D. KLIMETZEK, A. KOBEL-VOSS, G. LANG, W. LUKAS, H. MATTERN, S. MÜLLER, T.K. PETROVSKI, F. REISS, G. SCHMID, H. SCHMITT, A. SCHREINER, S. SCHUSTER, J. SCHWOERBEL, H. SONNABEND, G. THIELCKE, W. TOBIAS, K.D. ZINNERT, 1983: Der Mindelsee bei Radolfzell. - Monographie eines Naturschutzgebietes auf dem Bodanrück. - Natur- und Landschaftsschutzgebiete Bad.-Württ. 11:797S.
- BARTSCH, J. 1925: Die Pflanzenwelt im Hegau und nordwestlichen Bodensee-gebiete. - Schrift. Ver. Gesch. Bodensees, 194S.
- BÖCKER, R. & M. KOLTZENBURG, 1996: Pappeln an Fließgewässern. - Handbuch Wasser 2, Hrsg. Landesanstalt f. Umwelt, 140S.
- EICHLER, J., R. GRADMANN, W. MEIGEN, 1927: Ergebnisse der pflanzengeographischen Durchforschung von Württemberg, Baden und Hohenzollern. - Mitt. Bad. Landesver. Naturkd. u. Natuersch. 1908-1927.
- ELLENBERG, H. & F. KLÖTZLI, F. 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. - Mitt. Schweiz. Anstalt forstl. Versuchswesen 48:589-930.

- GAMS, H., 1930: Über Reliktföhrenwälder und das Dolomitphänomen. - Veröff. Geobot. Inst. Rübel 6:32-80.
- GÖTTLICH, K. 1972: Erläuterungen zu Blatt Konstanz, L8320 der Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50000. - Stuttgart, 79S.
- LANG, G. 1973: Die Vegetation des westlichen Bodenseegebietes. - Pflanzensoziologie 17:451S.
- LÜDI, W. 1935: Zur Frage des Waldklimaxes in der Nordschweiz. - Ber. Geobot. Inst. Rübel: 15-49.
- PIER, A. & K. SCHMIEDER 1997: Zustand der seewärtigen Schilffront am Bodensee-Untersee 1994 im Vergleich zu 1981-1983. - Ber. Inst. Landschafts.- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim 6: (im Druck).
- SCHMIEDER, K., A. KOHLER, R. BÖCKER 1996: Seeumfassende Bestandsaufnahme der submersen Makrophytenvegetation der Litoralzone des Bodensees 1993. - Ms. Inst. Landschafts- u. Pflanzenökologie Univ. Hohenheim, i.A. IKGB, 117S.
- SCHMID, E., 1949: Vegetationskarte der Schweiz 1:200000, Blatt 2 - Bern.
- SCHRÖTER, C. & O. KIRCHNER, 1896: Die Vegetation des Bodensees. Teil I. - Schrift. Ver. Gesch. Bodensees 25:122S.
- SCHRÖTER, C. & O. KIRCHNER, 1902: Die Vegetation des Bodensees. Teil II. - Schrift. Ver. Gesch. Bodensees 31:86S.
- SEITSCHEK, O. 1967: Die Weißtanne im Bodenseegebiet. - Forstwiss. Forsch. 26:1-94.
- TÜXEN, R. 1956: Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. - Angew. Pflanzensoz. 13:5-42.
- WELER, F. & SILBEREISEN unter Mitwirkung v. K.-F. SCHREIBER u. F. WINTER 1978: Erläuterungen zur ökologischen Standorteignungskarte für den Erwerbsobstbau in Baden-Württemberg 1:250000. - Hrsg. Min. Ernährung, Landwirtschaft u. Umwelt, 34 S., 2 Karten.

Exkursionsführer

Spezieller Teil

Informationen zu den Exkursionen im Deutsch-Schweizerischen Grenzgebiet

Inhalt	Seite
Ganztagesexkursionen	
Exkursion CH 1	169
Exkursion CH 2	187
Exkursion D 3	213
Exkursion D 4	251
Exkursion D 5	273
Exkursion D 6	315
Exkursion D 7	349
Exkursion D 8	383
Exkursion D 9	423
Halbtagesexkursionen	
Exkursion H 1	475
Exkursion H 2	477
Exkursion H 3	481
Exkursion H 4	489
Exkursion H 5	491
Exkursion H 6	503
Exkursion H 7	511
Exkursion H 8	527
Exkursion H 9	537



Exkursion

CH 1

Zürich Nord

T. Gimmi¹, R. Kretzschmar¹, A. Papritz¹ und H. Flühler¹

Wasserbewegung und Bodenstruktur: Eine Fahrt ins Blaue

Exkursionsleitung und Mitwirkende:

H. Flühler, J. Forrer, T. Gimmi, R. Kretzschmar, B. Kulli, J. Leuenberger,
H.-P. Läser, A. Papritz und H. Wunderli

Inhalt	Seite
1. Einleitung	170
2. Exkursionsroute	170
3. Das Zürcher Weinland	172
4. Die Exkursionsprofile	177
5. Wasserbewegung und Bodenstruktur	183

¹ Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich, Grabenstrasse 3, CH-8952 Schlieren

1. Einleitung

Die *Wasserbewegung* in einem strukturierten Boden erfolgt in der Regel recht *heterogen*. Oft wird in diesem Zusammenhang von präferentiellem Fluss gesprochen, durch den gelöste Stoffe relativ schnell in grössere Tiefen verlagert werden können. Derartige Phänomene können erhebliche Konsequenzen für den Austrag von Düngemitteln oder Pestiziden haben. Während der Exkursion soll demonstriert werden, wie man mit Hilfe von *Farbtracern* Wasserfliesspfade sichtbar machen kann. Infiltrationsexperimente mit *Farbtracern* haben gezeigt, dass heterogene Flieismuster eher die Regel als die Ausnahme sind, selbst in Böden, die auf den ersten Blick wenig strukturiert erscheinen. Neben der Bodenstruktur, d.h. der Anordnung und dem Anteil der verschiedenen Phasen, prägt auch die Benetzbarkeit der Bodenmatrix das Flieissverhalten von Wasser ganz entscheidend. Die *transportrelevante Struktur* wird also bestimmt durch Anteile, Anordnung sowie Oberflächeneigenschaften der verschiedenen Phasen.

2. Exkursionsroute

Die Exkursionsprofile befinden sich im nordöstlichen Teil des Kantons Zürich, im sogenannten Zürcher Weinland (siehe Abbildung 1). Der geplante Exkursionsablauf sieht folgendermassen aus:

0800	Abfahrt Konstanz
0915-1045	Standort 1: Winzlerboden
1115-1230	Standort 2: Steig
1245-1415	Mittagessen in einem Restaurant
1445-1600	Standort 3: Rafz
1630-1730	Standort 4: Feldversuch Bodenverdichtung
1900	Rückkehr Konstanz

An den Standorten Winzlerboden und Rafz soll anhand von *Farbtracere*xperimenten der Zusammenhang zwischen Infiltrationsmustern und transportrelevanten Strukturen diskutiert werden. Am Standort Steig wird unter anderem auf die Geologie und Geomorphologie der Region näher eingegangen. Schliesslich ist der Besuch eines Feldversuches geplant, bei dem es um die Minimierung der Bodenverdichtung beim Gasleitungsbau geht. Dort werden *Farbtracern* zur Sichtbarmachung von Strukturunterschieden eingesetzt.

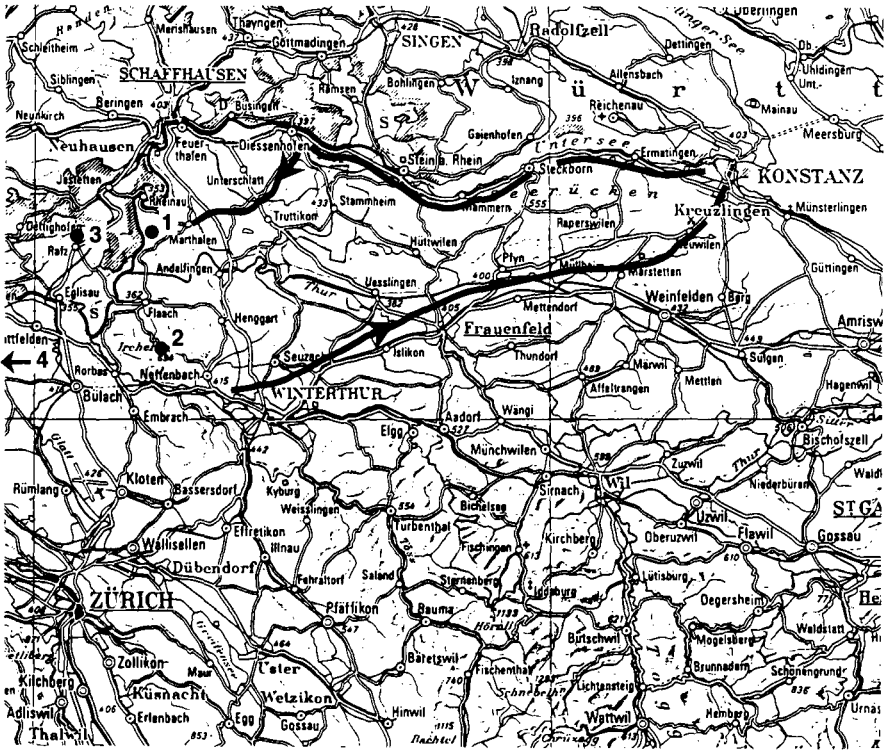


Abbildung 1. Karte des Exkursionsraumes mit Route und Profilstandorten. Ausschnitt aus der Landeskarte der Schweiz, 1:500'000. 1 Winzlerboden, 2 Steig, 3 Rafz, 4 Feldversuch Bodenverdichtung.

3. Das Zürcher Weinland

3.1 Die Landschaft

Mit dem Begriff „Zürcher Weinland“ wird das im Nordosten des Kantons Zürich zwischen den Städten Winterthur und Schaffhausen gelegene Gebiet bezeichnet. Im Norden und Westen wird das Weinland vom Laufe des Rheins, im Süden durch die Flüsse Töss und Eulach und im Osten durch den Kanton Thurgau begrenzt. Eingebettet zwischen den Bergrücken des Cholfirsts (580 m ü.M.) im Norden, des Stammheimerbergs (640 m ü.M.) im Nordosten und des Irchels (690 m ü.M.) im Südwesten erstreckt sich auf einer durchschnittlichen Höhe von 350–480 m ü.M. eine sanft gewellte Hügellandschaft, die durch das Tal der Thur in west-östlicher Richtung durchschnitten wird. Mit einer durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme von 800–1000 mm und einer Jahresmitteltemperatur von ca. 8°C ist das Weinland deutlich trockener und wärmer als andere Gebiete des Schweizerischen Mittellandes.

Trotz dem fortschreitenden Strukturwandel in der Landwirtschaft hat das Weinland seinen ländlichen Charakter weitgehend bewahren können. Attraktive Dörfer mit traditionellen Riegelhäusern können aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Bedeutung der Landwirtschaft in einer der ehemaligen „Kornkammern“ des Kantons Zürich stark abgenommen hat. Etwas mehr als die Hälfte der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist offenes Ackerland, der Getreideanbau nimmt mit rund 55% den grössten Anteil ein. Daneben werden Futtermais, Zückerrüben, Kartoffeln und vereinzelt wärmeliebende Spezialkulturen wie Spargeln, Tabak und Hopfen angebaut.

Dank seiner bevorzugten klimatischen Lage wird im Gebiet seit langer Zeit Weinbau betrieben. Der Weinbau erreichte in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts seinen Höhepunkt mit einer bewirtschafteten Fläche von rund 1700 ha und einer Jahresproduktion von bis zu 80'000 Hektolitern. Die Reblaus, der falsche Mehltau, starke Fröste und die Einfuhr von ausländischen, vermutlich weniger sauren Weinen setzte in der Folge dem Weinbau im Gebiet stark zu. Im Jahr 1966 erreichte die mit Reben bestockte Fläche einen Tiefstand von 180 ha. Mit dem Ersatz der alten Traubensorten Elbling und Räuschling durch Blauburgunder- und Riesling×Sylvaner-Trauben und mit der Steigerung der Qualität durch konsequente Reduktion der Flächenerträge gelang es, den Weinbau wiederum auszudehnen. Auf einer Fläche von 300 ha werden heute Landweine hoher Qualität produziert.

Trotz der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung weist das Weinland einen hohen Waldanteil auf (rund 1/3 der Fläche). Rund zwei Drittel des Waldes befindet sich im Besitz von Kanton, Gemeinden und Kooperationen. Obwohl in vielen Wäldern die wirtschaftlich immer noch wichtigen Fichten dominieren, ist die Zusammensetzung der auf dieser Höhenstufe charakteristischen Laubmischwälder vielerorts zu erkennen. Die natürliche Waldvegetation lässt sich drei Gruppen von Pflanzengesellschaften zuordnen:

Flächenmässig am bedeutendsten (Anteil 60%) sind Buchenwälder, die vor allem auf leicht bis stark sauren Braunerden stocken, welche sich auf Moränen und Molasse-sedimenten entwickelt haben. Auf den zur Austrocknung neigenden Schotterfluren der Flusstäler finden sich artenreiche Eichen-Hagebuchenmischwälder (Flächenanteil 20%). In den verbleibenden Auen von Thur und Rhein werden sie durch Erlen-Eschenwälder abgelöst, ähnliche Bestände stocken auch auf anderen Feuchtstandorten (grund- oder staunasse Moränenböden).

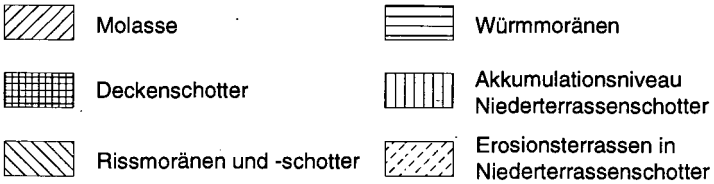
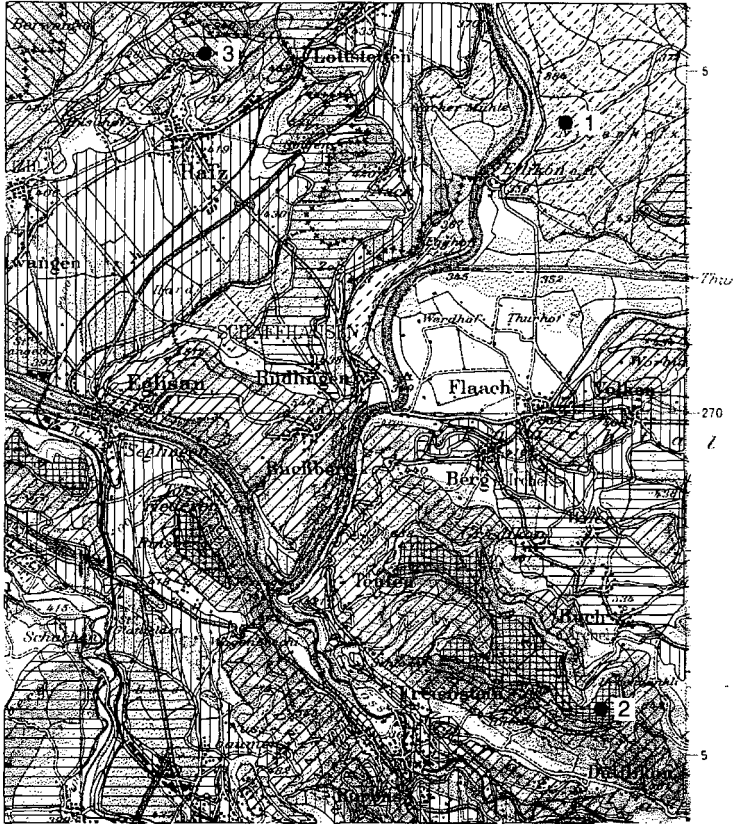
3.2 Geologie und Geomorphologie

Erdgeschichtliche Spuren, welche die Vorgänge im Erdmittelalter und zu Beginn des Tertiärs dokumentieren, sind im Weinland nur spärlich vorhanden. Die *Kalke* des Oberen Juras sind nur am Rheinfall bei Schaffhausen aufgeschlossen. Sonst sind sie von den *Molassesedimenten* des Mittleren bis Jüngeren Tertiärs und den *Schottern und Moränen* des Quartärs überdeckt.

Die Molassesedimente setzen sich aus Mergel-, Sandstein- und Nagelfluhschichten (Geröll enthaltendes Konglomeratgestein) zusammen. Alpine Flusssysteme lagerten dieses Material vor 27–12 Mio. Jahren (Oligozän bis Obermiozän) nördlich der sich auffaltenden Alpen in grossen Schuttfächern ab. Die ältesten Schichten der sogenannten *Unteren Süsswassermolasse* bestehen aus bunten Mergeln. Sie haben sich aus dem feinen Schlammgut von grossen Schuttfächern gebildet, welche einen weiter südlich gelegenen Meeresarm allmählich aufgefüllt hatten. Das Meer drang aber vor 20 Mio. Jahren vom Rhonetal her wiederum in das Gebiet des heutigen Schweizerischen Mittellandes ein. Die Sandsteinschichten und Schiefermergel der *Oberen Meeresmolasse* wurden deshalb unter marinen Bedingungen abgelagert. Nach einer Hebung des nördlichen Bodenseeraums und fortschreitender Ablagerung wurde das Meer im Alpenvorland vor 17 Mio. Jahren definitiv ausgesüsst. Die nachher abgelagerten Schichten der *Oberen Süsswassermolasse* bestehen zwar meist auch aus feinkörnigen Sedimenten wie Mergel und Sandstein, vereinzelt sind aber auch im Weinland grobkörnigere Nagelfluhschichten zu finden, die von katastrophalen Murgängen zeugen, die Grobmaterial über weite Distanzen zu transportieren vermochten. Vor rund 11 Mio. Jahren kam die Sedimentation infolge einer weiteren Hebung des Gebiets zu einem Ende, und das Alpenvorland wurde seinerseits von Abtragungsprozessen erfasst.

Das heute erkennbare Relief wurde durch die Vorgänge während der letzten Eiszeiten geprägt. Moränen und mächtige Schotterfluren bedecken die Mergel- und Sandsteinschichten der Molasse. Alte Entwässerungsrinnen und Täler wurden durch glaziale und fluviale Lockergesteine aufgefüllt, so dass das heutige Relief nicht mehr mit demjenigen der Felsunterlage übereinstimmt.

Die ältesten Lockergesteine dieser Art finden wir heute in einer Höhe von knapp 700 m ü.M. auf dem Plateau des *Irchels* (Standort 2 „Steig“; siehe Abbildung 2). Es sind stark



1 Winzlerboden

2 Steig

3 Rafz

Abbildung. 2. Geologische Karte des Gebiets Eglisau – Rafz – Flaach, vereinfacht nach R. Hantke et al. 1967. Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. Leemann, Zürich.

Tabelle 1. Übersicht über die geologische Situation an den Exkursionsstandorten „Winzlerboden“, „Steig“ und „Rafz“

	Standort	Muttergestein	Vergletscherung	eisfrei seit [Jahre]
1	Winzlerboden	Schotter in Erosionsterrasse	Würm	18'000
2	Steig	älterer Deckenschotter	Günz?	600'000?
3	Rafz	Grundmoräne	Riss	100'000

verkittete Schotter, die mehrere Meter tief verwittert sind. Gleichartige Schotter—sie werden alle als *ältere Deckenschotter* bezeichnet—sind noch auf weiteren Molasseberg-rücken nördlich und westlich von Zürich vorhanden. Verbindet man gedanklich diese isolierten Erosionsrelikte durch eine Ebene, so ergibt sich eine Schotterflur, die leicht nach NW abfiel. Die Schotter wurden vermutlich durch einen Fluss in einer offenen Alluvialebene geschüttet. Offensichtlich wurde unser Gebiet später tektonisch angehoben. Gletscher und Schmelzwässer der folgenden Vereisungen haben dann tiefe Täler und Mulden erodiert, so dass von der ursprünglichen Schotterflur nur noch isolierte Relikte zurückblieben.

Es ist nicht klar, wann diese Schotter abgelagert wurden. Fest steht lediglich, dass sie wesentlich älter sind als die Schotter, die während der Risseiszeit (siehe unten) abgelagert wurden. Die Ansicht, dass sie der *Günz-Vergletscherung* (700'000–600'000 Jahre vor heute) zugeordnet werden können, wird heute aber in Frage gestellt.

Die intensive Talbildung, welche zum noch heute sichtbaren Relief geführt hat, begann während der Warmzeit des *Mindel-Riss-Interglazials* (400'000-250'000 Jahre vor heute). Die fluviatile Erosion wurde während der anschliessenden *Riss-Vergletscherung* durch intensive Erosion der Gletscher abgelöst. Dabei wurden bis zu 600 m tiefe Taltröge ausgehobelt.

Während der Risseiszeit (250'000 - 100'000 Jahre vor heute) stiessen die Alpengletscher über den Jura bis in den Raum von Liestal vor und erreichten so die grösste Ausdehnung aller Vergletscherungen. In unserem Gebiet vereinigten sie sich nördlich des Rheins mit den Gletschern aus dem Schwarzwald. Die Schmelzwasser der vorstossenden Gletscher füllten die Talmulde unter dem heutigen Rheinauer- und Rafzerfeld mit Schottern, der Rhein floss damals entlang der Linie Rheinau–Lottstetten–Rafz Richtung Südwesten, und die Gletscher überzogen diese und die umliegenden Molassehügel mit einer Grundmoräne. Das Gebiet nördlich von Rafz, wo der Exkursionsstandort 3 liegt (siehe Abbildung 2), wurde nach der Rissvereisung nicht mehr

vergletschert. In diesem Gebiet steht die Riss-Grundmoräne heute noch an und bildete das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung

In der auf die Risseiszeit folgende Wärmeperiode, dem *Riss-Würm-Interglazial* (100'000 - 70'000 Jahre vor heute), erodierten die Wässer von Thur und Rhein die Schotterfluren und Moränen im Rheinauer- und Rafzerfeld und legten vielerorts die Molasseoberfläche wiederum frei. Nur am nördlichen Rand des Rafzerfeldes blieben bis heute Reste risszeitlicher Schotter, die sogenannten *Hochterrassenschotter*, erhalten. Diese Schotter sind stark zementiert und tiefgründig verwittert.

70'000 Jahre vor heute wurde diese Zwischeneiszeit durch die (jüngste) Vergletscherung der *Würmzeit* abgelöst. In unserem Gebiet lassen sich die Spuren zweier Gletschervorstösse erkennen. Während beiden Vorstössen wurden im Vorfeld der Gletscherzunge im Rafzer-, Lottstetter- und Rheinauerfeld mächtige *Niederterrassenschotter* abgelagert. Schmelzwasser erodierte während des vorübergehenden Rückzugs zwischen den beiden Vorstössen diese Ablagerungen teilweise. Das Schmelzwasser floss aber nicht mehr ausschliesslich über das Rafzerfeld Richtung Westen, sondern entwässerte, dem heutigen Lauf des Rheins folgend, über eine Rinne zwischen Buchberg und Irchelplateau.

Die grösste Ausdehnung der Gletscher während der Würmeiszeit wurde vor 20'000 Jahren erreicht. Die Gletscherzunge stirnte damals zwischen Rüdlingen und Lottstetten. Die Endmoräne dieses Gletscherstands ist heute noch gut erkennbar. Nach dem Rückzug des Gletschers vor 18000 Jahren erodierten die Flüsse die Niederterrassenschotter teilweise. Der Profilstandort 1 „Winzlerboden“ liegt auf einer derart entstandene Erosionsterrasse (siehe Abbildung 2). Die Höhenlage dieser Terrasse (370 m) unterscheidet sich sowohl vom Akkumulationsniveau der Niederterrassenschotter (410 - 420 m) wie auch vom heutigen rezenten Niveau der Flüsse Rhein und Thur (347 m).

4. Exkursionsprofile

4.1 Winzlerboden (Standort 1)

Das Bodenprofil "Winzlerboden" (Tabelle 2 und 3) liegt in fast ebener Lage auf einer Erosionsterrasse im Niederterrassenschotter des Rheins und wurde als saure Parabraunerde (Horizontabfolge: L/Of/Ah/ Al/Bt+Al/Bt/IIC) mit Humusform typischer Moder klassifiziert. Das Profil ist ein Zweischichtprofil, bestehend aus einer etwa 1 m mächtigen Alluvialsanddecke über kalkhaltigem Niederterrassenschotter. Die Vegetation ist ein Waldlabkraut-Hainbuchen-Mischwald. Der Standort gehört zu den sogenannten "Lokalformen" der Schweiz (Richard und Lüscher, 1983).

Tabelle 2. Kurzbeschreibung des Bodenprofils am Standort "Winzlerboden". (Koordinaten 688 150 / 274 400; Landeskarte 1:25000, Blatt 1051, Eglisau).

Horizont	Beschreibung
L	+2 cm, einjährige Streu.
Of	+1 cm, mehrjährige stark vermoderte Streu.
Ah	0-10 cm, brauner (10YR 4/3) schwach toniger Sand; mittel humos; krümeliges Gefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr stark sauer; wellige scharfe Horizontgrenze.
Al	10-40 cm, gelblich brauner (10YR 5/6) schwach toniger Sand; Einzelkorngefüge; geringe Lagerungsdichte; stark sauer; diffuse Horizontgrenze.
Bt+Al	40-90 cm, brauner (7.5YR 4/4-4/6) schwach toniger Sand; Einzelkorngefüge; geringe bis mittlere Lagerungsdichte; stark sauer; deutliche Horizontgrenze.
Bt	90-100 cm, brauner (7.5YR 4/4) mittel lehmiger Sand; Einzelkorngefüge; geringe bis mittlere Lagerungsdichte; schwach sauer; scharfe Horizontgrenze.
IIC	100+ grauer (7.5YR 5/1) reiner Sand mit Schotter; Einzelkorngefüge; hohe bis sehr hohe Lagerungsdichte; sehr carbonatreich; sehr schwach alkalisch.

Tabelle 3. Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils "Winzlerboden" (saure Parabraunerde; L/Oj/Ah/Al/Bt+Al/Bt/IIC). (Daten zum Teil von Peter Lüscher, Projekt Referenzprofile WSL).

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der Humusfreien Feinerde)			K _f	K _f
		cm	%	Sand	Silt	Ton	cm/sec	cm/d
	1	2	3	7	8	9	10	11
1	Ah	0-10	0	82	9	9	2.0×10 ⁻²	1728
2	Al	10-40	0	83	10	7	2.0×10 ⁻²	1728
3	Bt+Al	40-90	0	88	7	5	1.9×10 ⁻²	1642
4	Bt	90-100	0	78	11	11	1.1×10 ⁻²	950
5	IIC	100+	73	94	6	0	6.8×10 ⁻²	5875

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Fe _d	Fe _o	Fe _o /Fe _d
		g/cm ³	%	mg/g	mg/g	
	1	12	13	18	19	20
1	Ah	1.13	57	0.53	0.16	0.30
2	Al	1.30	51	0.48	0.14	0.29
3	Bt+Al	1.44	47	0.43	0.10	0.23
4	Bt	1.44	46	1.48	0.27	0.18
5	IIC	1.89	29	0.24	0.02	0.08

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	CN
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g	
	1	23	24	25	26	27	28
1	Ah	4.5	3.8	0	2.13	1.50	16.5
2	Al	4.6	4.0	0	0.42	0.29	17.0
3	Bt+Al	4.9	4.1	0	0.15	0.12	14.8
4	Bt	7.3	6.3	0	0.15	0.12	14.8
5	IIC	9.0	7.8	42			

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg					BS	
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	69.7	27.8	11.3	10.2	4.8	1.2	0.3	<0.1	23
2	Al	19.0	15.3	5.8	8.5	0.7	0.2	<0.1	<0.1	7
3	Bt+Al	20.2	15.5	5.6	5.5	3.1	1.2	<0.1	<0.1	28
4	Bt	26.4	(181.3)	0.4	0.0	166.0	14.1	0.6	0.1	100
5	IIC	28.1	(103.3)	0.0	0.0	101.0	2.2	<0.1	<0.1	100

4.2 Steig (Standort 2)

Das Bodenprofil "Steig" (Tabelle 4 und 5) befindet sich in leicht geneigter Lage auf dem Irchelplateau, welches aus älteren Deckenschottern aufgebaut ist. Das Profil wurde als saure Pseudogley-Parabraunerde (Horizontabfolge: L/Of/Ah/Al/Sw-Bt/Sd-Bv) mit Humusform typischer Moder klassifiziert. Die Vegetation ist ein typischer Waldsimsen-Buchenwald. Der Standort gehört ebenfalls zu den sogenannten Lokalformen der Schweiz (Richard und Lüscher, 1983).

Tabelle 4. Kurzbeschreibung des Bodenprofils am Standort "Steig".
(Koordinaten 688 750 / 265 700; Landeskarte 1:25000, Blatt 1071, Bülach).

Horizont	Beschreibung
L	+3 cm, nicht oder wenig zersetzte Streu.
Of	+2 cm, stark vermodertes Pflanzenmaterial; Pilzhyphen.
Ah	0-5 cm, sehr dunkel gräulich-brauner (10YR 3/2) sandiger Lehm; stark humos; mittel kiesig; sehr geringe Lagerungsdichte; Pilzmyzel sichtbar; sehr stark sauer; wellige scharfe Horizontgrenze.
Al	5-35 cm, bräunlich-gelber (10YR 6/6) schwach toniger Lehm; schwach humos; mittel kiesig; geringe Lagerungsdichte; subpolyedrisches Gefüge; sehr stark sauer; diffuse Horizontgrenze.
Sw-Bt	35-100 cm, stark brauner (7.5YR 5/6) sandig-toniger Lehm; mittel kiesig; mittlere Lagerungsdichte; subpolyedrisches bis polyedrisches Gefüge; Mn Konkretionen; Rostflecken; sehr stark sauer; diffuse Horizontgrenze.
Sd-Bv	100+ cm, stark-brauner (7.5YR 5/6) sandig-toniger Lehm; mittel kiesig; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; sehr stark sauer; Sandlinse in ca. 140 cm Tiefe.

Tabelle 5. Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils "Steig" (saure Pseudogley-Parabraunerde; L/Oj/Ah/Al/Sw-Bt/Sd-Bv).
(Daten zum Teil von Peter Lüscher, Projekt Referenzprofile WSL).

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der Humusfreien Feinerde)					K _f	K _f
				Sand		Silt		Ton		
				cm	%	7	8	9	cm/sec	cm/d
	1	2	3	7	8	9	10	11		
1	Ah	0-5	21	51	32	17	6.7×10^{-3}	579		
2	Al	5-35	19	24	44	32	7.6×10^{-4}	66		
3	Sw-Bt	35-100	25	31	29	40	6.2×10^{-4}	54		
4	Sd-Bv	100+	27	42	22	36	4.1×10^{-4}	35		

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Fe _d	Fe _o	Fe _o /Fe _d
		g/cm ³	%	mg/g	mg/g	
	1	12	13	18	19	20
1	Ah	1.14	54	1.3	0.30	0.23
2	Al	1.30	52	1.4	0.27	0.20
3	Sw-Bt	1.51	45	2.2	0.28	0.13
4	Sd-Bv	1.60	41	3.0	0.35	0.11

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g	
		23	24	25	26	27	28
1	Ah	4.5	3.7	0	4.51	2.54	20.7
2	Al	4.6	3.9	0	0.96	0.66	17.2
3	Sw-Bt	4.9	3.7	0	0.24	0.45	6.2
4	Sd-Bv	5.2	4.0	0	0.14	0.36	4.4

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff} *	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mmol/kg	mmol/kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
		31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	113.0	59.3	19.9	12.6	4.1	1.7	1.5	<0.1	12
2	Al	52.3	68.6	10.0	28.4	8.8	17.8	2.4	<0.1	42
3	Sw-Bt	139.9	120.0	13.4	103.0	0.8	0.6	0.2	<0.1	1
4	Sd-Bv	120.1	159.0	7.5	55.3	55.5	36.2	2.8	0.2	60

* Einschliesslich austauschbares Mn²⁺

4.3 Rafz (Standort 3)

Das Bodenprofil "Rafz" (Tabelle 6 und 7) liegt in fast ebener Lage auf einer Grundmoräne der Risseiszeit und wurde als saurer Braunerde-Pseudogley (Horizontabfolge: L/Of/Ah/Sw-Bv/Sw/Sd/C-Sd) mit Humusform typischer Moder klassifiziert. Die Vegetation ist ein Fichtenwald.

Tabelle 6. Kurzbeschreibung des Bodenprofils am Standort "Rafz".
(Koordinaten 683 200 / 275 250; Landeskarte 1:25000, Blatt 1051, Eglisau).

Horizont	Beschreibung
L	+3 cm, nicht oder wenig zersetzte Nadelstreu.
Of	+1 cm, stark vermodertes Pflanzenmaterial; Pilzhyphen.
Ah	0-3 cm, sehr dunkel gräulich-brauner (10YR 3/2) sandig-lehmiger Schluff; stark humos; geringe Lagerungsdichte; Pilzmyzel sichtbar; sehr stark sauer; scharfe Horizontgrenze.
Sw-Bv	3-30 cm, gelblich-brauner (10YR 5/4-5/6) sandig-lehmiger Schluff; schwach humos; geringe Lagerungsdichte; subpolyedrisches Gefüge; Mn Konkretionen; sehr stark sauer; diffuse Horizontgrenze.
Sw	30-55 cm, gelblich-brauner (2.5Y 5/4) sandig-lehmiger Schluff; geringe Lagerungsdichte; subpolyedrisches Gefüge; Mn Konkretionen; Kontrast-Rostflecken; sehr stark sauer; deutliche Horizontgrenze.
Sd	55-100 cm, gelblich-brauner (10YR 4/6) schluffiger Lehm; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; polyedrisches bis subpolyedrisches Gefüge; Mn Konkretionen; hell-bräunlich graue (2.5YR 6/2), 1-2 cm dicke Zonen mit stark braunem (7.5YR 5/8) Saum um Röhren und Risse; sehr stark sauer; diffuse Horizontgrenze.
C-Sd	100+ cm, gelblich-brauner (10YR 5/8) schluffiger Lehm; hohe Lagerungsdichte; Kohärentgefüge; Mn Konkretionen; vereinzelt hell-bräunlich graue (2.5YR 6/2), 1-2 cm dicke Zonen mit stark braunem (7.5YR 5/8) Saum um Röhren und Risse; stark sauer.

Tabelle 7. Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils "Rafz" (saurer Braunerde-Pseudogley; L/Of/Ah/Sw-Bv/Sw/Sd/C-Sd).

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur			K _f [*]	K _f [*]
				(% der Humusfreien Feinerde)				
				cm	%	Sand	Silt	Ton
	1	2	3	7	8	9	10	11
1	Ah	0-3	0	30	55	15		
2	Sw-Bv	3-30	0	26	55	20	2.0×10 ⁻⁴	17
3	Sw	30-55	0	28	54	18	6.7×10 ⁻⁴	58
4	Sd	55-100	0	29	50	21	3.1×10 ⁻⁴	27
5	C-Sd	100+	0	18	54	27	2.4×10 ⁻⁴	21

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Fe _d	Fe _o	Fe _o /Fe _d
		g/cm ³	%	mg/g	mg/g	
		12	13	18	19	20
1	Ah	1.25	51	8.1	3.6	0.44
2	Sw-Bv	1.29	50	6.8	3.0	0.44
3	Sw	1.36	49	7.8	3.5	0.45
4	Sd	1.65	38	12.4	3.7	0.30
5	C-Sd	1.75	35	11.1	2.8	0.25

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	CN
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g	
		23	24	25	26	27	28
1	Ah	3.9	3.4	0	3.63	2.10	20.2
2	Sw-Bv	4.6	4.0	0	0.93	0.66	16.6
3	Sw	4.6	3.9	0	0.25	0.26	11.3
4	Sd	5.1	3.9	0	0.12	0.20	6.8
5	C-Sd	5.5	4.1	0	0.11	0.18	7.3

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg						BS
		mmol _e /kg	mmol _e /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
		31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	169.6	90.9	20.8	66.7	1.0	1.2	0.6	0.7	4
2	Sw-Bv	73.3	39.6	8.2	28.2	1.4	0.8	0.3	0.7	8
3	Sw	62.0	46.6	6.1	37.3	1.2	0.8	0.5	0.7	7
4	Sd	123.8	76.9	4.5	47.9	3.5	17.9	1.1	2.0	32
5	C-Sd	118.0	64.2	7.7	27.6	4.0	22.7	0.9	1.3	45

* Ergebnisse von Einzelmessungen

5. Wasserbewegung und Bodenstruktur

Die Anordnung der Festsubstanz sowie der Phasen Wasser und Luft in Böden ist sehr komplex. Strukturen unterschiedlicher Dimensionen und Entstehungsgeschichte prägen das Erscheinungsbild und oft auch die Fliesseigenschaften von Wasser in natürlichen Böden. Morphologisch auffällig sind primär die verschiedenen Horizonte oder Schichten, die auch zur Klassifikation der Böden herangezogen werden. Scharfe Schichtgrenzen wie im unteren Teil des Profils Winzlerboden oder im weiteren Sinne auch am oberen Rand eines Profils, also am Übergang Atmosphäre-Boden, können zu fingerartigen Wasserdurchbrüchen führen. Regenwurmkanäle oder abgestorbene und lebende Wurzeln sind ebenfalls Strukturmerkmale, die meist von Auge erkannt werden können. Risse, die durch Quellen und Schrumpfen oder durch Frosteinwirkung entstanden sind, weisen je nach Textur des Bodens sehr unterschiedliche Dimensionen auf. Sowohl feine biogene Poren wie auch Risse bilden oft ein kaum erkennbares Netzwerk von Hohlräumen, entlang denen Wasser bevorzugt fließen kann.

Das Exkursionsprofil am Standort Rafz weist im unteren Teil deutlich von der restlichen Bodenmatrix abgegrenzte Längsstrukturen auf. Diese Strukturen sind gekennzeichnet durch einen inneren, gebleichten und einen äusseren, rostroten Bereich, wie es für eine Marmorierung typisch ist. Es wird vermutet, dass Risse in der ansonsten recht dichten Bodenmatrix zu den beobachteten Merkmalen führten. Wasser versickert zum grossen Teil entlang diesen Rissen, wodurch es mit der Zeit zu einer Reduktion und Umlagerung von Eisen in diesen Bereichen kommt, wie das chemische Untersuchungen zeigten. Dass der Wasserfluss hauptsächlich in den gebleichten Zonen erfolgt, konnte mit einem Farbinfiltrationsexperiment nachgewiesen werden. Auf eine Fläche von 1.5 m² wurde im Zeitraum von 25 Stunden insgesamt eine Menge von 36 mm Farblösung (Brilliant Blue) möglichst ohne Überstau ausgebracht. Etwa 20 Stunden nach Ende der Infiltration wurde das Profil aufgegraben und die Farbverteilung photographisch festgehalten. Nur in den obersten 5 cm war ein grosser Teil der Bodenmatrix gefärbt, in grösseren Tiefen waren die Farbmuster ziemlich heterogen. Abbildung 3a zeigt einen Ausschnitt aus etwa 70 cm Tiefe, Abbildung 3b aus etwa 110 cm Tiefe. In beiden Fällen wird sichtbar, dass Wasser lediglich durch gebleichte Zonen floss. Die Tatsache, dass bei einer Infiltration von 36 mm ein Teil des Wassers mindestens bis in 110 cm Tiefe floss, deutet darauf hin, dass aufgrund der speziellen Bodenstruktur ein grosser Teil des Bodenvolumens am Wassertransport nicht beteiligt war.

Eine wesentliche, aber in Wassertransportmodellen meist nicht berücksichtigte Eigenschaft ist die Benetzbarkeit der Festphase. Diese hängt unter anderem vom Wassersättigungszustand des Systems ab. Beim Profil Winzlerboden führten wir ebenfalls ein Farbinfiltrationsexperiment durch. Um unterschiedliche Anfangsbedingungen zu erhalten, wurde ein Teil der Testfläche zwei Monate vor Versuchsbeginn mit einer Folie abgedeckt. Dies führte in diesem Bereich zu relativ geringen Sättigungsgraden zu Versuchsbeginn von etwa 0.13 (14 cm), 0.18 (33 cm), 0.23 (67 cm) und 0.37 (92 cm). Die Anfangssättigungsgrade im nicht abgedeckten Bereich

betragen in den entsprechenden Tiefen 0.32, 0.28, 0.43 und 0.43. Innerhalb von 7 Stunden wurden insgesamt 41 mm Farblösung (Brilliant.Blue) ausgebracht. Etwa 25 Stunden nach Beginn des Versuches wurden sieben Profilansichten im Abstand von 10 oder 15 cm aufgegraben und photographiert. Abbildung 4 zeigt eine dieser Profilansichten. Der Meterstab grenzt den anfänglich trockeneren Bereich (links) vom feuchten (rechts) ab. Im feuchten Bereich zeigten sich bei allen Profilen ähnliche Fliessmuster wie in Abbildung 4, nämlich einzelne, etwa 10 bis 20 cm breite Finger, die jeweils in eine Tiefe von maximal etwa 60 cm reichten. Im anfänglich trockeneren Bereich war der Anteil der gefärbten Fläche meistens geringer, wobei sehr grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Profilansichten auftraten. An einem Ort drang die Farbe bis etwa 80 cm Tiefe ein und erreichte damit praktisch die Schottergrenze, die ebenfalls in dieser Tiefe zu finden war. Es fiel auf, dass im trockeneren Bereich die Farbe (und somit das Wasser) an der Oberfläche nur an ganz wenigen Orten ins Profil eindrang. Die oberen 20 bis 40 cm in Abbildung 4 links waren auch beim Ausgraben noch sehr trocken. Da die Festschubstanz einen relativ hohen Gehalt an organischem Material aufweist, ist sie sehr schlecht benetzbar. Dies hat offenbar dazu geführt, dass die Farblösung nur an wenigen Stellen in den Oberboden infiltrierte und sich im unteren Teil des Bodens hauptsächlich an einem Ort sammelte.

Es ist klar, dass viele transportrelevante Strukturen vom aktuellen Systemzustand abhängen und somit *dynamische Grössen* sind. Es ist deshalb nicht möglich, sämtliche relevanten Strukturen für einen gegebenen Boden mit einem einzigen Transportexperiment zu erfassen. Infiltrationsexperimente mit Farbstoffen zeigen jedoch deutlich und mit grosser räumlicher Auflösung, wie sich ein System unter gegebenen Umständen verhält. Falls es gelingt, Farbinfiltrationsmuster auch quantitativ auszuwerten, so wird dies weiterhelfen, das Wechselspiel von Bodenstrukturen und Fliesseigenschaften aufzudecken.

Danksagung

Wir danken Ilona Philippe und Kurt Barmettler (ItÖ, ETH Zürich) für die chemische Analyse zahlreicher Bodenproben. Peter Lüscher (WSL, Birmensdorf) stellte uns freundlicherweise einige Daten aus dem Projekt "Referenzprofile" zur Verfügung.

Literatur

- Akeret, E. (Hrsg.). 1987. *Zürcher Weinland*. Verlag W. Vogel, Winterthur.
- Flühler, H. und Mitarbeiter. 1992. Stofftransport in strukturierten Böden. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, 8.
- Hantke, R. und Mitarbeiter. 1967. *Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete*. 1:50000. Kommissionsverlag Leemann, Zürich.
- Jäckli, H. 1989. *Geologie von Zürich*. Orell Füssli, Zürich.
- Richard, F. und P. Lüscher. 1983. *Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz*. WSL, Birmensdorf.

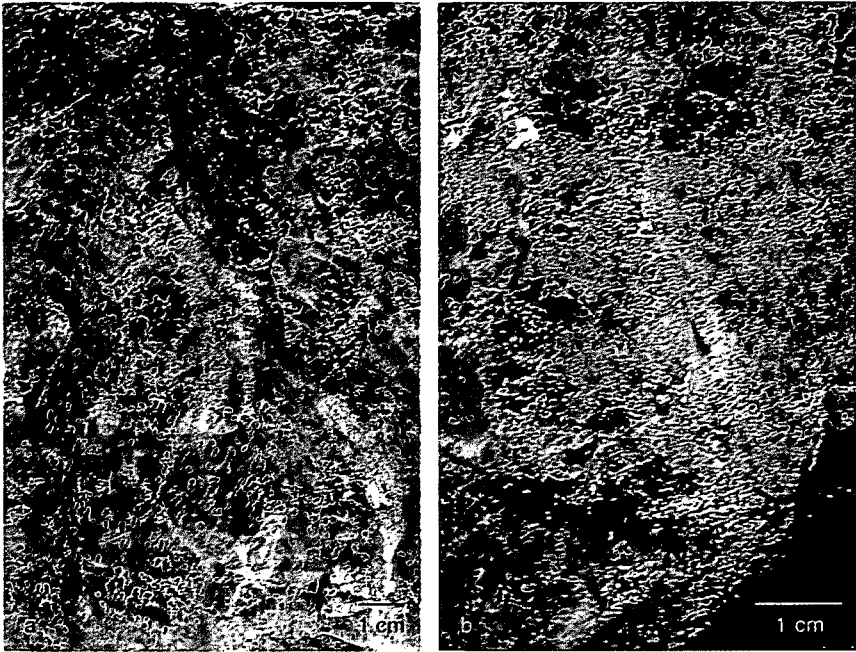


Abbildung 3. Typische Farbmuster, wie sie im Profil Rafz nach einer Infiltration von 36 mm Farblösung innert 25 Stunden beobachtet wurden. Bild (a) wurde in etwa 70 cm Tiefe aufgenommen, Bild (b) in etwa 110 cm.

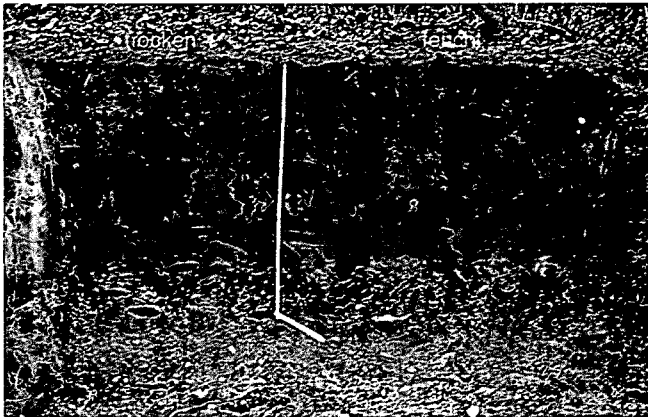


Abbildung 4. Farbmuster im Profil Winzlerboden nach einer Infiltration von 41 mm Farblösung innert 7 Stunden. Die Anfangswassergehalte links vom Meterstab waren deutlich geringer als diejenigen im rechten Teil des Profils.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document also highlights the need for regular reconciliation of bank statements and the company's records to identify any discrepancies early on.

In addition, the document provides a detailed breakdown of the accounting cycle, from identifying the accounting entity to closing the books. It explains how each step contributes to the overall accuracy and reliability of the financial data. The document also includes a section on the importance of internal controls, which are designed to prevent errors and fraud. It discusses various control measures such as segregation of duties, authorization requirements, and regular audits.

The document concludes by emphasizing the role of the accountant in providing accurate and timely financial information to management and other stakeholders. It stresses that a strong foundation in accounting principles and practices is essential for the success of any business.

Exkursion

CH 2

Kanton Thurgau

P. Lüscher¹, P. Blaser¹, J. Luster¹, S. Egli¹, I. Brunner¹,
H. Nussbaumer², P. Schmider³, D. Winter⁴ und R. Lehmann⁵

Forstliche Standortskunde

Exkursionsleitung: P. Lüscher und P. Blaser

unter Mitwirkung von P. Waldispühl, M. Walser, L. Walthert und S. Zimmermann¹
sowie W. Kreis²

Inhalt	Seite
Exkursionskonzept	188
1. Hinweise zum Kanton Thurgau	189
2. Forstwirtschaft zwischen Ermatingen und Arbon (Forstkreis 4)	190
3. Bürgerwald Ermatingen	191
4. Standortskundliche Waldkartierung des Kantons Thurgau	193
5. Bodenkundliche Hinweise	197
6. Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil	207
7. Die Bodenschutzfachstelle des Kantons Thurgau	209
Literatur	211
Verzeichnis der Tabellen	312

1 Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf

2 Forstkreis 4, CH-8587 Oberaach

3 Beratungsgemeinschaft für Umweltfragen, Zähringerstr. 9, CH-8001 Zürich

4 Aqua Terra, CH-8604 Volketswil

5 Bodenschutzfachstelle, Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft, CH-8501 Frauenfeld

Exkursionskonzept

Den Exkursionsteilnehmern soll - nach kurzer Fahrt ab Konstanz / Kreuzlingen (Grenzübertritt) ca. 15 Minuten - im **Forstrevier Ermatingen** das standortkundliche Umfeld mit all seinen Aspekten für die Waldbewirtschaftung vorgestellt werden.

Alle zu besuchenden Standorte liegen im Umkreis von rund 500 m um den Werkhof von Ermatingen und können **zu Fuss** erreicht werden.

Ausgehend von den **Waldbildern** und der **Bestandesgeschichte**, den **vegetations-** und **bodenkundlichen** Grundlagen werden kleinen Gruppen von ca. 15 Personen die insgesamt vier Standorte vorgestellt:

R 1 Waldmeister-Buchenwald mit Lungenkraut (Ausbildung mit Wald-Ziest), Galio odorati-Fagetum pulmonarietosum (nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 7 g)

L-Mull / (Norm-) Parabraunerde (LLn) aus Würm-Geschiebemergel (KA4)

D 20 Typischer Waldhainsimsen-Buchenwald, Luzulo silvaticae-Fagetum typicum (nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 1)

Feinhumusarmer Moder / (Norm-) Parabraunerde (LLn) aus Würm-Geschiebemergel über Molassemergel (im Unterboden pseudovergleyt) (KA4)

D 21 Ahorn-Eschenwald mit Bingelkraut, Aceri-Fraxinetum mercurialidetosum (nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 26 f)

Feuchtmull / Kalkgley (GGc) aus Auenlehm (KA4)

D 22 Waldmeister-Buchenwald mit Lungenkraut, Galio odorati-Fagetum pulmonarietosum (nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 7 f)

L-Mull / (Norm) Pararendzina (RZn) aus Würm-Geschiebemergel (KA4)

Ein einfaches Mittagessen wird im Werkhof serviert. Während der Mittagspause besteht die Gelegenheit, anhand von **Postern** einen Einblick in verschiedene **Projekte** und **Arbeitsgebiete** des Exkursionsteams zu erhalten. Die beteiligten Personen sind Vertreter des kantonalen Forstdienstes und der Bodenschutzfachstelle, Freierwerbende Standortskundler einer Arbeitsgemeinschaft, die Kartierungen in den Wäldern des Kantons Thurgau durchführt sowie die Mitarbeiter der Sektion Standort der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf.

Der Nachmittag ist ebenfalls gruppenweise den Themen **Feinwurzeln** und **Mykorrhiza**, **Bodenschutz** und **Chemie der Bodenlösung** an den vier Profilen gewidmet.

Den Abschluss des Tages bildet ein Besuch im benachbarten **Napoleonmuseum**, **Schloss Arenenberg** in Salenstein.

Anschliessend Rückfahrt mit dem Bus nach Konstanz.

1. Hinweise zum Kanton Thurgau

Ausdehnung **Nord - Süd** (Fischingen - Bodensee) rund **40 km**
Ausdehnung **Ost-West** (Horn/Arbon-Diessenhofen) rund **65 km**

Fläche ohne See 85'000 ha (etwa 2 % der Schweiz)
Waldfläche 20'000 ha (etwa 2 % der Schweiz)
Einwohner 220'000 (etwa 3 % der Schweiz)

Der Kanton Thurgau ist im Vergleich zu seinen Nachbarkantonen Zürich und St.Gallen und auch gesamtschweizerisch politisch und wirtschaftlich eher ein Zwerg.

Das **Gelände ist hügelig bis flach**. Die Meereshöhe des Hügellandes liegt hauptsächlich zwischen 400 und 700 m (Bodensee 396 m). Im gegen die Voralpen ansteigenden Süden (Hörligebiet) sind die Erhebungen höher (höchster Punkt des Kantons 991 m).

Die intensive **Landwirtschaft** auf den fruchtbaren Böden prägt das Landschaftsbild.

Beschäftigung: Urproduktion 8 % **Finanziell** ist der Kanton mittelstark.
 Industrie 42 %
 Dienstleistungen 50 %

Geschichtliches: Der Thurgau ist aus dem **ehemaligen Herrschaftsgebiet des Bischofs von Konstanz auf der Südseite von Bodensee und Seerhein** hervorgegangen. Benachbarte Zentren waren das Kloster St. Gallen im Südosten und die Stadt Zürich im Westen. Die heutigen Kantonsgrenzen entsprechen etwa deren ehemaligen Einflussbereichen. 1406 eroberten die Eidgenossen den Thurgau und übernahmen die hohe Gerichtsbarkeit. Der Einfluss des Bischofs und der lokalen Herrschaften blieb aber bis zum Einmarsch von Napoleon im Jahre 1798 bestehen. 1803 wurde der Thurgau selbständiger Kanton. Konstanz kam zum wichtigeren Herrschaftsgebiet des Bischofs nördlich des Bodensees und damit zu Deutschland. Damit verlor der Thurgau im Grunde sein Zentrum.

Regionen: Es gibt deshalb im Thurgau **kein eigentliches grösseres Zentrum**. Die Regionen haben ihre regionalen Zentren, die jedoch gesamtschweizerisch unbedeutend sind:

- **Mittelthurgau: Frauenfeld** im Westen (20'000 Einwohner) und **Weinfeld** (9'000 E.) im mittleren Teil des Kantons,
- **Region Kreuzlingen: Kreuzlingen** (17'000 Einwohner),
- **Unterturgau** am Untersee (keine grössere Ortschaft) teils gegen Schaffhausen orientiert,
- **Oberthurgau**, gesamtschweizerisch wichtigstes Obstbaugbiet am See mit **Arbon, Romanshorn und Amriswil** mit 11'000, 9'000 und 10'000 Einwohnern,
- **Hinterthurgau** im Süden, das voralpine und leicht gebirgige Tannzapfenland (keine grössere Ortschaft), auf das st.gallische Wil orientiert.

Gesinnung: Charakteristisch ist, dass kein Zentrum (mehr) vorhanden ist; es gibt keinen gefühlsmässig allgemein anerkannten Hauptort, auch kein richtiges thurgauisches Zusammengehörigkeitsgefühl. **Regionale Interessen** sind wichtiger als jene des Gesamtthurgaus oder der Schweiz. Denken und Politik des Kantons sind **bäuerlich**. Kulturelle Tätigkeiten haben keinen grossen Stellenwert. Der Thurgauer ist im allgemeinen fleissig, freundlich und kooperativ.

2. Forstwirtschaft zwischen Ermatingen und Arbon (Forstkreis 4)

Klima Mittlere Jahresniederschläge um **900 mm** mit Spitzenwert im Sommer,
Mittlere Jahrestemperatur um **9° C**

Die Lagen in Seenähe sind klimatisch ausgeglichener als weiter landeinwärts (See als Wärmespeicher), was sich günstig auf die Qualität des Laubholzes und den Obstbau auswirkt.
Nass-Schnee: Schneedruckgefahr besonders oberhalb von 550 m ü.M. ausgeprägt.

Die **Böden** sind mehrheitlich aus der Grundmoräne des Rheingletschers entstanden, sind schwer, schlecht durchlüftet und nährstoffreich. Sie sind gut für wurzeltüchtige Laubhölzer wie Esche, Stieleiche, Bergahorn, weniger gut oder nur zum kleineren Teil geeignet für Fichte, Lärche (Fichte gefährdet durch Sturm/Fäule).

Eigentumsverhältnisse	Schweiz		Thurgau			Forstkreis 4		
	ha	%	ha	%	Anzahl Betriebe	ha	%	Anzahl Betriebe
Staatswald (Kanton)	52'000	5	1'390	7	11	185	4	1
Gemeinden,								
öffentl. Korporationen	767'000	67	7'392	37	87	1'520	30	14
Private Korporationen	unbedeutend	0	971	5	13	859	17	9
Parzell. Privatwald	331'000	29	10'300	51	10'800	2'416	49	2'993
Total	1'150'000	100	20'053	100		5'044	100	

Tabelle 1: Eigentumsverhältnisse im Vergleich

Forstliche Organisation im Kanton Thurgau:

Kantonsforstamt: der Kantonsregierung und in forstpolizeilichen Fragen der Eidg. Forstdirektion unterstellt.
4 1/2 Forstkreise: dem Kantonsforstamt unterstellt, 2 1/2 auf dem Kantonsforstamt, 2 als Aussenstellen mit Einmannbüro und Dienstleistungen vom Kantonsforstamt.
44 Forstreviere: mit je einem Förster und durchschnittlich 456 ha Wald.
Forstkreis 4: 10 Reviere mit durchschnittlich 504 ha Wald.

Waldbauliche Zielsetzungen:

Ökologisch einwandfreie Nachzucht von möglichst hochwertigem Holz in gesunden Beständen. Die Wertleistung steht vor der Massenleistung.
Die Umtriebszeiten sind auf den schweren, wüchsigen Böden relativ kurz. Die Esche neigt nach 80-100 Jahren zur Braunkern-Bildung, die Eiche zeigt mit rund 200 Jahren Vitalitätsverluste.
Die heutigen durchschnittlichen Vorratsanteile der wichtigen Baumarten sollen im Grossen und Ganzen beibehalten werden:
Nadelholz 30 %, Esche 20 %, Eiche 15 %, Buche 10 %, andere Laubhölzer 25 %

Jagd:

Die Reviere umfassen durchschnittlich etwa 230 ha Wald. Sie werden alle 8 Jahre nach einheitlichen Kriterien geschätzt und von den Gemeinden an Jagdgesellschaften verpachtet. Diese bestehen aus 4 - 8, in der Regel 6, meist einheimischen Jägern. Das Rehwild wird teils mit der Kugel (Sommerbock), hauptsächlich aber auf Treibjagden mit Schrot erlegt.

Zeitspanne	Zählung pro 100 ha		Abschuss Fallwild		Abgang (ganzer Forstkreis)		
	total	Wald	total	total	total	pro 100 ha Wald	Gesamtfläche
1980 - 84	921	19.4	642	191	833	17.5	3.1
1985 - 89	879	18.5	565	179	744	15.6	3.7
1990 - 94	859	18.0	460	166	626	13.2	2.3
1195 - 96	887	18.7	462	260	722	15.2	2.7

Tabelle 2: Einige Zahlen zum Wildbestand im Forstkreis

Durch die Zählung werden schätzungsweise 70 % des Bestandes erfasst. Die Verbissbelastung ist hoch, fast alle Jungwüchse müssen eingezäunt werden.

3. Bürgerwald Ermatingen

Fläche und Klima:

Bestockte Waldfläche **330 ha** (Gesamtfläche 346.91 ha)
 Höhe über Meer (430) **-500-620 m** (unter 500 m fast nur Tobel)
 Mittelland-Klima: Niederschlag **900 mm** eher etwas trockener als übriges Mittelland
 Temperatur **8 - 9 °C** mildender Seeinfluss, Nassschneegefahr

Standorte:

Relief: mehrheitlich eben und sanft geneigt. Hang- und Steilhanglagen nur in den tief eingeschnittenen, in den Untersee entwässerten Tobeln (50 ha oder 15% der bestockten Waldfläche). In den ebenen und fast ebenen Lagen: mehrheitlich schwere Grundmoräneböden des Gletschers, vorwiegend mit Eschen-Mischwald bestockt, in den vernässten Mulden mit Schwarzerlen-Eschen-Wäldern. Auf Kuppen und in Hanglagen: Molasse-Böden mit Buchenwäldern verschiedener Ausbildungen.

	Stammzahl	Tarif m ³	% vom Volumen		Stammzahl	Tarif m ³	% vom Volumen
Fichte	83	79	25.6	Buche	97	61	19.8
Tanne	8	8	2.6	Eiche	16	55	17.9
Föhre	11	21	6.8	Esche	37	30	9.7
Lärche	12	10	3.2	Bergahorn	36	21	6.8
and. Ndh	3	2	0.6	Hagebuche	36	12	3.9
				and. Lbh	19	9	2.9
Nadelholz	117	120	39.0	Laubholz	241	188	61.0

	Stammzahl	Tarif m ³	% vom Volumen
Total Nadel- und Laubholz	358	308	100.0

Tabelle 3: Baumarten 1987 (ab 12 cm BHD) im Bürgerwald von Ermatingen

Zuwachs: 7,0 Tm³ / Jahr und ha (1970-87)

	Fläche ha	% von Hw/Mw	% von total
Hochwald (Hw):			
<u>Ältere Bestände vor ca. 1920:</u>			
Ebene Lagen, reich an Fichten	64.57	31.2	19.6
Hang- und Steillagen, reich an Buchen	18.00	8.7	5.5
Jüngere Bestände gemischt, mehr Lbh als Ndh	124.70	60.2	37.8
Hochwald total	207.30	100.0	62.8

	Fläche ha	% von Hw/Mw	% von total
Ehemaliger Mittelwald (Mw):			
Typ Esche-Stieleiche	60.90	49.7	18.5
Typ Buche-Traubeneiche	38.80	31.7	11.8
Mischtyp Buche, Stieleiche, Traubeneiche	9.30	7.6	2.8
Eschentyp (nass, Schwarzerle-Esche)	3.30	2.7	1.0
leicht stufig (Mittelwald -Fichten)	10.29	8.4	3.1
Ehemaliger Mittelwald total	122.60	100.0	37.2

Tabelle 4: Bestandestypen 1987 (Übersicht) im Bürgerwald von Ermatingen

Nutzungen und Erlöse	1977/78 - 1986/87	1987/88 - 1993/94	1992/93 - 1994/95
m ³ pro Jahr	2261	2103	2423
m ³ pro Jahr und ha	6.9	6.4	7.3
Nutzholz %	45.2	47.9	50.6
Papierholz %	4.2	4.9	3.6
Plattenholz %	23.8	8.3	3.2
Brennholz %	26.7	38.9	42.6
Zwangsnutzung %	6.5	9.5	10.9

Tabelle 5: Nutzungsverhältnisse im Bürgerwald von Ermatingen

Altersklassen	Fläche	% von Hochwald	% von total
0 - 20	43.07	20.8	13.1
20 - 40	33.77	16.3	10.2
40 - 60	23.46	11.3	7.1
60 - 80	44.96	21.7	13.6
80 - 100	38.66	18.6	11.7
über 100	23.38	11.3	7.1
Hochwald	207.30	100.0	62.8
ehemaliger Mittelwald	122.60		37.2
total	329.90		100.0

Tabelle 6: Altersklassen im Hochwald im Revier Ermatingen

4. Standortkundliche Waldkartierung des Kantons Thurgau

Ausgangslage

Im Zeitraum von 1994 bis 2000 wird über die Wälder im Kanton Thurgau eine vegetationskundlich-bodenkundliche Standortskarte erstellt. Die gesamte Waldfläche des Kantons Thurgau beträgt rund 17'500 ha; jährlich werden zwischen 2000 und 3000 ha bearbeitet. In der Karte wird das Vorkommen und die Ausdehnung der Waldgesellschaften flächenmässig wiedergegeben. Die Kartierung wird von vier Fachleuten (Forstingenieure, Biologen) durchgeführt, die zur Standortsansprache sowohl die Vegetation als auch den Boden beziehen.

Wie entsteht eine Standortskarte?

In der vegetationskundlichen Standortskarte wird nicht die gegenwärtige, durch den Menschen oft stark beeinflusste und veränderte Vegetation dargestellt, sondern die potentielle natürliche Vegetation. Diese wird idealerweise anhand der Kombination von vorhandenen Pflanzengruppen bestimmt. Durch den zusätzlichen Einbezug von Bodenmerkmalen wird eine ganzheitliche Erfassung der Standortverhältnisse angestrebt.

Schachtelhalm im Eschenwald

Zu einem bestimmten Boden gehört im natürlichen Wald auch eine bestimmte Krautschicht und ein typischer Baumbestand. Diese "Gemeinschaft" nennt man Waldgesellschaft. Wächst in einem Wald viel Schachtelhalm und Geissfuss auf einem feuchten, nährstoffreichen Boden, würden sich natürlicherweise Eschen und Ahorne ansiedeln. Als Ganzes stellen hier die drei Komponenten Boden/Krautschicht/Baumschicht die Ahorn-Eschenwaldgesellschaft (E+K Nr. 26) dar.

Der Schlüssel = Schema und Werkzeug

Zur Bestimmung der Waldgesellschaften dient ein Kartierungsschlüssel, der jeweils für ein geographisch begrenztes Gebiet gilt. In diesem Schlüssel sind die Waldgesellschaften und die Kombination von Pflanzengruppen, welche die Waldgesellschaften definieren, in Tabellenform dargestellt. Für den Kanton Thurgau wurde vorgängig der Kartierung ebenfalls ein speziell auf die Verhältnisse im Thurgau abgestimmter Schlüssel erstellt. Besonderes Gewicht wurde auf die sinnvolle Verknüpfung von vegetationskundlichen Daten mit bodenkundlichen Merkmalen gelegt. Es wurde daher zusätzlich ein "Bodenschlüssel" erarbeitet, der die wichtigsten, anhand von zahlreichen Bodenprofilen ermittelten Bodenmerkmale der vertretenen Waldgesellschaften enthält.

Das Kartieren im Wald

Die zu kartierende Fläche wird systematisch abgesprochen und die vorhandenen Waldgesellschaften mittels dem mit Bodendaten ergänzten Kartierschlüssel erfasst. Der Bodenbohrer ist dabei ein unentbehrliches Hilfsmittel. Bei stark durch forstliche Eingriffe veränderten Beständen, wo Bodenpflanzen beinahe vollständig fehlen oder die vorhandene Vegetation gestört ist, stützt sich die Ansprache verstärkt auf folgende Kriterien:

- Beurteilung der Bodeneigenschaften (u.a. mittels Bodenbohrer, pH-Indikatorlösung sowie 10%iger HCl, allenfalls Offenlegen eines Bodenprofils)
- Beobachtung der Wuchskraft und -form der Bäume
- Analogieschlüsse aus umliegenden Gebieten.

Das Endprodukt: Karte und Kommentar

Anschliessend an die Kartierung werden die Ergebnisse überprüft, zusammengefasst und auf Plänen im Massstab 1:5000 festgehalten. Als Ergänzung zur Standortkarte wird ein Kommentar verfasst, in dem die vorgefundenen Waldgesellschaften beschrieben und zu jeder Gesellschaft konkrete, in die Praxis umsetzbare Empfehlungen für eine ökologisch sinnvolle Bewirtschaftung gegeben werden (s. Bsp. Waldgesellschaft Nr. 9). Im Zentrum stehen vor allem Angaben zur optimalen Baumartenwahl.

Die Standortskarte als Hilfsmittel bei der Planung und Waldbewirtschaftung

Die Standortskarte ist eine Planungsgrundlage mit einem breiten Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten. Sie kann sowohl in der Forstpolitik des Kantons als auch bei der waldbaulichen Detailplanung in einzelnen Beständen und in der Raumplanung verwendet werden.

Die folgende Übersicht zeigt, zu welchen Themen die Standortkarte Informationen bieten kann:

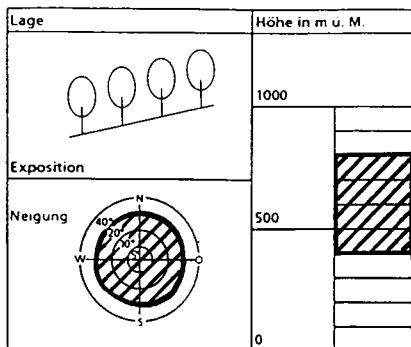
Bereich	Informationen aus der Standortkarte	Anwendungsbeispiele
Forstpolitik und Raumplanung	Grossräumiger Überblick über Vielfalt, Häufigkeit und Verteilung der Waldstandorte, Hinweise auf die möglichen Bodentypen	Grossräumige Planung, Waldfunktionen-Planung, Regionalplanung, Waldentwicklungsplan, Nutzungskonzepte
Holzproduktion (Betriebsplanung)	Zusammensetzung des Naturwaldes, mögliche Baumarten, Ertragsfähigkeit, mögliche Sortimente u.a.	Abschätzen des Nutzungspotentials, Bildung von Bestockungszieltypen und von Bewirtschaftungszonen, bessere Resultate bei Stratifizierung und Interpretation der Inventuren, Waldfunktionenkartierung
Holzproduktion (Waldbauliche Detailplanung)	Zusammensetzung des Naturwaldes, mögliche Baumarten, Ertragsfähigkeit, mögliche Sortimente, Hinweise zum Bodenschutz und zur Befahrbarkeit des Bodens	Beurteilen der bestehenden Bestockung (waldbauliche Risiken, Stabilität, Vitalität); Formulieren von Pflege-, Verjüngungs- oder Schutzzielen und -massnahmen; Verjüngungszeitpunkt und -zeitraum; Wahl der Rückeverfahren
Projektwesen (Erschliessung, etc.)	Erschliessungswürdigkeit, kritische Stellen wie vernässte und rutschgefährdete Gebiete etc.	Ausarbeiten und Beurteilen von Projekten, Variantenwahl, Grundlage für Subventionen
Schutzfunktion	Potentielle Rutsch- oder Stein-schlaggebiete	Projektbeurteilung, Gefahrenzonenplan
Natur- und Landschaftsschutz	Zusammensetzung des Naturwaldes, Seltenheit der Waldgesellschaften, Vielfalt, potentielle Lebensräume seltener Pflanzen und Tiere	Landschaftsplanung, Naturschutz- und Reservatsplanung, Pflegepläne, Waldwirtschaftspläne, Grundlage für naturgerechte Wildhege
Erholung	Empfindliche Stellen (Tritt, Störung)	Planung von Erholungseinrichtungen, Grossanlässen u.ä.
Aus- und Weiterbildung	Vielfalt des Waldes, Zusammensetzung des Naturwaldes, waldbauliche Eigenschaften der Standorte	Weiterbildung Forstpersonal, Exkursionen, Vorträge, Kurse
Öffentlichkeitsarbeit	Vielfalt des Waldes, Zusammensetzung des Naturwaldes, waldbauliche Eigenschaften der Standorte	Exkursionen, Vorträge, Unterricht an Schulen, Image-Pflege des Forstdienstes

Beispiel einer Waldgesellschafts-Beschreibung im Revierkommentar


9 Typischer Lungenkraut-Buchenwald Pulmonario-Fagetum typicum

Naturwald

Ökogramme



Boden

Dürr				
Trocken				
Frisch				
Feucht				
Nass				
	Arm	Mittel	Reich	

Waldbild

Ziemlich wüchsiger Hallenwald mit dominierender Bu. Starke, gerade Stämme. Viele Frühjahrsblüher in der Krautschicht. Meistens dominiert das Binglekraut. Die Kraut- und Strauchschicht ist oft artenarm und lückig.

Häufige, typische Pflanzen

BS: Bu, Es, BAh, TEi, Ki, (Fö).

SS: Hornstrauch, Wolliger Schneeball, Gewöhnlicher Seidelbast, Liguster.

KS: Busch-Windröschen, Waldmeister, Goldnessel, Wald-Segge, Mandelblättrige Wolfsmilch, Nickendes Perlgras, Lungenkraut, Aronstab, Binglekraut, Türkenbund-Lilie, Frühlings-Platterbse.

Standort

Submontane Stufe. Alle Expositionen und Lagen.

Boden: Fruchtbare, skelettreiche, gut durchlüftete Rohböden, die nur in Dürrezeiten austrocknen. Eher flachgründig, aber meist mit gut entwickeltem Ah-Horizont. Kalkskelett im Oberboden. (Pararendzinen). Humusform: schwach saurer Mull (z.T. mit Kalkskelett).

Vorkommen

Nordalpenrand bis Jura; häufig, v.a. im Jura.

Systematik

Erstmals bei Frehner (1963) beschrieben, in E+K 72 übernommen.

Übergänge zu 7f, 10, 11, (12a), 12^t



Nickendes Perlgras
Melica nutans

Waldbau

Waldbauliche Eigenschaften

Gesamtzuwachs und Höhenbonität mittel bis gut. Zeitweilige leichte Bodentrockenheit im Sommer möglich, daher Fi und Ta gefährdet. Auswahl unter den wärmeliebenden Edellaubbäumen gross, sonst durch mögliche Austrocknung leicht beschränkt. TEi, BAh, Bu, Ki, Es, Li, Fö (und Lä) als Hauptwertträger; Bu, BAh, WLi, SAh, FAh und Hbu (unterhalb 600 m) im Nebenbestand. Für BAh bester aller Standorte. Gute Exemplare von Es und SAh in die Oberschicht aufwachsen lassen.

Oberhöhe im Alter 50 (Bonität $h_{dom}50$):
Bu 20-22m, Fö 20-22m, Lä 24-26m,
Ah/Es 21-24m.

Bestockungsziel

Möglichkeiten vom reinen Bu-Hallenwald bis zum Laubholzmischwald mit Fö und Fi, Ta in Einzelmischung.

Laubbaumanteil 70-100% (Bei Fö und Lä mit Nebenbestand auch weniger).

Verjüngung

Naturverjüngung im allgemeinen problemlos. Da sich in grösseren Bestandeslücken die Sträucher üppig entwickeln können, empfiehlt sich ein kleinflächiges Femelschlagverfahren oder, bei Bu, ein dosiertes Vorlichten (Schirmschlag).

Pflege

Die Bu ist von Natur aus herrschend. Doch sind wärmeliebende Edellaubbäume (z.B. Li, Ki, TEi) durch Ausschaltung der Bu-Konkurrenz leicht zur Dominanz zu bringen. Fö und Lä brauchen der Bu gegenüber einen Wuchsvorsprung. Ki sollte in geschlossenem Bestand aufwachsen, da sie sonst stark astig wird und Zwiesel bildet.



Türkenbund-Lilie
Lilium martagon
rosa

5. Bodenkundliche Hinweise

Übersicht mit Hilfe der Bodeneignungskarte der Schweiz und den Stichproben des Landesforstinventars (LFI)

Nach der Bodeneignungskarte der Schweiz (1 : 200'000) können die Waldstandorte im Kanton Thurgau den folgenden physiographischen Einheiten der Region **Tieferes Mittelland (Ostschweiz)** zugeordnet werden:

	Anzahl LFI Stichproben*
F Ebenen des tieferen Mittellandes, bis 3 % Neigung	17
G Leicht gewelltes Moränehügelland	21
H Tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung	153
J Sohlentäler des Mittellandes	2
L Drumlinlandschaft mit starkem Relief	8
M Höheres Molassehügelland mit starkem Erosionsrelief	12

* Das Landesforstinventar umfasst im Kanton Thurgau total 213 Stichproben (gesamte Schweiz: 11'863 Stichproben im 1 x 1 km Raster)

Das **Ausgangsmaterial** und das **Relief** lassen für das Exkursionsgebiet folgende Unterteilungen in **Kartierungseinheiten** zu:

H1 leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen, Moräne, tonig (bis ca. 10 % geneigt)	46
H2 Hanglagen, vorwiegend Wallmoräne, < 25 % Hangneigung	42
H3 Steilhänge, vorwiegend Molasse, > 25 % Hangneigung	57
H4 Mulden, Akkumulationsrinnen (bis ca. 10 % Neigung)	8

Auf Standorten mit **Vegetationsaufnahmen**, die eine typische Ausprägung einer Waldgesellschaft darstellen - verteilt über alle Kartierungseinheiten - wurden bodenkundliche Erhebungen durchgeführt. Insgesamt konnten 47 **Leitprofile** ausgewählt werden.

Bemerkungen zu den einzelnen Exkursionsstandorten im Forstrevier Ermatingen (Werkhof und Umgebung)

Klima:	mittlerer Jahresniederschlag (60-jähriger Durchschnittswert)	970 mm
	Jahresmitteltemperatur (Station Kreuzlingen)	8,6 °C
Geologie:	Obere Süswassermolasse mit kristallinführender Kalk/Dolomit-Nagelfluh der Hörnli-Schüttung	

Profil R 1

Lage:	Koordinaten (Landeskarte 1:25'000, Blatt 1033, Steckborn) 723,820 / 278,400
	Höhe ü.M. 560 m
	Exposition: W
	Hangneigung: 2 %

Vegetation: Waldmeister-Buchenwald mit Lungenkraut (Ausbildung mit Wald-Ziest)
Galio odorati-Fagetum pulmonarietosum (Ausbildung mit Stachys silvatica)
(nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 7 g)

Kartierungseinheit nach der Bodeneignungskarte der Schweiz: **H 1**
Tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung

Vergleichbare **Leitprofile** mit gleicher Waldgesellschaft und in der gleichen Kartierungseinheit:

R 23: Mull-Parabraunerde, schwach sauer, pseudovergleyt
Pflanzennutzbare Gründigkeit: tiefgründig bis sehr tiefgründig

Vorläufige Klassierung:

FAP-Reckenholz

Horizontabfolge Ah (0-10) AB (-40) Bw,st (-70) Bt,cn (-130)
(Tiefe in cm) C/(C)Bcn (-150)
Bodentyp/Untertyp: Braunerde, tonhüllig, schwach sauer
Pfln. Gründigkeit: tiefgründig
Humusform: typischer Mull

KA4

Horizontabfolge: Ah (0-10) Ah₁ (-40/65) Ah₂ (-70/80) Sd-Bvt (-130)
elCv (-150)
Bodenform: (Norm-) Parabraunerde (LLn) aus Würm-Geschiebemergel
Subvarietät: Tiefhumose, hangwasserbeeinflusste Mull-Parabraunerde, sehr
grosser Entwicklungstiefe, mittel sauer (s3)
Humusform: L-Mull

FAO:

(Stagni)-haplic Luvisol (LVhj)

Ergänzende Angaben zum Profil R 1:

Nr.	Tiefe (cm)	Horizont KA4	Farbe Munsell	pH CaCl ₂	C _{Org.} %	Beschreibung/Bemerkungen
	+1	Ol				wenig einjährige Laubstreu
1	0-3	Ah	7.5YR4/2	4,48	3,36	Krümelgefüge
	3-10			4,64	2,52	vereinzelt Skelett (rund, z.T. verwittert, vorw. silikatisch)
2	10-20	Ah ₁	10YR4/3	4,81	1,44	stark durchwurzelt
	20-30		10YR4/3	5,38	0,97	Wurzelgänge als Makroporen
	30-40		10YR5/3	5,95	0,75	lockere Lagerung
	40-50		10YR5/3	6,01	0,45	
	50-60		10YR5/3	6,08	0,61	
3	55-65			5,92	0,62	Farblich deutliche Grenze
	65-80	Ah ₂	10YR4/3	6,27	0,76	Subpolyedergefüge
4	80-90	Sd-Bvt			0,30	vereinzelt Mangankonkretionen
	90-100			6,55		Toncutane
	100-110			6,22	0,35	schwach -mittel steinig
5	130-140	elCv	10YR5/4	7,24		Subpolyedergefüge / Einzel-
	140-150		10YR5/3	7,42	0,11	korngefüge

Besonderheiten:

Alle Niederschlagsereignisse grösser 25 mm innert 24 Stunden führen auch während der Vegetationsperiode kurzfristig zu gesättigten Verhältnissen im Wurzelraum und dadurch zu Durchlüftungsschwierigkeiten.

mögliche Diskussionsthemen:

- Profilentwicklung und Aufbau, insbesondere farbliche Differenzierung bis 65 cm Tiefe
- Ausprägung der hydromorphen Merkmale im Vergleich mit dem Profil D 20 und den erhobenen Saugspannungswerten

Nr	Horizont	Tiefe	Skelett		Textur			Körnung			kf 10 ⁻⁴	kf
					(% der humusfreien Feinerde)			Sand	Silt	Ton		
		cm	% _v	gS	mS	fS	7	8	9	10	11	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Ah	0-10	0	-			42.6	36.7	20.7	4.1	35.6	
2	Ahl ₁	-40/65	0	5			41.7	36.5	21.8			
3	Ahl ₂	-70/80	0	-			43.8	35.6	20.6			
4	Sd-Bvt	-130	0	7			38.1	33.0	28.9	2.2	18.9	
5	elCv	-150	++	10			48.4	34.8	16.8			

Nr	Horizont	Dichte	Poren Vol.	Vol.% Wasser bei pF				Fed	Fe _o	Fe _o /Fed	Al _o	Alp	Alp/Al _o
				g/cm ³	%	0.6	1.8						
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	21			
1	Ah	1.12	0.56	54.1	39.6	29.5	25.1	9.1	1.62	0.18	1.21	0.75	0.62
2	Ahl ₁							9.9	1.61	0.16	1.05	0.25	0.24
3	Ahl ₂	1.54	0.41	39.9	31.1	23.9	18.9	10.3	1.90	0.18	1.07	0.20	0.19
4	Sd-Bvt	1.51	0.43	38.6	29.1	20.5	14.5	17.5	1.38	0.08	1.00	<0.2	n.d.
5	elCv							9.7	0.33	0.03	0.50	<0.2	n.d.

Nr	Horizont	pH	pH	Carbonat	C _{org.}	N _{tot}	C/N	PO ₄ (Al)	K(Al)
		H ₂ O	CaCl ₂	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	5.14	4.64		3.36	2.95	11.4		
2	Ahl ₁	6.73	5.95		0.75	0.83	9.0		
3	Ahl ₂	6.71	5.92		0.62	0.71	8.7		
4	Sd-Bvt	6.97	6.22	0.1	0.35	0.56	n.d.		
5	elCv	7.95	7.42	14.4	n.d.	0.27	n.d.		

Nr	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS	
				mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Mn	Ca		Mg
	1	31	32	33	34		35	36	37	38	39
1	Ah		107	6.59	4.61	8.45	74	11.2	1.22	<0.02	81
2	Ahl ₁		92	n.d.	<0.06	1.07	80	10.0	1.02	<0.02	99
3	Ahl ₂		89	n.d.	<0.06	1.43	78	7.6	1.24	<0.02	98
4	Sd-Bvt		173	n.d.	<0.06	0.91	153	16.3	2.81	<0.02	99
5	elCv		182	n.d.	<0.06	0.01	173	8.0	1.34	<0.02	100

Tabelle 7: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. R 1, Ermatingen Kt. TG, L-Mull / (Norm-)Parabraunerde (Lln) aus Würm-Geschiebemergel (KA4)

Profil D 20

Lage: Koordinaten (Landeskarte 1:25'000, Blatt 1033, Steckborn) 723,755 / 278,545
 Höhe ü.M. 560 m
 Exposition: N
 Hangneigung: 0 %

Vegetation: Typischer Waldhainsimsen-Buchenwald, Luzulo silvaticae-Fagetum typicum
 (nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 1)

Kartierungseinheit nach der Bodeneignungskarte der Schweiz: **H 1**
 Tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung
 Leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen, Moräne, bis ca. 10 % geneigt

Vergleichbare **Leitprofile** mit gleicher Waldgesellschaft und in der gleichen Kartierungseinheit:
 Lokalform STEIG, Irchel-Plateau Kt. ZH, auf Deckenschotter (Kartierungseinheit H 7), RICHARD et al. 1981.

Vorläufige Klassierung:

FAP-Reckenholz:

Horizontabfolge: Of (+2) Oh (+1) Ahh (-1/3) (EAh) (-5)B (E)B (-30)
 (Tiefen in cm) It (-60) Bcn (-60) (S)B (-115) IIC(k) (-140) R/Cv (>140)
 Bodentyp/Untertyp: Parabraunerde, modrichumos, stark sauer, pseudogleyig,
 Pfln. Gründigkeit: sehr tiefgründig
 Humusform: typischer Moder (feinhumusarm)

KA4 Horizontabfolge: Ohf (+2) Oh (+1) Ah (-5) Bv-Al (-30) Bt (-60/70)
 IISd-Bt (-80/95) Btv (-115/130) Bv (-125/140)
 elCv (140/-) IISd-elCv (140+)
 Bodenform: (Norm-) Parabraunerde aus Würm-Geschiebemergel über Molasse-
 mergel (im Unterboden pseudovergleyt)
 Subvarietät: Im Unterboden pseudovergleyte Moder-Parabraunerde sehr grosser
 Entwicklungstiefe, sehr stark sauer (s5)
 Humusform: Feinhumusarmer Moder

FAO (Stagni)-haplic Alisol (ALhj)

Ergänzende Angaben zum Profil D 20

Nr.	Tiefe (cm)	Horizont KA4	Farbe Munsell	pH CaCl ₂	Corg. %	Beschreibung/Bemerkungen
	+3	Of Oh				mehrfährige Nadelstreu
1	0-3	Ahh/Oh	7.5YR2/1	3,41	17,27	Einzelkorngefüge
2	3-5	Ah	7.5YR4/3	3,28	4,19	vereinzelt helle Körner
3	5-20	Bv-Al	10YR6/4	3,75	1,06	lockere Lagerung
	20-30					intensive Durchwurzelung (Fi)
4	30-40	Bt	10YR6/6	3,68		Toncutane / Polyedergefüge
	45-55		10YR6/6	3,73	0,17	
5	55-65	IISd-Bt				Polyeder-Subpolyedergefüge
	60-70		10YR5/6	3,84		Rostflecken, Mangankonkretionen, Marmorierungen längs
	80-90		10YR5/6	3,97	0,2	Wurzelkanälen
6	90-100	Btv	10YR5/6	4,02		schwach steinig
	100-110			4,11	0,26	dichte Lagerung
	110-120		10YR4/4	4,38		viele Feinwurzeln (dunklere
7	120-130	Bv	10YR5/4	4,86	0,21/2,98	Farbe)
8	130-140	elCv	10YR5/4	7,28	1,12	z.T. fest
	140-150	IISd-elCv		7,65		

Nr	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)			Körnung			kf 10 ⁻³	kf cm/d
				% _v	gS	mS	fS	Sand	Silt		
		cm		4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ahh/Oh	0-1/3	0	-							
2	Ah	-5	0	-			58.4	28.6	13.1		
3	Bv-Al	-30	0	2			50.1	34.3	15.7	6.7	578
4	Bt	-60/70	0	-			39.7	29.9	30.5		
5	IISd-Bt	-80/95	0	5			43.5	29.9	26.7		
6	Btv	115/130	0	-			32.1	49.4	18.6	1.2	106
7	Bv	-125/140	0	-			12.5	72.9	14.7		
8	elCv	140/-	++	-			37.0	43.7	19.3		

Nr	Horizont	Dichte g/cm ³	Poren Vol. %	Vol.% Wasser bei pF				Fed mg/g	Fe _o mg/g	Fe _o / Fed	Al _o mg/g	Al _p mg/g	Al _p / Al _o
				0.6	1.8	2.5	4.2						
		12	13	14	15	16	17	18	19	21			
1	Ahh/Oh							6.6	2.07	0.32	2.01	n.d.	n.d.
2	Ah	1.12	0.56	52.3	39.7	29.8	14.5	7.8	2.93	0.37	1.84	1.62	0.88
3	Bv-Al							7.9	1.64	0.21	1.33	1.26	0.95
4	Bt	1.52	0.42					20.4	2.02	0.10	1.58	1.05	0.66
5	IISd-Bt							18.4	1.99	0.11	1.28	0.90	0.70
6	Btv	1.29	0.51	45.8	41.9	37.2	8.9	16.3	1.38	0.09	0.73	0.50	0.68
7	Bv							15.4	1.38	0.09	0.62	0.20	0.32
8	elCv							7.0	0.29	0.04	<0.5	<0.2	n.d.

Nr	Horizont	pH	pH	Carbonat %	Corg. %	N _{tot} mg/g	C/N	PO ₄ (Al) mg/kg	K(Al) mg/kg
		H ₂ O	CaCl ₂						
		23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ahh/Oh	3.87	3.41		17.3	8.71	19.8		
2	Ah	3.73	3.28		4.19	1.88	22.3		
3	Bv-Al	4.24	3.75		1.06	0.54	19.8		
4	Bt	4.57	3.83		0.17	0.29	5.8		
5	IISd-Bt	4.85	3.97		0.20	0.25	8.0		
6	Btv	4.88	4.11		0.26	0.28	9.2		
7	Bv	5.56	4.86		0.21	0.27	7.7		
8	elCv	7.99	7.28	19.4	n.d.	0.18	n.d.		

Nr	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff} mmol/kg	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS %	
				H	Al	Mn	Ca	Mg	K		Na
		31	32	33	34		35	36	37	38	39
1	Ahh/Oh		188	23.8	52	0.6	89	13.9	2.3	0.20	56
2	Ah		129	24.9	79	0.1	12	3.6	0.8	0.05	13
3	Bv-Al		66	8.8	51	0.2	2	1.2	0.7	<0.02	7
4	Bt		117	11.8	64	3.0	14	21.6	2.5	0.36	33
5	IISd-Bt		114	7.4	41	2.0	34	27.9	2.3	0.21	56
6	Btv		93	7.8	14	4.4	47	17.4	1.7	0.30	72
7	Bv		92	1.7	2	2.1	74	11.8	1.3	0.11	94
8	elCv		204	n.d.	<0.06	0.02	193	8.8	2.0	0.08	100

Tabelle 8: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. D 20, Ermatingen Kt. TG, Feinhumusarmer Moder / (Norm-) Parabraunerde aus Würm-Geschiebemergel über Molassemergel (im Unterboden pseudovergleyt) (KA4)

Besonderheiten am Profil D 20:

Untersuchungen der Bodenlösungs-Chemie

Mit Hilfe von Saugkerzen wurde im Zeitraum März bis August 1997 Bodenlösung aus verschiedenen Tiefen des Profils gesammelt. In Intervallen von 1 bis 2 Wochen wurden die in den Vorratsflaschen über diese Periode angesammelten Lösungen beprobt. Im Labor wurden anschliessend die folgenden chemischen Parameter bestimmt:

- pH
- Leitfähigkeit
- totaler organischer Kohlenstoff (TOC)-Gehalt
- totale Elementgehalte
- anorganische Anionen (Chlorid, Sulfat, Nitrat)

Von einzelnen Lösungen wurden zudem Fluoreszenz-Spektren aufgenommen.

Die Bodenlösungs-Daten aus diesem sauren Profil werden den Resultaten einer 8-jährigen Messreihe an einem "cryptopodsolierten Boden" in der Südschweiz (BLASER et al, 1997) gegenübergestellt. Die Daten aus beiden Profilen werden diskutiert im Hinblick auf die Bedeutung bestimmter chemischer Parameter für die Gesundheit der Bäume auf diesen Standorten. Im Zentrum stehen dabei das Verhältnis basischer Nährstoffkationen zu Aluminium sowie das Ausmass der Komplexierung von Aluminium durch gelöste organische Substanzen.

mögliche Diskussionsthemen:

- Profilentwicklung und Aufbau, insbesondere die Bodenreaktion im stark sauren Bereich und die Konsequenzen für das Pflanzenwachstum (Wurzelraum der Vegetationsdecke)
- Ausprägung der hydromorphen Merkmale im Vergleich mit dem Profil R 1 und den erhobenen Saugspannungswerten
- Austrocknungsgefährdung im Wurzelraum und Oekogrammeintrag aus pflanzensoziologischer Sicht (Feuchtigkeitsachse)

Profil D 21

Lage: Koordinaten (Landeskarte 1:25'000, Blatt 1033, Steckborn) 723,700 / 278,510
Höhe ü.M. 550 m
Exposition: N
Hangneigung: 6 %

Vegetation: Ahorn-Eschenwald mit Bingelkraut, Aceri-Fraxinetum mercurialidetosum
(nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 26 f)

Kartierungseinheit nach der Bodeneignungskarte der Schweiz: **H 4**
Tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung
Mulden, Akkumulationsrinnen (bis ca. 10 % Neigung)

Vergleichbare **Leitprofile** mit gleicher Waldgesellschaft und in der gleichen Kartierungseinheit:

R 31: Hydro-Mull Gley mit z.T. deutlicher Verbraunung im Hauptwurzelraum

Vorläufige Klassierung:

FAP-Reckenholz:

Horizontabfolge: Ah,st (-10) ABg,st (-20) Bgg,x (-50) [Bgg,kC] (-75)
(Tiefen in cm) Cr (-100) Cr (>100)
Bodentyp/Untertyp: Buntgley, karbonathaltig, kalktuffig, (alluvial/kolluvial)
Pfln. Gründigkeit: ziemlich flachgründig
Humusform: Hydro-Mull

KA4 Horizontabfolge: Ah (-8) P-Ah (-20) Go-P (-50) Gcro (-65) IIGcro (-75)
IIIGor (-100) Gr (-190)
Bodenform: Kalkgley (GGc) aus Auenlehm
Subvarietät: Feuchtmull-Kalkgley flacher Grundwasserstufe (GWS2)
Humusform: Feuchtmull

FAO Calci-Eutric Gleysol (GLEk)

Ergänzende Angaben zum Profil D 21:

Nr.	Tiefe (cm)	Horizont KA4	Farbe Munsell	Beschreibung/Bemerkungen
1	0-8	Ah	10YR3/2	praktisch keine Streurückstände
	-20	P-Ah	10YR4/2	Krümelfüge, stabil
2	-50	Go-P	2.5Y6/3	ohne Skelett, intensiv durchwurzelt
	-65		2.5Y6/4	Rostflecken
3	-75	IIGcro	2.5Y6/4	kompakt mit Schwundrissen
4	-100	IIIGor	2.5Y5/3	Kalkmycel / Einzelkorn (Linse)
5	100+/190	Gro / Gr	2.5Y6/2	dicht Kohärentgefüge, reduziert

Besonderheiten:

vgl. Kapitel 6 "Feinwurzeln und Mykorrhizen " im Vergleich zum Profil R 1

mögliche Diskussionsthemen:

- Gefügedynamik im Profil (Schwinden und Quellen) und Wurzelwachstum

Nr	Horizont	Tiefe cm	Skelett		Textur (% der humusfreien Feinerde)			Körnung			kf 10 ⁻⁵ cm/sec	kf cm/d
					gS	mS	fS	Sand	Silt	Ton		
	1	2	3	% _v	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ah/P-Ah	0-10/20	0	-				29.8	25.7	44.6	7.4	6.4
2	Go-P	-50	++	-				29.7	35.0	35.4	Makro	poren
3	IIGcro	-75	++	-				58.1	20.2	21.8		
4	IIIGor	-100	0	4				32.9	25.9	41.3		
5	Gr	100+	++	-				36.0	29.5	34.6	<10 ⁻⁷	<10 ⁻²

Nr	Horizont	Dichte g/cm ³	Poren Vol. %	Vol.% Wasser bei pF				Fed	Feo	Feo/ Fed	Al _o	Al _p	Al _p / Al _o
				0.6	1.8	2.5	4.2	mg/g	mg/g		mg/g	mg/g	
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	21			
1	Ah/P-Ah	0.87	0.65	61.2	50.2	41.5	27.5	12.5	3.29	0.26	1.16	0.35	0.30
2	Go-P							14.2	1.99	0.14	0.82	<0.2	n.d.
3	IIGcro	1.50	0.43					7.6	0.43	0.06	0.53	<0.2	n.d.
4	IIIGor	1.26	0.51	48.4	44.6	40.3	25.8	6.5	1.05	0.16	1.22	<0.2	n.d.
5	Gr							7.3	1.49	0.20	0.73	<0.2	n.d.

Nr	Horizont	pH	pH	Carbonat %	C _{org.} %	N _{tot} mg/g	C/N	PO ₄ (Al) mg/kg	K(Al) mg/kg
		H ₂ O	CaCl ₂						
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah/P-Ah	7.49	7.10	1.65	4.44	4.32	11.03		
2	Go-P	8.01	7.37	11.79	n.d.	0.97	n.d.		
3	IIGcro	8.25	7.49	11.24	n.d.	0.52	n.d.		
4	IIIGor	7.69	7.13	1.12	n.d.	0.83	n.d.		
5	Gr	8.04	7.49	8.02	n.d.	0.43	n.d.		

Nr	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg							BS %
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Mn	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34		35	36	37	38	39
1	Ah/P-Ah		416	n.d.	<0.06	0.56	302	110	3.3	0.41	100
2	Go-P		334	n.d.	<0.06	0.03	264	67	2.9	0.33	100
3	IIGcro		234	n.d.	<0.06	0.03	203	29	2.1	0.06	100
4	IIIGor		294	n.d.	<0.06	0.21	246	44	4.5	0.49	100
5	Gr		277	n.d.	<0.06	0.28	235	38	4.2	0.52	100

Tabelle 9: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. D 21, Ermatingen Kt. TG, Feuchtmull / Kalkgley (Gcc) aus Auenlehm (KA4)

Profil D 22

Lage: Koordinaten (Landeskarte 1:25'000, Blatt 1033, Steckborn) 724,000 / 278,400
Höhe ü.M. 565 m.
Exposition: W
Hangneigung: 3 %

Vegetation: Waldmeister-Buchenwald mit Lungenkraut, Galio odorati-Fagetum pulmonarietosum
(nach ELLENBERG und KLÖTZLI 72: Nr. 7 f)

Kartierungseinheit nach der Bodeneignungskarte der Schweiz: **H 1**
Tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung
Leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen, Moräne, bis ca. 10 % geneigt

Vergleichbare **Leitprofile** mit gleicher Waldgesellschaft und in der gleichen Kartierungseinheit:

Profile im Bereich von Braunerden und Parabraunerden, schwach sauer

Vorläufige Klassierung:

FAP-Reckenholz:

Horizontabfolge: Ah (-10) AhB (-35) B(C) (-60) C (-75) IICg (>75)
(Tiefen in cm)
Bodentyp/Untertyp: Pararendzina (Regosol), pseudovergleyt, verbraunt
Pfln. Gründigkeit: mässig tiefgründig
Humusform: Typischer Mull

KA4 Horizontabfolge: Ah (-10) Bv-Cv-Ah (-35) elCv (-60) IISd-elCv (60+)
Bodenform: (Norm) Pararendzina (RZn) aus Würm- Geschiebemergel
Subvarietät: Tiefhumose, verbraunte, im Unterboden pseudovergleyte
Mull-Pararendzina grosser Entwicklungstiefe
Humusform: L-Mull

FAO Stagni-Calcaric Regosol (RGcj)

Ergänzende Angaben zum Profil D 22

Nr.	Tiefe (cm)	Horizont KA4	Farbe Munsell	Beschreibung/Bemerkungen
	+1	Ol		durchgehend Laubstreu
1	0-10	Ah	10YR4/2	Krümel-Subpolyedergefüge
2	-35	Bv-Cv-Ah	10YR4/3	schwach steinig
3	-60	elCv	2.5Y5/4	mittel steinig
4	-90	IISd-elCv ₁	2.5Y5/4	vereinzelt diffuse Rostflecken
5	90+	IISd-elCv ₂	2.5Y6/4	gering durchwurzelt

Besonderheiten und mögliche Diskussionsthemen:

- Entwicklungszustand des Bodens und dessen Erfassung mit einer "einfachen" Horizontabfolge

Dank: Für die Hilfeleistung bei der Klassierung der Böden möchten wir uns bei Dr. Michael Sommer vom Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Stuttgart - Hohenheim sowie bei der Arbeitsgruppe für Klassifikation und Nomenklatur der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz recht herzlich bedanken.

Nr	Horizont	Tiefe cm	Skelett % _v	Textur (% der humusfreien Feinerde)			Körnung			kf 10 ⁻³	kf cm/d
				gS	mS	fS	Sand	Silt	Ton		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ah	0-10	0	5			48.3	29.2	22.6	6.9	600
2	Bv-Cv-Ah	-35	++	15			57.2	27.3	15.6		
3	elCv	-60	++	25			68.6	23.4	8.1		
4	IISd-elCv ₁	-90	++	35			66.1	24.6	9.4		
5	IISd-elCv ₂	90+	++	40			40.9	40.1	19.1		

Nr	Horizont	Dichte g/cm ³	Poren Vol. %	Vol.% Wasser bei pF				Fed mg/g	Fe ₀ mg/g	Fe ₀ / Fed	Al ₀ mg/g	Alp mg/g	Alp/ Al ₀
				0.6	1.8	2.5	4.2						
		12	13	14	15	16	17	18	19	21			
1	Ah	1.15	0.54	50.1	39.9	28.1	14.9	11.2	1.27	0.11	1.15	0.25	0.22
2	Bv-Cv-Ah							12.6	1.06	0.08	0.95	<0.2	n.d.
3	elCv							7.2	0.45	0.06	<0.5	<0.2	n.d.
4	IISd-elCv ₁							8.7	0.51	0.06	<0.5	<0.2	n.d.
5	IISd-elCv ₂							6.0	<0.5	0.01	<0.5	<0.2	n.d.

Nr	Horizont	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Carbonat %	Corg. %	Ntot mg/g	C/N	PO ₄ (Al) mg/kg	K(Al) mg/kg
1	Ah	7.74	7.27	0.52	3.36	2.63	13.18		
2	Bv-Cv-Ah	7.98	7.45	8.4	n.d.	1.30	n.d.		
3	elCv	8.41	7.64	20.1	n.d.	0.27	n.d.		
4	IISd-elCv ₁	8.39	7.66	20.2	n.d.	0.31	n.d.		
5	IISd-elCv ₂	8.57	7.76	24.1	n.d.	0.19	n.d.		

Nr	Horizont	KAK _{pot} mmol _c /kg	KAK _{eff} mmol _c /kg	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS %	
				H	Al	Mn	Ca	Mg	K		Na
		31	32	33	34		35	36	37	38	39
1	Ah		207	n.d.	<0.06	0.46	194	10.5	1.7	<0.02	100
2	Bv-Cv-Ah		203	n.d.	<0.06	0.16	195	6.2	1.5	<0.02	100
3	elCv		143	n.d.	<0.06	0.06	139	3.0	0.7	<0.02	100
4	IISd-elCv ₁		145	n.d.	<0.06	0.04	141	3.2	0.8	<0.02	100
5	IISd-elCv ₂		191	n.d.	<0.06	0.03	181	8.3	1.9	<0.02	100

Tabelle 10: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. D 22, Ermatingen Kt. TG, L-Mull / (Norm-) Pararendzina (Rzn) aus Würm-Geschiebemergel (KA4)

6. Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil

Über das Wurzelsystem von Waldbäumen ist im Vergleich zum oberirdischen Teil verschwindend wenig bekannt. Das betrifft sowohl morphologische als auch physiologische Aspekte. Gerade wenn Bäume durch einen Sturm geworfen werden, kann beobachtet werden, dass bestimmte Baumarten je nach Bodentyp ganz unterschiedlich tief wurzeln können.

Am Beispiel von zwei Bodenprofilen soll hier der Frage nachgegangen werden, wie Feinwurzeln und Mykorrhizen vertikal verteilt sind, und inwiefern sich Stickstoff-Gehalt, Stärke-Gehalt und Vitalität der Feinwurzeln in den zwei Bodentypen unterscheiden. Es wird untersucht, ob diese Grössen an bestimmte Regionen im Profil gebunden sind und mit bodenchemischen oder bodenphysikalischen Merkmalen in einem Zusammenhang stehen .

Material und Methoden

Untersuchte Bodenprofile

Standort: Buchenmischwald Nähe Ermatingen, Kt. TG, CH

Böden: R 1: Parabraunerde; Baumarten: Buche, Esche, Bergahorn

D 21: Gley; Baumarten: Buche, Esche, Bergahorn, Fichte

Probenahme

Die Bodenentnahme für die Wurzelproben erfolgte mit einem Stahl-Zylinder 6,5 x 20 cm in Bodenprofilen der Bodentypen R 1 und D 21 im September 1996. Für die Untersuchungen der Mykorrhizadiversität und der übrigen Wurzelparameter wurden separate Wurzelproben entnommen. Alle Proben wurden unter fließendem Wasser ausgewaschen und in Feinstwurzeln (Durchmesser < 1 mm) und Feinwurzeln (Durchmesser 1-5 mm) separiert. Für die Bestimmung des Stärkegehaltes und der Vitalität wurden nur Oberboden-Wurzelproben von Einzelbäumen verwendet.

Biomasse und N-Gehalt

Zur Bestimmung der Biomasse wurden die Wurzeln während 3 Tagen bei 60°C getrocknet und anschliessend gewogen. Zur Bestimmung des N-Gehaltes wurde gemahlenes Wurzelmaterial im CN-Analyser gemessen.

Stärkegehalt und Vitalität

Zur Bestimmung des Stärkegehaltes wurde lyophilisiertes Wurzelmehl mit dem Boehringer Stärke-Test gemessen. Zur Bestimmung der Vitalität wurden frische Feinstwurzeln in einer TCC-Lösung (Triphenyl-Tetrazolium-Chlorid) inkubiert, in Aethanol extrahiert, und anschliessend die Absorption bei 520 nm gemessen. Mit dieser Methode nach Clemensson-Lindell (1994) wird die Dehydrogenasen-Aktivität gemessen.

Mykorrhizadiversität

Die Mykorrhizadiversität wurde anhand von sog. 'Morphotypen' beschrieben (nach morphologischen und anatomischen Merkmalen definierte künstliche Gruppen). Die Morphotypen wurden okular mit Hilfe einer Stereolupe angesprochen.

Resultate

Die Biomasse der Buchenfeinst- und -feinwurzeln nimmt mit der Bodentiefe in beiden Bodentypen deutlich ab (Tab. 11). Im Gleyboden D 21 sind allerdings ab 70 cm praktisch keine Wurzeln mehr zu beobachten, wohingegen in der Parabraunerde R 1 noch bei 100 cm Tiefe Feinstwurzeln registriert werden können. Der Stickstoff-Gehalt der Buchenfeinst- und -feinwurzeln bleibt über das Profil beider Bodentypen mehr oder weniger konstant (Tab. 11). Allerdings sind die N-Gehalte in den Feinstwurzeln gegenüber den Feinwurzeln um ca. einen Drittel höher.

Bodentiefe (cm)	Parabraunerde R 1		Gley D 21	
	<1 mm	1-5 mm	<1 mm	1-5 mm
	Biomasse			
10	0.69	1.01	1.05	1.31
30	0.53	0.39	0.31	0.07
60/70	0.34	0.79	0.57	-
100	0.04	-	-	-
	N-Gehalt			
10	1.58	1.16	1.68	1.08
30	1.45	1.06	1.56	1.52
60/70	1.45	1.06	1.56	1.52
100	1.32	-	-	-

Tabelle 11: Biomasse (mg·cm⁻³ Boden) und N-Gehalt (%) in Abhängigkeit von der Bodentiefe von Buchenwurzeln (< 1 mm: Feinstwurzeln, 1-5 mm: Feinwurzeln)

Die Messung der Stärke ergab, dass Buchenfeinstwurzeln aus dem Oberboden gegenüber den Feinwurzeln einen ca. 2-10 fach geringeren Gehalt aufweisen (Tab. 12). Zwischen den 2 Standorten R 1 und D 21 bestehen allerdings keine Unterschiede in den Gehalten. Die Vitalitätsmessung der Buchenfeinstwurzeln im Oberboden ergab keine Unterschiede zwischen den 2 Standorten R 1 und D 21 (Tab. 12).

Buchen-Nr.	Parabraunerde R 1		Gley D 21	
	<1 mm	1-5 mm	<1 mm	1-5 mm
	Stärkegehalt			
I	50.9	95.2	29.6	*)
II	27.1	314.3	61.0	246.6
III	37.2	*)	78.8	179.6
	Vitalität			
I	1.72	**)	2.50	**)
II	2.77	**)	2.09	**)
III	2.79	**)	2.45	**)

Tabelle 12: Stärkegehalt (mg·g⁻¹ TG) und Vitalität von Buchenwurzeln aus dem Oberboden (< 1 mm: Feinstwurzeln, 1-5 mm: Feinwurzeln)
 *) zuwenig Probenmaterial **) Proben nicht gemessen

Die Feinwurzeln sind über das gesamte Bodenprofil vollständig mykorrhiziert. Im Profil D 21 nimmt die Mykorrhizadiversität jedoch mit zunehmender Bodentiefe deutlich ab (Tab. 13). In den obersten Bodenhorizonten ist die Diversität am grössten, in den Bodentiefen 70 cm und 100 cm dominiert Typ 9.

Bodentiefe (cm)	Morphotypen													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Profil D 21														
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+					9
30				+	+			+	+	+				6
70					+				+	+				3
100					+				+					2
Profil R 1														
10					+		+		+			+	+	5

Tabelle 13: Mykorrhizadiversität von Buchenwurzeln in Abhängigkeit von der Bodentiefe

Zusammenfassung

- Die Wurzelbiomasse nimmt im Bodenprofil gegen unten ab, im Gleyboden gibt es ab 70 cm kaum mehr Wurzeln.
- Die Qualität der Wurzeln (N-Gehalt, Stärkegehalt und Vitalität) variiert zwischen den unterschiedlichen Standorte nicht.
- Es bestehen deutliche Unterschiede zwischen Feinst- und Feinwurzeln in Bezug auf den N- und Stärkegehalt.
- Feinwurzeln sind über das gesamte Bodenprofil mykorrhiziert, die Mykorrhizadiversität nimmt jedoch mit zunehmender Bodentiefe deutlich ab.
- Die zwei Bodentypen sind in ihrer Mykorrhizadiversität deutlich verschieden.

7. Die Bodenschutzfachstelle des Kantons Thurgau

Der Kanton Thurgau hat wie viele andere Kantone kein eigenes (wie auch immer geartetes) Bodenschutzgesetz: Der Bodenschutz stützt sich auf die verschiedenen nationalen gesetzlichen Grundlagen, in die einzelne Aspekte des Bodenschutzes nach und nach einbezogen wurden. Allerdings geschah dies jeweils vor allem als Mittel zum Zweck. Dies änderte sich erst mit dem *Schweizerischen Umweltschutzgesetz (USG)* von 1983, welches sich auch die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zum Ziel setzte (allerdings beschränkt auf den Aspekt der stofflichen Bodenbelastung). Eine Folge dieser unkoordinierten Entwicklung war im Kanton Thurgau eine breite Streuung der bodenschutzrelevanten Vollzugstätigkeiten über die verschiedensten Stellen. Die wichtigsten sind:

- **Quantitativer Bodenschutz** (Wichtigste gesetzliche Grundlage: *Raumplanungsgesetz*): Vollzug durch das kantonale Amt für Raumplanung;
- **Schutz vor Immissionen (USG)**: Vollzug durch verschiedene Abteilungen des Amtes für Umweltschutz und Wasserwirtschaft (Luftreinhaltung, Abwasser & Abfälle, Gewässerschutz);
- **Bodenschutz in der Landwirtschaft** (*Gewässerschutzgesetz, USG, landwirtschaftliche Gesetzgebung*): Vollzug durch das Landwirtschaftsamt, verschiedene Abteilungen des Amtes für Umweltschutz und Wasserwirtschaft (Gewässerschutz, Abwasser & Abfälle), das Landwirtschaftliche Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg (LBBZ) sowie das Kantonale Laboratorium;
- **Bodenschutz im Wald** (*Forstgesetz*): Vollzug durch das Forstamt;
- **Bodenschutz bei Bauvorhaben** (*USG, Gewässerschutzgesetz*): Vollzug durch das Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft (Abwasser & Abfälle);

Im Jahre 1992 wurde deshalb im Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft eine Bodenschutzfachstelle geschaffen. Sie ist primär zuständig für die Koordination der gesamten bodenrelevanten Vollzugstätigkeiten im Kanton, sowie für den Vollzug des *USG* im Bereich Boden. In den seither vergangenen 5 Jahren beschäftigte sich die Bodenschutzfachstelle vor allem mit der stofflichen Belastung des Bodens, also primär dem Vollzug der *Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSB0)*.

Diesbezüglich ist 1997 das Jahr der Veränderungen: Das revidierte *USG* ist nicht mehr auf die Schadstoffbelastung beschränkt, sondern es umfasst chemische, biologische und physikalische Bodenbelastungen. Für die nähere Zukunft bedeutet dies für die Bodenschutzfachstelle die folgenden Schwerpunktaufgaben:

Koordinationsfähigkeit: Als Folge der Inkraftsetzung des revidierten USG auf den 01.07.1997 müssen verschiedene Vollzugstätigkeiten neu geregelt respektive die Zuständigkeiten abgeklärt werden. Beim Bodenschutz sind dies vor allem die Bereiche physikalischer Bodenschutz, Sanierungen/Altlasten und Nutzungsbeschränkungen. Dies soll nicht zuletzt vermeiden, dass die verschiedenen Vollzugsstellen Probleme gar nicht oder isoliert aus ihrem Blickpunkt sehen, wodurch sehr leicht Konflikte entstehen können.

Untersuchung der Bodenbelastung: Bis heute liegen im Kanton Thurgau Ergebnisse über die Schadstoffbelastung (Schwermetalle und/oder organische Schadstoffe) von zirka 1500 Standorten oder etwa 2 Standorten/km² vor. Dies gibt einen recht guten Gesamtüberblick. Das Schwergewicht wird nun aber vermehrt bei Böden liegen, bei denen eine bestehende Belastung indiziert ist oder vermutet wird. In Zukunft werden zudem auch physikalische und biologische Belastungen in die Untersuchungen miteinbezogen.

Aufbau eines Bodenbelastungskatasters: Aufgrund der Ergebnisse von eigenen und "fremden" Schadstoffuntersuchungen soll in einer ersten Phase auf einem GIS ein Kataster über die stoffliche Bodenbelastung aufgebaut werden. Dieser soll es erlauben, die Schadstoffbelastung abzuschätzen, ohne in jedem Fall Analysen vornehmen zu müssen. In einer späteren Phase soll dann auch der physikalische Bodenschutz in den Kataster integriert werden.

Beurteilung von Bauvorhaben: Hauptziele sind die Verhinderung von Metastasenbildungen durch überschüssiges Bodenmaterial aufgrund bestehender Bodenbelastungen, sowie die Verminderung der physikalischen Bodenbelastung durch grosse Bauvorhaben (Kiesabbau, Rekultivierungen, Rohrleitungsbau, Nationalstrassenbau). Dieser Bereich wird in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen. Ein wichtiges Hilfsmittel dazu soll dereinst der im vorherigen Abschnitt erwähnte, aufzubauende Bodenbelastungskataster werden.

Information: Die Bodenschutzfachstelle ist für die Information der verschiedensten Bevölkerungsgruppen zuständig. Dazu dokumentiert sie ihre Untersuchungen und publiziert die Ergebnisse. Zudem liegt der Schwerpunkt der Informations- und Beratungstätigkeit des Amtes für Umweltschutz und Wasserwirtschaft dieses Jahr im Bereich Boden/Bodenschutz. Ein entsprechendes Konzept der Fachstelle Beratung und der Bodenschutzfachstelle muss nun in den nächsten 3 Jahren umgesetzt werden.

Diese Tätigkeiten erfolgen im Bewusstsein, dass die Umsetzung der Ziele des Bodenschutzes ein sehr langwieriges Unterfangen ist. Wo ein langfristig wirksames Umdenken notwendig ist, darf kurzfristigen Erfolgen nicht zuviel Bedeutung zugemessen werden. Der "Normalbürger" wird nur umsetzen, was er versteht, und ohne ihn ist ein Erfolg der Bemühungen sehr ungewiss.

Literaturhinweise

Kapitel 3

NUSSBAUMER, H., 1982: Die Anwendung der pflanzensoziologischen Standortskunde bei der praktischen Arbeit im Wald. Schweiz. Z. Forstwes., 133, 3: S. 203-210.

Kapitel 4

ARGE BGU/DICKENMANN/AQUA TERRA, 1993: Kartierungsschlüssel für die Wälder im Kanton Thurgau (Bericht zur Schlüsselherstellung)

Kapitel 5

BLASER, P., KERNEBEEK, P., TEBBENS, L., VAN BREEMEN, N. und LUSTER, J., 1997: Cryptopodzolic soils in Switzerland. European Journal of Soil Science, im Druck

BODENEIGNUNGSKARTE DER SCHWEIZ (1:200'000), 1980: FAP-Reckenholz, EDMZ
Bern

ELLENBERG, H., 1967: Vegetations- und bodenkundliche Methoden der forstlichen Standortskartierung. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 39: 296 S.

ELLENBERG, H. und KLÖTZLI, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 48, 4: 591-930

FAP, 1992: Klassifikation der Böden der Schweiz. Neu bearbeitet in der Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS) von K.Peyer und E. Frei, Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz, 84 S.

GEOLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ, 1965, 1967: Blätter 53 und 54
(Landeskarte 1053, 1054)

HANTKE, R., 1980: Eiszeitalter, Bd. 2, Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Ott Verlag, Thun, 704 S.

LÜSCHER, P., RIGLING, A., WALTHERT, L., ZIMMERMANN, S., 1994: Waldzustandsinventur 1993 - bodenkundliche Erhebungen. Bulletin BGS 18, S. 69-76.

RICHARD, F., LÜSCHER, P., STROBEL, TH., 1978, 1981, 1983, 1987: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Bd. 1-4, WSL, Birmensdorf.

RUEF, A., PEYER, K., 1996: Handbuch Waldbodenkartierung. BUWAL / FAP Reckenholz, 125 S.

Kapitel 6

CLEMENSSON-LINDELL, A. 1994: Triphenyltetrazolium chloride as an indicator of fine-root vitality and environmental stress in coniferous forest stands: Applications and limitations. Plant and Soil 159: 297-300.

Verzeichnis der Tabellen

Kapitel 2

- Tabelle 1 Eigentumsverhältnisse im Vergleich
Tabelle 2 Einige Zahlen zum Wildbestand

Kapitel 3

- Tabelle 3 Baumarten 1987 (ab 12 cm BHD) im Bürgerwald von Ermatingen
Tabelle 4 Bestandestypen 1987 (Übersicht) im Bürgerwald von Ermatingen
Tabelle 5 Nutzungsverhältnisse im Bürgerwald von Ermatingen
Tabelle 6 Altersklassen im Hochwald im Revier Ermatingen

Kapitel 5

- Tabelle 7 Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. R1, Ermatingen Kt. TG, L-Mull / (Norm-)Parabraunerde (Lln) aus Würm-Geschiebemergel (KA4)
Tabelle 8 Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. D 20, Ermatingen Kt. TG, Feinhumusarmer Moder / (Norm-) Parabraunerde aus Würm-Geschiebemergel über Molassemergel (im Unterboden pseudovergleyt) (KA4)
Tabelle 9 Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. D 21, Ermatingen Kt. TG, Feuchtmull / Kalkgley (Gcc) aus Auenlehm (KA4)
Tabelle 10 Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. D 22, Ermatingen Kt. TG, L-Mull / (Norm-) Pararendzina (Rzn) aus Würm-Geschiebemergel (KA4)

Kapitel 6

- Tabelle 11 Biomasse ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-3}$ Boden) und N-Gehalt (%) in Abhängigkeit von der Bodentiefe von Buchenwurzeln (< 1 mm: Feinstwurzeln, 1-5 mm: Feinwurzeln)
Tabelle 12 Stärkegehalt ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ TG) und Vitalität von Buchenwurzeln aus dem Oberboden (< 1 mm: Feinstwurzeln, 1-5 mm: Feinwurzeln)
Tabelle 13 Mykorrhizadiversität von Buchenwurzeln in Abhängigkeit von der Bodentiefe

Exkursion

D 3

Querschnitt durch den Hegau und seine Randgebiete

R. Jahn¹, W. Kunold²

unter Mitarbeit von

L. Herrmann³, K.H. Papenfuß³, O. Ehrmann³ und K. Stahr³

Bodengenetik

Exkursionsleitung: R. Jahn und W. Kunold

Inhalt	Seite
Informationen zu den Untersuchungsmethoden der von Hohenheim durchgeführten Exkursionen D3, D4, D6 und D9	214
1. Exkursionsroute	216
2. Beschreibung des Exkursionsgebietes	219
2.1 Naturräumliche Gliederung	219
2.2 Geologie und Geomorphologie	220
2.3 Klima	224
2.4 Vegetation	224
2.5 Nutzung	227
3. Exkursionspunkte	229
3.1 Profilbeschreibungen, Profildaten und Interpretation	229
3.2 Zusammenstellung der Bodenmengen genetischer Parameter, organischer Substanz und Nährstofffraktionen	248
3.3 Regenwurmpopulationen der Exkursionspunkte D-3.3, D-3.4 und D-3.6	249
4. Literatur	250
5. Danksagung	250

¹ Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg, 06099 Halle

² Institut für Landespflege, Universität Freiburg, Tennebachstr. 4, 79106 Freiburg

³ Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310), Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart

**Informationen zu den Untersuchungsmethoden
der von Hohenheim durchgeführten Exkursionen D 3, D 4, D 6 und D 9**

- 3 Schätzung des Skelettanteils (Angabe in Vol.% des Gesamtbodens) oder gravimetrische Bestimmung der Skelettanteile nach Trennung mit 2 mm Sieb, in lehmigen Böden wurden die trocken abgeseibten Steine noch naß abgeseibt. Angabe in Gew.% des Gesamtbodens.
- 4-9 Textur der Feinerde (mind. 1 Wiederholung) 20 g lutro FE. Bei mehr als 1-% Humus, Vorbehandlung mit H₂O₂, Vorbehandlung mit HCl bis pH 4 zur Carbonatzerstörung und Auswaschung von Cl⁻. Dispergierung über Nacht mit 0,05 n NH₄, 1-2 h schütteln und 5 Minuten Beschallung. Naßsiebung der Fraktionen 2000-630, 630-200, 200-63 µm und Bestimmung der Schlämffractionen <63, <20, <6,3, und <2 µm nach SCHLICHTING et al. (1995).
- 12 Bestimmung des Raumgewichtes aus Stechzylinderproben nach Trocknung bei 105°C.
- 13 Berechnung des Gesamtporenvolumens aus Lagerungsdichte und Partikeldichte, Partikeldichtebestimmung an He-Pyknometer (Multipyknom. MVP-1, Fa. Quantachrome)
- 14-17 Bestimmung der Porung nach SCHLICHTING et al. (1995) an 100 ml Stechzylinderproben (6 Wiederholungen) nach Wassersättigung im Desorptionsgang auf keramischen Platten bis pF 2,5. Darüber im Überdruckverfahren bis pF 4,2 (9 Wiederholungen).
- Die Analysen 18 bis 40 wurden mit mindestens einer Wiederholung durchgeführt.
- 18, 20, 22 Bestimmung der "pedogenen Oxide" (Fe_d, Al_d, Mn_d) durch Extraktion mit Na-Dithionit-Citrat bei pH 7,3 und 80 °C nach Mehra und Jackson entsprechend SCHLICHTING et al. (1995). Messung der Elemente am AAS.
- 19, 22 Bestimmung der "aktiven Oxide" (Fe_o, Al_o, Si_o) durch Extraktion mit oxalsaurem NH₄-Oxalat bei pH 3,25, Raumtemperatur und Dunkelheit nach Tamm, modifiziert nach Schwertmann entsprechend SCHLICHTING et al. (1995). Messung der Elemente am AAS.
- 23, 24 Potentiometrische Bestimmung der pH-Werte entsprechend SCHLICHTING et al. (1995) mit 10g lutro FE in 25 ml H₂O bzw. 0,01M CaCl₂.
- 25 Carbonatisches-C bestimmt an 0,3 bis 2 g gemörserter FE durch nasse Oxydation mit H₃PO₄ bei 80 °C und konduktometrische Messung des entweichenden CO₂ in NaOH mit der Wösthoff-Apparatur entsprechend SCHLICHTING et al. (1995), berechnet auf Calciumcarbonat.
- 26, 27 Gaschromatische Bestimmung von Gesamt-C und -N am C/N-Analyser (NA 1500, Fa. Carlo Erba), organisches-C (C_{org}) berechnet aus C_T-C_{carb}.
- 29, 30 Bestimmung des austauschbaren K und P mit AL- bzw. CAL-Methode nach SCHLICHTING et al. (1995)

- 31 Potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) durch Umtausch an 3 g lutro FE mit N Na-Azetat (pH 8,2) und Rücktausch mit N NH_4 -Azetat (pH 7) nach BOWER et al. (1952).
- 32-38 Austauschbare Kationen durch Austausch an 5g lutro FE mit $BaCl_2$, effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) als rechnerische Summe aller austauschbarer Kationen.
- 40 Bestimmung der verwitterbaren Minerale (Ca_v , Mg_v , K_v , P_v) in kochender HCl nach SCHLICHTING et al. (1995).
- 41 Tonmineralanalysen an durch Sedimentation gewonnenen Tonproben (wo nötig H_2O_2 - und vorsichtige HCl-Vorbehandlung) an Sedimentationspräparaten auf Keramikträgern nach Belegung mit Mg^{++} und K^+ . Röntgen-Beugungsanalyse der lufttrockenen Präparate bei Raumtemperatur, der K^+ -belegten Präparate nach Erhitzung (meist 400 und 560°C), der Mg^{++} -belegten Präparate nach Glycerin-Sättigung an Siemens Diffractometer D-500. Peak-Flächenauswertung mit EVA-Programm DIFFRAC AT.
- 42 Bestimmung der Gesamt-Elementgehalte mittels Röntgen-Fluoreszenz-Analyse an gepressten Tabletten (gemahlene Feinerde/Mowiol = 1/1) mit SRS 200, Fa. Siemens).

Literatur:

- AG BODENKUNDE der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, Hannover, 392 S.
- BOWER, C. A., REITEMEIER, R. F. & FIREMAN, R. (1952): Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73, S. 251-26. New Brunswick, New Jersey.
- FAO-UNESCO (1994): Soil map of the world - Revised Legend with corrections. World Soil Resources Report 60, Rome. Reprinted as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 140 S.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. & STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. Blackwell, 295 pp.

1. Exkursionsroute

Wir verlassen Konstanz in NW-Richtung (B 34), überqueren zunächst eine Verebung (vermoort, Beckentonfüllung des Konstanzer Rückzugsstadions (Würm)), links Insel Reichenau, rechts Bodanrück mit zahlreichen Drumlins.

Konstanz: Kreisstadt mit ca. 70 000 Einwohnern, historischer Kern aus dem Mittelalter liegt auf einem Endmoränenwall, Grundriß unregelmäßig rippenförmig, zahlreiche historische Bauten (Münster, Stephanskirche, Konzilsgebäude, Bürger- und Adelshäuser); keltischer und römischer Siedlungsplatz, spätrömisches Kastell um 300 n.Chr.; Gründung eines Bistums im 6./7. Jh., Bau der Bischofskirche im 8. Jh., der Kaiserpfalz im 9. Jh., erste Ummauerung im 12. Jh., Abriß neuzeitlicher Bastionen im 19. Jh., 1192 civitas Konstanz genannt, gegen Ende des 14. Jh. endgültig Freie Reichsstadt, 1519 Anschluß an die Reformation, nach dem Schmalkaldischen Krieg Belagerung durch Österreich, Übergabe und Rekatholisierung, ab 1548 unter österreichischer Hoheit, 1805 Übergang an Baden. - Konstanz war bis ins 16. Jh. bedeutende Handelsstadt (Wein, Leinwand), unter Österreich Beamtenstadt, Industrialisierung ab dem Ende des 18. Jh.

Insel Reichenau: Circa 4600 Einwohner, vier qkm Fläche, Gemeinden gruppieren sich um die romanischen und gotischen Kirchenbauten Mittel-, Ober- und Untierzell; Insel heute stark geprägt von Feldgemüsebau und Unterglaskulturen sowie vom Fremdenverkehr; Kirchengründungen unklar, Mittelzell seit 746 karolingisches Reichskloster; erste große Blüte im 8./9. Jh. nach Gründung einer Gelehrtenschule mit Bibliothek durch Abt Waldo, danach wirkte der berühmte Walahfried Strabo sowie Hermann der Lahme auf Reichenau; um die Jahrtausendwende letzte kulturelle Blüte (Dichtkunst, Musik, Malerschule); Niedergang ab dem 13. Jh.

Ab Allensbach (km 11) folgen wir zunächst einer verschotteten Rinne in Schüttrichtung, erreichen in der Höhe des Mindelsees (km 17) die Geschiebemergellandschaft und umfahren das NW-Ende des Bodanrücks. Bei Güttingen (km 20) überqueren wir eine Schmelzwasserrinne, kurz darauf das vermoorte Beckenende des Überlinger Sees. In Espasingen (km 26) Wiedereintritt in die Würm-Geschiebemergellandschaft, welche wir 4 km nach Stockach (km 32) mit der äußeren Jungendmoräne verlassen.

Beim Weiler Waldhof (km 42), wo wir die B 14 verlassen, endet bereits die hier nur 5 km breite Rißezeitliche Moränenlandschaft, welche sich im Osten zwischen Saulgau und Riedlingen auf max. 22 km verbreitert, im Westen weiter verengt und dort auch größtenteils bis auf die Juratafel ausgeräumt ist.

Stockach: Ehemalige Kreisstadt mit circa 14000 Einwohnern, mittelalterliche Altstadt, vermutlich auf alte Burganlage zurückgehend, 1222 villa, 1283 civitas, Stadterhebung Mitte des 13. Jh., unter der Herrschaft der Grafen von Nellenburg, 1806 an Württemberg, 1810 an Baden; Vieh- und Fruchthandel, im 16. Jh. bedeutende Poststation, Industrialisierung erst in der zweiten Hälfte des 19. Jh.

Neuhausen ob Eck: Erste Nennung im Jahre 1095 als Filialsiedlung, gehörig zur Grafschaft Nellenburg. Ort wurde durch zwei Brände 1632 und 1800 völlig zerstört; 1805 an Württemberg; heute Sitz eines regionalen Freilandmuseums.

Fridingen an der Donau: merowingische Reihengräber aus dem 6. Jh., Ort 850 genannt; über mehrere Besitzer an die Grafen von Hohenberg gelangt, 1300 von diesen zur Stadt erhoben, im 30jährigen Krieg fast völlig zerstört, rechteckige Stadtbefestigung 1840 abgebrochen, 1806 an Württemberg; hübscher Stadtkern mit alter Bausubstanz.

Bei Fridingen (km 53) erreichen wir die SW-NE-fließende Donau, die hier in einem engen Tal den dolomitischen Kalkstein (Kieselschwamm/Kalkalgen-Riffe) durchbricht (verschiedentlich Erweite-

rungen durch Mergelschüsseln). Nach steilem Aufstieg erreichen wir die Albhochfläche. Auf der Hochfläche Exkursionspunkt D-3.1 (km 58). Auf der Rückfahrt nach Fridingen Halt am Knopfmacherfelsen (km 60) mit Blick auf das Donautal. 2,5 km nördlich liegt in einer Donauschleife Kloster Beuron.

Beuron mit Kloster Beuron: Äußerst schöne Lage an einem Gleithang der Donau; um 1077 Gründung eines Klosters, das ab 1146 der Augustinerregel unterstand, 1687 Erhebung zur Abtei, 1802 Aufhebung (Säkularisierung) und Besitznahme durch Hohenzollern-Sigmaringen; 1863 Eröffnung eines Benediktinerklosters, 1868 Erhebung zur Abtei, 1884 Erzabtei; Mutterkloster der Neubesiedlungen Neresheim und Weingarten; wichtiger Wallfahrtsort. - Ursprünglich romanisch-gotische Klosteranlage ab 1694 durch Barockbauten ersetzt, barocke Innenausstattung nach 1872 entfernt und umgestaltet, 1947/51 wiederhergestellt. Sitz einer bedeutenden naturkundlichen Sammlung.

Von Fridingen zunächst über ein Trockental nach Mühlheim.

Mühlheim: Planmäßig angelegtes Städtchen auf einer Weißjura-Terrasse; alter Stadtkern trapezförmig; 843 erstmals genannt, Stadtgründung 1241 durch die Grafen von Zollern, Verkauf 1391 an die Herren von Enzberg; 1751-53 Bau des Barockschlosses; 1805/06 an Württemberg, 1890 Stadtbrand.

Weiter donauaufwärts über Tuttlingen nach Immendingen (km 83). Hier (wie auch bei Fridingen und Möhringen) Donauversickerung. Das im Karst versickernde Donauwasser tritt im Aach-Topf (12 km südlich), bereits im Einzugsgebiet des Rheins, wieder an die Oberfläche.

Tuttlingen: Kreisstadt mit etwa 35000 Einwohnern, hoher Industrialisierungsgrad, bedeutsam insbesondere Feinmechanik-, Optik- und Uhrenindustrie. Planmäßige Stadtanlage am Fuß der Ruine Honberg; 797 erstmals erwähnt, bald dem Kloster Reichenau gehörig; im 13. Jh. Stadtgründung; ab 1377 zu Württemberg gehörig, mehrmalige Verpfändungen; starke Zerstörungen und Menschenverluste im 30jährigen Krieg; 1803 vernichtete ein Brand nahezu die ganze alte Bausubstanz. Heute Industriestadt mit mit vielen zentralen Einrichtungen.

Immendingen: Erst 1101 genannt, doch Siedlung sicherlich sehr viel älter, zunächst zu Wartenberg, dann zum Hause Fürstenberg gehörig, zwei Burgen; 1806 zu Baden.

Von Immendingen nach S über die nach SE einfallende Albhochfläche zu einem der nördlichen (basaltischen) Hegauvulkane des Heweneggs (Ruine, Basaltsteinbruch, heute Naturschutzgebiet) zum Exkursionspunkt D-3.2 (km 87). Westlich des Heweneggs taucht die Albhochfläche unter miozänem Juranagelfluh ab.

Hewenegg: Burg erbaut durch die Herren von Hohenhewen, 1291 Teilverkauf der Herrschaft an Österreich; verschiedene Besitzer, 1660 an Fürstenberg; Burg schon lange abgetragen, schon 1476 nur noch als Burgstall bezeichnet.

Nach Mauenheim (km 89) erreichen wir die Reiß-Moränenlandschaft (in Tälern ausgeräumt bis Jura), in Engen (km 95) bereits wieder die Würmmoränenlandschaft.

Engen: sehr eindrucksvoller, gut erhaltener mittelalterlicher Stadtkern auf einem Bergsporn; hochmittelalterliche Siedlung, Stadt seit der 1. Hälfte des 13. Jh. (Herren von Engen), später dann den Herren von Hewen bzw. dem Fürsten von Fürstenberg gehörig; 1806 an Baden. sehenswerte dreischiffige Rundpfeilerbasilika, die um 1746 barockisiert wurde.

2 km nach Engen im Westen Hohenhewen (848 m Ruine auf Basaltschlot, Melilith-Nephelinit). Der Rheingletscher hatte im Würm den Hohenhewen bis ca. 700 m halbkreisförmig umfahren.

Welschingen: bogenförmiges Straßendorf am Südfuß des Hohenhewen; 752 erstmals erwähnt, ursprünglich Besitz des Klosters St. Gallen, spätestens seit dem 14. Jh. zur Herrschaft Hewen gehörig, dann zu Fürstenberg.

Hohenhewen: 741/774 als oppidum Hewa genannt; Edelfreie von Hewen; Burg 1639 endgültig zerstört; Herrschaft nach 1660 bei Fürstenberg.

Nach Welschingen (km 98) umfahren wir in ca. 2 km Entfernung die Ostflanke des Hohenstoffel (844 m, Basaltschlot, Deckentuffe) und sehen nach Duchtlingen (104 km) Mägdeberg (664 m) und Hohen Krähen (644 m), beides Phonolithschlote mit Deckentuffen, in der Umgebung Würm-Grundmoräne. Zwischen Mägdeberg und Hohen Krähen liegt Exkursionspunkt 3 (km 105).

Zurück nach Duchtlingen, über Hilzingen nach Riedheim, hier liegt 4 km südlich des Hohenstoffel Exkursionspunkt 4 (km 112).

Auf dem Weg nach Singen in östlicher Richtung (km 113) queren wir zunächst nach Hilzingen eine kleinere Schotterfläche und in Höhe des Hohentwiel (689 m, Phonolithschlot) einen Moränenwall und bereits im Stadtgebiet die innere Jungendmoräne des Singer Stadiums, um östlich von Singen das weite „Kiesfeld von Singen“ mit Exkursionspunkt 5 (km 119) zu erreichen.

Singen: Industriestadt und Mittelzentrum für den Hegau; bekannteste größere Betriebe sind Alusingen und Maggi; Stadt von großen Industriegebieten umgeben. Singen im 8. Jh. erstmals genannt, ursprünglich zu St. Gallen und dann Kloster Reichenau gehörig, mehrere Herrschaftswchsel, zeitweilig bei Österreich, 1805 zu Württemberg, 1810 zu Baden. Burg Hohentwiel ursprünglich in Reichsbesitz, 1538 als Exklave an Württemberg, zur uneinnehmbaren Festung ausgebaut, im 18. Jh. Staatsgefängnis, 1800 Schleifung durch Franzosen; blieb bis 1969 württembergisch.

Der Weg führt weiter nach Osten aus den Schotterterrassen des Singer Kiesfeldes heraus in die Geschiebemergellandschaft des Bodanrück. Nach Möggingen (km 128) queren wir wieder die innere Jungendmoräne und erreichen nach Liggeringen (km 131) oberhalb eines Hochtales (Schmelzwasserrinne) Exkursionspunkt 6 (km 134).

Möggingen: 860 erstmals genannt, wahrscheinlich merowingerzeitliche Siedlung, ursprünglich zu St. Gallen gehörig, in der Neuzeit bei den Herren von Bodman, 1806 zu Baden. In der Wasserburg ist heute das Max Planck-Institut für Verhaltensphysiologie untergebracht.

Liggeringen: 806 erstmals erwähnt, früher Grundbesitz des Klosters Reichenau, bis 1806 überwiegend bei den Herren von Bodman.

Den Weg zurück nach Konstanz (km 156) über Langenrain, Dettingen und Wollmatingen führt über die Geschiebemergellandschaft des Bodanrücks, der entlang der Route zahlreiche Drumlins (Ausrichtung vorwiegend parallel zur Achse des Bodanrück) aufweist.

2. Beschreibung des Exkursionsgebietes

2.1 Naturräumliche Gliederung

Der Exkursionsraum umfaßt drei Naturräume, welche von N nach S in der Reihenfolge; Schwäbische Alb (Baaralb und oberes Donautal sowie Hegualb), Hegau und Bodenseebecken tangiert bzw. durchfahren werden (Abb. 1). Mit Exkursionspunkt 1 wird auf der Schwäbischen Alb mit 770 m über NN der höchste Punkt der Exkursion erreicht. Das Donautal hat sich hier ca. 140 m eingetieft. Die Grenze des südlich anschließenden Hegaus liegt bei ca. 500 m NN. Zwischen Hegualb und Hegau schiebt sich von E keilförmig ein nur wenige km breiter Streifen des Altmoränenlandes als Ausläufer der Donau-Iller-Lech-Platte. Der Hergau, wie auch das südöstlich anschließende Bodenseebecken, ist Bestandteil des Voralpinen Hügel- und Moorlandes. Der morphologisch reich gegliederte Hegau ist durch das Auftauchen der Molassesedimente aus der Decke pleistozäner Sedimente, den aufragenden Vulkanruinen und intensiver glaziofluvialer Sedimentations- und Abtragungsprozesse gekennzeichnet. Der größte Teil der Fläche liegt zwischen 400 und 500 m Meereshöhe, aus der die Vulkanruinen bis über 800 m NN herausragen. Im nordwestlichen Teil bestimmen neben den Vulkanruinen enggestaffelte Moränenwälle das Landschaftsbild, im südöstlichen Teil (z. B. bei Singen) dominieren weite Schotterfluren. Die Klimagunst des Hegaus verstärkt sich weiter im noch tiefer gelegenen Bodenseebecken (Bodenseeoberfläche 395 m NN). Ebenfalls morphologisch reich gegliedert ist der im Kern aus Molassesedimenten bestehende Bodanrück mit steil zum Überlinger See abfallenden NE-Rand. Der Bodanrück ist weitgehend von Geschiebemergeln bedeckt und vor allem im südöstlichen Teil in seiner Oberflächengestalt von Drumlins gekennzeichnet.

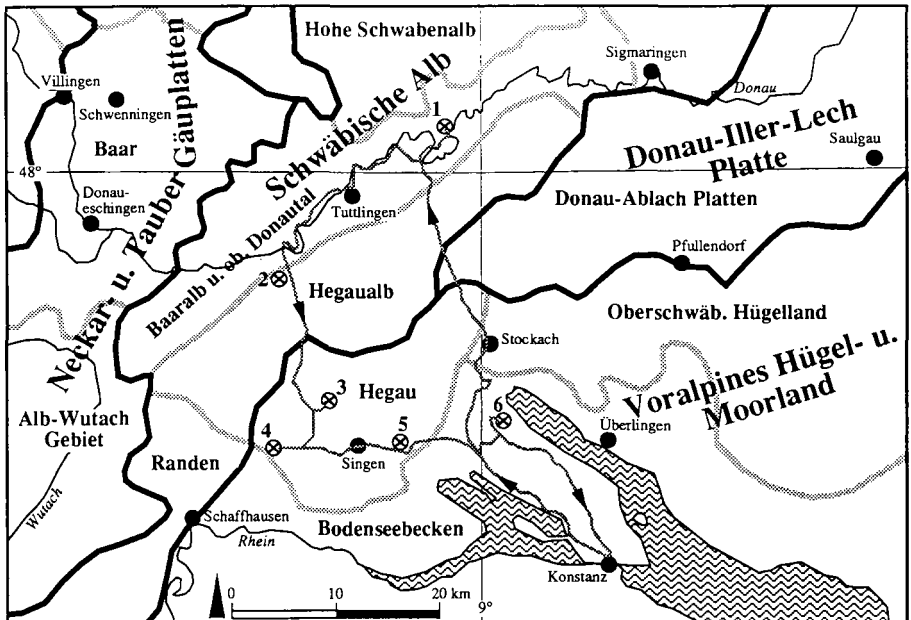


Abb. 1: Naturräumliche Gliederung des Exkursionsraumes (nach Klima-Atlas von Baden-Württemberg, 1953) und Exkursionsroute

2.2 Geologie und Geomorphologie

Im Nordteil wird mit der Schwäbischen Alb die süddeutsche Großscholle erreicht, die mit durchschnittlich 2,4° von NW und SE in den alpinen Vorlandtrog (Molassebecken) einfällt. Die anstehenden Gesteine des Weißen Jura (Malm) erreichen unter der Molassedecke des Hegaus eine Mächtigkeit von rund 400 m. Es überwiegen Kalke (teilweise dolomitisiert) die nebeneinander in Bank- und massiver Schwammfazies vorkommen. Nördlich der miozänen Klifflinie (Abb. 2) wurde in der „Kuppenalb“ teilweise das submarine Relief durch Verwitterung und Abtragung (seit der Kreide) der weicheren Bankkalke wieder herauspräpariert. Südlich der Klifflinie dominieren in der „Flächenalb“ Abrasionsflächen des Molassemeeres. Südlich von Tuttlingen zeugen Bohnerzlehme in flachen Mulden und bis 20 m tiefen Taschen von kreide-/tertiärzeitlicher laterischer Verwitterung. Die Schwäbische Alb weist in den Gesteinen der Hangenden Bankkalke ($w\zeta_3$), Felsenkalke und liegende Bankkalke ($w\delta$ - $w\zeta_1$) und den wohlgeschichteten Kalken ($w\beta$) insgesamt drei Karststockwerke auf. In SW und NE von Tuttlingen versickern hierbei erhebliche Mengen der Donau im $w\beta$ (in manchen Jahren Vollversickerung), welche in Aachtopf, bereits im Einzugsgebiet des Rheins, im $w\zeta$ wieder die Oberfläche erreichen.

Das Donautal im Exkursionsgebiet ist weitgehend als Durchbruchstal in den Kalken des Weißen Jura mit Erweiterungen in mergeligen Partien entwickelt. Der Verlauf der Donau wurde vermutlich im Pliozän (damals noch mit Ur - Aare) in der Tiefenlinie zwischen der nach NW ansteigenden Albhochfläche und dem nach S ansteigenden alpinen Schwemmfächer im wesentlichen festgelegt. Fortdauernde Hebungen führten zur Eintiefung der Donau und Ausräumung der Molassesedimente.

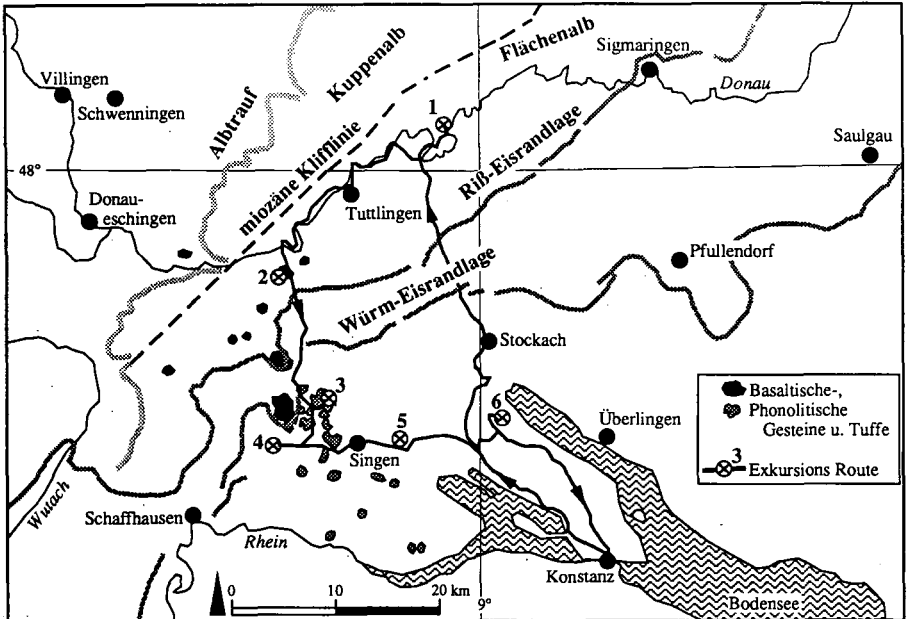


Abb. 2: Wichtige Strukturelemente des Exkursionsraumes (nach Geol. Landesamt, 1954)

Der Hegau im engeren Sinne ist durch das Auftauchen der Molasse aus der mächtigen Quartärdecke des Bodensees sowie Kegelbergen, Tuffdecken und Vulkanschlotten gekennzeichnet. Im Exkursionsgebiet liegt die Molasse (mäßig verfestigte Sande, Konglomerate, Mergel), ab der unteren

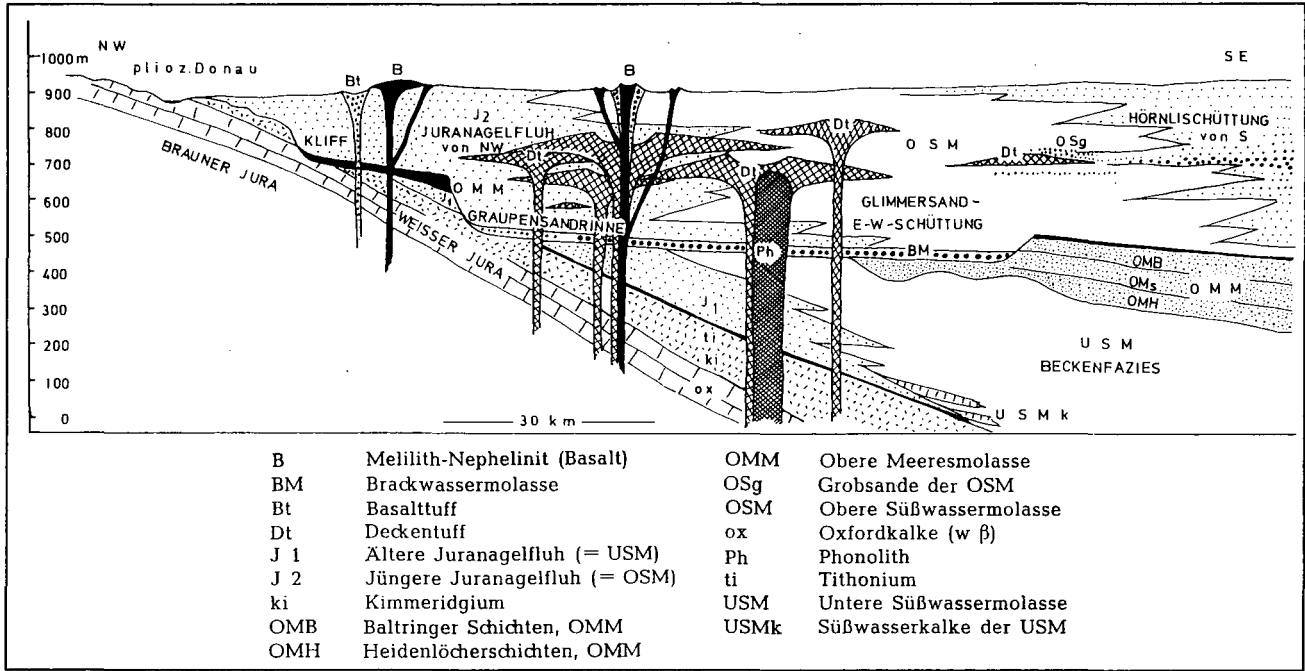


Abb. 3: Geologischer Schnitt durch den pliozänen Hegau
(stark vereinfacht, ohne Bruchtektonik, aus SCHREINER, 1984)

Süßwassermolasse vor (zur Gliederung und Ausprägung der Molasse siehe R. HANDKE, Kap. 2). Am Bodanrück sind die Molassesedimente bis über 1000 m mächtig und keilen zur Donau hin aus. Am ehemaligen Beckenrand, also im nordwestlichen Exkursionsgebiet, ist mit dem älteren und jüngeren Juranagelfluh die Molasse weitgehend in grobklastischer Randfazies ausgebildet.

Der landschaftliche Reiz des Hegaus geht vor allem von den durch Erosion herauspräparierten Vulkanruinen (Kegelberge und Vulkanschlote) aus. Der Hegau-Vulkanismus kann auf die Zeit von ca. 7 bis 14 Mio. Jahre eingegrenzt werden (Mittel- bis Obermiozän). Die nach dem geförderten Volumen bedeutendste vulkanische Eruption förderte in der Mitte des Obermiozäns aus zahlreichen Schloten Deckentuffe (die heute noch im stark abgetragenen Zustand bis 100 m mächtig sind und 20 - 30 km² einnehmen), die zunächst von der oberen Süßwassermolasse überdeckt wurden. Im Zentrum der Deckentuffförderung (Hohenstoffel - Hohenkrähen - Hohentwiel) ist eine Ineinanderschichtung von Krater- und Schlotfüllungen anzunehmen (Abb. 3). Die Tuffe entstammen weitgehend einem SiO₂-armen Magma (35 % SiO₂). Sie enthalten aber auch bis zu 20 % Auswürflinge aus dem Grundgebirge (Granite) und bis zu 15 % aus dem Deckgebirge (am häufigsten Kalksteine des Weißen Jura).

Die höchsten Kegelberge des Hegaus (Hohenstoffel, Hohenhewen, Neuhewen, Hewenegg [Exkursionspunkt D-3.2]) sind mit Basalt (Melilit-Nephelinit) gefüllte Schlote (6 - 13 Mio. Jahre alt), welche an den Gipfeln zu Tage treten (Abb. 4). Wegen der teilweise erhalten gebliebenen senkrecht gerichteten Basaltsäulen mit einer Dicke bis zu 3 m wird angenommen, daß sich die Gipfelbasalte recht nahe an der Landoberfläche zur Zeit ihrer Förderung befinden, sie also nicht stark aborodiert sind.

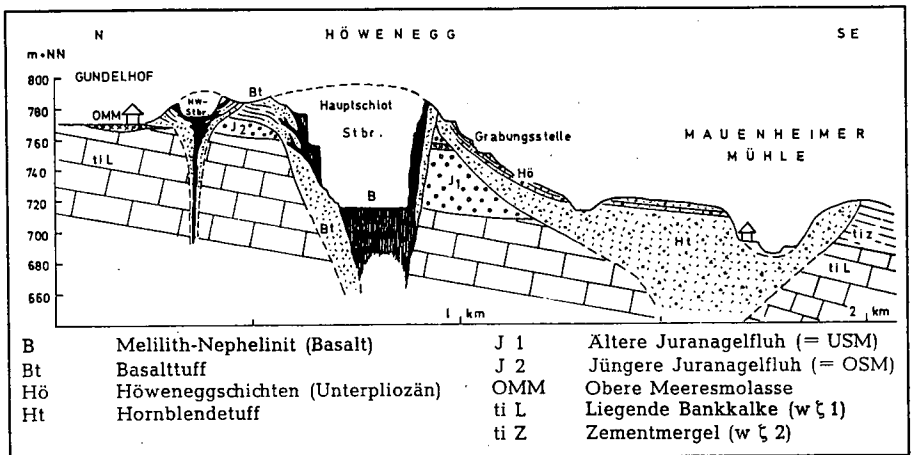


Abb. 4: Hewenegg, geologischer Schnitt, 3 • überhöht, in der Mitte nach SE geknickt (aus SCHREINER, 1984)

Die in der Landschaft markant auffallenden Berge von Hohentwiel, Hohenkrähen und Mägdeberg sind phonolithische (SiO₂-Gehalt 50 - 55 %) Quellkuppen (7 - 8 Mio. Jahre alt), welche Deckentuffe und Molasse durchbrechen, ursprünglich aber unter Deckentuff und Sedimentbedeckung erstarrten.

Weitere vulkanogene Ablagerungen (geringen Volumens) sind Basisbentonit (mit 14,6 Mio. Jahren ältester Vulkanit im Hegau) und Oberer Bentonit. Beide Bentonite treten z. B. am Hohenstoffel auf

(siehe Abb. Exk. D-9). Des weiteren finden sich lokal unregelmäßige Lagen und Stöcke von travertinartigen Kalken, die mit dem Deckentuffvulkanismus in Verbindung stehen dürften.

Der größte Flächenanteil des Hegaus und des Bodenseebeckens ist an der Oberfläche durch pleistozäne Sedimente charakterisiert. Die ältesten pleistozänen Sedimente sind Günz- und Mindelzeitliche Schotter (zu Nagelfluh verfestigt) auf dem Schienerberg und auf dem Bodanrück (Exkursionspunkt D-3.6). Durch die seit dem Piozän anhaltende Hebung und Abtragung haben sich die pleistozänen Schotter ineinander eingetieft, so daß sich eine Schotterterrasse mit oben liegenden ältesten Ablagerungen entwickelt hat (Abb. 5). Sedimente des Ältestpleistozäns (Prägünz) fehlen im Hegau. Alle glazialen Bildungen des weiteren Exkursionsgebietes sind dem Rheingletscher zuzuschreiben, der in seinen ersten Vorstößen (Donau, Günz) dem Tal des Alpenrheins zur Donau folgte. Erst rückschreitende Erosion des Hohnrheins ermöglichte den Ablauf der Schmelzwässer nach W, so daß vor allem während der Riß- und Würmvereisung das Bodenseebecken in seiner jetzigen Form ausgeschürft wurde. Die Rißzeitliche Vereisung reichte im Hegau nur wenige km über die der Würmzeitlichen hinaus (Abb. 2). Die Altmoränen im Hegau sind stark ausgeräumt und eine eigentliche Endmoräne kaum zu beobachten. Die Mächtigkeit der Rißmoräne schwankt von einem dünnen Schleier bis zu Lagen von mehr als 10 m. Hohenstoffel und Hohenhewen ragten ab ca. 680 m bzw. 700 m als Nunatakr über die Gletscheroberfläche.

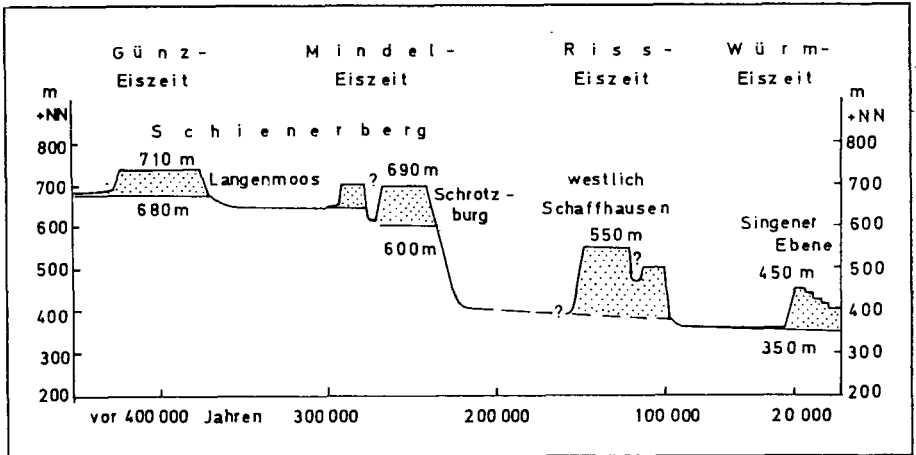


Abb. 5: „Schotterterrasse“ der eiszeitlichen Ablagerungen im Hegau. Ganglinie der Taleintiefung im Gebiet Schienerberg-Schaffhausen. Die nacheiszeitliche Taleintiefung hat die Basis der würmzeitlichen Ablagerungen noch nicht erreicht (aus SCHREINER, 1984)

Ein wesentlich stärkeres Relief zeigt sich innerhalb der äußeren Jugendmoräne. Die Endmoräne tritt meist dreigliedrig (Stände 1 bis 3 des Schaffhausen-Stadiums) auf. Die Grundmoräne reicht teilweise noch über die Endmoränenwälle hinaus. Endmoränen der Stadien 4 und 5 charakterisieren Rückzugshalte des Gletschers bis etwa 5 km innerhalb der äußeren Jugendmoräne. Einheitlich im gesamten Rheingletschergebiet treten Endmoränen der Stadien 6 - 8 (Singen-Stadium) auf. Ein weiteres Stadium 9 (Konstanz-Stadium) wird ebenfalls durch Endmoränen markiert. Außerhalb der Endmoränen wurden von Schmelzwasserströmen Terrassenkiese und eisrandnah abgelagerte Schotter in Mächtigkeiten bis zu 30 m deponiert. Die Geröllzusammensetzung ist mit überwiegenden blaugrauen helvetischen Kalken und reichlich Kristallingeröllen aus den Zentralmassiven der Alpen sehr bunt. Jüngere Schotterterrassen schließen sich beckeneinwärts an die älteren an und lie-

gen jeweils etwas tiefer (Abb. 5). Die größte zusammenhängende Schotterfläche ist bei Singen entwickelt (Exkursionspunkt D-3.5). Schluffige und sandige Beckentone sind mit bis zu über 100 m Mächtigkeit am Untersee, Zellersee und Überlinger See vertreten. Innerhalb der Endmoränen des Singen-Stadiums sind am Bodentrück, aber auch nördlich des Bodensees zahlreiche Drumlins zu finden.

Verwendete Literatur: GEYER u. GWINNER (1991), SCHREINER (1970), SCHREINER (1984).

2.3 Klima

Das Exkursionsgebiet liegt in einem Dreieck, das klimatisch vom Regenschatten des Schwarzwaldes, des orographischen Anstieges zur Schwäbischen Alb und der Staulage der Alpen bestimmt wird. Im Gebiet zwischen Schwäbischer Alb und Schwarzwald ist in der Baar ein kontinentales Regionalklima ausgebildet. Die Jahresniederschläge betragen im Hegau und in der Baar 750 - 800 mm. Sie steigen in nördlicher Richtung auf 900 - 1000 mm auf der Schwäbischen Alb, in westlicher Richtung bis auf 2100 mm auf dem Feldberg (1493 m NN) und in südöstlicher Richtung bis auf über 1000 mm am östlichen Bodensee an. Die Jahresmitteltemperaturen liegen im Hegau bei 7 - 8 °C und betragen auf der Schwäbischen Alb um 6 °C, auf dem Feldberg 3,2 °C und im Bodenseebecken >8 °C. Die durchschnittliche Lufttemperatur während der Vegetationsperiode (Mai - Juli) beträgt im Hegau 14 - 15 °C, auf der Schwäbischen Alb um 13 °C, auf dem Feldberg <10 °C und im Bodenseebecken >15 °C. (Alle Angaben nach: Klima-Atlas von Baden-Württemberg).

Nach der ökologischen Standorteignungskarte für den Landbau (WELLER, 1990) wird der Hegau und das Bodenseebecken als warm bis mäßig warm eingestuft. Südexponierte Standorte am Überlinger See sowie die Inseln Mainau und Reichenau haben mittlere bis gute Eignung für (unter anderem) Weinbau. Allgemein äußert sich die klimatische Gunst im Bodenseebecken mit einer hohen Eignung für den Erwerbsobstbau.

2.4 Vegetation

2.4.1 Schwäbische Alb, Umgebung von Fridingen und Beuron (bei Exkursionspunkt D-3.1)

Die regionale natürliche Waldgesellschaft ist pauschal gesehen der kontinental-submontane Buchenwald. Auf der Hochfläche kommt großflächig der Haargersten-Buchenwald vor, der relativ eng korreliert ist mit dem Auftreten der *Terra fusca*. Es handelt sich also um einen Buchenwald auf karbonatfreien, jedoch basenhaltigen Standorten. Für die Krautschicht kennzeichnend sind neben der namensgebenden Art die eher unspezifischen Arten *Lathyrus vernus*/Frühlings-Platterbse, *Milium effusum*/Waldflattergras und *Oxalis acetosella*/Sauerklee, aber auch *Poa chaixii*/Wald-Rispengras. Lokal bildet die Wimpersegge (*Carex pilosa*) aufgrund ihrer klonalen Ausbreitungsstrategie große, monodominante Rasen. Ist der Boden tiefgründiger, etwa in flachen Mulden oder an seichten Hängen, kann es zu einer recht feuchten Frauenfarn-Waldseggen-Ausbildung kommen (aber auch diese Arten sind nicht sehr spezifisch), ist er flachgründiger und trockener, zu einer Binkelkraut-Ausbildung. Auch eine lokale Dominanz des Binkelkrautes ist ausbreitungsbiologisch bedingt. Große Teile der Haargersten-Buchenwälder haben hohe Fichtenanteile oder sind durch Fichtenforste ersetzt.

An den Hängen ist die verbreitetste Vegetationsform der Binkelkraut-Buchenwald (auf Hangrändern und Hang-Terrae fuscae), in dessen Krautschicht überwiegend weit verbreitete Arten der Kalk-Buchenwälder vorkommen.

Auf schattigen Schutthängen, in tiefen Einschnitten und Tälern mit luftfeuchtem Mikroklima kommen auf den Blockhalden kleinflächig Ahorn-Linden-Ulmen-Eschenwälder in verschiedenen Ausbildungen vor, deren auffallendsten wohl die mit *Lunaria rediviva*/Silberblatt und *Phyllitis scolopendria* sind.

pendrium/Hirschnäsel sind. Ansonsten finden wir dort viele Nitrophyten (z.B. *Galium aparine*/Kletten-Labkraut, *Urtica dioica*/Große Brennnessel, *Aegopodium podagraria*/Giersch und die Schuttpflanze *Geranium robertianum*/Ruprechtskraut). In einigen Schluchten bestimmen im Frühjahr die Geophyten *Leucojum vernum*/Frühlings-Knotenblume und *Corydalis cava*/Hohler Lerchensporn das Bild.

Überwiegend an den warmen, trockenen und mäßig trockenen west- und südexponierten Hängen auf Hang-Rendzinen und Hang-Terrae fuscae nehmen die (Orchideen-) Seggen-Buchenwälder große Flächen ein, soweit sie nicht durch Fichten- und Kiefern-Forste ersetzt sind. In der "mittleren" Ausbildung sind in der meist artenreichen Krautschicht z.B. *Carex montana*/Berg-Segge, *Tanacetum corymbosum*/Ebensträußige Wucherblume und *Vincetoxicum hirundinaria*/Schwalbenwurz kennzeichnend. Lokal gibt es eine Ausbildung mit *Carex alba*/Weiß-Segge, die eine sehr erfolgreiche vegetative Ausbreitungsstrategie besitzt. Recht häufig nimmt *Carex flacca*/Blaugrüne Segge größere Anteile ein, insbesondere auf wechsell Trockenen Standorten an Mergelhängen. An trockenen, sehr flachgründigen Oberhängen findet man kleinflächig Ausbildungen mit *Sesleria varia*/Blaugras. Das Blaugras ist daneben auch dominant in den Blaugras-Buchenwäldern in sehr steilen, flachgründigen Schattenhängen. Auf Schutthalden, die auch durchaus in Bewegung geraten können, stehen Lindenmischwälder mit einer sehr heterogenen Krautschicht, die stark vom Mikrostandortmuster geprägt ist. Die Sommerlinde ist in der Lage, Verletzungen durch Steinschlag gut zu kompensieren.

Sehr charakteristisch für die Felswände und Felsbänder in Süd- bis Südwestexposition ist im Gebiet der äußersten artenreiche Steppenheide-Vegetationskomplex. Wichtigste höherwüchsige Gehölzart ist hier *Sorbus aria*/Mehlbeere, an Sträuchern kommen vor *Cotoneaster integerrima*/Felsenmispel, *Amelanchier ovalis*/Felsenbirne, *Rhamnus cathartica*/Kreuzdorn, *Berberis vulgaris*/Berberitze u.v.a. Sehr viele Gräser und Kräuter besitzen zum einen ein tief in Spalten eindringendes Wurzelwerk und/oder Schutzvorrichtungen und Anpassungen, die die Transpiration an diesem Extremstandort verringern sollen (Behaarung, Wachsschicht, dicke Cuticula, Polsterbildung, eingerollte Blätter, kleine Blätter usw.). Einige wichtige Arten sind *Teucrium montanum*/Berg-Gamander, *Anthyllis vulneraria*/Wundklee, *Carex humilis*/Erd-Segge, *Draba aizoides*/Hungerblümchen, *Festuca cinerea*/Blau-Schwengel, *Allium montanum*/Berg-Lauch.

Eine Besonderheit in den Steilhängen stellen die Schuttfloren dar, die von Arten repräsentiert werden, die mit der Bewegung des Siedlungssubstrates gut zurecht kommen. Dies sind *Vincetoxicum hirundinaria*/Schwalbenwurz, *Galeopsis angustifolia*/Schmalblättriger Hohlzahn, *Rumex scutatus*/Schildpflanze und in schattigen Lagen *Gymnocarpium robertianum*/Ruprechtsfarne und *Cystopteris fragilis*/Blasenfarne mit *Asplenium*/Mauerrauten-Arten.

An Standorten des Seggen-Buchenwaldes haben sich durch Schafbeweidung oder maximal einmalige jährliche Mahd Magerrasen entwickelt, die heute teilweise aufgeforstet sind oder sich in verschiedenen Stadien gehölzartenreicher Sukzessionen befinden. Noch beweidete Flächen besitzen meist nicht mehr ihren ehemaligen Charakter, da die Nutzungsintensität sehr nachgelassen hat. Die "mittlere" Ausbildung auf meist kalkreichen, zumindest aber basenreichen Standorten wird u.a. geprägt von *Bromus erectus*/Aufrechte Treppe, *Brachypodium pinnatum*/Fiederzwenke, *Sanguisorba minor*/Kleiner Wiesenknopf, *Ranunculus bulbosus*/Knolliger Hahnenfuß, *Lotus corniculatus*/Hornklee u.v.a. Bei nachlassender Befahrung durch Schafe machen sich Gehölze (Anflug oder Wurzelbrut) und Saumarten breit.

Magerrasen auf Terrae fuscae beherbergen häufig Versauerungszeiger wie etwa *Genistella sagittalis*/Pfeilginster. Auf wechsell Trockenen bis wechselfeuchten Mergelböden besitzen Arten wie *Carex flacca*/Blaugrüne Segge und *Listera ovata*/Großes Zweiblatt eine große Bedeutung. Je stärker die Beweidung zurücktritt, umso mehr Orchideen machen sich breit.

Das Wirtschaftsgrünland im engeren Sinne (Mähwiesen) sind überwiegend den mäßig trockenen bis mäßig frischen (Salbei-) Glatthaferwiesen und Goldhaferwiesen in verschiedenen Ausbildungen zuzuordnen.

2.4.2 Hegau und westliches Bodenseegebiet

Ganz generell lassen sich folgende relativ weit verbreitete Bodentypen und mehr oder minder natürliche Waldvegetationsformen einander zuordnen:

- Syroseme aus Molassefelsen: Flechten- und Felsbandgesellschaften
- Pararendzinen aus Molasse, Schotternagelfluh und Geschiebemergel in steilen Lagen:
 - a) Sonnenhänge: "Steppenheide" oder "Garide", Geißklee-Kiefernwälder und Orchideen-Seggen-Buchenwälder
 - b) Schatthänge (Entwicklungen bis zu Braunerden): Ahorn-Eschen-Ulmen-Wälder
- Parabraunerden: Waldmeister-Buchenwälder, Simsen-Buchenwälder
- Pseudogleye: Waldmeister-Buchenwälder

2.4.2.1 Bodanrück bei Liggeringen (Umgebung von Exkursionspunkt D-3.6)

Wie anderswo auch, wurden die Wälder des Bodanrücks seit vielen Jahrhunderten relativ intensiv genutzt. Das heutige Waldbild läßt nur noch andeutungsweise den früheren Zustand erkennen: kleine Stockausschlagsflächen stellen Relikte der Niederwaldnutzung dar; hierbei spielte die Buche bis ins letzte Drittel des 19. Jh. die dominierende Rolle, bevor die Niederwaldungen mit ihren riesigen Stöcken in Buchenhochwald umgewandelt wurden. Die Häufung von Magerkeitszeigern in exponierten und steilen Lagen gehen auf die Waldweide und die Streunutzung zurück, Nutzungen, deren Auswirkungen bis auf den heutigen Tag nicht kompensiert werden konnten. Kohlplatten lassen auf hohen Holzeinschlag, insbesondere der Buche, schließen. Der Großprivatwald des Hauses Bodman wird außerdem schon lange intensiv jagdlich genutzt.

Die Buche ist nach wie vor die Hauptbaumart; hinzu kommen als wichtige Nutzholzarten Ahorn, Esche, Bergulme und Eiche. Die Pionierholzarten Aspe, Birke, Weide und Hasel spielen nur eine untergeordnete Rolle, da sie in aller Regel ausgeholt werden. Von den Nadelholzarten besitzen Tanne und Eibe natürliche Vorkommen in den nach Norden exponierten Molasseschluchten zum Überlinger See. Die Kiefer ist kleinflächig dort zu finden, wo der Standort durch Streunutzung sehr degradiert wurde; natürliche Wuchsorte hat sie nur kleinflächig auf flachgründigen, trockenen Molassertübben. Fichte, Lärche und Douglasie sind ausschließlich forstlich eingebracht.

Die derzeitige Vegetation stellt sich sehr differenziert dar und spiegelt ein Stück weit das Spektrum der weiteren Umgebung wider. Großflächig beherrscht der nur mit einer recht artenarmen, schütterten und von Allerweltsarten bestimmten Krautschicht ausgestattete Waldmeister-Buchenwald das Bild (*Galium odoratum*/Waldmeister und *G. sylvaticum*/Wald-Labkraut, *Anemone nemorosa*/Buschwindröschen, *Carex sylvatica*/Wald-Segge, *Lamium galeobdolon*/Goldnessel). An Schatthängen treten Ausbildungen mit hochwüchsigen Farnen (*Dryopteris carthusiana*/Dornfarn, *D. filix-mas*/Wurmfarn, *D. dilatata*/Breitblättriger Dornfarn, *Athyrium filix-femina*/Frauenfarn) und mit *Impatiens noli-tangere*/Rühr-mich-nicht-an auf, Hinweise auf ein besseres Wasser- und Nährstoffangebot und ein ausgeglicheneres Mikroklima. Diese Flächen zeigen teilweise eine Pseudoverleyung.

Auf der tief entkalkten altpleistozänen Hochfläche wird der Waldmeister-Buchenwald vom Simsen-Buchenwald abgelöst (großflächig auch ersetzt durch Fichtenforste), der eine ebenfalls recht artenarme Krautschicht mit ausgesprochenen Säurezeigern besitzt. Wichtige Arten sind: *Luzula alba*/Weiße Hainsimse, *L. sylvatica*/Wald-Hainsimse, *Avenella flexuosa*/Drahtschmiele, *Melampyrum pratense*/Wiesen-Wachtelweizen, *Veronica officinalis*/Wald-Ehrenpreis, *Vaccinium myrtil-*

lus/Heidelbeere u.a. Diese Säurezeigergruppe, ergänzt durch die auffallende Art *Calamagrostis arundinacea*/Wald-Reitgras, findet sich auch an den von altpleistozänem Schutt überdeckten, mehr oder weniger südexponierten Hängen der Kirchbergschichten. An den sonnigen Oberhängen hat sich ein magerer Buchenwald entwickelt, der sich differenzieren läßt in Bestände mit einer sehr schütterten Decke aus Magerkeitszeigern (*Poa nemoralis*/Hain-Rispengras, *Brachypodium sylvaticum*/Fiederzwenke, *Solidago virgaurea*/Goldrute, *Hieracium sylvaticum*/Wald-Habichtskraut u.a.) und solche, bei denen einige Orchideen und Seggen hinzutreten (z.B. *Carex digitata*/Finger-Segge und *C. montana*/Berg-Segge, *Epipactis atrorubens*/Rotbraune Stendelwurz, *Plantanthera bifolia*/Wald-Hyazinthe, *Cephalanthera damasonium*/Weißes Waldvögelein). Nur sehr kleinflächig und in extremer Kuppenlage kommt eine sehr artenreiche Pflanzengemeinschaft vor, die dem unscharfen Begriff der Steppenheide oder aber der "Garide" (nach Bartsch 1925) am besten zuzuordnen ist. Wichtigste Arten sind im Gebiet *Pinus sylvestris*/Waldkiefer, *Sorbus aria*/Mehlbeere, *Quercus petraea*/Traubeneiche und *Q. robur*/Stieleiche, *Berberis vulgaris*/Berberitze, *Ligustrum vulgare*/Liguster, *Coronilla emerus*/Strauchwicke, *Vincetoxicum hirundinaria*/Schwalbenwurz, *Trifolium rubens*/Purpur-Klee, *T. montanum*/Berg-Klee, *Anthericum ramosum*/Ästige Graslilie, *Geranium sanguineum*/Blutroter Storchschnabel u.v.a.

Wo die Obere Süßwassermolasse in Hanglagen unterhalb der pleistozänen Decken in Bewegung geraten ist, hat sich ein sehr ausgeprägtes, kuppiges Mikrorelief mit stau- und rieselfeuchten Böden gebildet. Hier spielt die Buche eine untergeordnete Rolle und Bergahorn und Esche treten in den Vordergrund (Ahorn-Eschenwald). Die Krautschicht wird geprägt von nitrophytischen, also anspruchsvollen Arten wie *Aegopodium podagraria*/Giersch, *Angelica sylvestris*/Wald-Engelwurz, *Carex pendula*/Hänge-Segge, *Cirsium oleraceum*/Kohl-Kratzdistel und *Urtica dioica*/Große Brennnessel; lokal kann sich *Allium ursinum*/Bärlauch mit seiner erfolgreichen Ausbreitungsstrategie als dominante Art durchsetzen (Bärlauch-Ahorn-Eschenwald). Großflächig und mit einem sehr alten, beeindruckenden Baumbestand kommen diese Wälder in den Molasseschluchten zum Überlinger See hin vor, in denen das Wasser- und Nährstoffangebot sehr gut ist und ein ausgeglichenes, luftfeuchtes Mikroklima herrscht.

Wo regelrechte Quellhorizonte vorkommen, konnte sich auf sinterhaltigem, vermoortem Hangley ein Naßwald etablieren, in dem im wesentlichen *Alnus glutinosa*/Schwarzerle die Baumschicht bildet. Charakteristisch für diese rieselnassen Flächen sind außerdem *Frangula alnus*/Faulbaum, *Viburnum opulus*/Gemeiner Schneeball, *Carex acutiformis*/Sumpf-Segge, *C. pendula*/Hänge-Segge, *Equisetum maximum*/Riesen-Schachtelhalm und *Scirpus sylvaticus*/Wald-Simse.

Als weitere, weitgehend natürliche Vegetationsform wären noch die Ahorn-Eschen-Ulmen-Wälder in den tief eingeschnittenen Kerbtälern der Molasse zu nennen. Da es sich in den Bächen um calciumhydrogencarbonatreiches Wasser handelt, fällt nach einer gewissen Fließstrecke Kalksinter aus, der das Kerbtal ein Stück weit auffüllt, so daß die Gewässer sehr breite, flache Profile erhalten haben, in denen bei mittleren Abflüssen nur geringe Wasserspiegelhöhen erreicht werden. Neben den namengebenden Baumarten findet man etliche anspruchsvolle Arten, darunter auch einige Frühjahrsgeophyten. Stellvertretend seien genannt *Caltha palustris*/Sumpfdotterblume, *Cirsium oleraceum*/Kohl-Kratzdistel, *Ranunculus lanuginosus*/Wolliger Hahnenfuß, *Adoxa moschatellina*/Moschuskraut, *Corydalis cava*/Hohler Lerchensporn und *Equisetum hyemale*/Winter-Schachtelhalm.

Die bodensauren Fichtenforste beherbergen bei geringer Deckung der Krautschicht einige Säurezeiger, die oben schon genannt sind. Auffallend sind im Gebiet - und zwar unabhängig von Gestein, Exposition und Inklination - die nitrophytischen Fichtenforste, die geprägt sind von den Sträuchern *Rubus fruticosus* agg./Brombeere, *Sambucus nigra*/Schwarzer Holunder und *S. racemosa*/Roter Holunder und nitrophytischen Stauden wie *Urtica dioica*/Große Brennnessel.

Zum Dauergrünland seien nur einige wenige Ausführungen gemacht, da die diesbezüglichen Literaturangaben schon veraltet sind und kaum eigene Erhebungen vorliegen: An den mehr oder minder südexponierten, also warmen und trockenen, steileren Molassehängen (Pararendzinen) gibt es artenreiche "Enzian-Schillergrasrasen", die ehemals regelmäßig beweidet wurden und sich heute in unterschiedlichen Stadien der Versaumung und Verbuschung befinden. Die wichtigsten Gräser sind *Bromus erectus*/Aufrechte Trepse und *Brachypodium pinnatum*/Fiederzwenke. Als Wechselrockniszeiger treten *Carex flacca*/Blaugrüne Segge, an Weideunkräutern (als Relikte der alten Nutzung) verschiedene Enziane, *Ononis repens*/Kriechende Hauhechel und *O. spinosa*/Dornige Hauhechel und *Euphorbia cyparissias*/Zypressen-Wolfsmilch sowie an Saumarten (die die weitere Entwicklung andeuten) z.B. *Trifolium medium*/Zick-Zack-Klee, *Medicago falcata*/Sichel-Luzerne, *Melittis melissophyllum*/Immenblatt und *Bupleurum falcatum*/Sichel-Hasenohr auf.

Auf den Buchenwaldstandorten befinden sich heute als "Ersatzgesellschaften" überwiegend Glatthaferwiesen in unterschiedlichen Ausbildungen. Sie sind meist recht arten- und blütenreich. Je nach Standortverhältnissen gibt es trockenere, mäßig frische, wechselfrische, frische und mäßig feuchte Glatthaferwiesen mit entsprechendem Arteninventar. - Im Bereich von Quellhorizonten in der Molasse und entsprechend rieselfeuchten, kalkreichen Standorten, die ursprünglich von Naßwäldern eingenommen waren (s.o.), haben sich bei reduzierter Nutzung hochstauden- und großseggenreiche Bestände eingestellt. Kleinflächig findet man auch niedrigwüchsige Pflanzengemeinschaften mit einigen charakteristischen Arten der Kalkniedermoore (*Carex davalliana*/Davall-segge, *Primula farinosa*/Mehl-Primel, *Eriophorum latifolium*/Breitblättriges Wollgras, *Pinguicula vulgaris*/Gemeines Fettkraut).

2.5 Nutzung, insbesondere landwirtschaftliche Nutzung

Detaillierte Unterlagen zur Nutzungsverteilung und Nutzungsintensität liegen nicht vor. Es sollen deshalb nur ein paar Gemeindestatistiken vorgestellt werden, und zwar von Liggeringen, Bodman und Möggingen (um Exkursionspunkt D-3.6), Hilzingen (um D-3.4) und Immendingen (um D-3.2).

	Hilzingen	Liggeringen	Bodman	Möggingen	Immendingen
Flächennutzung in ha					
Siedlungsfläche	510	66	113	40	477
Landw. Fläche	3696	517	766	234	2281
Waldfläche	1004	490	755	77	4226
LF	3224	390	622	172	2035
davon Acker	2000	211	407	90	825
Dauergrünland	1192	173	64	82	1205
Rebland, Obstbau u.a.	30	2	150	-	1
Viehhaltung					
Rinder	3671	318	60	-	2051
davon Milchkühe	1588	54	-	50	696
Schweine	783	168	19	10	1122
Schafe	102	141	-	-	-
GV	2901	286	66	83	1760
Betriebsstruktur					
Betriebe	143	38	36	9	156
1-10 ha	45	24	14	6	46
10-20 ha	21	8	10	0	27
20-30 ha	17	3	3	1	8
>30 ha	45	2	2	1	22
Haupterwerbsbetriebe	70	6	16	-	24
Nebenerwerbsbetriebe	65	31	17	-	82

3. Exkursionspunkte

3.1 Profilbeschreibungen, Profildaten und Interpretation

Exkursionspunkt D-3.1: Terra fusca, Bärental

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 3 km NNE von Fridingen a. d. Donau	
Top. Karte		R: 34 96.225
1: 25 000:	7919, Mühlheim a. d. Donau	H: 53 22.825
Landschaft:	Schwäbische Alb, oberes Donautal	
Höhe:	769 m ü. NN	
Relief:	Hochfläche, 2 % S-exp.	
Vegetation:	Fichte, Buche	
Nutzung:	Forst	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 6 - 7 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	ca. 800 mm	
Gestein:	Kalkstein, weißer Jura ϵ - ζ (ki-ti)	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ofh	4-0	teilweise zersetzte Nadeln, wenig Blätter, verfilzt mit
Ah	0-5	7,5 YR 3/2, schwach steiniger Tu2, sehr stark humos, stark sauer, krümelig bis subpolyedrisch, locker, sehr stark durchwurzelt, welliger und deutlicher Übergang zu
Ah - T	-16	7,5 YR 4/4, schwach steiniger Tu2, stark humos, stark sauer, subpolyedrisch bis polyedrisch, mittel dicht, mittel durchwurzelt, ebener und undeutlicher Übergang zu
T1	-36	7,5 YR 4/6, schwach steiniger Tu2, humos, mittel sauer, polyedrisch, mittel dicht, mittel bis schwach durchwurzelt, ebener und undeutlicher Übergang zu
T2	-52	7,5 YR 4,5/6 schwach bis mittel steiniger Tu2, sehr carbonatarm, polyedrisch, mittel dicht, schwach durchwurzelt, welliger und deutlicher Übergang zu
cmCv	->80	7,5 YR 5/6 sehr stark steiniger Tu2, extrem carbonatreich, subpolyedrisch, mittel dicht, nicht durchwurzelt,
Bodentyp	KA4:	Terra fusca
	FAO:	Chromic Cambisol
Humusform:	KA4:	Moder

**Tab. 1: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften
D-3.1, Terra fusca, Bärenthal**

D-3.1 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2351	Ah	0-5	<5	0.4	1.3	2.5	4	38	58	n.b.	n.b.
2352	Ah-T	-16	<5	0.6	1.4	2.5	5	37	59	n.b.	n.b.
2353	T1	-36	<5	0.9	1.3	2.2	4	33	62	n.b.	n.b.
2354	T2	-52	10	1.1	1.0	1.7	4	37	59	n.b.	n.b.
2355	cmCv	-80	80	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
cmC (KLR; 1.8%)				0.0	0.0	0.1	0.1	24	76	-	-

D-3.1 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o mmg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2351	Ah	0.72	71.2	38	29	n.b.	20	31.4	2.2	n.b.	0.07	1.10
2352	Ah-T	0.99	62.2	36	29	n.b.	22	33.7	2.3	n.b.	0.07	1.33
2353	T1	1.11	59.3	43	33	n.b.	24	32.2	2.2	n.b.	0.07	1.23
2354	T2	1.12	59.1	43	28	n.b.	25	32.5	1.4	n.b.	0.04	0.82
2355	cmCv	1.12	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	18.3	0.4	n.b.	0.02	0.16

D-3.1 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P(CAL) mg/kg	K(CAL) mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
2350	Ofh	n.b.	5.0	0.0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2351	Ah	n.b.	4.5	0.0	10.7	4.70	22.7	12	90
2352	Ah-T	n.b.	4.5	0.0	5.5	2.70	20.3	4	63
2353	T1	n.b.	5.2	0.0	2.9	2.00	14.6	0	1
2354	T2	n.b.	6.5	0.3	1.2	1.30	9.2	0	0
2355	cmCv	n.b.	7.3	51.9	1.0	n.b.	-	-	-

D-3.1 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _e /kg	KAK _{eff} mmol _e /kg	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg						BS %	
				H		Ca		Mg	K		Na
				33	34	35	36	37	38		39
2350	Ofh	695	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
2351	Ah	607	322	42		257	19	3.9	n.b.	87	
2352	Ah-T	455	313	33		263	14	2.6	n.b.	89	
2353	T1	412	341	40		291	8	1.7	n.b.	88	
2354	T2	451	355	18		325	9	2.8	n.b.	95	
2355	cmCv	243	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

D-3.1 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) ≈%						
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm+VB.Cl	Chl	
		40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g
2351	Ah	2.9	2.7	3.7	0.7	40	-	5	20	5	20	10
2352	Ah-T	2.5	2.8	3.7	0.7	40	-	5	20	5	20	10
2353	T1	2.5	3.1	4.1	0.7	45	-	10	20	3	20	5
2354	T2	2.9	3.1	4.1	0.6	45	-	10	20	3	20	5
2355	cmCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
cmC (KLR)						29	-	36	28	-	7	-

D-3.1 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde										Fe _{d/t}	Fe _{d/T}
		Fe _t	Ca _t	Mg _t	K _t	Na _t	P _t	Ti _t	Mn _t	Zr _t	Ti/Zr		
		%	%	%	%	%	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g			
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	18/42	18/9
2351	Ah	7.1	1.2	0.5	1.09	0.9	1.5	9.0	2.04	0.44	20	0.45	.064
2352	Ah-T	6.9	0.9	0.5	1.05	0.8	1.2	8.8	1.92	0.44	20	0.49	.063
2353	T1	6.9	0.9	0.5	0.90	0.5	1.1	8.4	1.75	0.42	20	0.46	.054
2354	T2	7.4	1.1	0.6	0.87	0.5	0.9	7.8	1.24	0.33	23	0.44	.056
2355	cmCv	3.2	18.3	0.4	0.39	0.3	0.6	4.8	0.39	0.11	43	0.57	.047
	cmC (KLR)	22.4	0.4	0.9	2.20	0.2	2.8	5.7	0.55	0.11	54	-	-

Erläuterungen D-3.1, Terra fusca, Bärenthal

D-3.1 ist bis 36 cm vollständig entkalkt, der T2-Horizont enthält noch einige Kalksteinreste. Der Oberboden (Ah und Ah-T) ist stark versauert (pH 4.5). Mit knapp 45 kg organischer Substanz/m² weist die Terra fusca die höchste Humusanreicherung aller hier gezeigten Böden auf. Etwa ein Viertel der organischen Substanz liegt als Auflagehumus vor. Die polyedrische Gefügebildung ist in den T-Horizonten gut ausgeprägt.

Der darunterliegende Kalkstein ist kaum dolomitisiert, nahezu quarzfrei und weist einen Kalklösrückstand (KLR) von 1,8 % auf. Für die Annahme, daß D-3.1 aus einem den unterliegenden Kalkstein ähnlichen KLR hervorgegangen ist, hätten 29 t Kalkstein/m² bzw. knapp 12 m Kalkstein gelöst werden müssen. Im KLR sind gegenüber dem Terra-Material jedoch Fe_t und Tongehalt deutlich höher und Sandgehalt, Ti_t und Zr_t deutlich niedriger, so daß eine Materialverwandschaft nur sehr partiell in Frage kommt. Gegenüber dem KLR ist die Terra fusca quarzhaltig. Die Unterschiede im Tonmineralbestand ließen sich durch Illitverwitterung, Chloritisierung und Kaolinitisierung erklären.

Von einer starken Lößbeteiligung ist am südlichen Albrand ebenfalls nicht auszugehen, obwohl der relativ hohe Schluffgehalt in D-3.1 dies nahelegen würde. Südwestdeutsche Lössse haben geringere Ti-Gehalte und deutlich höhere Chloritgehalte (primärer) als das vorliegende Terra-Material (vgl. Angaben in STAHR, 1979 und JAHN et al., 1994). Gegen eine nennenswerte Lößbeteiligung sprechen auch die geringen Gradienten der Tiefenfunktionen von Textur, Fe_a, Tonminerale und Gesamtgehalte. Es ist daher naheliegend davon auszugehen, daß die Terra fusca aus einem Kalkstein (bzw. auch Mergelfugen) entstand, der im KLR nicht vergleichbar dem unterliegenden Kalkstein ist.

Die Durchwurzelbarkeit der mittelgründigen Terra fusca ist prinzipiell gut, in den T-Horizonten durch das polyedrische Gefüge jedoch leicht eingeschränkt. Die nutzbare Feldkapazität ist zwar gering, dennoch ist zusammen mit dem klimatischen Aspekt der Standort als frisch einzustufen. Die Luftkapazität ist sehr hoch. Die KAK_{eff} ist im gesamten Wurzelraum mittel, mit sehr basenreicher Sättigung. Die Nährstoffreserven sind für K und P hoch, für N, Ca und Mg sehr hoch. Die Verfügbarkeit ist für K gering und für P sehr gering.

Exkursionshalt „Knopfmacherfels“

Landschaftlich reizvoller Ausblick in das Engtal der Donau (gegenüber der Albhochfläche [≈ 770 m NN] hier ca. 160 m eingetieft) mit Steppenheidenkomplexen und Felsschuttfuren an den Schluchtwänden. 700 m in nördlicher Richtung Mündung eines Kanals, der die Donauversickerung bei Fridingen umgeht. 2 km nördlich in Donauschleife Kloster Beuron. In östlicher Richtung Schloß Bronnen, das auf geneigten Weiß Jura ζ - Massenkalkfelsen steht. Dahinter ausgeräumte Senke in der noch Relikte von Zementmergeln liegen (geologische Beschreibung in GEYER & GWINNER, 1984).

Exkursionshalt „Donauversinkung bei Immendingen“

Im Bereich Immendingen - Möhringen - Fridingen sind zahlreiche Donauversinkungsstellen bekannt. Bei Immendingen ist die Donauversinkung durch die tektonisch abgesenkte „Immendinger Scholle“ (Immendinger Flexur) verursacht. Das Wasser tritt in der Aachquelle (Quelltopf) in 11 km Entfernung im Einzugsgebiet des Rheins wieder aus (Abb. 6). Die Durchlaufzeit beträgt 3 bis 8 Tage. Vor allem in den 20er und 30er Jahren des letzten Jahrhunderts führte dieses Phänomen zu anhaltenden Rechtsstreitigkeiten zwischen der Tuttlinger Gemeinde, welche die Versinkungsstellen mit Reisig und Lehm verstopften und den Aach-Müllern denen dadurch Wasser entzogen wurde. Letztendlich führten diese Streitigkeiten zu ersten hydrogeologischen Tracerversuchen mit Öl, Salz und Fluoreszin mit denen sehr früh der Wasserweg nachgewiesen werden konnte.

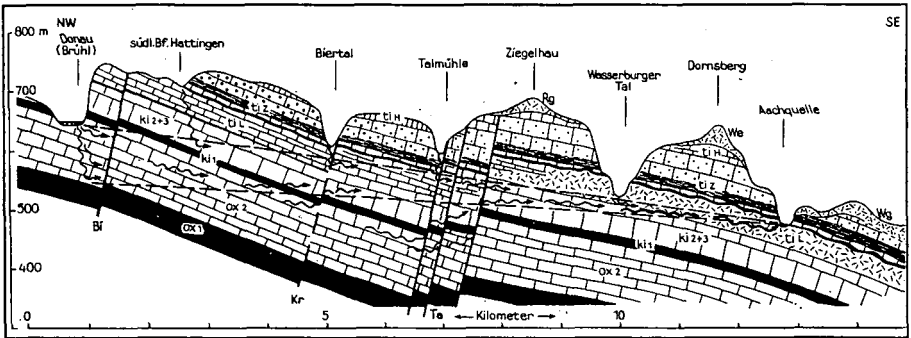


Abb. 6: Geologischer Schnitt Donau-Aach, 10fach überhöht. Wahrscheinlicher Weg des versunkenen Donauwassers zur Aachquelle bei hohem und niedrigem Füllungsstand des Karstgebietes. Die ki 1-Mergel werden an Verwerfungen durchsetzt.

(Bi, Kr, Ta = Biesendorfer-, Kriegertal-, Talmühle-Verwerfung)
(aus: SCHREINER, 1984)

Exkursionspunkt D-3.2, Braunerde, Hewenegg

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Ostseite Steinbruch Hewenegg	
Top. Karte		R: 34 80.775
1: 25 000:	8018, Tuttlingen	H: 53 07.310
Landschaft:	Schwäbische Alb, Hegaualb	
Höhe:	770 m ü. NN	
Relief:	Oberhang, 20 %, S-exponiert	
Vegetation:	Buchen, Weißdorn	
Nutzung:	Naturschutzgebiet	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 6 - 7 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	ca. 800 mm	
Gestein:	Basaltischer Tuff	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ah	0-18	5-7,5 YR 2/1, mittel grusiger Lu, sehr stark humos, mittel sauer, krümelig bis subpolyedrisch, sehr locker, sehr stark durchwurzelt, welliger und undeutlicher Übergang zu
Bv	-38	7,5 YR 3/2, mittel grusiger Ls3 - Lt2, mittel humos, mittel sauer, polyedrisch bis subpolyedrisch, sehr locker, stark durchwurzelt, ebener und undeutlicher Übergang zu
ilCv 1	-52	10 YR 4/5, sehr stark grusiger (stark verwittert, schneidbar) Ls4, schwach humos, mittel sauer, kohärent bis subpolyedrisch, sehr locker, schwach durchwurzelt, eben und undeutlicher Übergang zu
ilCv 2	->70	10 YR 4/4, sehr stark grusiger (stark verwittert, schneidbar) Ls4, mittel sauer, kohärent, locker, nicht durchwurzelt,
Bodentyp	KA4:	Braunerde
	FAO:	Humic Cambisol
Humusform:	KA4:	Mull

**Tab. 2: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften
D-3.2, Braunerde, Hewenegg**

D-3.2 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol.%	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
2341	Ah	0-18	30	7.6	5.8	9.5	23	49	29	n.b.	n.b.
2342	Bv	-38	20	8.3	13.3	15.0	37	38	25	n.b.	n.b.
2343	ilCv 1	-52	60	5.3	28.8	22.2	56	22	21	n.b.	n.b.
2344	ilCv 2	-70	80	4.5	34.5	27.0	66	16	19	n.b.	n.b.

D-3.2 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _o mg/g	Fe _o /d	Mn _o mg/kg
	<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>
2341	Ah	0.75	73.6	57	33	n.b.	19	16.1	7.0	3.7	0.43	1.13
2342	Bv	0.93	67.5	45	38	n.b.	30	13.2	12.5	6.7	0.95	2.13
2343	ilCv 1	0.93	68.3	54	43	n.b.	35	10.3	7.8	8.7	0.76	0.75
2344	ilCv 2	1.04	64.5	54	45	n.b.	39	8.4	6.4	7.0	0.76	0.96

D-3.2 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P _(CAL) mg/kg	K _(CAL) mg/kg
	<i>1</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>30</i>
2341	Ah	n.b.	5.9	0.0	5.2	2.70	19.1	45	307
2342	Bv	n.b.	5.6	0.0	2.0	1.30	15.5	27	105
2343	ilCv 1	n.b.	5.5	0.0	0.8	0.60	13.8	28	66
2344	ilCv 2	n.b.	5.5	0.0	0.5	0.30	15.3	28	65

D-3.2 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _e /kg	KAK _{eff} mmol _e /kg	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg						BS %
	<i>1</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>38</i>	<i>39</i>
2341	Ah	652	537	43		320	161	13.3	n.b.	92
2342	Bv	885	694	31		387	269	6.7	n.b.	95
2343	ilCv 1	1065	996	39		632	320	5.2	n.b.	96
2344	ilCv 2	1077	1085	42		673	364	6.3	n.b.	96

D-3.2 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) ≈%							Si _o mg/g
	<i>1</i>	<i>40a</i>	<i>40b</i>	<i>40c</i>	<i>40d</i>	<i>41a</i>	<i>41b</i>	<i>41c</i>	<i>41d</i>	<i>41e</i>	<i>41f</i>	<i>41g</i>	
2341	Ah	11.3	21.6	2.1	2.6	5	-	5	5	80	-	5	0.69
2342	Bv	10.5	24.0	2.3	2.4	5	-	5	5	80	-	5	1.52
2343	ilCv 1	12.9	27.6	2.4	2.8	5	-	5	5	85	-	5	1.40
2344	ilCv 2	11.9	28.8	2.4	2.8	5	-	5	5	85	-	0	1.46

D-3.2 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
	<i>1</i>	<i>42a</i>	<i>42b</i>	<i>42c</i>	<i>42d</i>	<i>42e</i>	<i>42f</i>	<i>42g</i>	<i>42h</i>	<i>42i</i>	<i>42j</i>	<i>18/42</i>	<i>18/9</i>
2341	Ah	10.1	4.4	3.1	0.72	0.5	4.9	29.1	2.65	0.45	65	0.16	.061
2342	Bv	10.4	3.3	3.5	0.51	0.3	4.5	29.2	2.12	0.46	63	0.13	.054
2343	ilCv 1	9.8	2.7	3.9	0.39	0.2	4.1	26.5	1.26	0.40	66	0.11	.049
2344	ilCv 2	9.5	2.8	4.3	0.36	0.1	4.3	24.7	1.24	0.38	64	0.09	.046

Erläuterungen D-3.2, Braunerde, Hewenegg

In D-3.2 ist der Basaltuff deutlich chemisch verwittert (Gesamtgehalte an Na ca. 15 %, Ca und Mg ca. 50 % der Ausgangsgehalte), mäßig versauert und verbraunt. Die Humusanreicherung ist mit knapp 15 kg/m² nur mäßig.

Hohe Schluffgehalt im Oberboden, das Auftreten von Kaolinit, Illit und Chlorit sowie erhöhte K_t-Gehalte legen Lößbeteiligung nahe. Eine deutliche Lößbeteiligung müßte allerdings auch eine deutliche Erniedrigung der Ti und (unwesentlich) der Zr-Gehalte zur Folge haben ($Ti_{(L\ddot{o}B)}/Ti_{(Cv2)} \text{ \AA } 0,2$, $Zr_{(L\ddot{o}B)}/Zr_{(Cv2)} \text{ \AA } 0,9$), es ist jedoch eher das Gegenteil der Fall. Die gleichmäßige Ti/Zr-Tiefenfunktion spricht für homogenes Ausgangsmaterial, gleichwohl ist aus dem Tonmineralbestand eine geringe Lößbeteiligung anzunehmen.

Im Vergleich mit den Totwassergehalten und der KAK_{pot} erscheinen die ermittelten Tongehalte zu gering. Die Totwassergehalte dürften aus methodischen Gründen (unzureichende Entwässerung vesikulärer Poren) überhöht sein. Die Berechnung der KAK_{pot} auf den Ton (OS berücksichtigt) liefert Werte von knapp 2000 mmol_c/kg Ton im Oberboden bis knapp 6000 mmol_c/kg Ton im Unterboden. Dies weist auf eine erhebliche Smectitisierung auch größerer Kornfraktionen hin. Die zu bilanzierenden knapp 90 kg Ton/m² geben damit das Ausmaß der Mineralverwitterung nur zu ca. 1/3 wider. Die Si_o- und Al_o-Gehalte sind zwar gegenüber nichtbasaltischer Böden überhöht, ihr Verhältnis und ihre Gehalte lassen jedoch keine allophanischen Tonbestandteile in nennenswertem Umfang vermuten.

Die Fe-Oxidmenge ist mit 4,3 kg/m² (6,8 kg Goethit bzw. 7,4 kg Ferrihydrit) relativ gering, der Aktivitätsquotient $Fe_{o/d}$ mit durchschnittlich 0,7 für eine Braunerde sehr hoch. Letzteres läßt auf aktive Fe-Oxidbildung und geringe Kristallinität schließen. Das geringe Ausmaß der Fe-Oxidbildung ($Fe_{d/t}$ durchschnittlich 0,13) erklärt sich aus hohen (und stabilen) Magnetitanteilen basaltischer Ausgangsgesteine (vgl. z.B. A-3, A-5 und A-8 in JAHN et al., 1994).

Insgesamt erscheint die Tonmineralbildung (Smectitisierung) fortgeschrittener als die Verbrennung. Durch Vorverwitterung sind offensichtlich leicht mobilisierende Si-Anteile (aus Gläsern) längst abgeführt, so daß keine Bildung Si-reicher Tonminerale (Allophan, Imogolit, Halloysit) erkennbar ist.

Die Anreicherung von Mull-Humus ist mäßig. Das bereits hohlraumreiche Ausgangsmaterial weist auch im verwitterten Zustand noch ein sehr hohes Porenvolumen und geringe Lagerungsdichte auf (teilweise isovolumetrische Verwitterung). Das Gefüge ist mit Polyedern bis Subpolyedern im Bv gut entwickelt.

Der mittelgründige Wurzelraum ist durch mittlere Grusgehalte in seiner Durchwurzelbarkeit etwas eingeschränkt. Die nutzbare Wasserkapazität ist wahrscheinlich mäßig, die Luftkapazität dagegen sehr hoch. Die KAK_{eff} ist hoch, im Unterboden sogar sehr hoch, mit durchgehend sehr basenreicher Sättigung. Die Nährstoffreserven sind für K mittel, für N mittel bis hoch und für Ca, Mg und P sehr hoch. Verfügbares P ist im Gesamtprofil gering, -K hoch (Im Ah + Bv; sehr gering und mittel).

Exkursionspunkt D-3.3, Braunerde-Pararendzina, Mühlhausen

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Lederbohl, ca. 1,2 km südl. von Mühlhausen	
Top. Karte		R: 34 85.850
1: 25 000:	8118 Engen	H: 52 95.780
Landschaft:	Voralpines Hügel- u. Moorland, Hegau	
Höhe:	603 m ü. NN	
Relief:	Oberhang, 10 %, NE-exponiert	
Vegetation:	Wiese	
Nutzung:	Grünland	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 8 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	ca. 750 mm	
Gestein:	Geschiebemergel, Deckentuff	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ah	0-18	10 YR 4/4, mittel steiniger Lu, sehr stark humos, carbonatreich, krümelig bis subpolyedrisch, sehr locker, sehr stark durchwurzelt, ebener und deutlicher Übergang zu
Bvc	-40	10 YR 5/6, mittel steiniger Uls - Lt, mittel humos, carbonatreich, subpolyedrisch bis polyedrisch, locker, stark durchwurzelt, welliger und abrupter Übergang zu
II elCvc 1	-70	graugefleckter, mittel steiniger Slu - Uls, schwach humos, sehr carbonatreich, (Pseudomycel), mittel dicht, mittel durchwurzelt, diffuser Übergang zu
elCvc 2	->100	grau gefleckter, mittel steiniger Slu - Uls, sehr carbonatreich (Pseudomycel), mittel dicht, schwach durchwurzelt
Bodentyp	KA4:	Braunerde - Pararendzina
	FAO:	Haplic Calcisol
Humusform:	KA4:	Mull

**Tab. 3: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften
D-3.3, Braunerde-Pararendzina, Mühlhausen**

D-3.3 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine		Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)					kf	
			Gew. %	gS	mS	fS	Σ S	U	T	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2821	Ah	0-18	10	5.1	12.4	9.7	27	25	47	n.b.	n.b.
2822	Bvc	-40	20	5.2	10.0	9.0	24	30	46	n.b.	n.b.
2823	IlelCvc 1	-70	15	7.9	14.1	9.6	32	30	39	n.b.	n.b.
2824	elCvc 2	-100	21	10.9	11.9	7.5	30	24	45	n.b.	n.b.

D-3.3 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _o	Fe _{o/d}	Mn _o
				1.0	2.0	2.5	4.2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/kg
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2821	Ah	0.74	70.8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	18.0	3.6	0.7	0.20	0.93
2822	Bvc	1.04	61.5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	17.5	3.8	1.8	0.22	1.00
2823	IlelCvc 1	1.17	57.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	22.1	2.1	0.3	0.10	0.70
2824	elCvc 2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15.6	1.8	0.2	0.12	0.56

D-3.3 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P _(CAL) mg/kg	K _(CAL) mg/kg
2821	Ah	n.b.	7.3	13.6	5.7	4.45	12.8	109	670
2822	Bvc	n.b.	7.5	16.0	2.2	1.37	16.1	84	263
2823	IlelCvc 1	n.b.	7.6	23.5	1.3	0.44	29.5	44	217
2824	elCvc 2	n.b.	7.6	24.9	n.b.	n.b.	-	53	261

D-3.3 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff} mmol/kg	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
				H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2821	Ah	778	534	-	-	486	29	19.0	0.1	100
2822	Bvc	521	470	-	-	446	16	6.8	0.6	100
2823	IlelCvc 1	387	386	-	-	367	13	5.8	0.6	100
2824	elCvc 2	365	347	-	-	328	11	7.3	1.0	100

D-3.3 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) ≈ %						Si _o mg/g	
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm+Vchl.S	Chl		
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	
2821	Ah	83	10.6	5.4	4.8	<1	-	3	5	90	1	1	0.6
2822	Bvc	93	11.2	4.0	4.6	<1	-	3	5	87	3	2	1.3
2823	IlelCvc 1	121	9.1	3.4	3.9	?	-	1	5	90	2	2	0.5
2824	elCvc 2	130	7.5	3.3	3.8	?	-	2	8	86	1	3	0.4

D-3.3 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde										Fe _{d/t}	Fe _{d/T}
		Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t mg/g	Ti _t mg/g	Mn _t mg/g	Zr _t mg/g	Ti/Zr		
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	18/42	18/9
2821	Ah	7.0	8.3	2.1	1.82	<0.1	6.2	10.1	2.24	0.30	34	0.26	.047
2822	Bvc	7.1	9.0	2.2	1.62	<0.1	5.5	10.3	2.24	0.32	33	0.25	.046
2823	IlelCvc 1	6.3	12.0	2.1	1.59	<0.1	4.3	10.0	1.70	0.25	39	0.35	.072
2824	elCvc 2	5.3	12.9	2.0	1.77	<0.1	4.1	9.0	1.46	0.23	39	0.29	.043

Erläuterungen D-3.3, Braunerde-Pararendzina, Mühlhausen

In D-3.3 ist das morphologisch gut erkennbare zweischichtige Ausgangsmaterial kaum entkalkt und unterhalb 18 cm mit Sekundärkalk angereichert. Verbraunung und Verlehmung entstammt weitgehend einer Vorverwitterung. Die Humusanreicherung ist mit 25 kg/m^2 für eine Pararendzina relativ hoch.

Die unterschiedlichen Ausgangsmaterialien sind makromorphologisch besser erkennbar als an den Profildaten. Die Tiefenfunktionen der Gesamtgehalte, aber auch des Tonmineralbestandes zeigen, daß die Feinerde in allen Teilen des Profils weitgehend vulkanischen Ursprungs ist. Hohe Kalkgehalte, aber auch andere Xeno-Mineralen wie z.B. Quarz und Biotit sind im (basaltischen) Deckentuff nicht ungewöhnlich (vgl. Kap. 2.2).

Die relativ hohe Tonmenge von über 300 kg/m^2 und auch von Fe_d ($16,4 \text{ kg/m}^2$) muß überwiegend auf eine (smectitische) Vorverwitterung zurückgeführt werden. Im Vergleich zu D-3.2 verlief die Fe-Oxidbildung allerdings effektiver (Fe_d -Gehalte und $\text{Fe}_{d/t}$ höher, $\text{Fe}_{o/d}$ wesentlich niedriger) obwohl auch in D-3.3 im gesamten Profil Magnetit feststellbar ist. Einen Hinweis auf die kräftige Vorverwitterung des basaltischen Materials geben auch die sehr niedrigen Na-Gehalte und die relativ niedrigen Mg- und nichtcarbonatischen Ca-Gehalte (2,6 - 2,9 %) wider. Der smectitische Tonmineralbestand wird in allen Horizonten durch eine auf den Ton berechnete KAK_{pot} von ca. $1000 \text{ mmol}_c/\text{kg}$ Ton widergespiegelt.

Die Anreicherung von Mull-Humus ist relativ hoch. In der oberen Hälfte ist das Profil stark gelockert, an der Oberkante krümelig, darunter polyedrisch bis subpolyedrisch aggregiert. Biologisch weist der Boden eine hohe Aktivität (reichlich Wurm- und Enchytaenlösung) auf (siehe 3.3).

Der mittelgründige Wurzelraum ist nur wenig in seiner Durchwurzelbarkeit eingeschränkt. Auch der Unterboden ist durchwurzelt. Die nutzbare Feldkapazität ist wahrscheinlich gering (trockener Standort) und die Luftkapazität sehr hoch. Die KAK_{eff} ist in allen Horizonten hoch und vollständig mit Basen gesättigt. Die Nährstoffreserven sind für N hoch, für Ca, Mg, K und P sehr hoch. Verfügbares P ist im Gesamtprofil hoch, -K ist sehr hoch (im Ah + Bvc; mittel und sehr hoch)

Exkursionspunkt D-3.4, Pelosol-Gley, Riedheim/Hohenstoffel

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 1 km W von Riedheim	
Top. Karte	8218, Gottmadingen	R: 34 80.130
1: 25 000:		H: 52 91.980
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau	
Höhe:	461 m ü. NN	
Relief:	ebener Talbereich (Schmelzwasserrinne)	
Vegetation:	Ackergras	
Nutzung:	Grünland	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 8 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	ca. 750 mm	
Gestein:	Auenlehm	

Profilbeschreibung:

Horizont Tiefe (cm)

rAp	0-15	10 YR 3/3, schwach steiniger uL, sehr stark humos, stark carbonatisch, krümelig, Schneckenschalen, Tonscherben, locker, sehr stark durchwurzelt, abrupter und ebener Übergang zu
Go-Ach	-30	10 YR 4/3, mittel steiniger Lts, stark humos, carbonatreich, subpolyedrisch, Ziegelbrocken, Kalk- u. Mn-Konkretionen, mitteldicht, stark durchwurzelt, welliger und deutlicher Übergang zu
P-Gro	-50	2,5 Y 5/2, mittel steiniger Lt, mittel humos, carbonatarm, polyedrisch, rostfleckig, mittel dicht, mittel durchwurzelt, welliger und undeutlicher Übergang zu
P-Gr	-60	2,5 Y 5/1, schwach steiniger Lt - Tl, prismatisch, Holzkohlestückchen, sehr carbonatarm, mittel dicht bis dicht, ebener und abrupter Übergang zu
Goc	->100	2,5 Y 6/1, 10 YR 6/8, N9, mittel steiniger Tl, prismatisch, rostfleckig, Kalkkonkretionen, stark carbonatisch, dicht
Bodentyp	KA4:	Pelosol - Gley
	FAO:	Verti-Gleyic Cambisol
Humusform:	KA4:	Mull

**Tab. 4: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften
D-3.4, Pelosol-Gley, Riedheim/Hohenstoffel**

D-3.4 Nr.	Horizont	Tiefe	Steine	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf	kf	
		cm	Gew. %	gS	mS	fS	Σ S	U	T	cm/sec	cm/d	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2831	rAp	0-15	2	1.5	6.6	12.8	21	39	41	n.b.	n.b.	
2832	Go-Ach	-30	14	2.7	5.7	11.9	20	36	44	n.b.	n.b.	
2833	P-Gro	-50	12	0.6	2.9	7.9	11	47	41	n.b.	n.b.	
2834	P-Gr	-60	5	0.9	2.7	5.3	9	41	50	n.b.	n.b.	
2835	Goc	-100	16	— 2.2 —			2	40	58	n.b.	n.b.	

D-3.4 Nr.	Horizont	Dichte	Poren-	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _o	Fe _{o/d}	Mn _o	
		g/cm ³	vol. %	1.0	2.0	2.5	4.2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/kg	
		1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2831	rAp	0.89	62.9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10.6	1.7	1.5	0.16	0.30	
2832	Go-Ach	1.08	57.0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10.7	1.8	1.6	0.17	0.27	
2833	P-Gro	1.12	56.9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	11.1	1.3	2.5	0.12	0.18	
2834	P-Gr	1.31	50.9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	11.9	0.9	1.9	0.08	0.46	
2835	Goc	1.39	49.3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	25.0	0.9	n.b.	0.04	n.b.	

D-3.4 Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	P _(CAL)	K _(CAL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
		23	24	25	26	27	28	29	30
2831	rAp	n.b.	7.1	7.9	8.4	7.7	10.9	61	94
2832	Go-Ach	n.b.	7.4	13.2	5.1	5.1	9.9	14	68
2833	P-Gro	n.b.	7.4	1.5	2.0	2.6	7.6	7	40
2834	P-Gr	n.b.	7.3	0.1	0.9	1.1	7.8	9	80
2835	Goc	n.b.	7.4	7.4	0.4	0.7	—	2	59

D-3.4 Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg		H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
		31	32	33	34	35	36	37	38	39
2831	rAp	629	563	—	—	532	29	1.8	0.5	100
2832	Go-Ach	478	550	—	—	520	28	1.6	0.4	100
2833	P-Gro	555	517	—	—	478	37	1.3	0.4	100
2834	P-Gr	480	434	—	—	387	44	2.3	0.4	100
2835	Goc	377	373	—	—	332	38	2.3	0.5	100

D-3.4 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2μm)≈ %						Si _o mg/g	
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm+Vchl.S	Chl		
		40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	
2831	rAp	44	8.6	5.1	1.8	17	—	7	29	38	6	3	0.3
2832	Go-Ach	58	9.0	4.8	1.4	16	—	5	30	37	9	3	0.3
2833	P-Gro	10	6.5	5.4	0.7	15	—	4	14	53	11	3	0.3
2834	P-Gr	5	5.8	6.2	0.5	15	—	6	21	51	4	3	0.4
2835	Goc	21	8.2	6.9	0.8	17	—	7	26	41	6	3	n.b.

D-3.4 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t mg/g	Ti _t mg/g	Mn _t mg/g	Zr _t mg/g	Ti/Zr	Fe _d /t	Fe _d /T
	<i>l</i>	<i>42a</i>	<i>42b</i>	<i>42c</i>	<i>42d</i>	<i>42e</i>	<i>42f</i>	<i>42g</i>	<i>42h</i>	<i>42i</i>	<i>42j</i>	<i>18/42</i>	<i>18/9</i>
2831	rAp	3.7	6.6	1.3	1.51	<0.1	2.1	4.6	0.74	0.12	39	0.29	.032
2832	Go-Ach	3.7	8.3	1.4	1.45	<0.1	1.6	4.7	0.66	0.10	46	0.29	.030
2833	P-Gro	3.8	2.0	1.4	1.59	<0.1	1.1	5.9	0.41	0.19	31	0.29	.028
2834	P-Gr	4.1	1.1	1.4	1.92	<0.1	0.7	5.9	0.74	0.22	27	0.29	.024
2835	Goc	5.4	4.3	1.6	2.15	<0.1	1.0	6.0	0.90	0.17	36	0.46	.046

Erläuterungen D-3.4, Pelosol-Gley, Riedheim/Hohenstoffel

Der ursprünglich schichtige Schwemmlehm in D-3.4 ist durch Entkalkung und Rekarbonatisierung unterschiedlich kalkhaltig. Unterschiede in der Textur zeigen eher Unterschiede der Materialanlieferung als der Bodenentwicklung. Deutlicher Schichtungshinweis ist die irreguläre Tiefenfunktion von Ti/Zr. Holzkohle bis in 60 cm Tiefe und Ziegelbrocken bis in 30 cm Tiefe belegen die rezente Sedimentation und den anthropogenen Einfluß.

Die gegenüber D-3.2 und D-3.3 deutlich geringeren Fe-, Ti- und Zr-Gehalte zeigen, daß hier nur wenig (basaltischer) Deckentuff vorliegen kann (auch höhere Quarz und niedrigere Magnetitgehalte). Demgemäß ist auch der in der Tiefenfunktion recht gleichförmige Tonmineralbestand durch die Entwicklungsreihe Illit bis chloritisierter Smectit (bei Smectit-Dominanz) gekennzeichnet, die andernorts stattgefunden hat.

Fe ist deutlich im Goc angereichert (höchster Fe_d- und Fe_t-Gehalt, höchstes Fe_d/t-Verhältnis). Das sehr niedrige Fe_{o/d}-Verhältnis läßt vermuten, daß diese Vergleyung reliktscher Natur ist und die aktuelle Vergleyung im Go-Ach, zusammen mit Carbonatisierung stattfindet. Insgesamt weist D-3.4 ebenso viel Fe_d auf wie D-3.1 (18,3 kg/m²).

Die Akkumulation von 43 kg/m² Mull-Humus ist beträchtlich und spiegelt Beschränkungen im Umsatz (Wasserhaushalt) sowie stabile Ton-Humuskopplung wider. Dennoch ist die biologische Aktivität (Regenwürmer) vor allem im Oberboden hoch (siehe 3.3). Die gelegentliche Trocknung des Unterbodens ist an der prismatischen Gefügebildung erkennbar.

Der tiefgründige Wurzelraum wird vor allem durch gelegentlich hohen Grundwasserstand (und auch durch prismatisches Gefüge) in seiner Durchwurzelbarkeit eingeschränkt. Die Luftkapazität ist zumindest in den oberen Horizonten vermutlich hoch. Die KAK_{eff} ist bis 60 cm hoch, darunter mäßig und in allen Horizonten mit Basen gesättigt. Die Nährstoffreserven sind allesamt (N, P, K, Ca, Mg) hoch. Die verfügbaren Mengen sind bis 1 m Tiefe für P gering und für K hoch (bis 50 cm; sehr gering - gering und gering).

Exkursionspunkt D-3.5, Rötliche Parabraunerde, Singen

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Kiesgrube, ca. 4,5 km E von Singen	
Top. Karte		R: 34 92.210
1: 25 000:	8219 Singen	H: 52 92.240
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau / Bodenseebecken	
Höhe:	537 m ü. NN	
Relief:	Terrassenkuppe geringer Höhe	
Vegetation:	Eiche	
Nutzung:	Forst	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 8 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	ca. 770 mm	
Gestein:	Würm - Terrassenkies (Rückzugschotter, Singen-Stadium)	

Profilbeschreibung:

Horizont Tiefe (cm)

Ah	0-10	7,5 YR 4/2, stark kiesiger SI, stark humos, mittel sauer, krümelig - singulär, sehr locker, stark durchwurzelt, ebene und abrupte Grenze zu
Al	-45	7,5 YR 6/4, sehr stark kiesiger SI, schwach humos, stark sauer, subpolyedrisch - singulär, locker, schwach durchwurzelt, ebene und deutliche Grenze zu
Bt	-90	5 YR 4/6, sehr stark kiesiger Ls, stark sauer, polyedrisch - singulär, Tonbeläge, dicht, sehr schwach durchwurzelt, ebene und deutliche Grenze zu
elCc	->100	2,5 Y 5/3, sehr stark kiesiger S, carbonatreich, singulär, Kalkkrusten an der Unterseite der Steine, dicht
Bodentyp	KA4:	Parabraunerde, DBG (1985): Rötliche Parabraunerde
	FAO:	Chromic Luvisol
Humusform:	KA4:	Mull

**Tab. 5: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften
D-3.5, Rötliche Parabraunerde, Singen**

D-3.5 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Gew. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0791	Ah	0-10	41	7	21	18	46	34	20	n.b.	n.b.
0792	Al	-45	62	15	21	18	54	31	15	n.b.	n.b.
0793	Bt	-90	56	5	14	18	37	25	38	n.b.	n.b.
0794	eICc	-100	78	20	53	9	82	10	8	n.b.	n.b.

D-3.5 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o mg/kg
				1.0	2.0	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0791	Ah	0.96	61.9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7.8	3.0	n.b.	0.38	0.37
0792	Al	1.16	56.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7.7	1.4	n.b.	0.18	0.28
0793	Bt	1.43	46.6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15.2	2.3	n.b.	0.15	0.42
0794	eICc	1.69	37.6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3.2	0.4	n.b.	0.12	0.09

D-3.5 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P _(CAL) mg/kg	K _(CAL) mg/kg
0791	Ah	n.b.	5.1	0.0	4.1	2.2	18.6	11	30
0792	Al	n.b.	4.3	0.0	0.8	0.5	16.0	3	13
0793	Bt	n.b.	4.8	0.0	0.5	0.5	10.0	1	33
0794	eICc	n.b.	7.3	23.1	0.1	0.1	10.0	3	10

D-3.5 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _c /kg	KAK _{eff} mmol _c /kg	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS %
				H	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
0791	Ah	171	149	85		125	13	2.1	0.8	95
0792	Al	84	44	65		20	8	1.0	0.7	68
0793	Bt	221	177	68		125	43	2.4	1.5	97
0794	eICc	27	-	0		275	11	0.9	0.6	100

D-3.5 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm)≈ %						
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm+Vchl.S	Chl	
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g
0791	Ah	1.4	2.1	1.4	0.4	10	-	1	15	3	58	13
0792	Al	0.8	2.6	1.9	0.2	10	-	2	12	5	57	14
0793	Bt	1.8	4.4	3.5	0.4	6	-	5	23	21	42	3
0794	eICc	95.4	13.2	1.4	0.3	11	-	21	26	24	15	3

D-3.5 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t mg/g	Ti _t mg/g	Mn _t mg/g	Zr _t mg/g	Ti/Zr	Fe _{d/t}	Fe _{d/t} F
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	18/42	18/9
0791	Ah	1.8	0.5	0.4	0.84	1.3	0.7	2.8	0.74	0.19	15	0.45	.042
0792	Al	1.9	0.4	0.4	0.98	1.5	0.4	2.8	0.59	0.18	16	0.40	.052
0793	Bt	4.5	0.6	0.8	1.29	1.5	0.7	3.5	0.81	0.18	20	0.34	.040
0794	eICc	1.6	10.3	1.9	0.95	1.0	0.4	1.5	0.49	0.09	16	0.20	.049

Erläuterungen D-3.5, Rötliche Parabraunerde, Singen

In D-3.5 sind die sandigen Schotter (Calcit-mergelig) des spätwürmzeitlichen Rheingletschers bis 90 cm vollständig entkalkt, im Cc mit Sekundärkalk angereichert, verbraunt und rubefiziert und lessiviert. Die Humusanreicherung ist mit knapp 9 kg/m^2 (Tab. 7) relativ gering. Die Tiefenfunktionen von Ti und Zr legen eine Inhomogenität der Schotter zwischen Bt und Cc nahe.

Die Entkalkungsleistung ist mit rund 150 kg/m^2 in ähnlicher Größenordnung (wie auch die Humusakkumulation) wie in vergleichbaren Rötlichen Parabraunerden in der südlichen Oberrheinebene bei 600 mm Jahresniederschlag und 10°C Jahresmitteltemperatur (JAHN et al. 1994). Im Gegensatz zu den Rötlichen Parabraunerden des Rheintales ist D-3.5 deutlich stärker versauert, im basenärmsten Horizont (Al) jedoch immer noch als basenreich ($\text{BS} = 68\%$) einzustufen.

Die Fe-Oxidmenge ist mit $6,1 \text{ kg Fe}_2\text{O}_3/\text{m}^2$ ($9,6 \text{ kg}$ Goethit) beachtlich, ca. 40 % hiervon dürfte lithogen sein, während ca. 60 % neugebildet wurden. Ca. 35 % des Gesamt Eisens ist zu Fe-Oxid umgesetzt. Mit 5 YR 4/6 ist der Bt deutlich rubefiziert, Hämatit jedoch röntgenographisch kaum (DXRD) nachweisbar. Rötliche Parabraunerden des Rheintales können ein Hämatit / Hämatit + Goethit-Verhältnis bis zu 0,3 aufweisen (SCHWERTMANN et al., 1982). Die Rubefizierung wird als vorbronzezeitlich angenommen (MOLL, 1970).

Die 514 kg/m^2 silikatischer Feinerde enthalten 142 kg Ton, wovon ca. 1/3 lithogen vorhanden war und 2/3 neugebildet wurden. Smectit (aus der Illitverwitterung) ist im Oberboden fast vollständig chloritisiert, Dechloritisierung noch nicht erkennbar. Von der Tonverlagerung wurden ca. 30 kg Ton/m^2 ergriffen (ähnlich intensiv wie in Parabraunerden des Rheintales), wobei sich das Fe-Oxid / Tonverhältnis im Bt etwas erniedrigte und das Ti/Zr-Verhältnis etwas erhöhte.

Die Anreicherung von Mull-Humus ist relativ gering. Zur Oberkante hin wurde das Ausgangsmaterial zunehmend gelockert, aber infolge von Lessivierung durch Sackung und Einlagerung nur wenig verdichtet. Das Einzelkorngefüge des Ausgangsmaterials ist im Bt nur schwach in Polyeder umgewandelt, im Oberboden krümelig strukturiert.

Der tiefgründige Wurzelraum ist weniger durch den Bt-Horizont eingeschränkt als insgesamt die Durchwurzelbarkeit durch sehr hohen Kiesgehalt. Die nutzbare Wasserkapazität ist wahrscheinlich gering, die Luftkapazität dagegen hoch. Die KAK_{eff} ist mäßig im Ah und Bt und sehr gering im Al. Der Al ist basenreich, alle anderen Horizonte nahezu oder vollständig basengesättigt. Die Nährstoffreserven sind für N und P mittel, für K mittel - hoch, für Ca und Mg sehr hoch. Die Verfügbarkheit von K ist gering, die von P sehr gering.

Exkursionspunkt D-3.6, Parabraunerde, Liggeringen

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 2 km N von Liggeringen (Bodanrück)	
Top. Karte		R: 35 01.320
1: 25 000:	8220 Überlingen West	H: 52 94.370
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Bodenseebecken	
Höhe:	605 m ü. NN	
Relief:	konvexer Oberhang, 25 %, SSE-exponiert	
Vegetation:	Buche, Eiche, Kiefer	
Nutzung:	Forst	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 7,5 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	ca. 800 mm	
Gestein:	Nagelfluh (altpleist. Terrassenschotter oder Geröllage der Kirchberger Schichten ?)	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ofh	+10-0	Zersetzte und humifizierte Streu, Nadelreste, einzelne Steine, mineralische Substanz verfilzt mit
Ah	0-10	10 YR 5/6, mittel steiniger Sl, mittel humos, sehr stark sauer, krümelig bis subpolyedrisch, sehr locker - locker, mittel durchwurzelt, ebener und deutlicher Übergang zu
Al	-45	10 YR 6/8, stark steiniger Sl, schwach humos, sehr stark - stark sauer, subpolyedrisch - singulär, Grabgänge bis 25 cm mit humosem Material gefüllt, mittel dicht, mittel durchwurzelt, welliger und undeutlicher Übergang zu
Bt	-70	7,5 YR 5/8, stark - sehr stark steiniger Lt, stark - mittel sauer, polyedrisch, Tonbeläge, dicht, schwach durchwurzelt, welliger und undeutlicher Übergang zu
Bt+Cv	-82	7,5 YR 5/8, sehr stark steiniger Ls, sehr carbonatreich, subpolyedrisch - singulär, im oberen Teil Tonbeläge, dicht, welliger und deutlicher Übergang zu
emCc	->100	2,5 Y 4/6, sehr stark steiniger Ls, sehr carbonatreich, singulär, teilw. verbacken, Carbonatausscheidungen auf Steinen, dicht
Bodentyp	KA4:	Parabraunerde
	FAO:	Haplic Alisol
Humusform:	KA4:	Moder

**Tab. 6: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften
D-3.6, Parabraunerde, Liggeringen**

D-3.6 Nr.	Horizont	Tiefe	Steine	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)					kf	kf	
		cm	Gew. %	gS	mS	fS	Σ S	U	T	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2750	Ofh	+10-0	10								
2751	Ah	0-10	21	8.4	12.9	25.9	47	41	12	n.b.	n.b.
2752	Al	-45	46	10.2	10.8	25.1	46	40	14	n.b.	n.b.
2753	Bt	-70	51	8.6	8.7	15.1	32	28	40	n.b.	n.b.
2754	Bt-Cv	-82	69	9.8	13.8	23.2	47	34	19	n.b.	n.b.
2755	emCc	-100	74	15.2	17.3	22.3	55	34	11	n.b.	n.b.

D-3.6 Nr.	Horizont	Dichte	Poren-	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _{o/d}	Mn _o
	cm	g/cm ³	vol. %	1.0	2.0	2.5	4.2	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/kg
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2750	Ofh	0.29	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4.3	1.8	n.b.	0.41	0.30
2751	Ah	1.09	57.3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5.6	1.6	n.b.	0.29	0.27
2752	Al	1.31	50.4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7.7	0.7	n.b.	0.10	0.18
2753	Bt	1.40	48.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	23.8	1.0	n.b.	0.03	0.46
2754	Bt-Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7.3	0.4	n.b.	0.03	n.b.

D-3.6 Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _f	C/N	P(CAL)	K(CAL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
2750	Ofh	n.b.	3.8	0.0	19.8	9.30	21.3	28	205
2751	Ah	n.b.	3.4	0.0	2.4	1.20	20.0	3	24
2752	Al	n.b.	4.0	0.0	1.2	1.50	8.0	1	17
2753	Bt	n.b.	5.0	0.0	0.6	0.90	6.7	0	37
2754	Bt-Cv	n.b.	n.b.	28.5	n.b.	n.b.	-	n.b.	n.b.
2755	emCc	n.b.	n.b.	43.5	n.b.	n.b.	-	n.b.	n.b.

D-3.6 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff} mmol/kg	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS %
				H	Al	Ca	Mg	K	Na	
				31	32	33	34	35	36	
2750	Ofh	747	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2751	Ah	165	70	55	10	3.3	2.0	0.4	22	
2752	Al	126	46	36	6	1.8	1.1	0.7	22	
2753	Bt	369	200	4	174	17.8	2.9	1.4	98	
2754	Bt-Cv	136	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

D-3.6 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) ≈ %						
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm+V	chl.S	Chl
		40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g
2750	Ofh	2.6	1.2	0.8	0.8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2751	Ah	0.9	2.0	1.4	0.2	8	-	8	34	0	47	3
2752	Al	0.9	2.9	1.2	0.2	8	-	6	18	0	63	5
2753	Bt	3.2	5.5	3.1	0.3	4	-	4	19	29	42	2
2754	Bt-Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5	-	8	22	52	11	2
2755	emCc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6	-	9	26	51	6	2

D-3.6 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t mg/g	Ti _t mg/g	Mn _t mg/g	Zr _t mg/g	Ti/Zr	Fe _{d/t}	Fe _{d/T}
	<i>l</i>	<i>42a</i>	<i>42b</i>	<i>42c</i>	<i>42d</i>	<i>42e</i>	<i>42f</i>	<i>42g</i>	<i>42h</i>	<i>42i</i>	<i>42j</i>	<i>18/42</i>	<i>18/9</i>
2751	Ah	1.4	0.3	0.3	0.79	0.95	0.2	2.9	0.11	0.22	14	0.41	.048
2752	Al	1.9	0.2	0.3	0.92	1.01	0.1	2.9	0.14	0.20	14	0.41	.054
2753	Bt	5.1	0.7	0.8	1.42	0.61	0.3	3.3	0.59	0.15	22	0.47	.061
2754	Bt-Cv	2.9	12.0	0.8	1.20	0.58	0.3	2.4	0.64	0.13	19	0.25	.049
2755	emCc	1.8	18.8	0.6	0.87	0.65	0.3	1.5	0.47	0.09	17	-	-

Erläuterungen D-3.6, Parabraunerde, Liggeringen

In D-3.6 ist der Nagelfluh (Calcit-Mergel), bis 70 cm vollständig entkalkt, im Cc mit Sekundärkalk angereichert, verbraunt und lessiviert. Die Anreicherung an organischer Substanz ist mit knapp 20 kg/m² etwas mehr als doppelt so hoch wie in D-3.5. Fast die Hälfte der organischen Substanz liegt in der Moder-Auflage vor. Die Tiefenfunktionen von Ti und Zr legen (bei Berechnung auf Kalkfreiheit) eine relative Homogenität des Ausgangsmaterials nahe.

Bei kalkreicherem Ausgangsgestein ist die Entkalkungsleistung mehr als doppelt so hoch wie in D-3.5. Gegenüber D-3.5 ist D-3.6 deutlich stärker versauert (im Oberboden pH <4) und im Ah und Al mittelbasisch bis basenarm.

Die Fe-Oxidmenge ist mit 7,2 kg Fe_d/m² (11,4 kg Goethit) etwas stärker verbraunt, wobei etwa die Hälfte der Fe-Oxide lithogenen Ursprungs sein dürften. Die Intensität der Verbraunung ist bei einem Fe_{d/t}-Verhältnis von 0,42 für das gesamte Profil deutlich höher als in D-3.5. Von Rubefizierung ist hier nicht auszugehen.

Die 590 kg Feinerde/m² enthalten 125 kg Ton, wovon knapp die Hälfte neugebildet wurde. Smectit (aus der Illitverwitterung) ist im Oberboden vollständig chloritisiert, Dechloritisierung läuft möglicherweise im Ah (höherer Anteil Illit/Smectit-Wechselagerung) bereits ab. Von der Tonverlagerung war gegenüber D-3.5 nur etwa die Hälfte der Tonmenge ergriffen, dennoch ist die Erhöhung der Ti-Gehalte und Erniedrigung der Zr-Gehalte im Bt deutlich diagnostizierbar.

Die Anreicherung organischer Substanz in der Auflage ist durch geringe biologische Aktivität, vor allem von Regenwürmern begründet (siehe Tab. 9 und Erläuterungen). Der Oberboden ist weniger gelockert als in D-3.5, die Gefügeentwicklung dagegen ähnlich.

Insgesamt ist gegenüber D-3.5 die Parabraunerde Liggeringen deutlich stärker verwittert. Einer höheren Entkalkungsleistung folgte intensivere Verbraunung und Entbasung. Tonneubildung und Tonverlagerung waren dagegen weniger stark ausgeprägt. Es ist davon auszugehen, daß in Liggeringen die Bodenbildung früher begann und die Lessivierung bei stärkerer Versauerung schneller endete.

Auch im tiefgründigen D-3.6 ist der Wurzelraum weniger durch den Bt als durch die hohen Schottergehalte in seiner Durchwurzelbarkeit eingeschränkt. Nutzbare Wasserkapazität und Luftkapazität sind ähnlich wie D-3.5 einzuschätzen, der Wasserhaushalt aber auf Grund der Hangneigung und Exposition deutlich angespannter. Die KAK_{eff} ist mäßig bis mittel im Bt, gering im Ah und sehr gering im Al mit basenarmen bis mittelbasischen Verhältnissen im Ah und Al und fast basengesättigt im Bt. Die Nährstoffreserven sind für P gering - mittel, für K mittel, für N, Ca und Mg hoch bzw. sehr hoch. Die Verfügbarkeit von K ist gering, die von P sehr gering.

3.2 Zusammenstellung der Bodenmengen von genetischen Parametern, der organischen Substanz und von Nährstofffraktionen

Tab. 7: Bodenmengen genetischer Parameter

	GE	FE	Carb	Ton	K	I	I/Sm	Sm	chl.S	Chl.	Fe _d		Fe _o	Fe _p	
	kg/m ²						% Σ				kg/m ²	% Fe _t	% T	% Fe _d	
D-3.1 Terra fusca Bärenthal															
0-80 cm	860	594	33	325	43	9	20	3	20	6	18	47	5.6	6	2
D-3.2 Braunerde Hewenegg															
0-70 cm	638	332	0	79	5	5	5	81	0	5	4.3	13	5.5	73	5
D-3.3 Braunerde-Pararendzina Mühlhausen															
0-100 cm	1073	888	187	312	1	2	6	87	2	2	16	30	5.3	14	0.3
D-3.4 Pelosol-Gley Riedheim/Hohenstoffel															
0-100 cm	1207	1061	66	485	16	6	24	44	7	3	18	38	3.8	7	1
D-3.5 Rötliche Parabraunerde Singen															
0-100 cm	1315	531	9	142	7	4	21	17	45	6	6	35	4.2	17	2
D-3.6 Parabraunerde Liggingen															
0-100 cm	1382	646	46	125	5	5	19	23	45	3	7	42	5.6	7	n.b.

Carb ohne carbonatische Steine

Tab. 8: Bodenmengen der organischen Substanz und von Nährstofffraktionen

					OS	N _t		P _(CAL)	K _(CAL)		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	
					kg/m ²	kg/m ²		g/m ²	g/m ²		kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	
D-3.1 Terra fusca Bärenthal															
Auflage					12										
0-80 cm					32	1.4		1.0	10		1.4	1.6	2.1	0.35	
D-3.2 Braunerde Hewenegg															
0-70 cm					15	0.5		11	50		3.7	8.1	0.8	0.85	
D-3.3 Braunerde-Pararendzina Mühlhausen															
0-100 cm					25	0.9		57	268		100	8.2	3.3	3.6	
D-3.4 Pelosol-Gley Riedheim/Hohenstoffel															
0-100 cm					43	2.7		13	67		26	8.2	6.4	1.04	
D-3.5 Rötliche Parabraunerde Singen															
0-100 cm					9	0.35		1.4	13		4.3	2.3	1.4	0.19	
D-3.6 Parabraunerde Liggingen															
Auflage					9	0.24		0.7	5.4		0.1	0.03	0.02	0.02	
0-100 cm					11	0.63		0.4	13		0.9	1.9	1.0	0.13	

3.3 Regenwurmpopulationen der Exkursionspunkte D-3.3, D-3.4 und D-3.6

An den Exkursionspunkten D-3.3 (Braunerde-Pararendzina/Wiese) D-3.4 (Pelosol-Gley/Wiese) und D-3.6 (Parabraunerde/Wald) wurden im Frühjahr 1996 Regenwurmpopulationen hinsichtlich Artenzusammensetzung, Biomassen und Abundanzen untersucht (Tab. 9).

Tab. 9: Regenwurmarten, -Biomassen und -Abundanzen

	Braune.-Parar. Wiese 3.3 Mühlhausen	Pelosol-Gley Wiese 3.4 Riedheim.	Parabraunerde Wald 3.6 Liggeringen	≈Ø Ba-Wü ¹⁾ Wiese	Wald
Epigäische Arten					
Lumbricus castaneus	+	+	-		
Lumbricus rubelus	+	-	+		
Aneziische Arten					
Lumbricus terrestris	+	+	-		
Aporrectodea longa	+	+	-		
Endogäische Arten					
Aporrectodea caliginosa	+	+	-		
Aporrectodea rosea	+	+	-		
Allolobophora chlorotica	-	+	-		
Octolasion lacteum	+	-	-		
Artenzahl	7	6	1	5.7	3.4
Biomassen (g/m ²) epig.+anez. x (s)	63 (48)	236 (93)	6 (10)		
Biomassen (g/m ²) endog. x (s)	117 (48)	55 (9)	0 (-)		
Abund. (Indiv./m ²) epig.+anez. x (s)	62 (25)	231 (73)	11 (18)		
Abund. (Indiv./m ²) endog. x (s)	411 (172)	259 (85)	0 (-)		
∑ Biomassen (g/m ²) x (s)	180 (62)	291 (96)	6 (10)	203	61
∑ Abundanzen (Indiv./m ²) x (s)	473 (190)	490 (125)	11 (18)	588	208

¹⁾ vorläufige Mittelwerte

Die beiden Wiesenstandorte entsprechen in ihrer Individuenzahl vorläufigen Durchschnittswerten für Baden-Württemberg, die Biomasse von 291 g/m² im Pelosol-Gley ist jedoch deutlich überdurchschnittlich. Die Parabraunerde Liggeringen (D-3.6) weist nur eine Art sowie sehr geringe Biomasse und Abundanz auf. Auf Grund ungünstiger Faktoren (niedriger pH-Wert, sandreicher bzw. tonarmer Oberboden, ungünstiger Wasserhaushalt) ist der Standort für Regenwürmer relativ lebensfeindlich, was dann auch in einer nur geringen Bioturbation und dem Aufbau von Auflagehumus resultiert.

Die Braunerde-Pararendzina (D-3.3) sowie der Pelosol-Gley (D-3.4) weisen dagegen weit günstigere Lebensbedingungen auf. Die an sich als trocken einzustufende Braunerde-Pararendzina bietet offensichtlich im C-Horizont Rückzugsmöglichkeiten. Hierauf weist das Auftreten zweier anezischer (= tiefgrabender) Arten hin. Der aktuelle Wasserhaushalt des Pelosol-Gley schränkt offensichtlich die Lebensmöglichkeiten von Regenwürmern (auch tiefgrabender) nicht ein. Für beide Wiesenstandorte kann davon ausgegangen werden, daß keine andere Tiergruppe auch nur annähernd die Biomasse der Regenwürmer erreicht und ihnen in ihrer Bedeutung für Streueinarbeitung und Aggregatbildung nahekommt.

4. Literatur

- BARTSCH, J. (1925): Die Pflanzenwelt im Hegau und nordwestlichen Bodensee-Gebiete (Überlingen).
- DBG, AK Bodensystematik (1985): Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Mitteilungen Deutsche Bodenkundl. Gesellsch. 44, 95 S.
- GEYER, O. F. & GWINNER, M. P. (1984): Die Schwäbische Alb und ihr Vorland. Sammlung Geologischer Führer 67. Borntraeger, Stuttgart 27. 5 S.
- GEYER, O. F. & GWINNER, M. P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg. 4. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart, 482 S.
- Geologisches Landesamt von Baden Württemberg (1954): Geologische Übersichtskarte von Südwestdeutschland 1 : 600 000.
- HENN, K. (1968): Pflanzenwelt. - In: Staatliche Archivverwaltung Baden-Württemberg (Hrsg.): Der Landkreis Konstanz. Amtliche Kreisbeschreibung, Bd. 1: 191-220 (Konstanz).
- JAHN, R., HÄDRICH, F. & STAHR, K. (1994): Exkursionsführer zur Tagung der Kommission VII der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Breisach. 145 S. IN: STAHR, K., KLEBER, M., RÜCK, F., HÄDRICH, F. & JAHN, R. (1994): Böden puffern Umwelteinflüsse - Beispiele zum Stickstoffhaushalt und zur Verwitterungsintensität in Bodenlandschaften Baden-Württembergs. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 20.
- Klima-Atlas von Baden Württemberg, Deutscher Wetterdienst, Bad Kissingen (1953)
- LANDESARCHIVDIREKTION BADEN-WÜRTTEMBERG (1982) (Hrsg.): Das Land Baden-Württemberg, Bd. VI: Regierungsbezirk Freiburg (Stuttgart).
- LANDESARCHIVDIREKTION BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1978): Das Land Baden-Württemberg, Bd. VII: Regierungsbezirk Tübingen (Stuttgart).
- LANG, G. (1973): Die Vegetation des westlichen Bodenseegebietes. - Pflanzensoziologie 17 (Jena).
- MOLL, W. (1970): Beiträge zur Genese und systematischen Stellung rubefizierter Parabraunerden aus alpinen Schottern und Geschieben. Freiburger Bodenkdl. Abh. 3, 180 S.
- SCHREINER, A. (1970): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung 1 : 50 000. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg, 286 S.
- SCHREINER, A. (1984): Hegau und westlicher Bodensee. Sammlung Geologischer Führer 62, Bornträger, Berlin - Stuttgart, 93 S.
- SCHWERTMANN, U., MURAD, E. & SCHULZE, D.G. (1982): Is there holocene reddening (Hematite formation) in soils of axeric temperate areas? Geoderma, 27, S. 209-223.
- SEBALD, O. (1983): Vegetationskundliche Karte Mühlheim a.d. Donau 1: 25000, mit Erläuterungen (Stuttgart).
- STAHR, K. (1979): Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald. Freiburger Bodenkdl. Abh. 9, 273 S.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1994): Gemeindestatistik 1993. - Statistik von Baden-Württemberg 470 (5).
- WELLER, F. (1990): Ökologische Standorteignungskarte für den Landbau in Baden-Württemberg 1 : 250 000. Minist. f. Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Baden Württemberg (Hrsg.)

Danksagung

Herzlicher Dank geht an Fr. Karin Breuer, Fr. Kornelia Ruf, Fr. Elke Feiertag, Fr. Sabine Rudolph, Hr. Detlev Frobel (Laboranalysen), Hr. Dr. Gerhard Zauner (Profilpräparation) Fr. Anita Stier (Manuskriptbearbeitung) sowie an alle betroffenen Forstämter und Landwirte.

Exkursion

D 4

Jungmoränenlandschaft bei Stockach

W.A. Bischoff¹, K. Bleich¹, M. Heincke¹, F. Lang¹, F. Weller²
und M. Kaupenjohann¹

Exkursionsleitung: Klaus Bleich, Martin Kaupenjohann und Friedrich Weller

Inhalt	Seite
1. Exkursionsroute	252
2. Beschreibung des Exkursionsgebietes	253
2.1 Geologie und Geomorphologie	253
2.2 Klima	254
2.3 Natürliche Vegetation	254
2.4 Nutzung	255
3. Profilbeschreibungen und Interpretation	256

¹ Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, D-70599 Stuttgart

² Karl-Erb-Ring 104, D-88213 Ravensburg

1 Exkursionsroute

Die Fahrt führt vom Tagungsort Konstanz zunächst nach NW durch das stark reliefierte Moor- und Hügelland des Bodanrücks, das von zahlreichen Drumlins mit dazwischen liegenden vermoorten Senken gebildet wird. Ab Langenrain folgt die Straße dem Südfuß des bis gegen 700 m ü. NN aufsteigenden, im Kern aus tertiären Sedimenten (Molasse) bestehenden Hohen Bodanrücks mit den vorgelagerten Liggeringer Höhen. Bei Güttingen wird das westliche Ende der Mindelsee-Niederung erreicht. Der Mindelsee selbst ist wie das nahegelegene Wasserschloß Möggingen vom Bus aus nicht sichtbar, wohl aber drei kleinere wassergefüllte Toteislöcher, die Buchenseen. Die Fahrt führt weiter nach N durch die die Tertiärrücken durchschneidende ehemalige Schmelzwasserrinne von Stahringen in die Bodmaner Niederung. Diese ist ein Teil des spätglazialen Überlinger Sees, der hier von der Stockacher Aach aufgelandet wurde und fjordartig zwischen den Tertiärrücken liegt, die mit steilen, von zahlreichen Tobeln zerschnittenen Hängen bis zu 300 m über den Seespiegel aufsteigen. Über Espasingen führt die Route nach N ansteigend in die ehemalige Kreisstadt Stockach.

Von Stockach aus geht die Fahrt weiter ansteigend zu den Bodenprofilen bei Besetze (580 m ü. NN). Die Serie beginnt mit einer Pararendzina aus Geschiebemergel auf der Würmmoräne, gefolgt von einer Pseudogley-Parabraunerde aus Würmmoränenmaterial. Nach kurzer Fahrt hält der Bus dann in der Nähe des dritten Profils, einem Hangley. Ebenfalls unweit entfernt in einem aufgelassenen Sandsteinbruch der Unteren Süßwassermolasse ist ein schöner Grillplatz angelegt, auf dem ein zünftiges Mittagmahl serviert wird. Bei schlechtem Wetter bietet die Hütte auf dem Grillplatz Schutz. Im Anschluß an die Mittagspause wird eine Parabraunerde aus Kalksandstein der Unteren Süßwassermolasse am Rande des Steinbruchs vorgestellt. Danach geht die Fahrt einige Kilometer nach N weiter bergauf zu dem meist über 600 m ü. NN bereits außerhalb des Bodenseebeckens i.w.S. gelegenen Raithaslach-Herdwanger Hügelland mit dem bewaldeten Höhenzug der Äußeren Jungmoräne. Die der Moräne nördlich vorgelagerten Niederterrassenschotter werden zur Kiesgewinnung genutzt. Von der Höhe öffnet sich der Blick in das Zoznegger Becken, das bereits im Meßkirch-Saulgauer Altmoränenhügelland liegt, in der Würmeiszeit aber zeitweise von einem Schmelzwassersee erfüllt war, in dem Beckentone abgelagert wurden. Nahe Zoznegg wird schließlich das fünfte und letzte Exkursionsprofil erreicht, eine Pseudogley-Braunerde aus Beckenton. Es ist am Rande einer ehemaligen, heute teilweise mit Wasser erfüllten Ziegeleigrube abgeschlossen.

Auf dem Rückweg nach Konstanz sind zwei weitere Stationen eingeplant. Die Fahrt führt zunächst talab der Stockacher Aach nach S folgend nach Stockach. Von dort geht es weiter nach W durch das Nenzinger Becken zum Südrand der Schwäbischen Alb. Hier tritt an den Talhängen bereits das Kalkgestein des weißen Jura zutage, in Steinbrüchen aufgeschlossen beim Gräflich Douglas'schen Schloß Langenstein und bei Eigeltingen. Von Eigeltingen geht es weiter durch eine ehemalige Schmelzwasserrinne nach Aach. Am Fuße des Berges stoppt die Exkursion an der Karstquelle der Radolfzeller Aach, in welcher das zwischen Immendingen und Friedingen im zerklüfteten Kalkgestein des weißen Jura versickernde Donauwasser wieder zutage tritt. Mit einer mittleren Schüttung von 8800 l s^{-1} (Minimum 1310, Maximum 24800 l s^{-1}) ist diese die größte Quelle Deutschlands.

Weiter führt die Route durch ein System von Trockentälern nach W in das Städtchen Engen am Fuße der Hegaualb; überragt von der steilen Basaltkuppe des Hohenhewen. Engen ist ein typisches Hegaustädtchen mit vorbildlich restaurierter Altstadt in malerischer Spornlage zwischen zwei Bachtälern. Hier bleibt den Exkursionsteilnehmerinnen und Teilnehmern

ausreichend Zeit für einen kurzen Rundgang und einen Kaffee zum Ausklang der Exkursion. Die Rückfahrt nach Konstanz über die Autobahn führt zunächst parallel zum Ostrand des Hegau-Berglandes durch das Große Hegaubecken mit den von der Radolfzeller Aach durchflossenen und teilweise vermoorten Riedgebieten. Schließlich geht es über die Schotterebene östlich der vom Hohentwiel überragten Industriestadt Singen, vorbei an Radolfzell am Südrand des Bodanrück mit Blick auf den Gnadensee, die Insel Reichenau und das international bedeutsame Naturschutzgebiet Wollmatinger Ried zurück nach Konstanz.

2 Beschreibung des Exkursionsgebietes

2.1 Geologie und Geomorphologie

Die Exkursion führt in das durch mehrere Rückzugsstadien gegliederte nordwestliche Gebiet des würmzeitlichen Rheingletschers, dessen Gesteine oft von denen der unterlagernden mittel- bis jungtertiären Molasse durchsetzt sind. Die flachwelligen Grundmoränenplatten tragen Wallstücke von kuppigen Endmoränen und sind auf dem Bodanrück, der zwischen Gnadensee und Überlinger See nach Südosten vorspringt, drumlinartig überformt. Da dies eine geringe Eismächtigkeit (wenige Zehner von m) voraussetzt, kann dieses Drumlinfeld nicht dem Gletscherhöchststand angehören; die zugehörige Endmoräne muß wenig westlich der beiden Bodensee-Ausläufer liegen. Die Senken dazwischen sind heute vermoort und von einzelnen Seen (dem Mindensee als größten) erfüllt. Am Rande der Grundmoränenplatten (z. B. am Gnadensee und auf der Insel Reichenau, in der Rinne von Stockach) treten eisrandnahe Schotter auf, die sich teils mit der Grundmoräne verzahnen, teils von ihr überlagert werden und als Vorstoßschotter zu deuten sind. Dagegen sind die großen Schotterflächen (besonders von Singen nach Osten, weniger ausgedehnt südlich von Engen und Stockach) wiederum einem Spätstadium der Vereisung ("Singen-Stadium") zuzuweisen; sie sind von Toteislöchern durchsetzt. Vom Nordrand des Singener Beckens über den Bodanrück nach Osten zieht sich eine lose Kette von (zu "Nagelfluh" verfestigten) mindelzeitlichen Schotterinseln (ehem. Homburg NW Stahringen auf der Hinfahrt, Schloß Friedingen auf tektonisch abgesenkter Schotterplatte auf der Rückfahrt).

Nahe dem Nordrand des Exkursionsgebiets werden die Grundmoränenplatten von der (innen steil ansteigenden) Äußeren Jungendmoräne abgegrenzt, unter deren Sedimenten am Hang die Sande der Oberen Meeresmolasse hervortreten (als Sandstein mit Kreuzschichtung in aufgelassener Grube). Nach Norden schließen sich fächerförmig grobe Schmelzwassersedimente (des "Schaffhausen-Stadiums") an, in einer verzweigten Talrinne auch gebänderte Beckentone (in aufgelassener Ziegeleigrube). Die wiederholte Ausräumung dieser Rinne belegen weiter im Nordwesten höhergelegene Beckenton-Terrassen zwischen Grundmoränenplatten der Rißeiszeit. Der postglaziale Auslaß geht nach Südwesten und ist heute vermoort. Auf die Äußere Jungendmoräne und ihren Nachbarbereich konzentriert sich der bodenkundliche Teil der Exkursion.

Weiter westlich reicht die südliche Albhochfläche (zwischen Eigeltingen und Engen) mit den kalkigen Schichten des Tithons in das Exkursionsgebiet herein. Die Würm-Grundmoräne bedeckt zunächst die Hangenden Bankkalke (dazu gehört auch die Bergkuppe der Stadt Aach), dann bei Aach die Zementmergel mit Bank- und Riffkalke. Trockentäler sind daher kennzeichnend für diesen Abschnitt. Aus den Ulmenis-Schichten darunter bricht die

Aachquelle hervor, die größte Quelle Deutschlands und die drittgrößte der Welt (nach der Silberquelle in Florida und der Omblaquelle bei Dubrovnik). Sie bezieht ihr Wasser zu 2/3 aus den Versinkungsstellen der oberen Donau und zu 1/3 aus den Trockentälern des eigenen Einzugsgebiets. Da sie wie auch die Donau Mühlen antreibt, war hier die Verkarstung Gegenstand eines jahrzehntelangen Rechtsstreits, der erst 1963 entschieden wurde. Auf kalkigen Ulmensschiechten, die im Norden durch eine junge (vielleicht jungtertiäre) Verwerfung begrenzt werden, liegt auch die Altstadt von Engen.

Im Südwesten der Stadt erhebt sich der Hohenhewen (keltisch für Kegel), ein jungtertiärer Basaltvulkan mit Tuffmantel, der vom Reiß-Eis überformt wurde (somit ein ehemaliger Nunatak). Die nächsten drei Vulkanberge in Richtung Singen, Mägdeberg, Hohenkrähen und Hohentwiel, stammen von ebenfalls jungtertiären Staukuppen aus Phonolith im Tuff, sie sind mit dem ersten und untereinander durch eine sichtlich ältere Platte von Deckentuffen verbunden. Der Hohentwiel wurde als Nunatak in der Würmeiszeit überformt; die Steilwände unter der Burgruine stammen jedoch von Steinbrücken wie auch am Hohenkrähen. Die im Osten der Vulkanreihe anschließende Niederung zeigt junge Vermooring, aber auch den Einfluß von Kolluvien, deren Entstehung vielfach bis in prähistorische Zeit zurückreicht (mit einem ersten Schwerpunkt in der Bronzezeit).

2.2 Klima

Das Exkursionsgebiet befindet sich im Oberschwäbischen Hügelland, das den Übergangsbereich zwischen dem klimatisch begünstigten Bodenseebecken und den im Durchschnitt etwas kühleren und niederschlagsreicheren Donau Ablach Platten bzw. der Schwäbischen Alb darstellt. Die mittlere Jahrestemperatur liegt mit 8°C um ca. 2°C höher als auf den Hochlagen der im Norden angrenzenden Schwäbischen Alb. Die Vegetationsperiode beträgt 210 Tage und ist damit 10 Tage kürzer als am Bodensee. Abgesehen von den vermoorten, von Kaltluftseen betroffenen Gebieten ist die Spätfrostgefährdung gering. Letzter Frosttag im langjährigen Mittel ist der 23.4.

Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt 800 mm, niederschlagsreichster Monat ist der Juli mit 120 mm. Im September (Exkursionszeitraum!) fällt vergleichsweise wenig Regen (70 mm, Feldberg: 160 mm, Alb-Hochfläche: 90 mm).

2.3 Vegetation

Das Hügelland des Bodanrück ist stark bewaldet. Auf den Drumlins herrschen Waldmeister-Buchenwälder vor, im Wechsel mit Traubenkirschen-Erlen-Eschen-Auwäldern und Niedermoorkomplexen in den Tälern. Auch die steil zum Überlinger See abfallenden Hänge sind stark bewaldet. Vorherrschend sind ebenfalls Waldmeister-Buchenwälder, daneben jedoch auch Platterbsen- und Seggen-Buchenwälder. Örtlich, vor allem in den Tobeln, finden sich auch Linden-Ahornwälder und Steilhang-Eiben-Buchenwälder, an flachgründigen Sonnhängen auch Geißklee-Kiefernwälder. In der vorwiegend landwirtschaftlich genutzten, teilweise vermoorten Bodmaner Niederung finden sich Reste verschiedener Auwald-Gesellschaften, vorwiegend in Seenähe.

Auch die Moränenlandschaft im Gebiet der Bodenprofile nahe Besetze ist stark bewaldet. Die Pararendzina (Profil 1) ist bestockt mit einem schwach ausgeprägten Platterbsen-Buchenwald, auf der nahe gelegenen Pseudogley-Parabraunerde (Profil 2) findet sich ein Wimperseggen-

Buchenwald als regionale Ausprägung des Waldmeister-Buchenwaldes. Die natürliche Vegetation auf dem Hanggley (Profil 3) wäre ein Quell-Erlenwald. Hier stockt jedoch ein windwurfgefährdeter, teilweise rotfauler Fichtenforst. Natürliche Vegetation der das Zoznegger Becken umgebenden Altmoränenhügel sind reiche Hainsimsen-Buchenwälder mit Seegras. Örtlich kommen höhere Anteile an Stieleichen vor, in Tälern Traubenkirschen-Erlen-Auwälder. In der aufgelassenen Ziegeleigrube finden sich verschiedene terrestrische und limnische Sukzessionsstadien.

2.4 Nutzung

Neben der forstlichen Nutzung des stark bewaldeten Exkursionsgebietes spielen der Obstanbau und die landwirtschaftliche Nutzung eine Rolle. So findet sich auf dem breiten Hangfuß zur Bodmaner Niederung, begünstigt durch geringes Gefälle, tiefgründige Kolluvien und geringe Spätfrostgefährdung stärkste Konzentrierung von Intensiv-Obstbau, besonders bei Bodman. In der teilweise vermoorten Bodmaner Niederung selbst ist aufgrund der starken Spätfrostgefährdung kaum noch Obst zu finden. Nach Entwässerung wird hier Ackerbau betrieben, verbleibende nasse Flächen werden als Grünland landwirtschaftlich genutzt. Die Moränenlandschaft in der Nähe der Exkursionsprofile ist neben Wald durch Acker und Grünland genutzt. Sonderkulturen fehlen hier.

3 Profilbeschreibungen und Interpretation

Profil D.4.1 Pararendzina

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Südlich von Besetze	
Top. Karte	Blatt Stockach	R: 35 023
1: 25 000:	8120	H: 53 034
Landschaft:	Oberschwäbisches Jungmoränengebiet	
Höhe:	579 m ü. NN	
Relief:	Oberhang, W-exponiert, Inklination 20%	
Nat. Vegetation:	Platterbsen-Buchenwald	
Nutzung:	Forst	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 8°C	
Mittl. Jahresniederschlag:	800 mm	
Gestein:	Geschiebemergel der Würmendoräne	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ah	0- 10	sehr dunkel bräunlichgrau (7,5 YR 2/2), mittel sandiger Lehm (Ls3), mittel steinig, Krümelgefüge, Pilzmycel, sehr stark durchwurzelt, Horizontgrenzen scharf.
AhC	10-30	dunkel gelblichbraun (7,5 YR 3/4), stark sandiger Lehm (Ls4), stark steinig, Subpolyedergefüge, Kalkmycel, stark durchwurzelt, Horizontgrenze diffus.
IICv	30-50+	gelbbraun (2,5 Y 5/6), mittel sandiger Lehm (Ls3), schwach steinig, Kohärentgefüge, schwach durchwurzelt.

Bodentyp	KA4: Pararendzina (RZn)
	FAO: Calcaric Regosol (RGc)
Humusform:	KA4: L-Mull
Substrattyp:	KA4: Moränengeröllehm über schuttführendem Verwitterungslehm

Tab.D-4.1: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften, Pararendzina.

D-4.1 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol.%	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Ah	0-10	20	4,7	17,5	24,1	46,3	33,0	20,7	n.b.	n.b.
	AhC	10-30	50	6,2	17,3	26,3	49,8	28	22,2	n.b.	n.b.
	IICv	30-50+	5	3,3	13,4	32,2	48,9	35,9	15,2	n.b.	n.b.

D-4.1 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Porenvol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o mg/kg
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	Ah	1,2	51	n.b.	43	n.b.	20	7,84	0,87	0,94	0,11	n.b.
	AhC	1,4	42	n.b.	35	n.b.	18	5,90	0,59	0,54	0,10	n.b.
	IICv	1,5	41	n.b.	36	n.b.	18	3,35	0,28	0,19	0,08	n.b.

D-4.1 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	C _{org} %	N _t mg/g	C/N	PO ₄ (AL) mg/kg	K _(AL) mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
	Ah	7,83	6,95	0,7	3,2	2,4	13,3	3,3	66
	AhC	8,20	7,50	20,2	1,6	1,0	16,0	1,6	38
	IICv	8,65	7,56	36,3	0,7	0,5	14,0	2,9	22

D-4.1 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _e /kg	KAK _{eff} mmol _e /kg	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg						BS %
	1	31	32	H	Al	Ca	Mg	K	Na	39
	Ah	n.b.	254	n.n.	n.n.	242	10,2	0,9	0,7	100
	AhC	n.b.	150	n.n.	n.n.	142	6,5	0,6	0,7	100
	IICv	n.b.	48	n.n.	n.n.	31	15,2	1,2	1,1	100

D-4.1 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
	1	Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
	Ah	5,1	3,8	2,4	0,28	8	-	7	29	43	9	-	4
	AhC	82,2	9,6	2,2	0,36	8	-	8	24	40	17	-	3
	IICv	147,2	12,8	1,5	0,37	12	-	18	28	33	6	-	3

D-4.1 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
	1	Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
	Ah	n.b.	n.b.	2,61	1,12	0,5	1,57	1,0	0,47	3,26	0,93	255	13
	AhC	n.b.	n.b.	2,59	8,09	1,1	1,32	1,0	0,41	2,64	0,94	204	13
	IICv	n.b.	n.b.	1,44	12,96	1,4	0,96	0,8	0,32	1,78	0,49	171	10

Erläuterungen D-4.1, Pararendzina, Besetze

Landschaftsentwicklung

Das Profil liegt im Bereich der Äußeren Jugendmoräne des Würmzeitlichen Rheingletschers. Die typisch grünlichen Julier-Granite, die bisweilen angetroffen werden, zeugen von der zentralalpiner Herkunft des Materials. Das Moränenmaterial liegt der Unteren Süßwassermolasse auf. Aufgrund der erosionsfördernden Hanglage ist heute nur noch ein im Vergleich mit Profil 2 geringmächtiger Schleier des Moränenmaterials von ca. 30 cm Mächtigkeit vorhanden.

Vergesellschaftete Böden

Die Pararendzina ist als Besonderheit im Exkursionsgebiet anzusehen. Sie kommt, wenn überhaupt, dann nur in Hanglagen vor. In erosionsgeschützten Lagen finden sich Parabraunerden wie z.B. Profil 2 in unmittelbarer Nähe zeigt. In der Regel sind auch an den Hängen der Moränen die Böden über das Pararendzinastadium hinaus entwickelt. An den Unterhängen finden sich unter Waldnutzung z.T. vergleyte Böden (vgl. Profil 3), die in den Tälern vermooren können. Bei landwirtschaftlicher Nutzung treten Kolluvien im Hangfußbereich hinzu.

Bodenentwicklung

Das Profil ist in einem 30 cm mächtigen Schleier aus Würmmoränenmaterial auf Unterer Süßwassermolasse entwickelt. Die Schichtung ist sofort an dem Fehlen der Geschiebe ab etwa 30 cm Bodentiefe zu erkennen, zeigt sich aber auch in chemischen und mineralogischen Parametern (vgl. z.B. Ti/Zr). Als Humusform ist ein L-Mull ausgebildet. Die Entkalkung des Oberbodens ist fortgeschritten, jedoch ist selbst der Ah-Horizont noch nicht vollständig kalkfrei. Die pH-Werte in CaCl_2 liegen im gesamten Profil bei 7 bzw. darüber. Pedogene Kalkausfällungen finden sich in Form von Pseudomycel - z.T. auch die Geschiebe umhüllend - ab einer Profiltiefe von ca. 15 cm. Entsprechend der Kalkauswaschung sind die Siede-HCl - extrahierbaren und die Gesamt-Ca- und Mg-Vorräte im Ah-Horizont gegenüber dem AhC-Horizont verringert, eine gegenläufige Tendenz deutet sich für K aufgrund residueller Anreicherung an. Die Kationenaustauschkapazität ist im Ah-Horizont aufgrund der Humusakkumulation hoch, bei vollständiger Basensättigung des Sorptionskomplexes über das gesamte Profil hinweg. Die Farbe des AhC-Horizontes deutet auf beginnende Verbraunung. Jedoch zeigen die Gehalte an pedogenem Fe keinen Tiefengradienten, wenn sie auf kalkfreie Feinerde bezogen werden. Vermutlich sind Huminstoffe für die Braunfärbung des AhC-Horizontes verantwortlich.

Standortseigenschaften und Bestockung

Das Profil ist mittelgründig, die Durchwurzelbarkeit aufgrund des hohen Skelettgehaltes auch im oberen Profilteil nur mittel. Der Standort ist mäßig trocken und verfügt aufgrund der guten Sekundärstruktur im Oberboden über einen günstigen Lufthaushalt. Auch hinsichtlich der N- und Basenversorgung ist der Standort als günstig einzustufen. Die P-Vorräte sind dagegen nur mittel hoch, bei schlechter Verfügbarkeit. Die K-Versorgung ist ähnlich zu beurteilen.

Als standortstypische Vegetation stellt sich ein Platterbsen-Buchen-Wald ein. Am Profil ist jedoch durch die Forstwirtschaft auch etwas Fichte eingestreut, in der Bodenvegetation tritt der Waldmeister vermehrt auf als Zeiger für basenreiche Standorte mit mullähnlichen Humusformen.

Profil D.4.2 Pseudogley-Parabraunerde, Besetze

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Östlich von Besetze	
Top. Karte	Blatt Stockach	R: 35024
1: 25 000:	8120	H: 53035
Landschaft:	Oberschwäbisches Jungmoränengebiet	
Höhe:	584 m ü. NN	
Relief:	W-exponiert, Inklination 5 %	
Nat. Vegetation:	Wimperseggen-Buchenwald als lokale Ausprägung des Waldmeister-Buchenwaldes	
Nutzung:	Buchenforst	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 8°C	
Mittl. Jahresniederschlag:	800 mm	
Ausgangssubstrat:	Geschiebemergel (Würmmoräne)	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ah1	0-9	hell bräunlichgrau (7,5 YR 6/2), schluffig-lehmiger Sand (Slu), schwach steinig, Krümelgefüge, stark durchwurzelt, Horizontgrenze diffus.
Ah2	9-20	hell bräunlichgrau (7,5 YR 6/1), schluffig-lehmiger Sand (Slu), schwach steinig, Krümelgefüge, stark durchwurzelt, Horizontgrenze diffus.
Al1	20-38	sehr hell braungrau (10 YR 8/2), schluffig-lehmiger Sand (Slu), mittel steinig, Subpolyedergefüge, mittel durchwurzelt, Horizontgrenze diffus.
Al2	38-55	sehr hell graubraun (10 YR 7/3), schluffig-lehmiger Sand (Slu), mittel steinig, Polyedergefüge, schwach durchwurzelt, Horizontgrenze deutlich.
Bvt	55-73	sehr hell graubraun (10 YR 7/4), schwach toniger Lehm (Lt2), schwach steinig, Polyedergefüge, Tonüberzüge, schwach durchwurzelt, Horizontgrenze diffus.
BtSw1	73-97	sehr hell graubraun (10 YR 7/4), schwach toniger Lehm (Lt2), schwach steinig, Polyedergefüge, vereinzelt schwarze Konkretionen, Horizontgrenze diffus.
BtSw2	97-120	wie BtSd1 aber mehr Konkretionen
SdC	120-150+	sehr hell graubraun (10 YR 7/3), stark lehmiger Sand (S14), schwach steinig, Polyeder- bis Kohärentgefüge.
Bodentyp	KA4:	Pseudogley-Parabraunerde (SS-LL)
	FAO:	Haplic Luvisol (LVh)
Humusform:	KA4:	L-Mull
Substrattyp:	KA4:	Moränensand über Moränenlehm

Tab.D-4.2: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften, Pseudogley Parabraunerde.

D-4.2 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol.%	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)					kf cm/sec	kf cm/d	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ah1	0-9	8	1	14	29	44	42	14	n.b.	n.b.
2	Ah2	9-20	6	1	15	29	45	42	13	n.b.	n.b.
3	Al1	20-38	11	2	15	28	44	39	17	n.b.	n.b.
4	Al2	38-55	13	2	15	29	46	34	20	n.b.	n.b.
5	Bvt	55-73	8	2	10	23	35	34	31	n.b.	n.b.
6	BtSw1	73-97	9	2	9	23	34	37	29	n.b.	n.b.
7	BtSw2	97-120	12	3	11	26	40	33	27	n.b.	n.b.
8	SdC	-150+	13	2	13	34	49	33	18	n.b.	n.b.

D-4.2 Nr.	Horizont	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _{o/d}	Mn _o
	cm	12	13	0.6	1.8	2.5	4.2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/kg
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah1	1,04	62	47	36	30	12	2,1	1,9	n.d.	0,90	235
2	Ah2	1,29	56	38	31	26	12	2,0	1,8	n.d.	0,90	220
3	Al1	1,46	48	32	25	21	8	2,5	2,2	n.d.	0,87	310
4	Al2	1,58	45	32	28	24	10	2,9	2,4	n.d.	0,82	358
5	Bvt	1,55	47	35	32	29	18	6,4	4,2	n.d.	0,65	465
6	BtSw1	1,50	49	38	36	34	18	6,3	3,8	n.d.	0,61	533
7	BtSw2	1,42	53	40	37	33	16	5,7	3,5	n.d.	0,61	570
8	SdC	1,53	42	37	34	29	11	4,3	2,5	n.d.	0,59	416

D-4.2 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	C _{org.} %	N _t mg/g	C/N	PO ₄ (AL) mg/kg	K(AL) mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah1	6,1	5,6	0	3,5	2,3	15	11	38
2	Ah2	6,0	5,3	0	1,8	1,3	14	4	17
3	Al1	6,8	5,9	0	0,6	0,5	12	n.n.	18
4	Al2	7,1	6,1	0	0,4	0,4	10	n.n.	27
5	Bvt	7,2	6,5	0	0,3	0,3	10	n.n.	69
6	BtSw1	7,4	6,7	0	0,3	0,3	10	n.n.	n.b.
7	BtSw2	7,5	6,8	0	0,3	0,3	10	n.n.	n.b.
8	SdC	7,9	7,3	0,8	0,3	0,3	10	n.n.	n.b.

D-4.2 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _e /kg	KAK _{eff} mmol _e /kg	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg					BS %
				H+Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33, 34	35	36	37	38	39
1	Ah1	155	142	38	123	16	2,0	0,9	79
2	Ah2	96	86	30	73	11	1,3	0,8	74
3	Al1	76	71	13	59	10	1,3	0,7	85
4	Al2	84	84	8	70	12	1,5	0,8	91
5	Bvt	160	167	6	135	28	3,3	1,1	97
6	BtSw1	161	182	3	148	30	3,1	1,3	98
7	BtSw2	144	169	2	138	27	2,6	1,3	99
8	Sdc	107	n.b.	1	174	21	2,0	1,0	100

D-4.2 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	<i>l</i>	<i>40a</i>	<i>40b</i>	<i>40c</i>	<i>40d</i>	<i>41a</i>	<i>41b</i>	<i>41c</i>	<i>41d</i>	<i>41e</i>	<i>41f</i>	<i>41g</i>	<i>41h</i>
1	Ah1	2,7	2,5	0,6	0,15	15	-	25	25	5	-	-	30
2	Ah2	1,7	2,36	0,4	0,10	15	-	25	25	5	-	-	30
3	Al1	1,4	2,6	0,9	0,02	15	-	25	25	10	-	-	25
4	Al2	1,3	3,0	1,3	0,04	15	-	30	25	10	-	-	20
5	Bvt	2,6	5,2	3,1	0,08	10	-	30	30	20	-	-	10
6	BtSw1	n.b.	n.b.	2,3	0,30	10	-	30	30	25	-	-	5
7	BtSw2	n.b.	n.b.	2,5	0,36	10	-	30	30	25	-	-	5
8	SdC	n.b.	n.b.	1,2	0,60	10	-	30	30	25	-	-	5

D-4.2 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	<i>l</i>	<i>42a</i>	<i>42b</i>	<i>42c</i>	<i>42d</i>	<i>42e</i>	<i>42f</i>	<i>42g</i>	<i>42h</i>	<i>42i</i>	<i>42j</i>	<i>42k</i>	<i>42l</i>
1	Ah1	n.b.	1,38	n.b.	0,66	0,4	1,7	1,3	0,37	3,27	0,60	259	13
2	Ah2	n.b.	1,30	1,30	0,48	0,3	1,7	1,4	0,24	3,25	0,50	295	11
3	Al1	n.b.	1,36	1,40	0,42	0,4	1,7	1,4	0,19	3,29	0,60	262	13
4	Al2	n.b.	1,84	1,80	0,42	0,5	1,9	1,4	0,17	3,41	0,66	259	13
5	Bvt	n.b.	3,56	3,00	0,61	0,8	2,1	1,1	0,38	3,78	1,02	237	16
6	BtSw1	n.b.	3,49	3,00	0,62	0,8	2,1	1,1	0,40	3,68	1,07	246	15
7	BtSw2	n.b.	3,07	2,50	0,63	0,8	2,0	1,1	0,61	3,45	1,02	246	14
8	SdC	n.b.	2,65	2,60	0,67	0,7	2,0	1,3	0,72	3,21	0,91	280	12

Erläuterungen D-4.2, Pseudogley Parabraunerde, Besetze

Landschaftsentwicklung

Das Profil liegt wie das zuvor beschriebene im Bereich der Würm-Moräne, die sich über die anstehende Untere Süßwassermolasse geschoben hat. Bedingt durch die Lage auf der erosionsgeschützten Hochfläche findet sich hier eine mächtige Geschiebemergel-Lage, der Skelettanteil ist wesentlich geringer als im Profil 4.1. Die für die Würm Endmoräne typischen Gesteinsblöcke aus z.T. kalkhaltigem Material stehen hier vermutlich erst weiter unten an.

Bodenentwicklung

Das Endmoränenmaterial wurde bis zu einer Tiefe von 1,20 m entkalkt. Danach setzten Verbraunung und Tonverlagerung ein. Der Tongehaltsunterschied zwischen Al- und Bt-Horizont (11%) deutet auf relativ starke Lessivierung hin, die möglicherweise noch rezent abläuft (s. unten). Der porenarme SdC-Horizont wirkt als Staukörper und führt zur Ausprägung redoximorpher Merkmale in den darüberliegenden Bt-Horizonten.

Sowohl der pH-Wert als auch die Basensättigung im Oberboden sind noch hoch, was wohl auf die relativ niedrige Wasserleitfähigkeit zurückzuführen ist.

Die Eisenoxid- und Tonerreicherung im Bt-Horizont läßt keine Schlüsse darüber zu, ob auch jetzt noch Tonverlagerung stattfindet. Mehr Aussagen über rezent ablaufende Vorgänge lassen wohl Elemente zu, die einerseits in den Nährstoffkreislauf eingebunden sind und so nach der Pflanzenaufnahme mit der Streu wieder in den Oberboden gelangen, gleichzeitig aber im Zuge der Lessivierung zu einem großen Anteil mit nach unten transportiert werden.

Vor diesem Hintergrund läßt die hier untersuchte Molybdän-Tiefenverteilung folgende Interpretation im Hinblick auf die Tonverlagerung zu (Abb. D-4.2.1): Zusammen mit Ton und Eisenoxiden in den Bt-Horizont verlagertes Mo gelangt durch Pflanzenaufnahme wieder an die Geländeoberfläche und wird erneut vertikal nach unten verlagert. Das Mo-Maximum im Al1 deutet jedoch darauf hin, daß Ton rezent nur noch bis zu diesem Horizont verlagert wird. Ein Grund dafür könnte sein, daß der darunter liegende Al2-Horizont, der infolge von Sackungs- oder Einlagerungsverdichtung ein geringeres Grobporenvolumen und eine höhere Lagerungsdichte aufweist, eine Barriere für den abwärts transportierten Ton darstellt.

Die Tiefenverteilung des Kupfers, das ebenfalls erst rezent entweder durch Nachlieferung aus organischer Substanz oder durch atmosphärische Einträge in den Boden gelangt, unterstützt oben genannte Hypothese. Ob die gezogenen Schlußfolgerungen gerechtfertigt sind, soll am Profil weiter diskutiert werden.

Standortseigenschaften

Der Standort ist tiefgründig und gut durchwurzelbar. Nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität sind als mittel einzustufen. Bei hoher Sickerwassermenge kann es im Unterboden zeitweise zu schlechter Sauerstoffversorgung kommen.

Die Nährstoffvorräte sind mittel bis hoch. Die Nährstoffverfügbarkeit ist bedingt durch den günstigen pH-Bereich des Bodens gut. Dies gewährleistet ausreichende Nährstoffversorgung bei forstwirtschaftlicher Nutzung. Bei intensiver, ackerbaulicher Nutzung wäre allerdings mit Engpässen bei der P- und K-Versorgung der Pflanzen zu rechnen.

Cu und Mo-Gehalte Pseudogley Parabraunerde

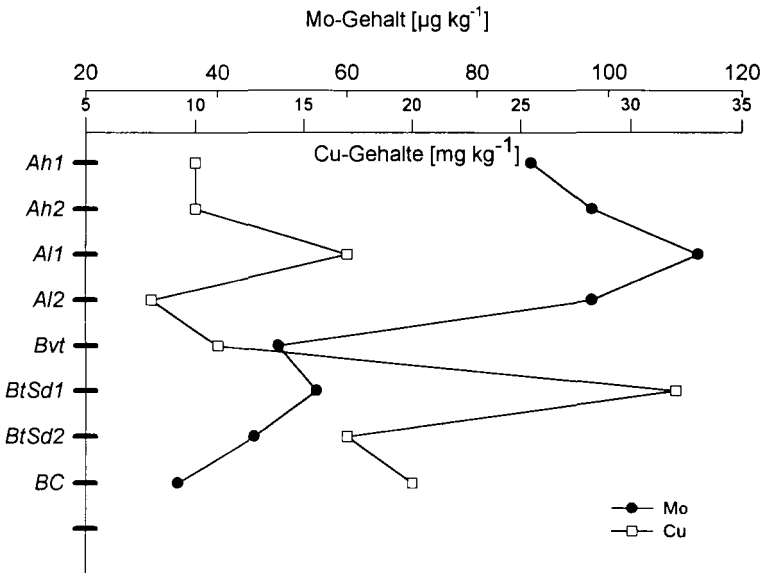


Abb. D-4.2.1: Tiefenverteilung von Kupfer und Molybdän im Profil 4.2.

Profil D.4.3, Hangley, Besetze

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Südlich von Besetze	
Top. Karte	Stockach	R: 35 026
1: 25 000:	8120	H: 53 037
Landschaft:	Oberschwäbisches Jungmoränengebiet	
Höhe:	587 m ü. NN	
Relief:	N-exponiert, Inklination 15%	
Nat. Vegetation:	Schwarzerlen-Quellwald	
Nutzung:	Fichtenforst, wenig Buche	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 8 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	800 mm	
Gestein:	Geschiebemergel, Würmmoräne	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ah	0 - 9	dunkel gelblichgrau (2,5 Y 3/2,5), schluffiger Lehm (Lu), kaum Skelett, Subpolyedergefüge, sehr stark durchwurzelt, Horizontgrenze wellig, abrupt.
GoA	9 - 22	dunkel gelblichgrau (2,5 Y 3/2,5), schwach rostfleckig, schwach sandiger Lehm (Ls2), kaum Skelett, Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt, Horizontgrenze wellig, deutlich.
Go	22 - 38	gelbgrau (2,5 Y 5/3), rostfleckig, mittel sandiger Lehm (Ls3), kaum Skelett, plattig-kohärentes Gefüge, schwach durchwurzelt, Horizontgrenze diffus.
Gor 1	38 - 65	grau (2,5 Y 5/1), rostfleckig, Fe-Konkretionen, schwach sandiger Lehm, wenig Skelett, Kohärentgefüge, Horizontgrenze diffus.
Gor 2	65-100+	grau (2,5 Y 5/1), rostfleckig, Fe-Konkretionen, Glimmerglanz, schwach toniger Lehm (Lt2), wenig Skelett, Kohärentgefüge.
Bodentyp	KA4:	Hangley (GGg)
	FAO:	Mollic Gleysols (GLm)
Humusform:	KA4:	L-Mull
Substrattyp:	KA4:	Hanglehm

Tab. D-4.3: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften, Hangley.

D-4.3 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol.%	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2661	Ah	0-9	< 5	0,8	6,1	27,4	34,3	45,5	20,2	n.b.	n.b.
2662	GoAh	9-22	< 5	1,5	9,0	27,8	38,3	39,4	22,3	n.b.	n.b.
2663	Go	22-38	5,0	1,2	10,1	33,3	44,6	37,4	18,0	n.b.	n.b.
2664	Gor 1	38-65	10,0	1,9	9,9	27,0	38,8	38,0	23,3	n.b.	n.b.
2665	Gor 2	-100+	10,0	1,5	7,3	24,5	33,3	37,6	29,1	n.b.	n.b.

D-4.3 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o mg/kg
				0.6	1.8*	2.5*	4.2*					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2661	Ah	1,13	55,3	n.b.	27,3	36,0	13,0	7,1	3,4	n.b.	0,48	n.b.
2662	GoAh	1,37	47,1	n.b.	33,1	33,0	15,0	6,2	1,4	n.b.	0,23	n.b.
2663	Go	1,54	41,4	n.b.	32,4	32,0	13,0	6,2	2,2	n.b.	0,35	n.b.
2664	Gor 1	1,58	40,4	n.b.	32,4	32,0	16,0	8,9	4,7	n.b.	0,53	n.b.
2665	Gor 2	1,53	42,3	n.b.	38,3	38,0	20,0	9,9	4,1	n.b.	0,41	n.b.

D-4.3 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	C _{org.} %	N _t mg/g	C/N	PO ₄ (AL) mg/kg	K _(AL) mg/kg
2661	Ah	n.b.	6,8	0,0	4,1	2,60	15,7	n.b.	81
2662	GoAh	n.b.	5,8	0,0	2,0	1,60	12,4	n.b.	39
2663	Go	n.b.	6,0	0,0	0,9	0,80	11,3	n.b.	36
2664	Gor 1	n.b.	6,2	0,0	0,7	0,80	9,2	n.b.	38
2665	Gor 2	n.b.	5,6	0,0	0,8	1,00	8,6	n.b.	27

D-4.3 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _e /kg	KAK _{eff} mmol _e /kg	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg					BS %
				H + Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33, 34	35	36	37	38	39
2661	Ah	n.b.	277	2,0	263	12	0,5	0,2	99
2662	GoAh	n.b.	115	6,0	88	20	0,7	0,2	95
2663	Go	n.b.	116	5,0	92	17	1,4	1,1	96
2664	Gor 1	n.b.	124	3,0	98	22	1,3	0,5	98
2665	Gor 2	n.b.	202	4,0	176	20	2,1	0,4	98

D-4.3 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2661	Ah	4,3	4,30	2,70	0,67	13	-	20	34	13	-	14	6
2662	GoAh	1,4	1,50	2,70	0,44	11	-	15	24	25	-	20	5
2663	Go	1,1	1,50	2,20	0,29	11	-	12	25	30	-	17	5
2664	Gor 1	1,3	1,70	3,40	0,38	11	-	12	23	27	-	23	4
2665	Gor 2	1,7	2,00	3,80	0,46	10	-	10	26	28	-	21	5

D-4.3 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde												
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr	
	<i>l</i>	<i>42a</i>	<i>42b</i>	<i>42c</i>	<i>42d</i>	<i>42e</i>	<i>42f</i>	<i>42g</i>	<i>42h</i>	<i>42i</i>	<i>42j</i>	<i>42k</i>	<i>42l</i>	
2661	Ah	n.b.	n.b.	2,06	1,08	0,5	1,89	1,1	0,87	2,89	0,91	223	13	
2662	GoAh	n.b.	n.b.	1,96	0,51	0,5	2,07	1,2	0,59	2,89	0,67	217	13	
2663	Go	n.b.	n.b.	1,96	0,43	0,5	2,25	1,3	0,44	2,77	0,67	238	12	
2664	Gor 1	n.b.	n.b.	2,31	0,45	0,6	2,18	1,2	0,50	3,24	1,18	234	14	
2665	Gor 2	n.b.	n.b.	2,60	0,53	0,6	2,15	1,1	0,61	3,38	1,28	212	16	

Erläuterungen, D-4.3, Hangley, Besetze

Bodenentwicklung

Der Hangley befindet sich am Mittelhang einer Würm-Moräne, die die untere Süßwassermolasse überlagert. Die Moräne ist Teil einer Würm-Endmoränen-Staffel. Der Geschiebemergel der Würmmoräne ist über die gesamte Profiltiefe (> 1m) entkalkt, allerdings bleibt die Basensättigung mit durchgehend über 95 % sehr hoch. Der pH-Abfall vom Ah- mit einem pH-Wert von 6,8 zum GoAh-Horizont mit einem pH-Wert von 5,8 ist evtl. auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen.

Aufgrund der Zufuhr von sauerstoffreichem Hangzugswasser überwiegen bei diesem Hangley in den oberen Horizonten die oxidativen Merkmale, erst ab etwa 70 cm Tiefe kommt es zu einem kleinräumigen Wechsel zwischen reduzierten und oxidierten Zonen, was vermutlich auf starke Schwankungen des Grundwasserstandes zurückzuführen ist.

Standortseigenschaften

Die Durchwurzelbarkeit ist in den oberen Horizonten wegen der mittleren Dränung und Durchlüftung sowie des geringen Skelettanteils und geringer Lagerungsdichte als mittel einzustufen. Die hier stockende Fichte ist jedoch nicht standortsgerecht. Sie durchwurzelt den Boden nur flachgründig, was Windwurfschäden begünstigt. Trotz einer geringen nFKWe ist durch den Zufluß von Hangzugswasser eine gute Wasserversorgung gesichert. Aufgrund der mittel bis sehr schwach sauren Bodenreaktion, sehr hoher Nährstoffvorräte, einer mittleren bis hohen KAK verbunden mit starker biologischer Aktivität ist eine sehr hohe Nährstoffverfügbarkeit gewährleistet.

N₂O Emission

Dieser Standort soll unter dem Aspekt seines u. a. durch Wechselfeuchte begünstigten N₂O-Emissionspotentials diskutiert werden. Dabei soll auch der Einfluß anthropogen bedingter Bodenverdichtung (Fahrspuren) Berücksichtigung finden.

* nach KA4 geschätzte Werte

Exkursionspunkt D-4.4: Parabraunerde

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Südlich von Besetze	
Top. Karte:	Blatt Stockach	R:35 025
1: 25 000:	8120	H:53 042
Landschaft:	Oberschwäbisches Jungmoränengebiet	
Höhe:	613 m ü. NN	
Relief:	Unterhang, SE-exponiert, Inklination 15-20%	
Nat. Vegetation:	Waldmeister-Buchenwald	
Nutzung:	Forst	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 8°C	
Mittl. Jahresniederschlag:	800 mm	
Gestein:	Obere Meeresmolasse, Kalksandstein	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ah	0-5	dunkel braungrau (10 YR 2/2), mittel lehmiger Sand (S13), Krümel- bis Subpolyedergefüge, locker gelagert, stark durchwurzelt, Horizontgrenzen wellig, abrupt.
Al	5-30	dunkel gelblichbraun (10 YR 4/6), mit humosem Material verfüllte Wurzelröhren, stark lehmiger Sand (S14), Subpolyedergefüge, locker bis mittel dicht, mittel durchwurzelt, Horizontgrenzen wellig, deutlich.
Btv	30-45	graubraun (10 YR 4/4), wenig Tonbeläge, stark sandiger Lehm (Ls4), Subpolyedergefüge, mittel bis dicht gelagert, mittel durchwurzelt, Horizontgrenzen diffus.
Bt	45-78	braun (7,5 YR 4/4), deutliche Tonbeläge, sandig-toniger Lehm (Lts), Subpolyedergefüge, dicht gelagert, mittel bis gering durchwurzelt, Horizontgrenzen wellig deutlich.
(B)Cv	78-88	gelbbraun (2,5 Y 4/6), Kalk z.T. krustig, schwach lehmiger Sand, Kohärentgefüge, mittel bis dicht gelagert, gering durchwurzelt, Horizontgrenzen diffus.
Cv	88-100	gelbgrau (2,5 YR 4/4), Kalk z.T. krustig, schwach lehmiger Sand, Kohärentgefüge, mittel bis dicht gelagert, sehr gering durchwurzelt.
Bodentyp	KA4:	Parabraunerde (LLn)
	FAO:	Haplic Luvisol (LVh)
Humusform:	KA4:	L-Mull
Substrattyp:	KA4:	Lehm über Sand

Tab. D-4.4: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften, D-4.4, Parabraunerde.

D-4.4 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol.%	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2651	Ah	0-5	<5	10	34	17	62	27	12	n.b.	n.b.
2652	Al	5-30	<5	10	30	16	57	27	17	n.b.	n.b.
2653	Btv	30-45	<5	9	31	17	57	23	20	n.b.	n.b.
2654	Bt	45-78	<5	14	38	12	64	12	25	n.b.	n.b.
2655	(B)Cv	78-88	20	12	54	14	80	9	11	n.b.	n.b.
2657	Cv	-100+	30	18	52	12	82	10	8	n.b.	n.b.

D-4.4 Nr.	Horizont	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o mg/kg
				0.6	1.8	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2651	Ah	1,19	53	n.b.	29	n.b.	8	5,9	1,8	n.b.	0,31	n.b.
2652	Al	1,45	45	n.b.	30	n.b.	12	8,0	0,8	n.b.	0,10	n.b.
2653	Btv	1,56	41	n.b.	29	n.b.	13	10,3	3,9	n.b.	0,38	n.b.
2654	Bt	1,39	48	n.b.	40	n.b.	24	14,2	4,8	n.b.	0,34	n.b.
2655	(B)Cv	1,39	48	n.b.	25	n.b.	7	7,7	1,5	n.b.	0,19	n.b.
2656	Cv	1,40	46	n.b.	24	n.b.	5	4,0	0,3	n.b.	0,08	n.b.

D-4.4 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	C _{org.} %	N _t mg/g	C/N	PO ₄ (AL) mg/kg	K(AL) mg/kg
2651	Ah	5,6	4,9	0,0	3,4	2,20	16	10	23
2652	Al	4,1	3,9	0,0	0,6	0,50	14	12	16
2653	Btv	4,6	4,2	0,0	0,5	0,40	10	24	27
2654	Bt	5,0	4,4	0,0	0,4	0,40	11	33	40
2655	(B)Cv	6,9	6,8	19,9	0,4	0,40	11	38	24
2656	Cv	7,6	7,3	24,1	<0,1	0,10	-	36	18

D-4.4 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _e /kg	KAK _{eff} mmol _e /kg	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg					BS %
				H + Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33, 34	35	36	37	38	39
2651	Ah	n.b.	163	6	145	11	2,1	0,1	96
2652	Al	n.b.	130	36	85	8	0,3	0,2	72
2653	Btv	n.b.	100	21	73	6	1,0	0,4	79
2654	Bt	n.b.	138	9	123	4	1,51	1,1	93
2655	(B)Cv	n.b.	144	0	142	1	0,5	0,1	100
2656	Cv	n.b.	91	0	90	1	0,2	0,4	100

D-4.4 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	<i>l</i>	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2651	Ah	2,0	2,3	0,8	0,36	9	-	5	28	17	-	38	3
2652	Al	0,5	3,0	2,3	0,39	7	-	4	24	31	-	32	2
2653	Btv	0,8	3,3	2,6	0,54	6	-	6	23	49	-	14	2
2654	Bt	1,2	3,7	3,0	0,72	3	-	6	14	65	-	11	1
2655	(B)Cv	80	3,5	2,3	1,03	3	-	9	18	64	-	5	1
2656	Cv	97	3,4	2,1	0,92	3	-	12	17	62	-	5	1

D-4.4 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t mg/kg	Ti _t mg/kg	Mn _t mg/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	<i>l</i>	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
2651	Ah	n.b.	n.b.	1,54	0,67	0,3	1,20	0,9	552	1995	330	153	13
2652	Al	n.b.	n.n.	1,94	0,26	0,4	1,38	1,0	557	2154	430	162	13
2653	Btv	n.b.	n.b.	2,42	0,34	0,4	1,35	0,9	700	1987	578	142	14
2654	Bt	n.b.	n.b.	2,97	0,38	0,5	1,29	0,7	902	1463	579	96	15
2655	(B)Cv	n.b.	n.b.	2,20	8,10	0,5	1,10	0,7	959	1087	486	74	15
2656	Cv	n.b.	n.b.	1,64	10,20	0,5	1,11	0,6	914	1000	403	74	14

Erläuterungen D-4.4, Parabraunerde, Besetze

Bodenentwicklung

Der Boden ist im anstehendem Kalksandstein der Oberen Meeresmolasse entwickelt. Gut zu erkennen ist die Kreuzschichtung des tertiären Sedimentes in einem dem Bodenprofil nahe gelegenen Aufschluß. Die Entkalkung ist bis in etwa 80 cm fortgeschritten. Der glimmerhaltige Sandstein ist stark verwittert. Skelett findet sich im oberen Teil des Profiles kaum noch. Die pH-Werte sind in den oberen Horizonten so weit abgesunken, daß Chloritisierung der aufgeweiteten Tonminerale zu beobachten ist. Der pH-Wert im Ah-Horizont ist möglicherweise durch Aufbasung, bedingt durch einen dem Profil unmittelbar benachbarten geschotterten Waldweg verglichen mit dem pH im Al-Horizont erhöht. Auch die Basensättigung ist im Ah- verglichen mit dem Al-Horizont deutlich erhöht. Nach Entkalkung des Substrates haben Verbraunung und Tonverlagerung der Bodenentwicklung die Richtung gegeben. Die Tonverlagerung hat zu einer beachtlichen Erhöhung der Tongehalte in den Bt-Horizonten gegenüber den Tongehalten im Cv-Horizont geführt. Die chemischen Bedingungen im Oberboden sprechen gegen rezente Tonverlagerung, im Widerspruch dazu lassen sich im Bt-Horizont jedoch sehr deutliche Tonbeläge zeigen.

Standortseigenschaften

Das mittel dicht gelagerte Profil ist gut durchwurzelnbar, Einschränkungen durch Skelett sind erst ab etwa 80 cm Bodentiefe zu berücksichtigen. Die Feldkapazität des Profiles kann als gering, die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes als mittel eingestuft werden. Die Nährelementvorräte sind hoch, bei jedoch z.T. nur geringer Verfügbarkeit (P, K).

Exkursionspunkt D-4.5: Pseudogley-Braunerde aus Bänderton

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Südlich von Zoznegg	
Top. Karte:	Blatt Stockach	H:35 022
I: 25 000:	8120	R:53 067
Landschaft:	Oberschwäbisches Jungmoränengebiet	
Höhe:	589 m ü. NN	
Relief:	N-exponiert, Inklination 10%	
Nat. Vegetation:	Hainbuchen-Eichenwald	
Nutzung:	Grünland	
Mittl. Jahrestemperatur:	ca. 7,5°C	
Mittl. Jahresniederschlag:	800 mm	
Gestein:	Würm-Bänderton	

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
Ah	0-20	braungrau (10YR4/3), stark schluffiger Ton (Tu4) mit krümeligem Gefüge; stark durchwurzelt, diffuser Übergang.
Bv	20-45	graubraun (10YR4/4), mittelschluffiger Ton (Tu3); krümeliges bis subpolyedrisches Gefüge; gering durchwurzelt, diffuser Übergang.
(P)Swd	45-70	graubraun (2,5Y4/2) - grüngrau (10Y5/2) marmoriert, mittel schluffiger Ton (Tu3); polyedrisches bis prismatisches Gefüge; schwarzbraune Konkretionen; kaum durchwurzelt; diffuser Übergang.
ICSd	70-100+	grüngrau (10Y5/2) - gelbbraun (2,5Y5/6) marmoriert, mittel schluffiger Ton (Tu3); kohärent bis schichtig; wenige schwarzbraune Mangan-Konkretionen und kleine Kalkkonkretionen.
Bodentyp	KA4:	Pseudogley-Braunerde (SS-BB)
	FAO:	Stagni-eutric Cambisol (CMej)
Humusform:	KA4:	L-Mull
Substrattyp:	KA4:	Fluvison

Tab. D-4.5: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften, Pseudogley-Braunerde.

D-4.5 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	SS	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0781	Ah	0-20	0	-	-	-	6	66	28	n.b.	n.b.
0782	Bv	20-45	0	-	-	-	2	64	34	n.b.	n.b.
0783	PSwd	45-70	0	-	-	-	2	55	43	n.b.	n.b.
0784	ICSd	-100+	0	-	-	-	0	58	42	n.b.	n.b.

D-4.5 Nr.	Horizont	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _o /d	Mn _o mg/kg
				0.6	1.8	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0781	Ah	0,81	66,3	61,9	38,4	28,5	21,7	10,1	2,5	n.b.	0,25	0,57
0782	Bv	1,09	61,5	51,1	30,8	28,7	17,6	10,0	1,7	n.b.	0,17	0,45
0783	PSwd	1,23	53,7	48,6	36,8	32,5	23,4	11,0	1,4	n.b.	0,13	0,75
0784	ICSd	1,36	48,5	48,5	44,7	39,7	38,8	7,0	0,6	n.b.	0,09	0,42

D-4.5 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	C _{org} %	N _t mg/g	C/N	PO ₄ (AL) mg/kg	K _(AL) mg/kg
0781	Ah	7,8	7,0	0,6	1,6	1,6	10	<2	113
0782	Bv	8,0	7,1	0,2	0,6	0,8	8	<2	95
0783	PSwd	8,0	7,0	0,2	0,6	0,5	12	<2	99
0784	ICSd	8,0	7,5	17,4	0,15	0,3	5	<2	88

D-4.5 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS %
				H	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
0781	Ah	209	n.b.	n.n.	n.n.	180	23	4,9	0,9	100
0782	Bv	206	n.b.	n.n.	n.n.	175	26	4,1	0,9	100
0783	PSwd	211	n.b.	n.n.	n.n.	166	40	4,3	1,1	100
0784	ICSd	145	n.b.	n.n.	n.n.	106	34	3,7	1,1	100

D-4.5 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
0781	Ah	4,3	7,2	4,04	0,53	20	-	30	25	20	-	-	5
0782	Bv	3,8	8,0	4,50	0,57	20	-	30	25	20	-	-	5
0783	PSwd	3,7	8,9	4,40	0,62	20	-	30	25	20	-	-	5
0784	ICSd	60,8	11,8	3,84	0,56	20	-	35	20	20	-	-	5

D-4.5 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t mg/kg	Ti _t mg/kg	Mn _t mg/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
0781	Ah	n.b.	n.b.	3,85	0,87	1,0	2,24	1,1	664	4340	1181	228	19
0782	Bv	n.b.	n.b.	4,18	0,78	1,1	2,34	1,1	628	4477	1112	220	20
0783	PSwd	n.b.	n.b.	4,45	0,75	1,23	2,44	1,1	706	4707	1196	217	22
0784	ICSd	n.b.	n.b.	4,24	6,9	1,9	2,17	0,6	756	4316	1084	176	25

Erläuterungen D-4.5, Pseudogley-Braunerde, Zoznegg

Landschafts-genetische Einordnung

Gegen Ende der Würmeiszeit ließen die zurückweichenden Gletscher viele zuvor ausgeräumte Hohlformen unterschiedlicher Größe wie die in Alpennähe verbreiteten Zungenbeckenseen zurück. Gleichzeitig stand genug Schmelzwasser zur Verfügung, um diese insbesondere im Frühjahr zu füllen. In schwächer entwässerten Bereichen und Seen kam es zur Bildung von Warventonen (Bändertonen), die sich durch ihre jahresrhythmische Zweischichtigkeit erkennen lassen. Im Frühjahr werden schluffreichere Sedimente abgelagert, während das Material insbesondere im Herbst ton- und humusreicher ist. Mit dem Rückzug der Gletscher verringerten sich die Abflußmengen. Die Hohlformen verlandeten oder vermoorten, und die Abflußrinnen trockneten aus.

Die Bodenbildung ist in diesen Gebieten großenteils durch die Textur der Sedimente und die Art der Ablagerung sowie den Fortschritt der Verlandung bestimmt. Durch die variierenden Abflußmengen entstehen häufig geschichtete Profile. Die Dauer des jeweiligen Abflußregimes entscheidet dabei über die Mächtigkeit.

Bodenentwicklung

Der aus würmendzeitlichen Warventonen entstandene Boden ist heute fast vollständig entkalkt. An der Solumunterkante findet sich z.T. Sekundärkalk

Der Unterboden ist durch den hohen Tonanteil von Staunässe beeinflusst und daher marmoriert. Die Zeichneigenschaften werden durch die enge Texturschichtung der Warvenbänder verstärkt. Der hohe Tonanteil bedingt gleichzeitig eine gewisse Quell- und Schrumpfdynamik, die zu einem polyedrischen bis prismatischen Gefüge führt. Jedoch erreicht das Profil nicht die für den Pelosol nötigen Tongehalte.

Der „braune“ Horizont ist entweder durch lokale Tonmineral- und Sesquioxidneubildung oder durch die Farbe der Ablagerungen zu erklären.

Standortseigenschaften

Die Nährstoffvorräte sind mittel (N) bis sehr hoch (Ca,P). Die Verfügbarkeit von K und P ist jedoch durch den hohen pH-Wert eingeschränkt. Die nFKWe ist mit ca. 100 mm gering, während die LK oberhalb des ICSd hoch bis sehr hoch ist. Stauwasser dürfte im (P)Swd trotzdem zu zeitweisem Luftmangel führen. Die hohe Wassersättigung im Frühjahr kühlt den Standort und führt vermutlich zu einer Verkürzung der Vegetationsperiode.

Pestizidverlagerung in Böden

Am Standort soll eine neue Methode zur in-situ-Messung der Pestizidverlagerung vorgestellt werden.

Exkursion

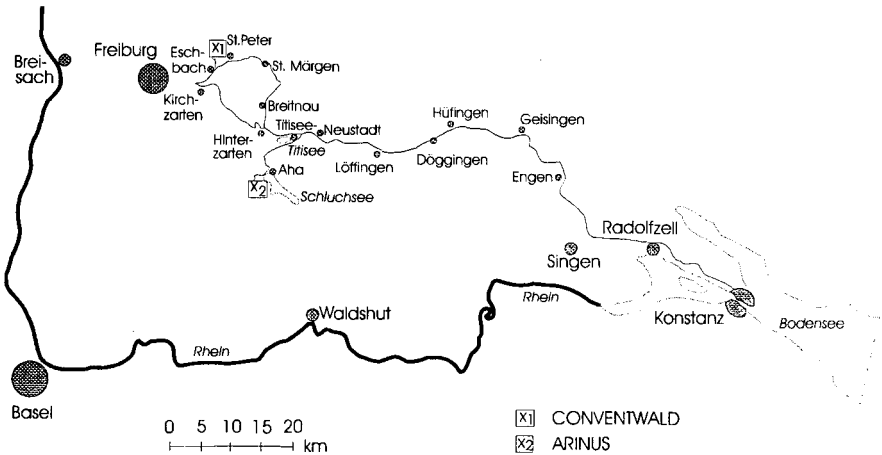
D 5

Waldökosystemforschung im Schwarzwald

Exkursionsleitung: K.-H. Feger¹, F. Hädrich¹ und K. von Wilpert²

Inhalt

	Seite
I Exkursionsroute	274
II Beschreibung des Exkursionsgebietes	280
III CONVENTWALD-Projekt	289
IV ARINUS-Projekt	300
V Literatur	310



¹ Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstr. 17, D-79085 Freiburg

² Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestr. 4, D-79100 Freiburg

I Exkursionsroute (F. Hädrich)

Auf dieser Exkursion werden sechs charakteristische Landschaften durchfahren:

Westliches Bodenseebecken, Hegau, westliche Schwäbische Alb, Baar, Mittel- und Schwarzwald. Die Route führt aus dem Bereich jüngster Seeablagerungen über die Gesteine der Würm- und Rißeiszeit, das Tertiär, durch Jura, Keuper, Buntsandstein bis in das aus Gneisen und Graniten bestehende kristalline Grundgebirge des Schwarzwaldes, aus jungen Akkumulations- in immer ältere Erosionslandschaften.

Abschnitt Konstanz - Autobahnkreuz „Hegau“:

Von **Konstanz** geht es zunächst über den Seerhein (Verbindung zwischen Ober- und Untersee) und auf der B 33 nach NW, entlang dem Südwestfuß des Höhenzugs

Bodanrück mit Würmgrundmoräne über tertiärer Molasse und zahlreichen Drumlins, dazwischen in Senken und Toteismulden über Seekreide zahlreiche Verlandungs-Niedermoore. Ebene Bereiche und Drumlins werden von Parabraunerden geringer Entkalkungstiefe (WERNER, 1964) überwiegend aus Geschiebemergel, seltener aus Molasse, eingenommen. Die B 33 verläuft zunächst überwiegend in Ufernähe des

Gnadensees (Teilbecken des **Zeller Sees**; Ausräumung durch würmzeitliche Gletscherzunge). Sie tangiert bereits kurz nach Konstanz ausgedehnte Schilf- und Röhrichtbestände, das Naturschutzgebiet

„**Wollmatinger Ried**“, ein Verlandungs-Niedermoor (Torflage 0,2 bis 1m über Seekreide und Beckenton) *in statu nascendi*. Durch diese Riedflächen führt ein künstlicher Verbindungsdamm hinüber zur

Insel Reichenau, dem Gemüsegarten Deutschlands, mit thermisch ausgeglichenem Klima, und Bewässerungs-Gemüsebau; mit 2 Drumlins im Zentrum; kunsthistorisch interessant die St. Georg-Kirche (Säulenbasilika, erbaut um 900, mit völlig erhaltenen Fresken aus dem 10. Jh.) in Oberzell, Münster und ehem. Kloster in Mittelzell (724-1172, dreischiffige Säulenbasilika) und die Stiftskirche St. Peter und Paul (Bauzeit von 799 bis ins 11. Jh.) in Niederzell, im NW der Insel.

Allensbach, am Nordufer des Gnadensees und bekannt durch sein „Institut für Meinungsforschung“, wird umfahren. Die B 33 umgeht auch **Markelfingen**, führt nahe an der **Vogelwarte Rositten** vorbei - seit ihrer Vertreibung Sitz in **Möggingen**, mit reichem Betätigungsfeld in den großen Vogelreservaten Wollmatinger Ried, Mindelsee und Halbinsel Mettnau - und umgeht später in größerem Abstand auch die Stadt

Radolfzell (24000 Einw.), 826 erbaute Bischof Radolf von Verona ein Kirchlein und eine Behausung für Mönche, die Radolfs-Zelle; Zeugnisse mittelalterlichen Lebens sind Stadtmauer mit drei ihrer Türme, der Schutzgraben, gotisches Liebfrauenmünster und Reichsritterschaftshaus).

Nördlich **Böhringen** durchfährt man relativ flaches Gelände, die

Singener Ebene mit glazifluvialen Schotterfeldern der Würmeiszeit (nach SCHREINER 1976 rinnenfüllende Vorstoßschotter, überlagert von Geschiebemergel, Beckenton und jüngeren Kiesen der Würmeiszeit). Die Böden der Singener Ebene aus diesen würmzeitlichen Schottern gehören zum Subtyp der (Rötlichen) Parabraunerde geringer Entkalkungstiefe (WERNER 1964)(Exkursion D 3). Die Singener Ebene wird im NW begrenzt durch eine Folge von Kuppen mit dem

Friedinger Schloßberg aus Oberer Meeresmolasse in der Grobsandfazies (Glaukonitsande); die Kuppen sind z.T. von Würmgrundmoräne bedeckt. Bis **Friedingen** erstreckt sich ein vorwiegend bewaldetes Gebiet, danach öffnet sich die Landschaft durch mehr ackerbauliche Nutzung. Spätestens seit Radolfzell bewegt sich die Exkursion im Kerngebiet des

Hegau (Name vermutlich vom keltischen Bergnamen „Hewen“, urspr. also Hewengau, abgeleitet).

Charakteristisch sind die kegelförmigen Vulkanruinen, von denen uns zuerst der phonolithische

Hohentwiel im W von Singen begegnet; er trägt auf seiner Westseite noch einen Mantel aus Oberer Süßwassermolasse, überlagert von Deckentuff; auf der E-Seite wurde er durch die anbrannten Eismassen schon in der Rißeiszeit davon befreit und erhielt dadurch sein asymmetrisches W-E-Profil; er war bereits in vorgeschichtlicher Zeit besiedelt; in keltischer, römischer und alemannischer Zeit war der Felsen von strategischer Bedeutung; Karolinger und schwäbische Herzöge beherrschten den Berg, die weitere wechselvolle Geschichte endete mit der Schleifung der Festungsanlage am Anfang des 19. Jahrhunderts; die meisten erhaltenen Teile stammen aus dem 17. und 18. Jh.

Singen ist mit 42800 Einw. Metropole des Hegau mit deutsch-schweizerischem Gemeinschaftsbahnhof, bedeutender Industrie (Maggi, GF und ALU-Singen) und Hegaumuseum, es wurde 787 erstmalig urkundlich erwähnt als „Sisinga“.

Kurz vor dem **AB-Kreuz "Hegau"** Querung einer alten Schmelzwasserrinne, die Aachrinne, die heute von der Radolfzeller **Aach**, vom Aachtopf mit bis zu 10 000 l/sec. stärkste Quelle Deutschlands kommend, benutzt wird.

Hegauvulkanismus: Er ist ein Teil des tertiären Intraplattenvulkanismus in Mitteleuropa. Die schon von weitem ins Auge fallenden Kegelberge zeigen kaum Aufschüttungsformen, sondern sind durch Erosion gestaltete Schlotfüllungen (Vulkanismus von Obermiozän bis Pliozän, K/Ar-Alter 15-7 Mio Jahre) (KELLER 1984). Die verschiedenen Eruptionsprodukte sind nach SCHREINER (1976) sowohl durch Magmendifferentiation als auch durch Reaktion mit dem Nebengestein erklärbar.

Unterschieden werden eine phonolitische Ostreihe - dazu zählen u.a. die aus der Ebene jäh aufragenden Kegel des *Hohentwiel*, *Hohenkrähen* und *Mägdeberg* und eine basaltische Westreihe (Olivinmelilithe) mit den höchsten Kegelbergen *Hohenstoffeln* (844 m), *Hohenhewen* (848 m), *Neuhewen* (867 m), *Hewenegg* (812 m) und der relativ weit im NW bei Geisingen und außerhalb des Hegau gelegene *Wartenberg* (841 m) (jeweils v. S ---> N).

Abschnitt AB-Kreuz Hegau - Geisingen:

Die Exkursion nimmt ab dem AB-Kreuz Hegau die A 81; das Kreuz liegt auf Unterer Süßwassermolasse, nach W hin auf würmzeitlicher Grundmoräne. Die Beckenlandschaft um Singen wird verlassen und über die Tengen-Blumenfelder Randhöhen ansteigend die Randen-Hewenegg-Hochfläche erreicht und damit die **westliche Schwäbische Alb**.

Dabei werden entgegen dem Schichtfallen Komplexe von würmzeitlicher Grundmoräne, Endmoränenbögen, fluvioglaziale Schotter des Würm und später auch die den auftauchenden Weißjura bedeckende tertiäre, zunächst Ältere und dann Jüngere Juranagelfluh mit Schüttung von NW (im Schichtfällen) durchfahren. Die Ältere JN besteht als Konglomerat aus groben Geröllen des Weißjura, eingebettet in kalksandigen Mergel, die Jüngere dagegen auch aus Braunjura, Schwarzjura und Muschelkalkkomponenten. Böden der Juranagelfluh sind Rendzinen (in Erosionslagen), in ebeneren Lagen Übergangs-Subtypen zur Terra fusca, Typische Terra fusca und bei äolischer Überdeckung Parabraunerde-Terra fusca oder Parabraunerden unterschiedlicher Entkalkungstiefe.

Engen: Gehört zu den drei Städtchen des NW-Hegaus von denen ein Slogan sagt: „Engen, Tengen, Blumenfeld sind die schönsten Städt' der Welt“. Sehenswert sind eine spätromanische Rundpfeilerbasilika aus dem 13. Jh., ein Rathaus mit verändertem gotischen Staffelgiebelbau von 1556 und z.T. erhaltene Stadtmauern. Engen verläßt die Exkursion mit der Äußeren Jungendmoräne das Gebiet der Würmvereisung, tritt in Bereiche mit Rißgrundmoräne ein und quert N Engen den Talbach sowie die Eisenbahnstrecke Singen - Tuttlingen. Die steileren Hänge (Weißjura ξ 1+2) sind stärker bewaldet, ebenso die flacheren Lagen mit Rißgrundmoräne (Stauwasserböden !).

Zwischen **Bargen** und **Mauenheim** folgt eine nach W ansteigende, offene Landschaft in den Zementmergeln (w ξ 2). Dann werden im wieder geschlossen bewaldeten Gelände die E-Ausläufer der

Randen-Hewenegg-Hochfläche erreicht (Jüngere JN über Weißjura ξ); sie bilden mit maximal 810 m den zunächst höchsten Routenabschnitt. Von da führt die A 81 in einem Donau-Seitentäl (o.N.) durch den gesamten Weißjura (ξ - α) hinunter ins antezedente und konsequente **Donau-Durchbruchstal** bei

Geisingen (764 erstmalig erwähnt, Stadtrechte seit 1329). Unmittelbar an der Ausfahrt Geisingen mündet der von SSW kommende Bach Aitrach bis ins Würmmaximum die sog. **Feldberg-Donau**.

Abschnitt Geisingen - Röttenbach (Baar und Muschelkalkgäu):

Weithin sichtbar sind schon von der A 81 aus die **Breisgauer Zementwerke** NE Geisingen mit der Abbauwand in den wohlgeschichteten, bankigen Weißjura β -Kalken. Die Wald-Feld-Grenze ist meist identisch mit der Braunjura/Weißjura-Grenze; die Böden des Braunjura werden überwiegend landwirtschaftlich genutzt.

Nach der Ausfahrt Geisingen erfolgt die Weiterfahrt auf der **B 31/33** nach W.SW von Geisingen wird die gerade in die Alb eingetretene, mäandrierende **Donau** gequert. Zur Rechten (N) erscheint der basaltische

Wartenberg als nördlichster Hegauvulkan mit fürstenbergischem Jagdschloß aus dem 18. Jh., zur Linken (S) erhebt sich zunächst die „Länge“, eine markante Weißjura (α - χ)-Platte, die hier den Albrauf bildet. Im W ist ihr der

Fürstenberg (918 m) als Zeugenberg mit ehemaligem Stammsitz des heute in Donaueschingen ansässigen Geschlechts von Fürstenberg vorgelagert; Burg und Ort wurden auf dem Fürstenberg 1845 durch einen Brand zerstört, der Ort wurde am Westfuß des Berges wieder aufgebaut.

Die Route verläuft nun durch eine wellige Landschaft des Braunjura α (Opalinumton mit Rutschungen!) und quartäre, ungegliederte Donauschotter ins

Donaueschinger Becken, und damit ist die waldarme **südliche Baar** erreicht. Unmittelbar vor **Pföhren** erscheint zur Rechten die Schichtstufe des überwiegend kalkigen Schwarzjura α . Das Donaueschinger Becken liegt im Bereich des Keuper, vor allem des km und ku in tonig-mergeliger Fazies; diese Gesteine sind z.T. bedeckt mit Niedermoortorfen und sandig-kiesigen, holozänen Sedimenten der beiden, aus dem Schwarzwald kommenden Donau-Quellflüsse Brigach und Breg.

Bis Hüfingen werden in Flußnähe verschiedene Auenböden und Gleye, sonst Niedermoore und Pelosole angetroffen, letztere vor allem südlich der Route.

Hüfingen (6200 E) ist im Altsiedlungsland gelegen; vor seiner Ortsgründung (1083 erstmals erwähnt) lag an dieser Stelle das keltisch-römische „Brigobanne“; rechts der Route, SW Hüfingen, ist das in einem Trockental des Oberen Muschelkalks angelegte Römerbad (17-74 n. Chr.) zu sehen, eines der besterhaltenen römischen Badestätten im europäischen Raum.

Zwischen Hüfingen und Döggingen begleitet uns links der B 31 Unterer Keuper und rechts der darunter auftauchende Obere Muschelkalk (Gäu); auf halbem Wege durchfahren wir ein bewaldetes (Fichten) Naturschutzgebiet, in dem 30 verschiedenen Orchideenarten vorkommen. In

Döggingen stößt man auf eine Tunnelbaustelle für die B 31 zur Ortsumgehung im Bereich des Muschelkalkes; die Route führt dann abwärts durch das Tal der Gauchach (Nebenbach der Wutach), rechts (N), höher gelegen, der Muschelkalk, links etwas tiefer (!), Schwarzjura α und Gipskeuper (km1) mit Rutschungsspuren in den Grünflächen; der Schichtenversatz ist nur erklärbar durch eine der Nordrandverwerfungen des hercynischen **Bonndorfer Grabens**. Die B 31 steigt nun aus dem Keuper herauf auf die Gäufläche des Oberen Muschelkalkes um

Löffingen (Marktstädtchen aus dem 13. Jh.); vorherrschende Böden sind Rendzina, Kalkbraunerde und Parabraunerde-Terra fusca, dann geht es durch den Mittleren und Unteren Muschelkalk mit Pelosolen, Braunerden und Pseudogleyen (HÄDRICH und STAHR 1992).

Abschnitt Rötensbach - Hinterzarten:

Bei **Rötensbach** erreichen wir den Oberen Buntsandstein und damit die hier noch offenen, dann aber bald geschlossen bewaldeten (Fichte, Tanne, Kiefer) Flächen des E-Schwarzwaldes mit basenarmen Braunerden und Übergängen zu Stagnogleyen und Waldmooren in ebenen bis flachmuldigen Lagen.

Nun folgt ein gleichmäßiger Anstieg der B 31 durch geschlossenen Wald bis zum „Kirchsteig“-Sattel (929 m NN); danach neigt sich die Trasse in Richtung auf die Gutachtal-Brücke (1981 fertiggestellt), sie führt hinüber an den NE-Hang des Hochfirst-Beerwald-Kammes. Die Gutach ist der Hauptquellfluß der heutigen Wutach. Der Buntsandstein hat seit dem genannten Sattel den vor der Brücke rechts aufgeschlossenen, sehr basenarmen Hochfirst-Eisenbach-Granit freigegeben (zur Linken die Kreis-Mülldeponie). Von der Brücke aus hat man einen herrlichen Blick auf

Neustadt (Hauptort von Titisee-Neustadt, der mit 12560 Einw. größten Gemeinde des Südschwarzwaldes). Am Brückende steht zur Linken in Unter- bis Mittelhanglage bereits ein zur zentralschwarzwälder Gneismasse gehörender Paragneis-Anatexit an; Gneise bilden nun bis fast zum zweiten Haltepunkt das bodenbildende Ausgangsmaterial. Hier war der Würm-Maximalstand des vom Feldberg kommenden Seebach-Gutach-Gletschers.

Die Höhen zu beiden Seiten der Route liegen nur wenig unter der permotriadischen Landoberfläche. Beim Ortsteil Hölzlebruck, nach einem Talknick in die SW-Richtung, wird der Blick frei in die glazigene Talmulde bis Titisee. Südexponierte Hänge und der bei 830-850 m hoch liegende Talboden zeigen ausschließlich Grünlandwirtschaft; Einzelhöfe mit arrondiertem Besitz in Streifenflur sind typisch für den Mittleren Schwarzwald, an dessen S-Grenze die Route verläuft. Die ehemaligen Hochweiden tragen nach Wiederaufforstung häufig reine Fichtenbestände in 1. bis 3. Generation auf sehr basenarmen bzw. schwach podsoligen Moder- bis Rohhumus-Dysbraunerden, auch „Sauerbraunerden“ genannt (STAHR, 1979, STAHR, et al. 1979, HÄDRICH et al., 1988, HÄDRICH und STAHR, 1992). Kurz vor

Titisee (heilklimatischer Kurort) wird zur Linken der glaziale Umlaufberg „Hirschbühl“ (945m) umfahren. Bald danach, vorbei an Titisee, erreicht die Exkursion die ehemals ebenfalls vergletscherte und dadurch übertiefte Hochtalmulde von

Hinterzarten (2300 E., 885 m, heilklimatischer Kurort, kath. Pfarrkirche von 1416, ev. Kirche mit berühmten Glasfenstern, erbaut 1962/63 und Glockenspiel von 1989) mit Talwasserscheide (Zartenbach/ Höllenbach nach NW und Gutach nach E) und ausgedehnter Vermoorung; die über 70 ha Übergangs- und Hochmoor bilden den größten Moorkomplex des Schwarzwaldes, er gehört zu den besterhaltenen und gut zugänglichen Mooren Mitteleuropas und ist seit 1941 Naturschutzgebiet, auffallend sind die Spirkenbestände. Von SW her grüßt die auch für den Sommerbetrieb eingerichtete Adlerschanze.

Abschnitt Hinterzarten - Conventwald (1. Halt):

In Höhe Hinterzarten zweigt die Schwarzwald-Hochstraße B 500 nach N ab, der wir folgen. Der Mittlere Schwarzwald zeigt hochflächenartigen Charakter und tiefe Taleinschnitte, hier verzeichnen sich rhenanischer und danubischer Relieftyp (s. Kap. 2). Zeugnis des ungleichen Kampfes der Bäche ist die unweit westlich gelegene **Ravennaschlucht**; der Ravennabach greift rückschreitend erodierend aus dem Höllental die Flachlandschaft um Breitnau an und hat deren ursprünglich danubischen Bach bereits angezapft und zum Rhein abgelenkt.

Breitnau ist Luftkurort; der Ortskern liegt auf einem S-expon. Hochplateau (ca. 1000 m) mit Blick auf *Feldbergmassiv*, *Alpen* und *Vogesen*. Hier gibt es noch 150 landwirtschaftliche Betriebe (49 im Vollerwerb) mit Grünland- und Waldwirtschaft. Die weitläufige Streusiedlung mit bis zu 400 Jahre alten Höfen reicht vom „Hirschsprung“ im Höllental (550 m) bis fast zum

Thurner (1020 m). 1100 erfolgte die erste Ansiedlung der Herren von Falkenstein im Höllental mit ersten Lehenshöfen und 1148 die Einweihung der St. Oswald-Kapelle als Eigenkirche der Falkensteiner und ersten Pfarrkirche Breitnaus; sie ist die älteste Kapelle des Hochschwarzwaldes. Spätestens am Plateau des *Thurner* (1020 m) erreicht die Exkursion die Nähe der permotriadischen Landoberfläche als typisch danubischem Reliefelement. Kurz danach wird die B 500 verlassen und die Exkursion folgt der Panoramastraße *Thurner - St. Märgen - St. Peter*.

Zu den Böden gehören durchweg Braunerden, in muldigen Lagen mit Feuchtstandorten bis zum Übergangsmoor vergesellschaftet; eine besondere Variante der Braunerde stellen vom *Thurner* bis zum *Kandel*, in ebener bis schwach geneigter Lage, Böden mit rötlichem Bv-Horizont dar; es ist bis heute nicht geklärt, ob es sich um Böden aus Rotliegendesten oder um rezente Verwitterung des auf Klüften hämatitführenden Gneises handelt (HÄDRICH u. STAHR 1992). Der Luftkurort

St. Märgen, zeigt eine ähnliche Lage wie Breitnau und ist bekannt durch seine weithin sichtbare zweitürmige barocke Wallfahrts- und ehem. Klosterkirche (1723 erbaut, einst Teil des 1118 gegründeten Klosters). Es gibt herrliche Ausblicke auf *Feldberg* (1493 m), *Schauinsland* (1284 m), *Vogesen* und *Kandel* (1242 m). Nach kurvenreicher Strecke wird in weiter Hochtalmulde der Luftkurort

St. Peter erreicht. Er ist bekannt durch seine zweitürmige Klosterkirche in der ehem. Benediktinerabtei (gegr. 1093 vom Zähringer Herzog Bertold II. als Hauskloster und Grablege); die Kirche wurde von 1724 -1727 im Barockstil neu erbaut; sehenswert die nach Plänen von Peter Thumb im Rokkoko-Stil erbaute Stiftsbibliothek.

St. Peter liegt nicht nur topographisch, sondern auch geologisch in einer Mulde, in der Gesteine des Rotliegenden erhalten sind; die Böden sind deshalb rötliche Braunerden. Über ein kurzes Landstraßenstück, durch das Eschbachtal hinunter, erreicht die Exkursion den Ortsteil

Eschbach der Gemeinde Stegen. Über Hintereschbach gelangt die Exkursion in den Bereich der steilen Südabdachung des *Langeck-Flaunser-Roßkopf-Kammes* aus Paragneis, ein typisch rhenanisches Reliefelement, und zum

Versuchsgebiet „CONVENTWALD“ der Abteilung Bodenkunde der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg in Freiburg (**1. Halt**).

Die Böden sind im Bereich der Kuppen, Rücken und Oberhänge Mullbraunerden, in mittleren und unteren Hanglagen durch Lößbeteiligung innerhalb der Schuttfolgen Parabraunerde-Braunerden oder Braunerde-Parabraunerden mit der Humusform Mull (HÄDRICH und STAHR, 1992). In Unterhanglage finden sich verbreitet Kolluvien infolge landwirtschaftlicher (auch Wasserwiesen-)Nutzung. - **Mittagspause**.

Abschnitt Stegen - „ARINUS“-Versuchsgebiet (Schluchsee):

Weiterfahrt nach S über Eschbach und den stark wachsenden Kernort

Stegen, das in der NE-Ecke des ca. 3 km breiten und 7 km langen

Zartener Beckens liegt und das heute fälschlich nach seinem Hauptfluß „Dreisamtal“ genannt wird. Es geht in Richtung auf Kirchzarten über die Niederterrasse; sie besteht vorwiegend aus den kristallinen Sedimenten (mit Lößkomponente) des Wagensteig- und Höllenbaches; beide bilden - kurz vor der Unterfährung der neuen und Erreichen der alten B 31 - den für Freiburg typischen Fluß keltischen Namens „Dreisam“. Weiter W werden von ihr noch weitere Bäche aufgenommen, so z.B. der Eschbach, der in einer Randdepression am N-Rand des Z. B. erst 5 km weiter W in die Dreisam mündet. Acker und Grünland liegen hier auf Parabraunerde-Braunerde oder Braunerde-Parabraunerde.

Kirchzarten, mit 8500 E. das Zentrum des Zartener Beckens, hat vermutlich seinen Ursprung in der auf der Niederterrasse gelegenen keltischen Siedlung "Tarodunum" („tar“ → „zar“ in Kirchzarten). Es breitet sich am trichterförmigen Eingang des von S kommenden Oberrieder Tales

in das Z. B. aus. Im 8. Jh. wurde K. erstmalig schriftlich erwähnt, als der Ort Zentrum breisgauischer Güter des Klosters St. Gallen war. Sehenswert sind die Pfarrkirche St. Gallus und die Wasserburg als ehem. Sitz der 1496 errichteten Talvogtei. Die Exkursion fährt nun am Südrand der Niederterrasse auf der alten B 31 durch die Birkenhofsiedlung und erreicht bald den am Ausgang des Höllentales gelegenen Ortsteil

Himmelreich (Gemeinde Buchenbach) und damit die eigentliche B 31. Im unteren

Höllental (Falkensteig) ist die Niederterrasse auf der Gegenseite klassisch ausgebildet, die holozäne Eintiefung des Höllenbaches erreicht hier 10 m; talauf nähern sich Niederterrasse und Bachsohle (Aue) bis zum

Hirschsprung (Sage) auf 1-2 m. Die Engstelle besteht aus relativ hartem Gneis-Diatexit. Am Hirschsprung lag nach SCHREINER (1977) der Maximalstand der Würmvereisung. Das Höllental war eine gefürchtete Strecke und wurde deshalb später für den Verkehr ausgebaut als die benachbarte Wagensteigstrecke, die hinauf nach St. Märgen führt. Ursprünglich war der Höllentalweg nur ein bestenfalls wagenbreiter Saumpfad. Die erste Straße entstand 1755-1770 aus Anlaß des Brautzuges der Prinzessin Marie Antoinette von Wien nach Paris zu ihrem Bräutigam 1770, dem späteren König Ludwig XVI. Der weitere Ausbau erfolgte 1857 und verschiedentlich in unserem Jahrhundert. Am 21. Mai 1887 wurde die Höllentalbahn eingeweiht und 1936 elektrifiziert. Weiter talauf - nun wieder auf Breitenauer Gemarkung - führt die B 31 teilweise im Auenniveau.

Zur Linken erblickt man aufgegebene Bahnstationen und einzelne Höfe; danach erscheint der **Ravennaviadukt** der Bahn, unter dem die Ravenna (s. Breitenau) ihre steile Schlucht verläßt; unmittelbar davor liegt das alte Hofgut "Sternen" (mit der **St. Oswald-Kapelle**), einst Vorspannstation, wurde es in neuerer Zeit zu einem „Best Western“-Hotel-Restaurant ausgebaut; unmittelbar benachbart steht die Wald-Glashütte Höllsteig.

Spätestens in der nächsten Linkskurve wird deutlich, daß hier ein Talschluß vorliegt; es geht in 7 Kehren eine Gefällsstufe hinauf und zurück in die Hinterzartener Hochtal mulde, während der Höllenbach diese Stufe im steilen Löffeltal mit V-förmigem Querschnitt auszugleichen versucht.

An den Hängen entwickelten sich (teilweise schuttbedeckte) Braunerden, bei Felsauftragungen Ranker und Syrosemi, in Tallage Vegen, Gleye und Kolluvisole. Die Weiterfahrt erfolgt vorbei an Hinterzarten nach Titisee, hier wird die B 31 verlassen, die Exkursion durchfährt den Ort und am Nordufer des Sees das Seebachtal aufwärts in Richtung *Feldberg*. Das

Seebachtal ist eine alte Entwässerungsrinne vom *Feldberg* zur Donau. Der

Titisee als Staubecken des Seebaches gehört zum Titisee-Rückzugsstadium der Würmeiszeit Endmoränen-Stausee). Die Mächtigkeit des Eises in Höhe Titisee wird mit maximal 100-150 m angenommen; es formte das Tal zu einem Trog um und hinterließ Tal und Hänge auskleidenden Geschiebelehm. Eine Bohrung bei Titisee ergab 46 m Grundmoräne und holozäne fluviatile Schotter über Fels. Der Titisee reichte ursprünglich bis zum Gasthaus Löffelschmiede (danach Talverengung), er ist heute ca. 2 km verlandet, die Wassertiefe beträgt maximal 39,2 m.

Über kurvig-ansteigende Strecke mit Ausblick zum *Feldberg*massiv (*Seebuck*, 1448 m, mit Bismarckdenkmal und Fernsehturm, davor die zum 300 m tiefer gelegenen Feldsee gehörige Karwand), wird in

Feldberg-Bärental die von Basel über das Wiesental und am Feldberg vorbeiführende B 317 gequert und, einer markanten Gletschertransluenz folgend, die B 500 nach S in Richtung Schluchsee genommen. Bärental ist vor allem Station der Dreiseenbahn Titisee Seeburg und höchstgelegener Bahnhof Deutschlands. Hier wird der zentral-schwarzwälder Gneiskern verlassen, es folgt das Gebiet des von zahlreichen Granitporphyrgängen durchsetzten, sehr-erdalkaliarmen **Bärhaldegranit** (grobkörniger Muskovit (Biotit)-Granit des Oberkarbon) Täler und Unterhanglagen werden von Geschiebelehm eingenommen. - In Hanglage finden

sich Böden der Braunerde-Podsol-Reihe, in Hangverebnungen über Grundmoräne oder dichter Basisfolge Hangnaßböden bis hin zum Übergangsmoor. In Höhe Ortsteil

Neuglashütten ist ein Blick nach W zur **Bärhalde** (1317 m) möglich, wo von 1977-1980 Ökosystemforschungen des Instituts für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg (HÄDRICH et al., 1979, STAHR et al., 1980 und HEYN, 1989) stattfanden; zur Linken, in der Niederung, liegt der Granitsandr des im Neuglashüttener Tal des Haslachbaches gelegenen Rückzugsgletschers mit Grünland (vorn) und dahinter Fichtenbeständen (Podsol, z.T. regradiert, NE davon das Rotmeer-Hochmoor über Bänderton); an den Hängen finden sich Braunerden verschiedener Humusform und Podsol-Braunerden aus Geschiebelehm oder - weiter hangauf - aus periglazialem Hangschutt (BLEICH et al. 1986). Bald folgt der Luftkurort

Feldberg-Altglashütten; der Name weist auf die in diesem Gebiet vor allem im 17. und 18. Jh. tätigen Glashütten hin, Gründungen erfolgten u.a. in Altglashütten 1634, in Blasiwald-Althütte um 1684, in Neuglashütten 1706 und in Äule 1716) (LIEL, 1988). Dann geht es am **Windgfällweier** vorbei, bis in **Aha** (Gemeinde Schluchsee) der

Schluchsee erreicht wird. Größter (Stau-)See des Schwarzwaldes mit 110 Mio m³ Stauraum und 7 km² Fläche; er gehört zu einem mehrstufigen Pumpspeicherwerk und ist im oberen Teil in Verlandung begriffen.

Die Exkursion befährt nun von Aha die Landstraße in Richtung Menzenschwand über **Oberaha** und **Äule** hinauf zum „**Äulemer Kreuz**“, einem Sattel (1138 m NN) im **Bärhalde-Schnepfhalde**-Kamm, um dann nach S auf einer Forststraße, am Osthang der **Schnepfhalde**, über die Roßhütte das

Versuchsgebiet ARINUS des Instituts für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg zu erreichen (2. Halt).

Die Rückfahrt erfolgt auf nahezu gleicher Route über Aha (B 500), Feldberg-Bärenal (B 317), Titisee, Neustadt, Geisingen (B 31) und Autobahnkreuz Hegau (A 81) nach Konstanz (B 33).

II Beschreibung des Exkursionsgebietes (F. Hädrich)

Die Exkursion bewegt sich hauptsächlich im Bereich des Südschwarzwaldes, tangiert aber auch den Süden des Mittleren Schwarzwaldes. Die Trennungslinie zwischen beiden Teilen bilden Gutachtal, Höllental und der Südrand des Zartener Beckens. Der Gesamttraum erfaßt im E auch den überwiegend bewaldeten Buntsandstein und reicht im W an die Schwarzwald-Randverwerfung des rheinisch streichenden Oberrheingrabens, wo das kristalline Grundgebirge abrupt an die jüngeren Gesteine der Schwarzwald-Vorbergzone stößt. Trotz beachtenswerter, vor allem orographischer, glazialgeologischer und kulturgeographischer Unterschiede haben Mittlerer und Südschwarzwald aus bodenkundlicher Sicht viele Gemeinsamkeiten aufzuweisen. Sie liegen vor allem in der Petrographie, Reliefentwicklung und den Substrattypen.

Entwicklungsgeschichte:

Der gesamte Schwarzwald gehört zum Typus eines variszischen kristallinen Grundgebirges, dessen Hauptbildungszeit ins Paläozoikum fällt, dessen „Wurzeln“ aber ins Prä-kambrium zurückreichen, dessen Abtragung und Einebnung vor allem im Karbon und Perm erfolgte und der im Mesozoikum von überwiegend marinen Sedimenten eingedeckt wurde. Die marine Sedimentation erfolgte bis zum Weißjura. Während der Kreide bis heute herrschten Festlandverhältnisse mit Verwitterung und

Bodenbildung. Im Tertiär erfolgte die Oberrheingrabenbildung (Obereozän bis Miozän). Den tektonischen Vorgängen folgte wiederum eine Phase der Abtragung und Einebnung. Es breitete sich über Schwarzwald, Oberrheinebene und Vogesen ein Flachrelief aus (= pontische Rumpffläche). Im höheren Pliozän belebte und verstärkte sich die Heraushebung der Grabenflanken und hielt bis weit ins Altpleistozän an. GENSER (1992) gibt dafür Hebungsbeträge von 800-1000 m an. Damit begann - zunächst westrandnah, dann nach E fortsetzend - die Zerschneidung des pult-schollenförmig gehobenen Blockes mit Abtragung der Sedimentdecke und Taleintiefung bis in den Kristallinsockel, ein Vorgang, der in der Folgezeit immer mehr an Bedeutung gewann und bis heute anhält. Im Zuge der Abkühlung während des Pleistozäns ging mit der Heraushebung des Schwarzwaldes in seinem Kulminationsbereich, dem Feldberggebiet, eine vermutlich mehrfach wiederholte Vereisung einher. METZ (1992) geht von einer "Kappeneisvereisung mit (peripheren) Talgletschern als Eisabflußströme während der Würm-Maximalvereisung" aus. Die damit verbundenen glazialen und periglazialen Phänomene überformten das bereits im Tertiär in seinen Grundzügen angelegte Relief. Zahlreiche zentrifugale, trogförmige Täler und Transfluenzsättel sind heute mit Grundmoränen ausgekleidet und weisen Endmoränen auf; Kare, Rundhöcker, Umlaufberge, Sandrflächen, Eisrandstauseen, Toteislöcher, z.T. vermoort etc., sind weitere Hinweise auf eiszeitliche Prägungen des Reliefs und der bodenbildenden Substrate.

Gesteine:

Verbreitete Hauptgruppen an Festgesteinen sind:

- **Gneise**, vor allem die Zentralschwarzwälder Gneismasse, einen Radius von 30-40 km um Freiburg bildend,
- **Granite** in einzelnen Stöcken, die die Gneismasse peripher umgeben,
- verschiedene, die Gneise und Granite durchsetzende **Ganggesteine**,
- gefaltete **devonisch-karbonische Sedimente** und **Vulkanite** in der Zone Badenweiler-Schönau-Lenzkirch,
- der **permische Münstertäler Quarzporphyr** (Ignimbrit),
- **pleistozäne glazigene und periglaziale** und
- **holozäne fluviale Sedimente**.

Bei den auf der Exkursion tangierten **Gneisen** werden Para- und Orthogesteine sowie Anatexite unterschieden, die auf unterschiedliche Ausgangsmaterialien und eine differenzierte Genese zurückgehen. **Paragneise** lassen sich auf präkambrische Grauwacken, Arkosen und Tonsteine zurückführen, die bereits während der assyntischen Orogenese (Präkambrium) einer Regionalmetamorphose und vor allem während der kaledonischen Orogenese (Ordovizium) einer Kinetometamorphose (Vergneisung) unterworfen waren.

Orthogneise entstammen auch der ordovizischen Vergneisungsphase, ihr Ausgangsmaterial waren aber zu Beginn der kaledonischen Orogenese in die Paragneise eingedrungene saure paläogene Magmen von granodioritischem bis quarzdioritischem Charakter (1. Anatexis).

Im jüngeren Ordovizium geschah eine (regionale) 2. Anatexis (Thermometamorphose), durch die vor allem aus Para- seltener aus Orthogneisen die weit verbreiteten **Meta-** und **Diatexite** hervorgingen, wobei zunächst durch Aufschmelzung und Mobilisierung der hellen Anteile (Metatexis) dann aber

auch der dunklen mit Neukristallisation ohne wesentliche Ortsveränderung eine starke Veränderung des Makro- und Mikrogefüges eintrat. Man findet diese anatektischen Gneise vor allem im Gebiet Schauinsland-Feldberg (GROSCHOPF, 1977 und JAHN et al., 1994). Im Zuge der variscischen Gebirgsbildung kam es im Karbon auch zu Intrusionen saurer Magmen, die heute verschiedene **Granitstöcke** bilden; davon ist der Bärhalde-Granit, durch dessen Gebiet sich auch die Exkursion bewegt, der jüngste; sein Alter wurde mit 290-300 Mio Jahren als oberkarbonisch bestimmt.

Die mineralogische und chemische Zusammensetzung der verschiedenen Gneise variieren in nur engen Grenzen; wohl aber ergeben sich Unterschiede zu den Graniten, insbesondere zum Bärhaldegranit (Tab. 1). In den Gneisen bilden Quarz, Plagioklas und Biotit die Hauptminerale;

Tab. 1: Chemische Analysen von Paragneisen und des Bärhaldegranits aus SCHREINER & WIMMENAUER (1979) und von Orthogneisen aus JAHN et al.(1994) in Gew.%.
 Orthoklas ist in wechselnder Menge vertreten, meist aber weniger als Plagioklas, hinzu kommen noch Cordierit und Akzessorien (Tab. 2).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺
Paragneis	67,21	0,73	15,46	2,11	3,41	0,07	1,69	1,93	3,19	2,97	0,12	1,11
Orthogneis	70,54	0,39	14,55	0,94	2,02	0,05	1,20	2,34	3,81	3,01	0,18	0,73
Bärhalde- granit	75,40	0,07	13,60	1,21	n.b.	0,03	0,17	0,31	3,38	5,01	0,19	0,70

Tab. 2: Mineralbestand von Gneisen nach GROSCHOPF (1977) und des Bärhaldegranits nach MAUS (1977) (in Gew.%).

	Quarz	Orthoklas	Plagioklas	Biotit	Muskovit	Cordierit	Akzess.	n
Paragneise	31	1	45	21	--	1	1	157
Metatexit	28	4	26	22	--	19	1	16
Diatexit	30	9	45	15	--	1	1	14
Bärhalde- granit	34	33	25	4	4	--	<1	12

Lockergesteine:

Glazigene und periglaziale Sedimente: Die rezenten Böden des Schwarzwaldes werden, wie andernorts in Mitteleuropa auch, nur mittelbar durch die aufgeführten Festgesteine geprägt, weil diese bis auf Ausnahmen in extrem steilen Gebieten von glazigenen, glazifluvialen und vor allem

periglazialen Sedimenten (Schuttdecken) bedeckt sind. Gletschertransport bewirkte eine Vermengung von Gesteinskomponenten unterschiedlicher Korngröße (→ Moränen), Schmelzwassertransport dagegen eine Korn- bzw. Mineralsortierung (→ geschichtete Terrassensedimente und im Extrem → Sandr). Glazigene und glazifluviale Sedimente sind im wesentlichen an die vergletscherten Täler und Plateaus gebunden und daher nur von lokaler Bedeutung.

Der für die Bodenbildung flächenhaft bedeutendste Vorgang war die Bildung von Periglazial-Sedimenten, im ebenen Relief von Schuttdecken *in situ* durch Kryoklastik und Kryoturbation, in Hanglage dagegen von Schutt-Fließerden (Hangschutt-Decken) mit lateraler Bewegungskomponente durch Kryoklastik, Kryoturbation und Solifluktion.

Ganz allgemein gilt, je mächtiger die periglazialen Schuttdecken über Festgestein sind, um so tiefgründiger und günstiger hinsichtlich Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt sind die Böden (STAHR, 1979).

Bei Hang-Schuttdecken werden drei Bildungsmechanismen unterschieden:

1. Ein **Eis-Schutt-Gemisch** gleitet über Permafrost wie ein Gletscher hangabwärts. Die Temperatur dieser Masse befindet sich im Minusbereich aber nahe 0°C. Die Bewegung erfolgt an Korngrenzen und Scherflächen, wo durch Druckerhöhung das Eis schmilzt (wie beim Schlittschuhlaufen). Dabei werden Steine hangparallel eingeregelt. Wenn dann am Ablagerungsort der Eisanteil schmilzt, tritt ein Drainageeffekt ein, es bilden sich Sandlinsen und Schluffkappen auf größeren Steinen.
2. Die **gefrorene Schuttdecke** taut oberflächlich auf. Das Schmelzwasser kann in den Permafrostboden darunter nicht eindringen, höchstens lateral abfließen. Der durchnäßte Auftaubereich bewegt sich auf Grund herabgesetzter innerer Reibung als **Brei turbulent** hangabwärts, woraus eine ungeordnete Lagerung der Steine resultiert.
3. Der aufgetaute Schutt gefriert von oben her. Kamm- und Nadeleisbildung hebt größere Steine und verursacht eine kleinräumige Kornsortierung. Beim Abschmelzen der Eiskämme und des Nadeleises von oben her erfolgt eine oft nur kleinräumige aber wiederholte **Bewegung der gehobenen Partikel** hangabwärts.

Wesentlich für die holozäne Bodenbildung war, daß sich die Schuttdecken vom darunter liegenden Festgestein stofflich unterscheiden, besonders im Verwitterungsgrad, in Struktur (z.B. grobe Schichtung), in Textur und teils auch durch die Beimengung von Fremdmaterial (z.B. Löß). Im Profil lassen sich meist folgende Zonen (Folgen) von unten nach oben erkennen:

Zersatzzone: Durch Kryoklastik erzeugte Blöcke, Steine und Grus blieben *in situ*, wie bei einer Schuttdecke in ebener Lage.

Basisfolge: Sie zeigt dachziegelartige Einregelung des Skeletts in Hangrichtung und Feinerde mit Paralleltextur sowie unregelmäßig verteilte Sandlinsen und Schluffkappen; außerdem zeigt sie eine hohe Lagerungsdichte (Bildungsmechanismus nach 1.).

Hauptfolge: Das Skelett ist regellos angeordnet und das Gesamtmaterial locker gelagert; hier findet sich der höchste Lößanteil. Die Mächtigkeit dieser Folge entscheidet über die Standortsqualität (Bildungsmechanismus nach 2.).

Deckfolge: Sie ist beschränkt auf steilere Hänge über 500 m NN, ihr Material ist grob; oft findet sich hangparallele Einregelung des Skeletts (bes. bei plattiger Verwitterung); sie ähnelt rezenten Schutthalde (Bildungsmechanismen 1 - 3 möglich).

Holozäne Bildungen: Die jüngsten Substrate bilden die holozänen Auensedimente entlang von Bächen und Flüssen; sie sind in den obersten Dezimetern meist feinkörnig, besonders die Rodungsperioden im Mittelalter mit ihrer verstärkten Erosion am Hang führten in den Tälern nach frühholozäner Ausräumung zu einer Sedimentation korrelieren Feinmaterials, des oft humosen Auenlehms.

Relief- und Substrattypen: Wegen der Kippung der kristallinen Hochscholle des Schwarzwaldes ergaben sich über seine gesamte N-S-Erstreckung hin starke Unterschiede in der Erosionsleistung zwischen W- und E-Seite. Heute werden daher zwei Relieftypen unterschieden, die wegen ihrer Zuordnung zu den unterschiedlich tief gelegenen Erosionsbasen von Rhein und Donau als rhenanischer und danubischer Relieftyp bezeichnet werden.

Zum **rhenanischen Relieftyp** gehören eng verzweigte, tief eingeschnittene SW- bis NW gerichtete Täler mit im Oberlauf V-förmigem Querschnitt; dagegen besitzen sie im Mittel- und Unterlauf zunehmend breitere Sohlen und sind spätestens an den Talausgängen in ihren pleistozänen Schottern "ertrunken". Die Höhen bilden steiflankige, isolierte Berge, Rücken und Riedel. Ein typisches Beispiel liefert das Wagensteigtal mit seinen kurzen Seitentälern mit steilem Längsprofil, die hier „Dobel“ genannt werden.

Für den **danubischen Relieftyp** dagegen sind typisch die breiten Sohlentäler mit muldenförmigem Querschnitt, deren Entwässerung nach SE und E gerichtet ist; das plateauhafte Relief, in das diese Täler eingesenkt sind, liegt nur unwesentlich unter dem Niveau der permotriadischen Landoberfläche, ein Hinweis darauf, daß die Erosionsleistung nach deren Wiederaufdeckung im Spätertertiär oder Altpleistozän eher unbedeutend geblieben ist.

Die unterschiedlich hoch gelegenen Erosionsbasen beider Relieftypen (Rhein in Höhe Freiburg knapp 200 m NN, Donau bei Donaueschingen knapp 700 m NN) hat seit der Heraushebung und Kippung des Schwarzwaldes die rheinischen Flüsse sich viel tiefer und weiter nach E hin einschneiden lassen als dies bei der Donau nach W hin geschah. Das hatte zur Folge, daß die ehemals der Donau tributären Bäche und Flüsse vom Rhein her angezapft und zu ihm umgelenkt wurden und daß somit der Flächenanteil des rhenanischen Typs im Laufe der Geschichte zu Ungunsten des danubischen angewachsen ist. Typische Beispiele bieten u.a. das Seebach-Gutach-Wutach- und das Ravenna-Höllentbach-Dreisam-System.

Der während der Exkursion zuerst demonstrierte Standort **CONVENTWALD** liegt im Bereich des rheinischen **Periglazialgebietes**, inmitten der zentralschwarzwälder Gneismasse. Hier bilden - als Ergebnis eiszeitlicher Kryoklastik, Kryoturbation und Solifluktion - nahezu ausnahmslos in ihrer Mächtigkeit schwankende **periglaziale Hangschuttdecken** das bodenbildende Ausgangssubstrat.

Für das ehemals **vergletscherte Gebiet** (z.B. an den **ARINUS**-Versuchsflächen) sind eher konvexe, weil von Talgletschern unterschrittene, örtlich durch Blockschutthalde und Bergstürze gekennzeichnete Hänge und breite U-Täler charakteristisch. Hier kam es - sowohl in den höchsten Lagen der zentralschwarzwälder Gneismasse um den Feldberg als auch im SE anschließenden Gebiet des Bärhalde- und Schluchseegranits - flächenhaft zu **Geschiebelehm**-Überlagerungen, z.B. über den Gneisen zwischen Feldberg und Hinterzarten. Diese sandig-lehmigen Geschiebelehme sind gekennzeichnet durch Frostblättrigkeit und besonders starke Verdichtung. Sie sind damit für Bodenentwick-

lung und Durchwurzelung ähnlich schlecht geeignet wie die relativ dichte Basisfolge des Periglazialgebietes.

In den Tälern, in denen Übertiefung und Der während der Exkursion zuerst demonstrierte Standort **CONVENTWALD** liegt im Bereich des rheinischen **Periglazialgebietes**, inmitten der zentral-schwarzwälder Gneismasse. Hier bilden - als Ergebnis eiszeitlicher Kryoklastik, Kryoturbation und Solifluktion - nahezu ausnahmslos in ihrer Mächtigkeit Sedimentation sowie Seenverlandung zu stark wechselnden hydrologischen Verhältnissen führten, ist dieser Sedimenttyp seltener. Hier wurde das Material stärker durch fließendes Wasser fraktioniert (Transportsortierung), so daß man auf engem Raum **Endmoränen, Sandr und Beckentone** sowie **glazifluviale Schotter** und **Sande** findet.

Zur Zeit des Vereisungsmaximums lag fast der gesamte Südschwarzwald unter einer geschlossenen Eiskappe, später wiesen Gneis- und Granitgebiet getrennte Eisstromsysteme auf. Deshalb finden wir heute in beiden Bereichen Ablagerungen aus Gesteinsmischungen mit unterschiedlichem Chemismus und wechselnder Körnung. Diese Unterschiede haben die Entwicklung besonders der terrestrischen Böden, aber kaum die der hydromorphen beeinflußt (STAHR, 1979a und 1981).

Während sich am Ende der letzten Vereisung die Eismassen nur noch auf die Talgründe und Karnischen erstreckten, waren die Kuppen, Rücken und teilweise auch die Hänge bereits eisfrei, und es herrschten dort Periglazialbedingungen. Der vorher abgelagerte Geschiebelehm wurde durch Solifluktion teilweise oder örtlich ganz abgeräumt, und es entstand verbreitet **Frostschutt** unter allerdings eingeschränkter Intensität von Kryoklastik und Solifluktion.

Klima und Hydrologie:

Die Hochlagen des Südschwarzwaldes sind charakterisiert durch ein kühl-perhumides (ozeanisch getöntes) Klima mit Niederschlägen zu allen Jahreszeiten bei nur geringem, gegenüber der Oberrheinebene abgeschwächtem Sommermaximum. Tab. 3 läßt erahnen, daß zwischen West- und Ostabdachung des Südschwarzwaldes eine signifikante Asymmetrie in den Temperatur- und Niederschlagsgradienten bestehen. Vergleichbare Höhen auf der Westseite (Luv) erhalten mehr Niederschläge als die der Ostseite (Lee), und gegenüber der Westseite ist die Ostseite thermisch benachteiligt.

Tab. 3: Mittlere Jahrestemperatur und mittlerer Jahresniederschlag ausgewählter Stationen vom Rhein bis zur Baar (aus STAHR et al., 1989, ergänzt)

W	Brei- sach	Frei- burg	Buchen- bach	Breit- nau	Feld- berg	Titi- see	Neu- stadt	Löffin- gen	E
m NN		195	278	447	1000	1267	857	826	800
°C	9,5-10	10,5	8,5-9	6,0	3,2	5,9	6,0	6,5	
mm	600	850	1100	1530	2100	1230	1210	840	

Der **Abfluß** ist im Jahresverlauf in den Hochlagen ungefähr proportional zur zeitlichen Verteilung der Niederschläge und spiegelt außerdem eine nur geringe Jahresschwankung der Evapotranspiration

wider.

Die Wasserspeicherkapazität der Böden und die Schneedecke spielen eine wichtige Rolle im Abflußverhalten, da mächtige, porenreiche Lockersedimente fehlen oder nur lokal vorkommen. Während des Winters verbleiben die Niederschläge größtenteils entweder in der Schneedecke oder im Boden. Die Böden werden wegen der sich abschwächenden Evapotranspiration zunehmend wassergesättigt; der Abfluß erreicht dann oft ein Minimum. Eine Bodenwassersättigung bis Feldkapazität ist auch unter Frostbedingungen deshalb möglich, weil die Bodentemperaturen unmittelbar unter dem Schnee bei $>0^{\circ}\text{C}$ verbleiben, so daß über den ganzen Winter ein Abtauen der Schneedecke von unten erfolgen kann. Mit Ausnahme der letzten Jahre kann oberhalb von 1000 m NN über einen Zeitraum von im Mittel 55 Tagen eine Schneedecke von >40 cm gemessen werden.

Der im Frühjahr (Maximum im April) beobachtete hohe Abfluß ist nicht allein eine Folge der Schneeschmelze, sondern auch der Tatsache, daß die wassergesättigten Böden die in dieser Zeit fallenden Niederschläge ohne nennenswerten Rückhalt passieren lassen.

Berücksichtigt man den hohen mittleren Jahresniederschlag von etwa 2000 mm im Feldberggebiet, weisen die Bäche dort einen Jahresabfluß von >1500 mm auf. Der Feldsee-Abfluß beträgt beispielsweise sogar $1850 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ (ca 90% des Jahresniederschlagsmittels). In Deutschland werden außerhalb der Alpen nirgends solche hohen Abflußwerte gefunden.

In den Schwarzwaldhochlagen beträgt die jährliche **Evapotranspiration** als Differenz zwischen mittlerem Jahresniederschlag und dem mittleren jährlichen Abfluß etwa 300 mm, sie nimmt in Richtung auf den Rhein im W auf Werte zwischen 500 und 600 mm zu.

Natürliche Vegetation:

In den Hochlagen des Schwarzwaldes dominieren von atlantischen Florenelementen bestimmte Pflanzengesellschaften (OBERDORFER, 1979).

Höhen zwischen 900 und 1500 m NN zählen zum **hochmontanen Fichten-Tannen-Buchen-Gebiet**, in dem mehrere „potentielle“ Pflanzengesellschaften zu erkennen sind. In dieser Höhenlage mischt sich allen Buchenwald-Gesellschaften mehr oder weniger stark die Fichte (*Picea abies* Karst.) bei. Landschaftsbestimmend tritt vor allem an Hängen das Nebeneinander von zwei Waldtypen in Erscheinung:

Artenarmer Hainsimsen-Fichten-Tannen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum* mit *Picea abies*) und **Frischer staudenreicher Bergmischwald** (*Aceri-Fagetum*) von präalpin-borealem Charakter, der neben Buche, Tanne und Fichte auch oft den Bergahorn enthält; in der Krautschicht finden sich Alpenmilchblätlich (*Cicerbita alpina*), Alpendost (*Adenostyles alliariae*) und zahlreiche Farnarten. Solche Gesellschaften ziehen sich, zuletzt als Knieholzgestrüpp entwickelt, noch heute bis in die höchsten Feldberglagen (z.B. am Seebuck) hoch und haben vermutlich die weiten, sanfter geneigten Hochweiden des Feldberges oder des Belchens ursprünglich weitgehend bedeckt. Weiter findet man **echte Fichtenwald-Gesellschaften** (*Bazzanio Piceetum*) mit einer moosreichen Bodenflora oder echten Fichtenbegleitarten auf humus- oder auflagehumusreichen Böden. Sie werden örtlich an Felsrippen, in Kaltluftlagen oder auf moorigen Verebnungen bzw. am Rande von Hochmooren (*Oxycocco-Sphagnetea*-Gesellschaften) angetroffen. Letztere finden sich in Mulden oder in der Verlandungszone eiszeitlicher Zungenbeckenseen.

Dem echten *Piceetum* angenähert ist in ebenen Lagen, auf Bergrücken, an sanften Hängen oder in Mulden auf mineralreicheren Böden und geringerer Humusaufgabe ein **Hainsimsen-Tannen-Fichtenwald** (*Luzulo-Abietetum*) mit *Blechnum spicant*, *Luzula luzuloides* und *L. sylvatica*. Die Rotbuche bleibt hier meist schlechtwüchsig im Unterstand der Nadelbäume zurück. Trotz der

weitgehenden Umwandlung in Fichtenreinbestände gibt es noch schöne naturnahe Waldbilder mit vorherrschenden alten Weißtannen (*abies alba*).

Böden der montanen und hochmontanen Stufe des Gneisgebietes: Unter den terrestrischen Böden stellen an den Hängen des Gneisgebietes **Dys-** bis **Mesobraunerden** verschiedener Humusform die am weitesten verbreiteten Böden dar. Ihr Ausgangsmaterial ist im ehemaligen Periglazialraum **Frostschutt** und bei langzeitlicher Eisbedeckung **Geschiebelehm**.

Dominierend ist im gesamten zentralen Süd- und Südwestschwarzwald - besonders im Feldberg-Belchen-Raum (HÄDRICH und STAHR, 1989) - eine besondere Variante der **Mull-Dys-** bis **Mesobraunerde**. Sie ist nicht etwa beschränkt auf gneisbürtigen Periglazialschutt, sondern greift auch weit auf granitbürtige glazigene und periglaziale Sedimente über. Dieser Boden findet sich heute sowohl unter naturnahen Buchen-Tannen-Wäldern als auch in stärker nadelholzbetonten oder gar reinen Fichtenforsten. Charakteristisch ist ein mindestens 40 cm mächtiger Ah-Horizont mit Krümel- bis Subpolyedergefüge, der nesterweise in den meist nicht sehr mächtigen, hellbraunen Bv-Horizont eingreift. Diese spezielle Braunerde, die auch schon „**Humusbraunerde**“ genannt wurde (STAHR, 1979b), verdankt ihre Entstehung und Erhaltung dem in diesem Gebiet heimischen, bis 2,5 m tief grabenden, großen badischen Regenwurm *Lumbricus badensis*, der offensichtlich mit dem Abbau jeder Art von Streu fertig wird (LAMPARSKI, 1985).

Die Humusform zeigt vor allem nahe der Verbreitungsgrenze dieses Wurmes einen starken zeitlichen und kleinräumlichen Wechsel zwischen Mull und Rohhumus, je nachdem, ob er sich ein neues Biotop gerade erobert hat, in ihm schon längerer Zeit aktiv ist oder sich aus ihm zurückzog (s. ARINUS-Versuchsflächen).

Im Bereich der höchsten Erhebungen, wie z.B. am Feldberg, zeigt diese spezielle **Braunerde** oft Hangvergleyungserscheinungen im Unterboden (**Mull-Hanggley-Braunerde**), wenn durch das Vorhandensein von dichtem Geschiebelehm oder dichter Basisfolge Sickerwasser gestaut wird. Gelegentlich sitzt der mächtige Ah-Horizont auch direkt auf dem anstehenden Gestein, so daß Übergänge zum **Mull-Ranker** vorliegen.

Auf den selektierten, sandigen und basenarmen Endmoränen und Sandern kommen innerhalb der Gneismasse lokal die einzigen vollentwickelten **Podsole** vor, so z.B. im Bereich der Endmoräne des aus dem Feldberggebiet gekommenen Gletschers in Breinau-Neuhof (Profil A7 in STAHR et al., 1979). Die Bleichhorizonte dieser Podsole sind nur bis 20 cm mächtig, sandig-lehmig und ziemlich dicht. Humus- und Sesquioxidanreicherungen markieren eine Schichtgrenze zum Unterboden, dessen Körnung wesentlich gröber (sandig bis sandig-kiesig) ist.

Neben typischen **Podsol**en kommen sämtliche Zwischenglieder der **Braunerde - Podsol - Reihe** vor. Durch Ackerernutzung wurden diese sehr kleinflächig verbreiteten Böden so weit homogenisiert, daß sie im Profilaufbau wieder **Braunerden** ähneln.

In Erosionslagen (Karwände, Kuppen) findet man ein Kleinmosaik verschiedenster Bodentypen. Neben **Syrosemen** sind dort **Tangelhumus-Ranker** mit einem 10-30 cm mächtigen Ah-Horizont über Festgestein und seltener **Regosole** entwickelt. Bei Feinmaterialanreicherungen in Felsspalten entstanden dort auch **Braunerden**.

An der Basis von Karwänden kommen noch hydromorph geprägte Böden hinzu. Diese erosionsgefährdeten Standorte eignen sich nur zur Erhaltung eines naturnahen Schutzwaldes. Mächtigere Grundmoränenablagerungen in ebener oder Senkenlage werden überwiegend von hydromorphen Böden eingenommen. Hier finden sich alle möglichen Typen der Klasse der **Gleye** und Übergänge zu den **Mooren** bis zum **Hochmoor** (z.B. Hinterzarterner Moor oder Keßlermoos SW Hinterzarten).

Böden der montanen und hochmontanen Stufe des Granitgebietes: Die terrestrischen Böden des Bärhaldegranits (ZÖTTL et al., 1977, KEILEN, 1978 und HÄDRICH et al., 1979a und b) unterscheiden sich deutlich von denen im übrigen Kristallin des Südschwarzwaldes. Der Bärhaldegranit ist extrem basenarm und zerfällt grobkörnig, außerdem ist er sehr arm an Calcium und Magnesium (Tab. 1) in diesem Gebiet sind daher unter Fichtenbeständen als Besonderheit **Normpodsole** aus stark sandigem Frostschutt und auch aus Geschiebesand flächenhaft verbreitet.

Größere zusammenhängende Podsolflächen sind in den Kammlagen von Hochkopf, Bärhalde und Hochfirst (Frostschutt der späten Periglazialphase), aber auch auf glazifluvialen Sanden, wie z.B. im Rotmeer nördlich Altglashütten (Profil B1 bzw. B7 in HÄDRICH et al., 1979b) anzutreffen.

Von den Kammlagen und Oberhängen abwärts treten an die Stelle der Podsole zunächst **Braunerde-Podsole** und **Podsol-Braunerden**, die schließlich von stark bis schwach **Podsoligen Braunerden** und schließlich von **Dysbraunerden** mit Rohhumus bis Mull abgelöst werden.

Schmale Rücken, Kuppen und übersteilte Hänge, wo sich kein Frostschutt halten können, tragen **Podsol-Ranker**.

Die Podsolbildung wurde nicht in erster Linie durch verstärktes Einbringen der Fichte, sondern primär durch die Besonderheiten der Körnung und des Gesteins-Chemismus gefördert, wobei neben dem Klima die Reliefposition das Ausmaß der Podsolierung zu beeinflussen scheint (HÄDRICH und STAHR, 1992).

Neben den podsolierten Böden kommen auf lehmigeren Substraten des Granit auch weit verbreitet **Mull-Dysbraunerden** vor, oft in kleinflächigem Wechsel mit **Rohhumusvarianten**. Sie sind charakteristisch für Gebiete mit Geschiebelehm oder Bereiche, in denen während einer längeren Zeit periglaziale Frostverwitterung intensiver wirken konnte, wie z.B. zwischen dem Bärhaldekamm und Lenzkirch.

Außerdem bildeten sich diese Böden dort, wo durch Beimengung von Ganggesteinen oder Gneis der Granitschutt mit leichter verwitterbaren und basenreicheren Mineralen angereichert wurde. Diese Braunerden sind meist tiefgründig entwickelt und gekennzeichnet durch sehr lockere Ah- und Bv-Horizonte sowie deutliche Anzeichen einer Aluminiumverlagerung. Sie sind somit den Braunerden der entsprechenden Höhenstufe des Gneisgebietes vergleichbar.

Die Humusform Mull ist im Verbreitungsgebiet des großen badischen Regenwurms, etwa westlich der Linie Schluchsee-Bärental, überwiegend seiner Aktivität zuzuschreiben (LAMPARSKI, 1985) während im Osten eher anthropogene Faktoren wie Holzartenwahl, waldbauliche Behandlung und frühere landwirtschaftliche Nutzung dafür verantwortlich sind.

Auf Hochflächen, Hangverebnungen, e flachen Hängen sind über festen Felsflächen, Grundmoräne oder Basisfolge kleinflächig **Stagnogleye** entwickelt. In den Zentren solcher Stagnogleyflächen ist es durch Anhäufung von Auflagehumus unter den perhumiden Klimabedingungen zu Torfbildungen und damit zur Ausbildung von **Moorstagnogleyen**, **Übergangs-** und **Hochmooren** gekommen, die auch durch Grundwassereinfluß in Tälern und Gletscherwannen (nach Verlandung von Seen) entstehen konnten.

III CONVENTWALD (K.v.Wilpert², M.Kohler², D. Zirlwagen², E.E. Hildebrand¹)

1. Beschreibung des Exkursionsgebietes (von Wilpert et. al., 1996)

Das Untersuchungsgebiet liegt im Übergangsbereich zwischen Submontaner und montaner Höhenstufe (700-860 m ü.N.N). Die wichtigsten Daten zum Standort Conventwald sind in folgender Tabelle zusammengefaßt:

Tab. 1: Die wichtigsten Daten zum Standort der Ökosystem-Fallstudie Conventwald

<i>Höhenlage:</i>	700-860 m ü. NN	<i>Jahresniederschlag:</i>	1400 mm
<i>Exposition:</i>	Süd-Südost	<i>Mittlere Jahrestemperatur:</i>	6.6 ° C
<i>Hangneigung:</i>	± 20 °	<i>Ausgangsgestein:</i>	Paragneis

Der geologische Untergrund besteht aus feinkörnigen, dunklen Paragneisen („Renchgneis“, stratigraphische Einheit GN), die nicht oder nur gering anatektisch überprägt sind. Der Mineralbestand wird von Plagioklasen und Quarz dominiert, daneben kommen Biotit und wenig Orthoklas in wechselnden Anteilen vor. Das Ausgangsgestein ist tiefreichend periglazial aufgelockert und angewittert.

Aus den dunklen Paragneisen haben sich tiefgründige, mäßig versauerte Braunerden entwickelt, die im tieferen Unterboden noch gut gepuffert sind. Somit können Versauerungsprozesse an diesem Standort noch in ihrem Ablauf studiert werden.

Der Feinboden besteht aus grusigen Lehmen mit Grobskelettanteilen von 30 - 60 Vol.%. Die aus der pF-Kurve und dem Steingehalt abgeleitete nutzbare Feldkapazität beträgt 55 - 100 l/m², was nach der bodenkundlichen Kartieranleitung in die Stufe „gering“ (Stufe 2 der 5-teiligen Skala) einzureihen ist. Trotz der niedrigen Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Bodenwasser ist die Trockenstreßdisposition an diesem Standort gering, da die Niederschläge entsprechend der atlantischen Klimacharakteristik gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt sind.

Es ist zu erwarten, daß aufgrund der naturräumlichen Ausstattung und der daraus resultierenden gleichmäßigen Verfügbarkeit von Wasser und Nährelementen die biogeökologischen Elementkreisläufe weitgehend geschlossen sind, wenn nicht Störgrößen zur Entkopplung von Nahrungsketten und Nährelement- und Basenverlusten führen.

2. Problemstellung und Ziele

In der Fallstudie Conventwald wird der Stoff- und Wasserhaushalt von Waldökosystemen untersucht, die sich hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung und Bestandesstruktur unterscheiden. Damit ist eine Bewertung der Auswirkungen unterschiedlicher waldbaulicher Strategien auf die ökosystemare Stabilität unter sonst gleichen Randbedingungen (Freilanddeposition und Standort) möglich. Der Einbau von Meßinstrumenten wurde konsequent an Waldstrukturen orientiert, da Wasser- und Stoffflüsse in Waldökosystemen maßgeblich von deren räumlicher Heterogenität beeinflußt werden. (von Wilpert, 1994).

1 Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D 79085 Freiburg
2 Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestraße 4, D 79100 Freiburg

Ziele der Untersuchung sind:

Erfassung von Stofftransporten in und von Stoffausträgen aus Waldböden unter den aktuellen Depositionsbedingungen. Es sollen die **Wirkungen aktueller Depositionseinflüsse** und in früheren Depositionsphasen **gespeicherter Stoffe** (z. B. SO_4) auf die funktionalen Eigenschaften von Waldböden geklärt werden.

- Depositionsbedingte Stoffausträge vermindern den Bestand an puffernden und für die Waldernährung essentiellen Vorräten von Neutralkationen im Wurzelraum von Waldböden. Dies bedeutet eine Standortdrift. Die **aktuelle Driftrate** wird aus den Stoffflußmessungen berechnet und modellhaft formuliert. Damit sind vorsichtige **Prognosen** der zukünftigen Standortentwicklungen unter der Voraussetzung der mittel- bis langfristigen Fortdauer der heutigen Immissionsbelastungen möglich.
- Durch den Vergleich von Baumarten- und Strukturvarianten (Bu- und Fi-Reinbestände, Bu-Ta-(Fi)-Mischbestand, Femellücke, Kleinkahlschlag) wird der aktuell **durch waldbauliches Umsteuern** (Erziehung naturnaher Laubholz- und Mischbestände, kahlschlagfreie Wirtschaft etc.) **erzielbare Stabilitätsgewinn** bzw. die betriebliche Einflußmöglichkeit auf die depositionsbedingte Standortdrift abgeschätzt.
- Durch Berechnung der aktuellen, sowie der Prognose zukünftiger Stoffausträge mit dem Bodenwasser wird das **Risiko für die Rohwasserqualität** aus Waldökosystemen für vergleichbare Standorte abgeschätzt.

Aus den genannten Zielen wird klar, daß die „Conventwald-Ökosystemstudie“ zum einen die Entwicklung von depositionsbedingten Mobilisierungs- und Speicherprozessen in Waldböden zum Thema hat und sich so mit den hierfür benötigten Messungen in das langfristig betriebene Stoffflußnetz (Monitoring) eingliedert. Durch den Vergleich waldbaulicher bzw. struktureller Varianten wird aber auch eine ökologische Bewertung der betreffenden Waldbauverfahren möglich. Diese auf Stoffhaushalt und Standortnachhaltigkeit bezogene „Ökobilanz“ kann der betriebswirtschaftlichen Bilanz dieser Verfahren ergänzen.

3. Beschreibung der Versuchsvarianten und Exkursionspunkte

3.1 Versuchsvarianten

Die Meßflächen umfassen den östlichen Teil des 17 ha großen Bannwaldgebietes "Conventwald" (Mischbestandsvariante) sowie direkt benachbarte, unter Bewirtschaftung stehende Bestände (Reinbestandsvarianten). Der seit 1970 **ausgewiesene Bannwald** stellt ein ca. **160-jähriges Bu-Ta-(Fi)-Altholz** mit Naturverjüngungsgruppen und femelartigen Lücken dar. In ihm ruht die Nutzung schon seit 1950. Bei den **Reinbestandsvarianten** handelt es sich um zwei **40-jährige Stangenhölzer aus Fichte bzw. Buche**, sowie um eine etwa **80-jährige Fichten-Baumholz-Variante** in einem nadelholzreichen ca. 0,5 ha großen Horst eines Ta-Bu-Bestandes (Abb. 1).

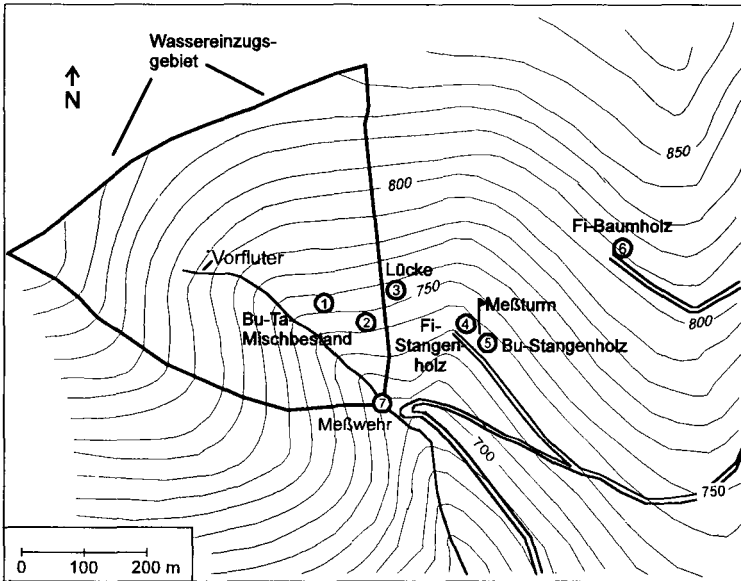


Abb. 1: Lageplan der Versuchsflächen der Ökosystem-Fallstudie „Conventwald“

Der Grundbestand des Mischbestandes aus Tannen und Buchen ist aus natürlicher Verjüngung hervorgegangen. Die vereinzelt beigemischten Fichten sind in Femellücken eingeflogen oder wurden künstlich eingebracht.

Die beiden Stangenhölzer sind Nachfolgebestände aus einem vergleichbaren Tannen-Buchen-Wald, wie er heute noch auf der Mischbestandfläche zu finden ist. Die Fichte wurde vor 40 Jahren nach Kahlschlag begründet, die Buche stammt aus Naturverjüngung. Das Fichten-Baumholz ist aus der Erstaufforstung einer Waldweidefläche entstanden. Die Fläche gehörte ehemals zum Bereich des „Gabler Hofes“ (Forstkarte 1912).

Die Instrumentierung berücksichtigt Straten stoffumsatzrelevanter Struktureinheiten, während in herkömmlichen Stoffumsatz-projekten die Meßstellen systematisch verteilt werden.

In der Untersuchungsvariante **Buchen-Mischbestand** (160-jähriger Bu-Ta-(Fi-) Altbestand), die ein 9,3 ha großes Wassereinzugsgebiet umfaßt (Abb. 1), werden die räumlichen Bestandesstrukturen auf zwei Skalenebenen betrachtet (Ulrich, 1994).

Großräumige Strukturzellen (Metastrukturen) sind:

- Bestandeslücken mit einer Kronendachöffnung von mehr als einer Baumgrundfläche
- Verjüngungskegel
- Geschlossene Bestandesbereiche

Im räumlich stark strukturierten Mischbestand beträgt der Flächenanteil der Bestandeslücken (Femel) 3 %, während 97 % der Fläche von geschlossenen Bestandespartien bedeckt ist.

Als einzelbaumbezogene Mesostrukturen werden ausgeschieden:

Kronenkern, Kronenmitte, Kronenrand.

3.2 Instrumentierung

Die bodenphysikalischen Eigenschaften sind in der Conventwald-Studie insofern für die Messung von Wasser- und Stoffflüssen günstig, als der Boden überdurchschnittlich porenreich ist (Gesamtporenvolumen im Feinboden bis 120 cm Tiefe ≥ 50 Vol.%) und eine sehr hohe Wasserleitfähigkeit aufweisen. Damit können eindimensionale, vertikale Stoffflüsse auch bei den Hangneigungen von bis zu 20° im Conventwald vorausgesetzt werden, was den Aufwand für Instrumentierung und Flußberechnung gegenüber dem zwei- oder dreidimensionalen Fall erheblich reduziert.

Die Ergebnisse der Tensiometermessungen zeigten, daß von der Kronenstruktur abhängige Bodenfeuchtemuster bis in 120 - 180 cm Bodentiefe erkennbar sind.

Entlang dem vertikal gerichteten Wasserfaden werden Stoffkonzentrationen und Wasserflüsse an folgenden Kompartimentgrenzen gemessen:

- oberhalb der Kronenoberfläche (Meßturm - 21 m)
- im Stammraum, 1 m oberhalb der Bodenoberfläche
- unter der Humusauflage
- im Wurzelraum in 15 und 60 cm Tiefe
- an der Unterkante des Wurzelraums (120 cm)
- an der Schnittstelle zwischen Boden und Schuttkörper (periglaziale Auflockerungszone = Schuttaquifer, in dem das Wasser hangparallel abfließt).

Zur Bestimmung des Wasserflusses sowie der Stoffkonzentrationen im Wasserfaden werden folgende Messungen durchgeführt:

- Der **Bestandesniederschlag** wird in ständig offenen Niederschlagstotalisatoren (200 cm² Auffangfläche) gesammelt. In den Buchenbeständen wird der Stammablauf mit Hartschaummanschetten abgeleitet und mittels Kippschalenmessern quantifiziert. Auf einem Meßturm (21 m Höhe) wird die Freilandniederschlagsmenge mit einem kontinuierlich registrierenden Kippwaagenombrometer gemessen, während dort ebenfalls aufgestellte Totalisatoren nur zur Ermittlung der Stoffkonzentrationen verwendet werden.
- Die Entnahme des **Bodensickerwassers** erfolgt mit Unterdrucklysometern. Durch offenporige Nylon-Membranfilterkerzen (Porenweite 0,45 μm) wird die Bodenlösung bei einem Unterdruck von 200 - 400 hPa quasi-kontinuierlich gesammelt (Pumpturnus 4 - 6 h). Die Beprobung erfäßt somit die Fraktion des leicht verfügbaren Porenwassers.
- In einer Kombination von 120 automatisch registrierenden piezoresistiven Druckaufnehmertensiometern und 400 Einstichtensiometern werden in den gleichen Tiefenstufen die **Matrixpotentiale des Bodenwassers**, sowie der volumetrische Wassergehalt mit TDR-Sonden gemessen. Matrixpotentiale bestimmen die Beweglichkeit des Bodenwassers, während die volumetrischen Wassergehalte für die Erfassung von Veränderungen des Bodenwasservorrats benötigt werden.
- Für die Berechnung der Verdunstungsgrößen **Transpiration und Evaporation** werden meteorologische Messungen benötigt. Lufttemperatur und relative Luftfeuchte werden in 20 cm, 3 m und 21 m Höhe, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit nur in 21 m Höhe gemessen. Als

erklärende Variable des Stickstoffhaushalts und der Mineralisation wird die Bodentemperatur in 5 und 30 cm Tiefe bestimmt.

Niederschlags- und Sickerwässer werden i. d. R. wöchentlich beprobt und analysiert. Meteorologische Meßsensoren und automatisch registrierende Tensiometer werden in 10-minütigen Intervallen von Datenloggern abgelesen. Die Werte werden als arithmetische Stundenmittel abgespeichert.

Durch die Kombination von räumlich mit einer großen Zahl von Wiederholungen hoch auflösenden Messungen (z. B. mit 400 „low cost“ Tensiometern) und zeitlich hochauflösenden Messungen an wenigen repräsentativen Punkten (z. B. Druckaufnahmetensiometer) kann gleichzeitig sowohl ein räumlich konsistentes Muster der Meßgrößen erkannt als auch ereignisbezogen gemessen werden. So können auch in ihren Flächenanteilen sehr unterschiedlich gewichtete Fließregionen wie z. B. Kronenkerne (> 60 %) und Kronenlücken (< 20 %) in ihrer Bedeutung für den Stoffhaushalt des gesamten Ökosystems richtig gewertet werden. Durch die hohe Zahl an Wiederholungen können diese Messungen nur manuell und in längeren Zeitabständen periodisch durchgeführt werden. Gleichzeitig werden kurzzeitige Ereignisse, wie z. B. ein Gewitter-Starkregen durch die automatische Registrierung erfasst.

Der Gebietsabfluß des Einzugsgebietes wird an einem Dreiecks-Überfall-Wehr (60° Thomson-Wehr) bestimmt. Die mit einer elektronischen Pegelsonde viertelstündlich gemessenen Wasserstände werden in einem Datenlogger abgelegt. Nach 5 voreingestellten Pegelstandsklassen werden zu jedem Ablesintervall Wasserproben automatisch gesammelt.

3.3 Exkursionspunkte

- **Meßturm**, Überblick über Zielsetzung und wichtigste Ergebnisse der Studie
- **Fichten- und Buchenstangenholz**, Erläuterungen zur Methodik
- **Exkursionsprofil**, Diskussion der bodenkundlichen und hydrologischen Eigenschaften
- **Mischbestand**, Demonstration der meßtechnischen Berücksichtigung der räumlichen Strukturvielfalt
- **Meßwehr**, Diskussion der hydrologischen Konsequenzen waldbaulicher Behandlungsstrategien, Abschluß.

4. Ergebnisse

Die **Depositionsbelastung** ist in den Fichtenvarianten der Conventwaldstudie ähnlich hoch wie in den in Luvlage von Schwarzwald und Odenwald gelegenen Standorten des Depositionsmeßnetzes und liegt **im oberen Drittel der durchschnittlichen Belastung im Land Baden-Württemberg** (Hepp u. Hildebrand, 1993). Die Bestandesvarianten weisen deutliche Unterschiede in der Höhe von Stoffeinträgen auf, die mit unterschiedlicher Kronendichte und Kronenarchitektur erklärt werden. Die **buchenreichen Varianten** weisen mit 0,9 - 1,2 kmol_e ha⁻¹ a⁻¹ Gesamtsäurebelastung und 14 - 17 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stickstoffbelastung eine um nur **20 - 30 % höhere Depositionsbelastung als auf der Freifläche** auf, während in den **Fichtenvarianten** die Einträge mit 1,7 kmol_e ha⁻¹ a⁻¹ Säurebelastung und ca. 25 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stickstoffbelastung die Belastung um **45 - 85 % höher ist als in den Buchenbeständen**.

Die Höhe von Wasser- und Stoffeinträgen sowie deren räumliche Verteilung im Bestand hängt stark von der Kronendichte ab. Dies wurde in der Conventwald-Studie durch eine hierarchisch

stratifizierte Instrumentierung berücksichtigt. Diese methodische Besonderheit unterscheidet diese Studie von den meisten vergleichbaren Untersuchungen.

Die chemische Charakterisierung der Bodenfestphase ergab deutlich erkennbare Unterschiede zwischen den untersuchten Bestandesvarianten. Dies ist erstaunlich, da die beiden Stangenhölzer erst vor 40 Jahren nach einem der Mischbestandsvariante vergleichbaren Vorbestand entstanden sind. Im **Buchen-Stangenholz** liegen die $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werte um 0,2 - 0,5 pH-Stufen höher als in den anderen Varianten. Die gleiche Tendenz wie der pH-Wert zeigt die Basensättigung. Die Bodenreaktion zeigt an, daß die Säurepufferung in den Böden der Conventwald-Studie vorwiegend durch Austauschreaktionen erfolgt. In diesem Stadium der Versauerungsgeschichte von Waldböden finden besonders dynamische Veränderungen der bodenchemischen Charakteristik statt.

Zwischen den Baumartenvarianten konnten markante Unterschiede im Tiefenverlauf der Schwefelvorräte im Boden gefunden werden (Abb. 2). Da Schwefel im Ausgangsgestein nur in Spuren vorhanden ist, werden die Unterschiede im Schwefelvorrat auf Depositionseinflüsse zurückgeführt. Der im Boden zwischengespeicherte Depositionsschwefel kann nach dem durch Luftreinigungsmaßnahmen erreichten Nachlassen von S-Einträgen noch über längere Zeiträume Belastungen im Sickerwasser auslösen.

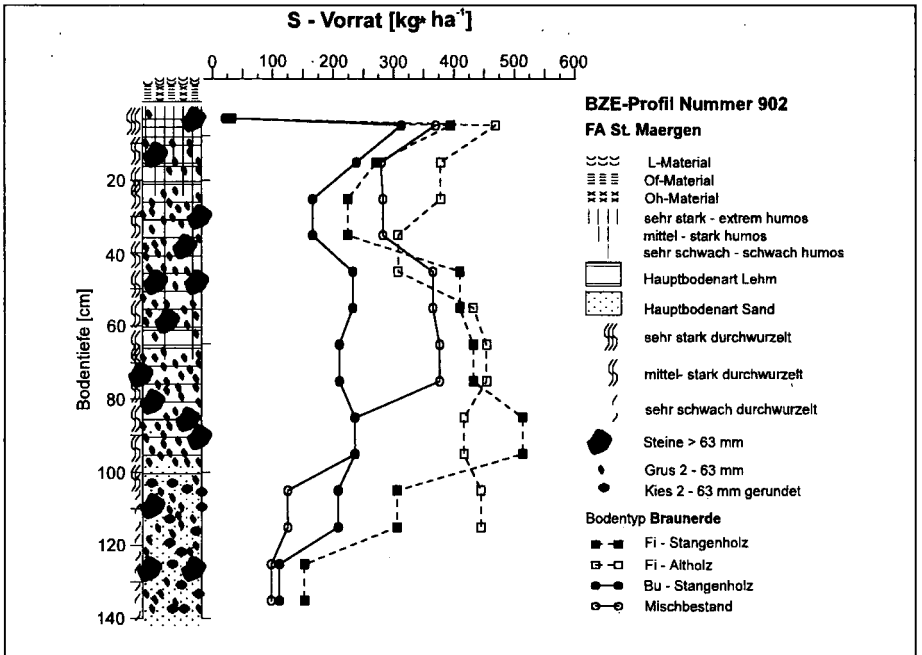


Abb. 2: Tiefenprofile der S-Gehalte der Untersuchungsstandorte, eingeordnet in ein typisches Leitprofil (Anhang) der Conventwaldmeßflächen.

Die deutlichsten Unterschiede zwischen den Untersuchungsvarianten konnten anhand der Stoffkonzentrationen im Sickerwasser gefunden werden. Die direkt benachbarten Varianten Fichten-Stangenholz und Buchen-Stangenholz weisen die größten Differenzen von in der Bodenlösung mobilisierten Stoffmengen auf (Abb. 3).

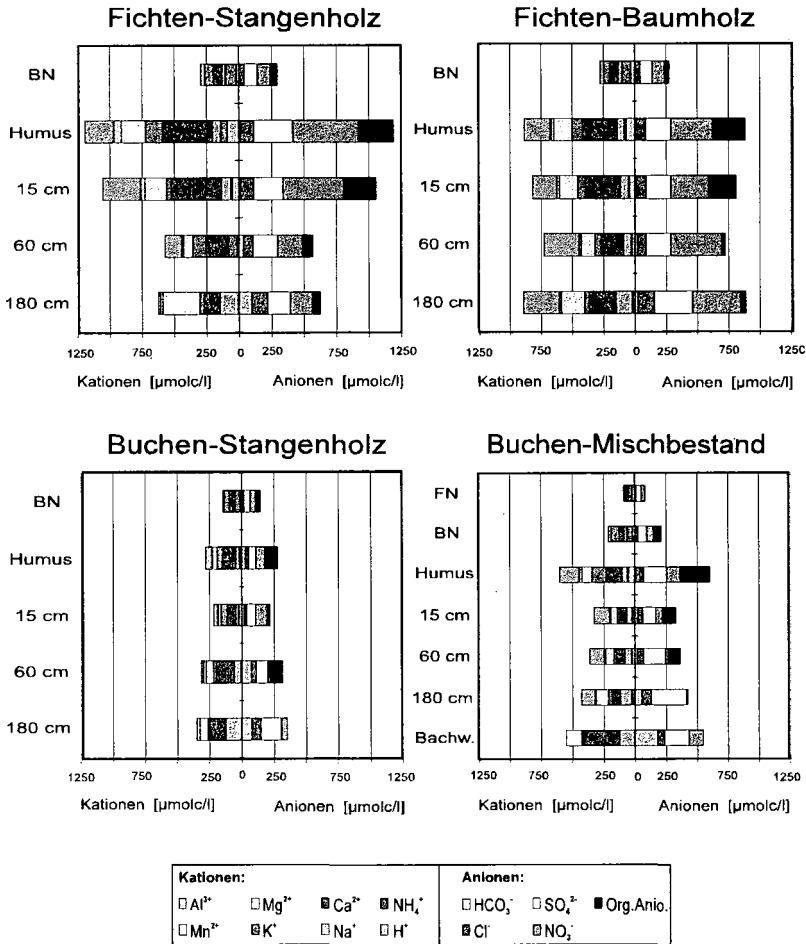


Abb. 3: Mittlere Ionenkonzentrationen im Bodenwasser und im Bestandesniederschlag der Hydrologischen Jahre 1993 - 1994

Die höhere Mobilisierungsrate unter Fichte wird vor allem durch die dort um bis zu fünfmal höhere Nitratkonzentration verursacht. Diese ist in erster Linie auf die depositionsbedingt höheren Stickstoffeinträge in Fichtenbeständen, aber auch auf das flachere Wurzelwerk und die damit höhere Wahrscheinlichkeit, daß Nitrat der Aufnahme durch Wurzeln und damit der Rückführung in den Bioelementkreislauf entkommt, zurückzuführen. Aber auch in buchenreichen Beständen sind die

Auswirkungen von Depositionen in Form von Entkoppelungsphänomenen im Stoffkreislauf erkennbar. Dies läßt sich **insbesondere im Mischbestand** und damit an der Einzugsgebietsbilanz des Wassereinzugsgebietes zeigen (Abb. 4). **Das System ist nahezu stickstoffgesättigt**, Stickstoffausträge sind nur wenig niedriger als die Einträge. **Bei allen Neutralkationen ist ein massiver Nettoaustrag zu beobachten**, was eine erhebliche Versauerungstendenz des Systems anzeigt.

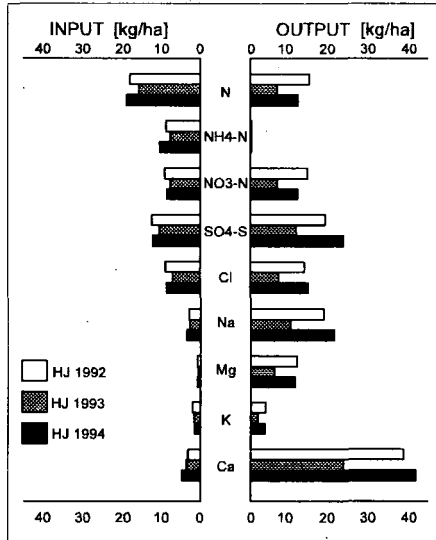


Abb. 4: Input-/Outputbilanz für das Einzugsgebiet Conventwald. Hydrologische Jahre 1992 bis 1994.

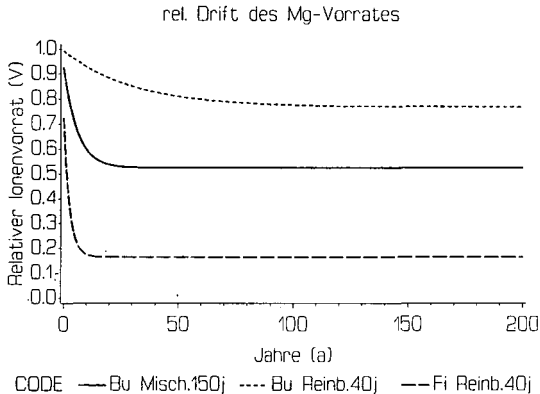


Abb. 5: Entwicklung der austauschbaren Magnesiumvorräte in den Bestandesvarianten Fichten-Stangenholz, Buchen-Stangenholz und Buchen-Tannen-Mischbestand bei Andauern der derzeitigen Kationenexportraten und einer geschätzten, konstanten Mb-Freisetzung aus der Silikatverwitterung von $0,44 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Berechnung bezieht sich auf Mineralbodenvorräte bis 120 cm Bodentiefe.

Anhand der Höhe der aktuellen Stoffausträge läßt sich die **Standortsdrift** unter Annahme der Fortdauer der heutigen Depositionsbedingungen abschätzen. Diese ist **unter den Fichtenbeständen so schnell, daß innerhalb von wenigen Jahrzehnten mit dem nahezu vollständigen Verlust des Vorrates an austauschbaren Neutralkationen gerechnet werden muß**. Im Mischbestand ist dieser Trend verzögert. Einzige Ausnahme ist das Buchen-Stangenholz, in dem die Standortveränderungen innerhalb von ein bis zwei Bestandesgenerationen nicht zur Reduktion der Basenvorräte auf einen „eisernen Bestand“ führen kann.

Aus den Messungen der ersten Projektphase ist der Schluß zu ziehen, daß auch **auf silikatischen Standorten mit guter Basenversorgung aus dem Ausgangsgestein und auch unter laubholzreichen Beständen die depositionsbedingte Reduktion des austauschbaren Basenvorrates in wenigen Jahrzehnten zu einem weitgehenden Verlust standortstypischer Regelfunktionen des Bodens führen kann** (Hildebrand,1994). Die bodenchemische Charakteristik wird auf niedrigem Niveau nivelliert. Es ist zu prüfen, ob der drohende Verlust von Standortpotentialen gerade auf diesen „besseren Substraten“ durch gezielte, vergleichsweise schwach dosierte Kalkungsmaßnahmen in Verbindung mit einer waldbaulichen Umsteuerung in Richtung Laubholz aufgehalten werden kann. Anhand der für Nadelholzbestände repräsentativen Rasterinventur des chemischen Bodenzustandes (BZE) und anhand zusätzlicher Erhebungen dieser Art in Laubholzbeständen ist zu klären, mit welchem Flächenumfang im Land Baden-Württemberg vergleichbare standörtliche Bedingungen wie im Conventwald herrschen. Auf dieser Basis erscheint es möglich, die auf geogen gut basenversorgten Standorten offensichtlich aktuell sehr schnellen Standortveränderungen aufhalten zu können. Dies ist als ein wichtiger Beitrag zur Erhaltung der natürlichen Standortdiversität zu werten.

5. Profilbeschreibung, Tabellen

Buchen-Tannen-Mischbestand (BZE-Profil Nr. 903, vgl. Buberl et. al., 1994)

Kurze Profilbeschreibung

5.1. Titeldaten

Karte Nr.: 7913 Freiburg im Breisgau-Nordost, aufgenommen von: Mies/Buberl am:
16.06.1993; Höhe: 750 m ü. N.N., Mittelhang, süd- exponiert, steil (36,1 - 58,0 %),
Jahresniederschlag: 1400 mm, Niederschlag von Mai-September: 550 mm

5.2. Forstliche Daten

Buche: 55, Tanne: 40, Fichte: 5 im Mittel 146-jährig, Mischungsform: gruppenweise, locker, stufig aus: Naturverjüngung, Vorbestands-geschichte: Mischwald

5.3. Standortdaten

Regionale Einheit: 3/09 Vorläufiger TB Kandel-Kinzig Höhenstufe: submontan. Potentielle natürliche Waldgesellschaft (nach Forstliche Standortaufnahme (1980)): Submontane Hainsimsen-Perlgras- bzw. Waldmeister-Buchenwälder mit Tanne und Hainsimse, Humusform: Of-Mull (F-Mull)

5.4. Profilbeschreibung

+ 4 - 2 cm L	Blattstreu
+ 2 - 0 cm Of	Blattstreu
0 - 10 cm Ah	sehr dunkel braungrau (10YR3.2); mittel sandiger Lehm, mittel steinig, schwach grusig; Skelettgehalt 15 %; Krümelgefüge, sehr fein (< 2 mm), Lagerungsart offen bis sperrig, deutlich ausgeprägt; hoher Anteil sichtbarer Poren; geschätzte Trockenraumdichte: 0.90 g/cm ³ ; sehr stark humos; sehr stark durchwurzelt; Übergang zum nächsten Horizont wellig, deutlich
10 - 20 cm AhBv	graubraun (10YR5.4); mittel sandiger Lehm, mittel steinig, schwach grusig; Skelettgehalt 25 %; Krümelgefüge, fein (2 - 5 mm), Lagerungsart offen bis sperrig; hoher Anteil sichtbarer Poren; geschätzte Trockenraumdichte: 1.00 g/cm ³ ; stark humos; stark durchwurzelt; Übergang zum nächsten Horizont wellig, mittel deutlich
20 - 80 cm Bv	gelblichbraun (10YR5.8); mittel sandiger Lehm, mittel steinig, schwach grusig; Skelettgehalt 35 %; Subpolyedergefüge, mittel (5 - 20 mm) zerlegbar in Krümelgefüge, fein (2 - 5 mm); hoher Anteil sichtbarer Poren; geschätzte Trockenraumdichte: 1.30 g/cm ³ ; sehr schwach humos; mittel durchwurzelt; Übergang zum nächsten Horizont wellig, mittel deutlich
80 - 120 cm IIBv	hell gelblichbraun (10YR6.6); stark sandiger Lehm, stark steinig, mittel grusig; Skelettgehalt 65 %; Subpolyedergefüge, mittel (5 - 20 mm) zerlegbar in Krümelgefüge, fein (2 - 5 mm); mittlerer Anteil sichtbarer Poren; geschätzte Trockenraumdichte: 1.40 g/cm ³ ; schwach durchwurzelt; Übergang zum nächsten Horizont gerade, mittel deutlich
120 - 140 cm BvCv	hell graubraun (10YR6.3); Grus, sandig; Skelettgehalt 85 %; Krümelgefüge, fein (2 - 5 mm), undeutlich ausgeprägt; mittlerer Anteil sichtbarer Poren; geschätzte Trockenraumdichte: 1.50 g/cm ³ ; sehr schwach durchwurzelt
Ausgangsgestein:	Hangschutt aus dunklen Gneisen und Paragneisen
Stratigraphie:	GN
Bodentyp:	Braunerde

Tabelle 2: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. 1, Buchen-Tannen-Mischbestand, Braunerde

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)						kf	
		cm	%	gS	mS	fS	Σ S	Silt	Ton	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	L	+4 - 2									
2	Of	+2 - 0									
3	Ah	0 - 10	15	14.2	13.0	13.2	40.4	33.7	26.0	1.52	
4	AhBv	10 - 20	25	17.7	14.8	14.0	46.5	36.9	16.6	1.52	
5	Bv	20 - 80	35	18.0	14.2	14.4	46.6	34.8	18.5	0.71	
6	IIBv	80 - 120	65	28.2	15.3	13.6	57.1	30.6	12.3		
7	BvCv	120 - 140	85								

Nr.	Horizont	Dichte	Poren - vol	Vol.-% Wasser bei pF				Fe _d	Fe ₀	Al _d	Fe ₀ /Fe _d	Mn ₀
		g/cm ³	%	0.6	1.8	2.5	4.2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/kg
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	L											
2	Of											
3	Ah	0.9	67.5	40.1	28.7	24.7	14.8	14.79	7.18		0.49	
4	AhBv	1.0	67.4	44.3	33.7	29.7	17.0	15.68	7.52		0.48	
5	Bv	1.3	59.5	41.9	32.9	28.9	21.3	15.24	6.09		0.40	
6	IIBv	1.4	47.3	34.3	29.3	26.2	14.8	9.50	1.64		0.17	
7	BvCv	1.5						8.68	1.01		0.12	

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(KCl)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	L			0					
2	Of			0					
3	Ah	4.01	3.36	0	6.8	4.4	15.5		
4	AhBv	4.32	3.27	0	4.1	2.9	14.1		
5	Bv	4.47	3.97	0	1.9	1.5	12.6		
6	IIBv	4.56	4.15	0	0.35	0.4	9.6		
7	BvCv	4.63	4.11	0	0.3	0.3	10.0		

Nr.	Horizont	S	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mg/g	mmol/kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	L									
2	Of	0.51								
3	Ah	0.38	129.4	5.36	106.7	5.9	2.48	2.23	0.53	8.6
4	AhBv	0.29	98.3	1.67	90.4	1.4	1.10	1.16	0.52	4.2
5	Bv	0.317	66.4	0.27	63.3	0.7	0.456	0.79	0.34	3.3
6	IIBv	0.125	29.9	0.11	28.7	0.3	0.14	0.37	0.23	3.15
7	BvCv	0.07	25.8	0.24	24.4	0.3	0.16	0.38	0.14	3.8

6. Projektbezogene Literatur (Auswahl)

- BUBERL, H.G., v. WILPERT, K., TREFZ-MALCHER, G., HILDEBRAND, E.E.** (1994): Der chemische Zustand von Waldböden in Baden Württemberg, Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 1989-1992 (BZE). Mittl. der Forstl. Vers. u. Forschungsanst. Baden- Württemberg **182**, 104 S.
- HEPP, R. und E.E. HILDEBRAND** (1993): Stoffdeposition in Waldbeständen Baden- Württembergs, Allg. Forst Zeitschr. **48**, 1139-1142.
- HILDEBRAND, E.E.** (1994): Der Waldboden - ein konstanter Produktionsfaktor ? AFZ 2, 99-104.
- ULRICH, B.** (1994): Process hierarchy in forest ecosystems, Wiley-Liss, Inc, 353-397.
- VON WILPERT, K.** (1994): Bedeutung der makroskaligen Bestandsstruktur für Wasser- und Stofftransport durch Waldökosysteme. Tagungsbericht d. AG Ökologie d. Internationalen Biometrischen Gesellsch., Deutsche Region, H. 5, 53-66.
- VON WILPERT, K., KOHLER, M., ZIRLEWAGEN, D.** (1996): Die Differenzierung des Stoffhaushalts von Waldökosystemen durch waldbauliche Behandlung auf einem Gneisstandort des Mittleren Schwarzwaldes. Mitt. der Forstl. Vers. u. Forschungsanst. Baden Württemberg **197**, 94 S. u. Anhang.

IV ARINUS (M. Armbruster¹, K.H. Feger¹, M. Gülpen², K.Lorenz¹ und S. Raspe¹)

1. Thematischer Schwerpunkt der Exkursion

Auf Hochlagenstandorten im Forstbezirk Schluchsee werden Versuchseinrichtungen des Verbundprojekts ARINUS (Auswirkungen von Restabilisierungsmaßnahmen und Immissionen auf den N- und S-Haushalt der Öko- und Hydrosphäre von Schwarzwaldstandorten) besichtigt. Dabei werden Ergebnisse der seit 1986 laufenden Untersuchungen zu folgenden Schwerpunkten vorgestellt:

- Langjährige Meßreihen zum Wasser- und Elementhaushalt auf der Betrachtungsebene von Waldbeständen und Wassereinzugsgebieten sowie Modellierungsansätze;
- Ursache und Dynamik der akuten Nadelvergilbung der Fichte (vgl. Abb. 1);
- Ernährungskundliche und bodenmikrobiologische Charakterisierung des Streuabbaus (Nadeln, Feinwurzeln: vgl. Abb. 5);
- Auswirkungen von Waldkalkung und -düngung hinsichtlich Bestandesernährung, Feinwurzel-dynamik, Bodenchemie und Wasserqualität.

2. Entwicklung des Forschungsansatzes

Ausgehend von bodengenetischen und standortkundlichen Fragestellungen betreibt das Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg bereits seit Mitte der 70er Jahre Freilandmessungen zum Stoffhaushalt von Waldökosystemen im südlichen Hochschwarzwald (v.a. DFG-Projekt „Geochemie umweltrelevanter Spurenmetalle“ in Waldökosystemen der Bärhalde:

1 Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D 79085 Freiburg

2 Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie, Professur für Forstbotanik, Bertoldstr. 17, D 79085 Freiburg

ZÖTTL et al. 1977, 1979, HEYN 1989). Mit der Verknüpfung unterschiedlicher Skalenniveaus vom Pedon bis zur Kleinlandschaft (Wassereinzugsgebiet) wurde hier ein für die Ökosystemforschung neuer methodischer Weg beschritten. Auch während der hektischen Periode der „Waldschadensforschung“, die mit dem Auftreten neuartiger Waldschäden zu Beginn der 80er Jahre einsetzte, wurde an diesem Konzept festgehalten. Denn es war offensichtlich, daß Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder nur durch einen ökosystemaren Forschungsansatz sinnvoll zu erfassen sind. Auf diese Weise konnte auch sehr früh der enge Zusammenhang zwischen Waldschäden mit Störungen des Elementhaushalts aufgezeigt werden (v.a. Hochlagenerkrankung der Fichte: ZÖTTL & MIES 1983). Weitere thematische Schwerpunkte der Untersuchungen bildeten Prozesse der Boden- und Gewässerversauerung (FEGER & BRAHMER 1986, FEGER 1986) sowie Verbreitung und Diagnose von Ernährungsstörungen (HÜTTL 1985), im zunehmenden Maße aber auch schadensmildernde bzw. präventive Maßnahmen in Form von Kalkung und Düngung (HÜTTL & ZÖTTL 1986, ALDINGER 1987).

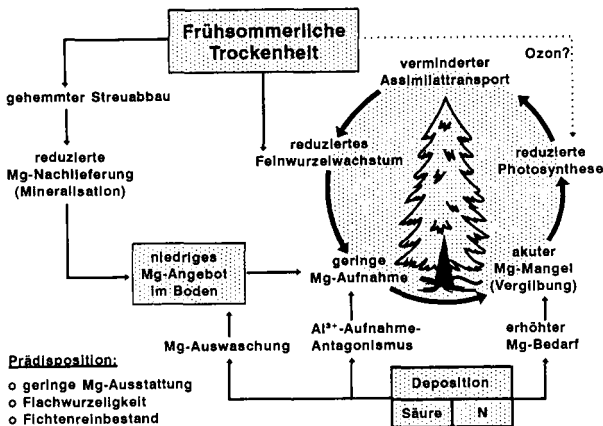


Abb. 1: Erklärungsmodell für das Auftreten und die zeitliche Entwicklung des Schadtyps „montane Nadelvergilbung“ bei Fichte

3. ARINUS-Verbundforschung im Rahmen der Waldschadensforschung

Seit 1986 wurde mit der Einrichtung von Dauermeßflächen im Zuge des Projekts ARINUS (ZÖTTL & FEGER 1990) die stoffhaushaltsorientierte Ökosystemforschung intensiviert. Dies wurde ermöglicht durch eine ausreichende und längerfristig gesicherte Förderung aus Mitteln der EG-Kommission, des Landes (PEF-Projektträgerschaft „Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung, Forschungszentrum Karlsruhe“) sowie des Bundes:

Projektphase I	1986 - 1991	PEF und EG-Kommission
Projektphase II	1991 - 1993	PEF
Projektphase III	1994 - 1996	PEF
Kalkungsprojekt FEELING	1988 - 1993	BMFT
gegenwärtig: 2 Anschlußprojekte	bis Ende 1998	PEF

Die ARINUS-Versuchsgebiete Schluchsee (Kristallin) und Villingen (Buntsandstein) haben sich aufgrund der gut untersuchten Standortverhältnisse und der langfristigen Stoffumsatzmessungen zu einem Kristallisationspunkt interdisziplinärer Ökosystemforschung entwickelt. Bislang haben hier zahlreiche forst-, bio- und geowissenschaftliche Arbeitsgruppen von Universitäten (Freiburg, Gießen, Bochum, Hohenheim, München, Tübingen, Ulm) und anderer Forschungsrichtungen (FAL Braunschweig, GSF Neuherberg, FhG Garmisch-Partenkirchen) objektbezogen zusammengearbeitet. Auch gegenwärtig bilden Vorhaben auf den ARINUS-Versuchsf lächen immer noch einen Hauptschwerpunkt der PEF-geförderten Waldökosystemforschung. Die Arbeiten sind in nationale und internationale Kooperationsprojekte (DEFORPA, ENCORE, FERN, FEELING, deutsch-kanadische Kooperation) eingebunden.

4. Experimenteller Ansatz

Der Ansatz im ARINUS-Projekt kombiniert Messungen der Wasser- und Stoffumsätze in Waldbeständen (interner Kreislauf) mit Eintrag-/Austrag-Bilanzen kleiner Wassereinzugsgebiete (Abb. 2, 3).

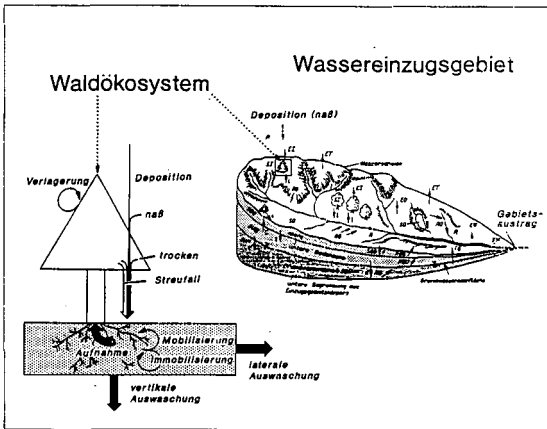


Abb. 2: Kombination von Ökosystem- und Wassereinzugsgebietsansatz

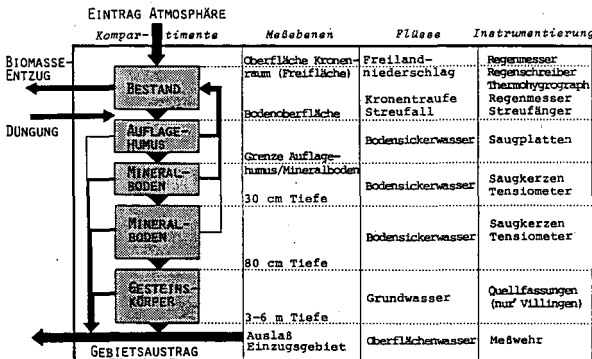


Abb. 3: Schematische Darstellung der Wasser- und Elementflüsse in einem der untersuchten Einzugsgebiete mit Kompartimenteinteilung, Meßebenen und Instrumentierung

Kontinuierlich erfaßt werden Freiland- und Bestandesniederschlag, Streufall, Bodensickerwasser, Bodenfeuchte, Bach- und Quellwasser sowie meteorologische Parameter. Darüber hinaus geben in gewissen Zeitabständen durchgeführte Elementinventuren Einblick in Veränderungen der Nährstoffversorgung der Bestände sowie der Elementvorräte in den biotischen und abiotischen Ökosystemkompartimenten. Durch zielgerichtete Manipulationen (Düngung, Kalkung, erhöhte N- und S-Zufuhr) lassen sich wissenschaftliche Hypothesen im Freilandexperiment unter kontrollierten Bedingungen überprüfen (Abb. 4).

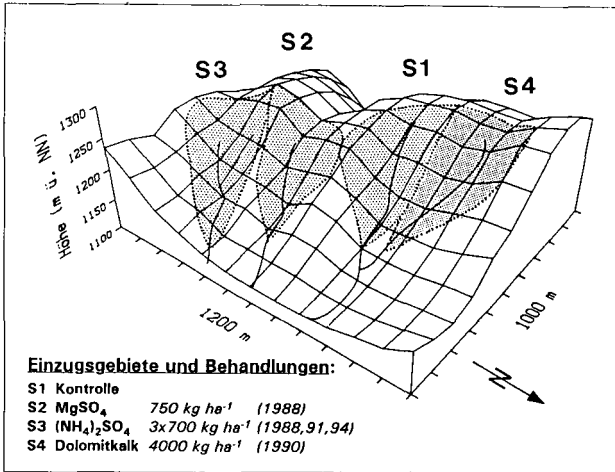


Abb. 4: Lage der vier Einzugsgebiete mit den experimentellen Behandlungen

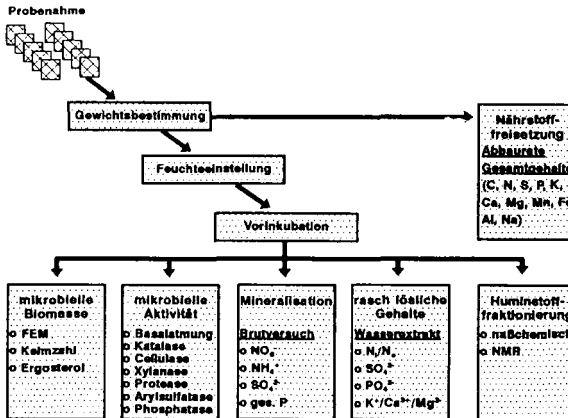


Abb. 5: Versuchsplan der Streuabbau-Untersuchungen

Seit 1994 wird auch der Einfluß eines *reduzierten Bodenfeuchteangebots* auf ökosystemare Prozesse untersucht:

- Elementfreisetzung beim Abbau von Nadel- und Feinwurzelstreu (Kleindach-Experimente im Rahmen von Phase III, vgl. Abb. 5);
- bodenchemische und ernährungsphysiologische Auswirkungen einer fröhsommerlichen Bodenaustrocknung in zwei Fichtengruppen (Verbundprojekt Bodenkunde/Waldernährungslehre und Forstbotanik 1996 - 1998).

5. Untersuchungsgebiet

5.1. Lage und Auswahlkriterien

Die Schluchsee-Versuchsflächen liegen am ENE-exponierten Hang der „Schnepfhalde“ im Feldberggebiet (zentraler Südschwarzwald, 47°49'N, 8°6'E). Es handelt sich um die Abteilungen 43, 44, 46 und 47 des Distrikts I „Äule“ (Staatliches Forstamt Schluchsee). Als Teil des Einzelwuchsbezirks „Südschwarzwald“ gehört das Gebiet aufgrund seiner Höhenlage zwischen 1150 und 1250 m ü.NN der hochmontanen Stufe an. Die Entwässerung erfolgt über den Krummenbach in den Schluchsee zum Rhein. Bei den Bächen handelt es sich um Quellbäche, die sich V-förmig eingetieft haben. Das mittlere Gefälle in den Einzugsgebieten beträgt ca. 22° (BRAHMER, 1990).

Als Voraussetzung für den kombinierten Forschungsansatz (Abb. 2) waren an die Untersuchungsgebiete eine Reihe von Anforderungen zu stellen: Im Gegensatz zum früheren DFG-Vorhaben im Wassereinzugsgebiet der Bärhalde sollten die Gebiete bezüglich der geo- und pedologischen sowie forstlichen Eigenschaften *möglichst homogen* sein. Dies gilt besonders für das Bodenformenmosaik, da bei komplexen Verhältnissen eine funktionelle Zuordnung des Stoffhaushalts einzelner Ökosysteme zum Gebietsaustag kaum möglich ist (vgl. HEYN 1989). Eine weitere Notwendigkeit für eine möglichst große Homogenität innerhalb der Einzugsgebiete bestand im Hinblick auf die experimentellen stofflichen Manipulationen (Abb. 4) und den Flächenbedarf der beteiligten Arbeitsgruppen. Die insgesamt 4 Einzugsgebiete (Fläche jeweils ca. 10 ha) sind hydrologisch und geochemisch sehr gut vergleichbar (BRAHMER 1990, vgl. 6.).

5.2. Geologie, Böden und standortkundliche Bewertung

Der geologische Untergrund besteht aus dem extrem sauren *Bärhaldegranit*. Aufgrund seiner petrographischen Homogenität und geringer tektonischer Störung bietet er für Einzugsgebietsstudien sehr günstige Voraussetzungen. Es handelt sich dabei um einen mittel- bis grobkörnigen Zweiglimmergranit mit einem hohen Quarzgehalt von 33 - 44 % (weitere Mineralzusammensetzung: Kalifeldspat 33,1 %, Plagioklas 24,5 %, Biotit 3,7 % und Muskowit 4,1 %). Im Vergleich zu anderen Graniten ist der Ca- und Mg-Gehalt des Bärhaldegranits extrem niedrig, während der P-Gehalt relativ hoch liegt. Die ebenfalls hohen Gehalte an Na und K beruhen auf den Plagioklas- bzw. Orthoklasanteilen und sind typisch für Ca-arme Granite.

Obwohl das Untersuchungsgebiet während der Würmeiszeit im Bereich der Feldbergvergletscherung lag, finden sich in den ca. 60 - 200 cm mächtigen Verwitterungsdecken keine Hinweise für eine Grundmoränenposition. Auch ist keine Gliederung in verschiedene Fließerdefolgen erkennbar, wie sie für weite Teile des Südschwarzwalds von STAHR (1979) beschrieben wurde. Wahrscheinlich handelt es sich um ehemalige Firneismulden, aus denen das Lockermaterial weggeführt wurde. Nach dem Abschmelzen des Eises setzte infolge Kryoklastik und Insolation eine intensive physikalische Verwitterung ein, die durch die Neigung des Gesteins zur Vergrusung stark begünstigt wurde. Hang-

abwärts kann das autochthone Material zunehmend durch Fließerden überlagert sein. Einen deutlichen Hinweis auf die *in-situ*-Verwitterung gibt ein hoher Feinskelettanteil. Im Bereich des Kammes und der Oberhänge finden sich größere Blöcke, die der Wollsackverwitterung des Granits zuzuordnen sind. Für die Rücken und Hänge des Bärhalde-Schnepfhalde-Habsberg-Kammes ist die *Podsol - Podsol/Braunerde - Stagnogley-Assoziation* typisch. Im unmittelbaren Untersuchungsgebiet besitzen stauwasserbeeinflusste Böden nur eine untergeordnete Bedeutung. Nach eigenen Kartierungen und aufgrund der forstlichen Standortskarte handelt es sich vorwiegend um *durchlässige, mittel- bis tiefgründige sandig-lehmige Grusböden* (Ökoserie: „stark saurer lehmiger Hochlagen-Grusboden“ mit Gefälle < 25 % und „stark saurer lehmig-grusiger Hochlagen-Winterhang“ mit Gefälle > 25 %). Gewisse Differenzierungen ergeben sich hinsichtlich des Podsolierungsgrades. Ranker bis Braunerde-Ranker treten nur kleinflächig im Bereich des Kammes und exponierter Rücken auf.

Die *Humusform* (F-Mull bis rohumusartiger Moder) ist trotz ungünstigem Mineralbodenzustand und schwer zersetzbarer Streu überraschend günstig. Gründe liegen in der Aktivität der tiefgrabenden Regenwurmart *Lumbricus badensis* (vgl. LAMPARSKI, 1985) sowie in der hohen N-Verfügbarkeit (WÖLFELSCHNEIDER 1994) als Ergebnis der Waldnutzungsgeschichte (FEGER 1993). Die nachfolgende Profilbeschreibung bezieht sich auf das Leitprofil in Einzugsgebiet S1 (Analysendaten in Tab. 1). Entsprechend der grobkörnigen Verwitterung und der Basenarmut des Substrats ist der chemische Bodenzustand bis in den Unterboden hinein durch tiefe pH-Werte, Sorptionsschwäche und eine extrem geringe Basensättigung der Austauschschicht gekennzeichnet. Ein wichtiges Charakteristikum stellt die *tiefgründige Humosität* dar, was wahrscheinlich ein „reliktisches Merkmal“ der ehemaligen Mischwaldbestockung mit einem hohen Anteil der tiefwurzelnden Baumarten Buche und Tanne darstellt (vgl. FEGER, 1993).

Standorts- und Profilbeschreibung der ARINUS-Versuchsfläche Schluchsee

Ort:	Forstbezirk Schluchsee (Distrikt Äule, Abt. 47)
Top. Karte 1:25 000:	8114 Feldberg/Schwarzwald R: 34 32 420 H: 52 97 520
Landschaft:	Zentraler Hochschwarzwald
Höhe:	1190 m ü NN
Relief:	konvexer Oberhang, 30% NNE
Nutzung:	Fichtenforst (60 - 80 jährig)
Mittl. Jahrestemperatur:	4,5°C
Mittl. Jahresniederschlag:	1900 mm

Profilbeschreibung:

Horizont	Tiefe (cm)	
L	+5,5 - +4,5	5YR 7/8, Auflage, lagig
Of	+4,5 - + 2,5	10 YR 7/3, Auflage, plattig, verklebt
Oh	+2,5 - 0	2,5 YR 2, sehr stark durchwurzelte Auflage, wellig/abrupte Grenze nach

Ahe	0 - 30	% YR 5/2, stark grusiger IS, schwaches Kohärentgef., Ld 1 - 2 (sehr gering bis gering), mittel bis stark durchwurzelt, wellig/abrupte Grenze nach
Bsh	- 40	5 YR 4/6, stark grusiger IS, Kohärentgef., Ld 1 - 2 (sehr gering bis gering), schwach durchwurzelt, wellig abrupte Grenze nach
Bhs	- 60	5 YR 5/8, stark grusiger sL, Kohärentgef., Ld 1 - 2 (sehr gering bis gering), schwach durchwurzelt, undeutliche/unterbrochene Grenze nach
Bhvs	- 80	5 YR 6/6, stark grusiger sL, Kohärentgef., Ld 2 (gering), sehr schwach durchwurzelt, irreguläre/abrupt bis undeutliche Grenze nach
Cv	- > 100	5 YR 6/4, stark grusiger l'S, Einzelkorngef., Ld 3 (mittel), sehr schwach durchwurzelt.
Bodentyp	DBG:	Typischer Podsol (Eisenhumuspodsol)
	FAO:	Haplic Podzol
Humusform:		mullartiger Moder bis moderartiger Rohhumus
Standortsbeurteilung:		Tiefgründig und sehr gut durchwurzelt, mäßig frisch bis frisch und sehr gut durchlüftet. Gute bis sehr gute N-, P- und K-Versorgung, schwache Ca-Versorgung, extrem schlechte Mg-Versorgung (z.T. akuter Mangel).

5.3. Vegetation und Klima

Als **natürliche Waldgesellschaft** kann dem Untersuchungsgebiet der hochmontane Hainsimsen-(Buchen)Fichten-Tannenwald (Luzulo-Abietetum) zugeordnet werden. Tanne (*Abies alba* Mill.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) sind nahezu vollständig gegenüber der forstlich begünstigten Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) zurückgetreten. Typische Arten der Kraut- und Moosschicht sind Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Weiße Hainsimse (*Luzula luzoloides*), Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), Rippenfarn (*Blechnum spicant*) sowie das Moos *Rhytidiadelphus loreus*.

Die Rekonstruktion der **Bestandes- und Nutzungsgeschichte** ergab einen um 1750 einsetzenden Bestockungswandel vom naturnahen Bergmischwald zum reinen Fichtenwald unter dem Einfluß der 1716 in Äule angesiedelten Glashütte. Archivstudien lassen vermuten, daß in der heutigen, zweiten Fichtengeneration autochthone Fichten neben Fichten unbekannter Herkunft stocken. Der Standort deute nach den devastierenden Kahlhieben der Glasmacher mit großer Wahrscheinlichkeit zeitweise auch der Waldweide (MÜNCH et al. 1990).

Das **Klima** ist kühl-perhumid (Jahresmitteltemperatur 4,5 °C, Jahresniederschlag ca. 1900 mm) mit einer deutlich atlantischen Tönung (zum Wasserhaushalt vgl. 6.). Die hohen Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt mit leichten Maxima in den Monaten August und Dezember, sowie Minima im März und September (Station Feldberg). Der mit 30 % hohe Schneeanteil am Niederschlag führt im Mittel der Jahre zu einer vier- bis sechsmonatigen Schneebedeckung (vgl. BRAHMER, 1990).

Tab 1: Physikalische und chemische Eigenschaften des Bodenprofils (S1), Podsol

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)						kf	
		cm		%	gS	mS	fS	ΣS	Silt	Ton	cm/s
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	L	+5,5 -									
2	Of	+4,5 -									
3	Oh	+2,5 -									
4	Ahe	0 - 30	49	37,9	17,8	11,5	67,2	21,2	11,6	2,7·10 ⁻³	2,3·10 ²
5	Bsh	- 40	45	35,2	22,2	11,5	68,8	19,4	11,8		
6	Bhs	- 60	45	38,6	20,2	11,2	70,0	20,0	10,0	2,7·10 ⁻³	2,3·10 ²
7	Bhvs	- 80	43	36,7	18,6	11,7	67,0	21,2	11,7		
8	Cv	> 100	46	42,5	23,2	11,6	77,3	16,3	6,4	4,8·10 ⁻²	4,1·10 ⁴

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-% Wasser bei pF				Fe _a	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _a	Mn _o
		g/cm ³		%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	L	0,10										
2	Of	0,12										
3	Oh	0,17										
4	Ahe	1,10	55,2	51,7	28,1	22,6	12,5	5,0	1,3	1,3	0,26	<0,01
5	Bsh							9,6	5,4	4,1	0,56	<0,01
6	Bhs	1,08	58,3	55,4	33,8	31,4	19,6	10,6	7,9	7,3	0,75	0,08
7	Bhvs							11,0	7,5	11,6	0,68	0,11
8	Cv	1,37	49,2	43,2	22,0	20,8	10,3	5,1	0,6	3,4	0,12	0,20

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	C _{org}	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)					%	%
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	L	4,2	3,5		50,0	9,6	52		
2	Of	3,5	2,9		44,3	15,0	30		
3	Oh	3,4	2,8		23,8	8,7	27		
4	Ahe	3,8	3,3		2,4	1,7	14		
5	Bsh	4,2	3,8		3,2	1,7	19		
6	Bhs	4,9	4,2		3,0	1,1	27		
7	Bhvs	4,9	4,3		3,0	1,3	23		
8	Cv	4,1	4,4		0,5	0,4	13		

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mmol/kg		H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	L									
2	Of									
3	Oh									
4	Ahe		71	15	53	0,8	0,7	0,9	0,2	3,7
5	Bsh		70	9	59	0,5	0,4	0,6	0,2	2,4
6	Bhs		43	6	35	0,4	0,1	0,3	0,1	2,1
7	Bhvs		42	6	35	0,5	0,1	0,3	0,1	1,9
8	Cv		20	4	15	0,3	0,1	0,3	0,1	4,1

5.4. Versuchsbestände

Die Bestockung besteht einheitlich zu fast 100 % mit Fichte im Alter von 40 - 80 Jahren. Nur stellenweise findet sich etwas Buche und Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*). Aufgrund von häufigen Schneebruchschäden ist die Bestockung locker bis lückig, zum Teil dichtgeschlossen in meist gruppenartiger Verteilung (Stammzahl ca. 1150 pro ha). Die Fichten sind mit einem dGZ von 9,0 Vfm D.m.R. für Hochlagenbestände relativ gut wüchsig (MÄKINEN & SPIECKER 1995). Wie auch in den Hochlagen anderer Mittelgebirge traten im Südschwarzwald *Vergilbungen der älteren Nadeljahrgänge* vereinzelt gegen Ende der 70er Jahre und verstärkt ab 1982/83 gleichzeitig und auf großer Fläche auf (ZÖTTL & MIES 1983). Davon betroffen war v.a. die Fichte, besonders auf sauren Böden aus basenarmen Ausgangsgesteinen. Den Schadenssymptomen entsprechend handelt es sich um *akuten Mg-Mangel*. Seit etwa Mitte der 80er Jahre war ein allmählicher Rückgang der Vergilbung verbunden mit besserer Mg-Ernährung festzustellen (MÜNCH et al. 1990; FEGER et al. 1996). Die Mg-Versorgung der jüngsten Nadeln war ausreichend (Tab. 2). Jedoch weisen die deutlich niedrigeren Gehalte der vierjährigen Nadeln auf eine angespannte Mg-Versorgung hin. Die Ca-Versorgung ist schwach, aber ausreichend. Demgegenüber sind die Fichtenbestände sehr gut mit N, P und K versorgt. Die S-Gehalte liegen auf einem sehr niedrigen Niveau, was der geringen S-Belastung im zentralen Südschwarzwald entspricht.

Tab. 2: Elementgehalte der jüngsten und älterer Nadeln der beiden Fichtenuntersuchungsbestände (4. Quirl, Probenahme Dezember 1989, Mischprobe von jeweils 15 herrschenden Bäumen; Angaben in mg g⁻¹ Trockensubstanz).

	N	P	K	S	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
1-jährige Nadeln	13,0	1,45	7,5	1,10	3,6	0,82	0,46	0,04	0,07
4-jährige Nadeln	11,5	1,05	6,5	1,35	3,4	0,40	0,24	0,09	0,23

6. Wasser- und Elementflüsse

In Tabelle 3 sind die mittleren jährlichen Wasserflüsse der vier Wassereinzugsgebiete zusammengestellt. Sowohl für die Mittelwerte des Meßzeitraums als auch für die Einzeljahre ergeben sich plausible Wasserflüsse. Diese Tatsache stellt eine ausgezeichnete Grundlage für langfristige Stoffbilanzen dar. Die benachbarten Einzugsgebiete in Schluchsee sind aufgrund der gemessenen Wasserflüsse somit sehr gut vergleichbar (vgl. BRAHMER 1990).

In Tabelle 4 sind die Ionenflüsse aller Hauptkationen und -anionen durch das Einzugsgebiet S1 dargestellt. Der weitgehend ausgeglichene Cl-Fluß bestätigt indirekt die Plausibilität der ermittelten Wasserflüsse. Der Protonenfluß erreicht unterhalb des Auflagehumus den höchsten Wert und nimmt parallel zu den DOC-Flüssen als Maß für gelöste Huminstoffe mit zunehmender Bodentiefe ab. Das im Boden mengenmäßig bedeutendste Kation stellt Aluminium dar. Durch Mineralisierungsprozesse nehmen die NO₃⁻- und SO₄²⁻-Flüsse im tieferen Mineralboden deutlich zu. Die Freisetzung von Ca²⁺ und Na⁺ im tieferen Mineralboden und auf der Sickerstrecke zwischen Solum und Bach läßt sich durch vorwiegende Plagioklas-Verwitterung erklären, wofür auch die parallel verlaufenden Si-Flüsse sprechen.

Tab. 3: Mittlere jährliche Wasserflüsse im ARINUS-Versuchsgebiet Schluchsee für den Zeitraum 11/1987 - 10/1995 (Gebiet S4 11/1989- 10/1995).

Wasserfluß [mm a ⁻¹]	SCHLUCHSEE			
	S1	S2	S3	S4
Freilandniederschlag N _F	1916	1916	1916	1960
Bestandesniederschlag N _B	1601	1654	1618	1555
Interzeption I (N _F -N _B)	315	263	298	405
Abfluß Q	1452	1458	1485	1404
Evapotranspiration (pot.) ET _P	—	556	—	564
Evapotranspiration (akt.) ET _A (N-Q)	464	459	432	557
Gebietswasserbilanz REST (NF-ET _P -Q)	-92	-98	-125	-8
REST in % von N _F	-4,8	-5,1	-6,5	-0,4

Tab. 4: Mittlere Eintrag-/Austrag-Bilanzen auf Einzugsgebietsebene und Stoffflüsse im Boden für das Einzugsgebiet Schluchsee S1 (Zeitraum 11/1990 - 10/1993).

Ion bzw. Element (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	Freilandniederschlag	Bestandesniederschlag	Humusaufgabe	Mineralboden 30cm	Mineralboden 80cm	Bachwasser
H ⁺	0,31	0,27	1,31	0,64	0,19	0,05
Na ⁺	2,9	3,3	7,4	6,6	9,3	20,1
K ⁺	1,7	12,1	10,3	2,1	5,7	7,0
Ca ²⁺	3,7	6,0	11,3	2,8	6,3	13,1
Mg ²⁺	0,7	1,1	1,6	0,9	1,8	2,2
NH ₄ ⁺ -N	4,5	3,4	2,1	0,4	0,4	<0,1
NO ₃ ⁻ -N	4,0	5,1	1,5	1,1	4,5	6,0
SO ₄ ²⁻ -S	6,1	8,3	13,8	11,4	18,5	15,3
Cl	6,9	7,9	9,1	7,2	9,9	8,7
HCO ₃ ⁻	9,4	11,6	1,0	3,1	15,5	30,7
Al	0,11	0,20	0,69	5,98	10,33	3,09
Mn	0,05	0,37	0,38	0,16	1,18	0,20
Fe	0,07	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,10
DOC	22,9	61,3	447,7	177,8	63,0	18,6
Si	nb.	nb.	10,0	20,4	24,6	47,0

7. Projektveröffentlichungen

Forschungsberichte

- BRAHMER, G.; K.H. FEGER & H.W. ZÖTTL** (1991): Projekt ARINUS: V. Stoffdynamik der Kontrollgebiete und Düngeraustrag. - KfK/PEF-Berichte **80**(1), 205-216.
- FEGER, K.H.; H.W. ZÖTTL & G. BRAHMER G.** (1988): Projekt ARINUS: II. Einrichtung der Meßstellen und Vorlaufphase. KfK/PEF-Berichte **35**(1), 27-38.
- FEGER, K.H.; H.W. ZÖTTL & G. BRAHMER** (1990): Projekt ARINUS: IV. Auswirkungen der Kieseritdüngung. - KfK/PEF-Berichte **61**(1), 21-35.
- FEGER, K.H.; G. BRAHMER & H.W. ZÖTTL** (1992): Projekt ARINUS: VI. Stickstoffumsatz und Auswirkungen der experimentellen Ammonsulfatgabe. - KfK/PEF-Berichte **94**, 199-211.
- FEGER, K.H.; G. BRAHMER & H.W. ZÖTTL** (1993): Projekt ARINUS: VII. Zwischenbilanz und Perspektiven. - KfK/PEF-Berichte **104**, 23-40.
- RASPE, S.; K.H. FEGER & H.W. ZÖTTL** (1994): Projekt ARINUS: VIII. Feinwurzelverteilung und -ernährung nach experimenteller Düngung. - KfK/PEF-Berichte **117**, 13-27.
- RASPE, S.; K. LORENZ; K.H. FEGER; L. ZIMMERMANN; M. ARMBRUSTER & H.W. ZÖTTL** (1996): Projekt ARINUS: X. Bodenmikrobiologische und ernährungskundliche Charakterisierung des Abbaus von Nadel- und Feinwurzelstreu der Fichte. - KZKA/PEF-Berichte **142**, 1-14.
- ZIMMERMANN, L.; S. RASPE; K.H. FEGER & H.W. ZÖTTL** (1995): Projekt ARINUS: IX. Bodenwasserhaushalt an einem Hochlagenstandort: Messung, Modellierung und Bedeutung hinsichtlich der Mg-Mangelvergilbung. KZKA/PEF-Berichte **130**, 11-23.
- ZÖTTL, H.W. & K.H. FEGER** (1990): Waldökosystemforschung in den ARINUS-Versuchsgebieten Schluchsee und Villingen. - KfK/PEF-Berichte **61**(1), 11-20.
- ZÖTTL, H.W.; FEGER, K.H. & BRAHMER G.** (1987): Projekt ARINUS: I. Zielsetzung und Ausgangslage. KfK/PEF-Berichte **12**(1), 269-281.
- ZÖTTL, H.W.; FEGER, K.H. & G. BRAHMER** (1989): Projekt ARINUS: III. Stoffbilanzen und Düngung der Einzugsgebiete. - KfK/PEF-Berichte **50**(1), 23-34.
- ZÖTTL, H.W. und Mitarbeiter** (1994): Zusammenhänge zwischen „neuartigen“ Waldschäden und Boden-/Gewässerchemismus in einem geschädigten Waldökosystem auf der Basis eines Einzugsgebietes mit und ohne Kalkung. - Abschlußbericht BMFT-Vorhaben Nr. 0 3392 79 A, 359 S. (+ Anhang).

Dissertationen und Habilitationsschriften

- BRAHMER, G.** (1990): Wasser- und Stoffbilanzen bewaldeter Einzugsgebiete im Schwarzwald unter besonderer Berücksichtigung naturräumlicher Ausstattungen und atmosphärischer Einträge. - Freiburger Bodenkundl. Abh. **25**, 295 S.
- FEGER, K.H.** (1993): Bedeutung von ökosysteminternen Umsätzen und Nutzungseingriffen für den Stoffhaushalt von Waldlandschaften (Habilitationsschrift) - Freiburger Bodenkundl. Abh. **31**, 237 S.
- GÜLPEN, M.** (1996): Xylemfluß, Elementtransport und Bindung von Calcium und Magnesium in Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) von den ARINUS-Flächen im Schwarzwald. - Freiburger Bodenkundl. Abh. **36**, 163 S.
- RASPE, S.** (1992): Biomasse und Mineralstoffgehalte der Wurzeln von Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.) des Schwarzwaldes und Veränderungen nach Düngung. - Freiburger Bodenkundl. Abh. **29**, 197 S.
- WÖLFELSCHNEIDER, A.** (1994): Einflußgrößen der N- und S-Mineralisierung auf unterschiedlich behandelten Fichtenstandorten im Südschwarzwald. Freiburger Bodenkundl. Abh. **34**, 200 S.

ZIMMERMANN, L. (1995): Der Bodenwasserhaushalt an einem Hochlagenstandort im Südschwarzwald. - Freiburger Bodenkundl. Abh. **35**, 206 S.

Veröffentlichungen (Auswahl):

- BRAHMER, G.** (1990): Belastung von Böden forstlich genutzter Standorte im Südschwarzwald durch Luftschadstoffe. - VDI-Berichte **837**, 1029-1048.
- BRAHMER, G.** (1994): Effects of whole catchment liming and Mg addition on soil water and runoff at two forested watersheds in the Black Forest (Germany). - Forest Ecology and Management **68**, 47-60.
- FEGER, K.H.** (1989): Projekt ARINUS: Bilanzierung von Stoffumsatz und -austrag nach Neutral-salzdüngung in bewaldeten Wassereinzugsgebieten. - Kali-Briefe (Büntehof) **19**, 425-441.
- FEGER, K.H.** (1990): Bewertung experimentell erhöhter Stickstoff- und Schwefel-Einträge auf zwei Fichten-ökosysteme im Schwarzwald. - VDI-Berichte **837**, 1209-1229.
- FEGER, K.H.** (1992): Bilanzierung von Stoffflüssen in Mg-gedüngten Fichtenökosystemen im - Schwarzwald. - In: G. Glatzel, R. Jandl, M. Sieghardt und H. Hager (Hrsg.) "Magnesiummangel in mitteleuropäischen Waldökosystemen". Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur Wien **5**, 88-101.
- FEGER, K.H.** (1992): Nitrogen cycling in two Norway spruce (*Picea abies*) ecosystems and effects of a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ addition. - Water, Air, and Soil Pollution **61**, 295-307.
- FEGER, K.H.** (1995): Solute fluxes and sulfur cycling in forested catchments in SW Germany as influenced by experimental $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ treatments. - Water, Air, and Soil Pollution **79**, 109-130.
- FEGER, K.H. & S. RASPE** (1992): Ernährungszustand von Fichtennadeln und -wurzeln in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot im Boden. - Forstw. Cbl. **111**, 73-86.
- FEGER, K.H.; BRAHMER G. & H.W. ZÖTTL** (1988): Chemische Veränderung des Niederschlagswassers auf seinem Weg durch zwei Einzugsgebiete im Schwarzwald. - Wasser und Boden **40**, 574-580.
- FEGER, K.H.; BRAHMER, G. & H.W. ZÖTTL** (1990): Element budgets of two contrasting watersheds in the Black Forest (Federal Republic of Germany). - Journal of Hydrology **116**, 85-99.
- FEGER, K.H.; BRAHMER, G. & H.W. ZÖTTL** (1990): An integrated water-shed/plot-scale study of element cycling in spruce ecosystems of the Black Forest. - Water, Air, and Soil Pollution **54**, 545-560.
- FEGER, K.H.; H.W. ZÖTTL & G. BRAHMER** (1990): Assessment of the ecological effects of forest fertilization using an experimental watershed approach. - Fertilizer Research **27**, 49-61.
- FEGER, K.H. & G. BRAHMER** (1992): Wassergüteänderungen durch erhöhte Stickstoff- und Schwefeleinträge in Waldökosysteme. - Wasser und Boden **44**, 137-151.
- FEGER, K.H.; S. RASPE; M. SCHMID & H.W. ZÖTTL** (1991): Verteilung der Elementvorräte in einem schlechtwüchsigen 100jährigen Fichtenbestand auf Buntsandstein. - Forstw. Cbl. **110**, 248-262.
- FEGER, K.H.; M. ARMBRUSTER; S. RASPE; A. WÖLFELSCHNEIDER & G. BRAHMER** (1995): Dolomitic limestone application to a forested catchment - Chemical and biological responses. - In: A. Jenkins (Ed.): Ecosystem manipulation experiments - scientific approaches, experimental design and relevant results. Commission of the European Communities Ecosystems Research Report **20**, 138-149.
- FEGER, K.H.; S. RASPE & L. ZIMMERMANN** (1996): Boden- und ernährungskundliche Untersuchungen zum Schadtyp „montane Nadelvergilbung“ bei Fichte. - Verhandlgn. Gesellsch. Ökologie **26**, 53-60.
- FEGER, K.H.; D. MARTIN & H.W. Zöttl** (1995): Entwicklung der Gewässerazidität im Schwarzwald - sind depositionsbedingte Veränderungen erkennbar? - Die Naturwissenschaften **82**, 420-423.

- GIESEMANN, A.; H.J. JÄGER & K.H. FEGER** (1994): Evaluation of the sulphur budget of managed forest stands by means of stable S isotope analysis. - *Plant and Soil* **168/169**, 399-404.
- HAUG, I. & K.H. FEGER** (1990): Effects of fertilization with $MgSO_4$ and $(NH_4)_2SO_4$ on soil solution chemistry, mycorrhiza and nutrient content of fine roots in a Norway spruce stand. - *Water, Air, and Soil Pollution* **54**, 453-467.
- MAYER, B.; K.H. FEGER; A. GIESEMANN & H.J. JÄGER** (1995): Interpretation of sulfur cycling in two catchments in the Black Forest (Germany) using stable sulfur and oxygen isotope data. - *Biogeochemistry* **30**, 31-58.
- MÜNCH, D.; FEGER, K.H. & H.W. ZÖTTL** (1990): Nadelvergilbung, Elementverteilung und Wachstum von Fichten eines Hochlagenstandorts im Südschwarzwald. - *Allg. Forst- u. Jagdz.* **154**, 210-218.
- PRIETZEL, J. & K.H. FEGER** (1991): Al-Spezies im Sickerwasser saurer Waldböden - Einfluß von Wasserbewegung und Löslichkeitsgleichgewichten. - *Z. Pflanzenernährung u. Bodenkunde* **154** 271-281.
- PRIETZEL, J. & K.H. FEGER** (1992): Dynamics of aqueous aluminum species in a podzol affected by experimental $MgSO_4$ and $(NH_4)_2SO_4$ treatments. - *Water, Air, and Soil Pollution* **65**, 153-173.
- RASPE, S.; FEGER, K.H. & H.W. ZÖTTL** (1989): Erfassung der Elementvorräte in der Wurzelbiomasse eines 100jährigen Fichtenbestandes (*Picea abies* KARST.) im Schwarzwald. *Angew. Botanik* **63**, 145-163.
- RASPE, S. & K.H. FEGER** (1990): Element distribution in roots of two contrasting Norway spruce stands in the Black Forest (Germany). - In: H. Persson (Ed.): 'Above and below-ground interactions in forest trees in acidified soils' Proceedings of a COST Workshop in Simlångsdalen/Sweden, May 21-23, 1990. Commission of the European Communities, Air Pollution Report **32**, 137-146.
- RASPE, S. & K.H. FEGER** (1992): Distribution and nutritional status of fine roots in established Norway spruce (*Picea abies* Karst.) stands subjected to fertilization with $MgSO_4$ and $(NH_4)_2SO_4$. - In: L. Kutschera, E. Hübl, L. Lichtenegger, H. Persson, M. Sobotik (Eds.): *Root Ecology and Practical Application. Proceedings 3rd ISRR Symposium, Vienna/Austria Sept. 2 - 4, 1991*, 487-490.
- RASPE, S. & I. HAUG** (1991): Wirkung einer Magnesiumsulfat-Düngung im Schwarzwald auf Fichtenwurzeln und Mykorrhizen. - In: G. GLATZEL, R. JANDL, M. SIEGHARDT und H. HAGER (Hrsg.) "Magnesiummangel in mitteleuropäischen Waldökosystemen". Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur Wien **5**, 102-109.
- RASPE, S. & K.H. FEGER** (1997): Using the litterbag approach for the characterization of microbial dynamics during the decomposition of needles and fine roots in three different Norway spruce stands. - *Pedobiologia* (in press).
- STAHR, K., K.H. FEGER, M. ZAREI and K.H. PAPENFUSS** (1995): Estimation of weathering rates in small catchments on Bärhalde granite (Black Forest, SW Germany). In: C.J. Churchman, R.W. Fitzpatrick and R.A. Eggleton (eds.): *Clays controlling the Environment - Proceedings of the 10th International Clays Conference, Adelaide, Australia, July 18 - 23, 1993*, 494 - 498.
- WÖLFELSCHNEIDER, A. & K.H. FEGER** (1993): N-Mineralisation auf sauren Waldstandorten - Einfluß von Mineralstoffdüngung und Kalkung. - *Mittelgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **72**, 661-664.
- ZIMMERMANN, L.; K.H. FEGER & G. BRAHMER** (1992): Variabilität bodenphysikalischer Eigenschaften als Grundlage für Wasser- und Stoffbilanzen in Wassereinzugsgebieten im Kristallin-Schwarzwald. - *Allg. Forst- u. Jagdz.* **163**, 187-195.
- ZIMMERMANN, L. & K.H. FEGER** (1997): Der Bodenwasserhaushalt an einem Fichtenstandort im Hochschwarzwald - Messungen und Modellierung zur Deutung der montanen Nadelvergilbung. - *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* (in Druck).

ZÖTTL, H.W. (1990): Remarks on the effects of nitrogen deposition to forest ecosystems. - *Plant and Soil* **128**, 83-89.

8. Weitere im Text zitierte Literatur

ALDINGER, E. (1987): Elementgehalte im Boden und Nadeln verschieden stark geschädigter Fichten-Tannen-Bestände auf Praxiskalkungsflächen im Buntsandstein-Schwarzwald. - *Freiburger Bodenkundl. Abh.* **19**, 266 S.

FEGER, K.H. (1986): Biogeochemische Untersuchungen an Gewässern im Schwarzwald unter besonderer Berücksichtigung atmogener Stoffeinträge. - *Freiburger Bodenkundl. Abh.* **17**, 253 S.

FEGER, K.H. & G. BRAHMER (1986): Factors affecting snowmelt streamwater chemistry in the Black Forest (West Germany). - *Water, Air, and Soil Pollution* **31**, 257-265.

HÜTTL, R. (1985): Neuartige Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen. - *Freiburger Bodenkundl. Abh.* **16**, 195 S.

HÜTTL, R.F. & H.W. ZÖTTL (1986): Diagnostische Düngungsversuche in geschädigten Waldökosystemen Südwestdeutschlands. - IMA-Querschnittseminar „Restabilisierungsmaßnahmen - Düngung“, KfK/PEF-Bericht, 3-14.

MÄKINEN, H. & H. SPIECKER (1995): Fichtenwachstum und Witterungsverlauf auf den ARINUS-Flächen. - *FZKA/PEF-Berichte* **130**, 25-34.

ZÖTTL, H.W. & E. MIES (1983): Die Fichtenerkrankung in den Hochlagen des Südschwarzwaldes. - *Allg. Forst- u. Jagdz.* **154**, 110-114.

ZÖTTL, H.W., K. STAHR & K. KEILEN (1977): Bodenentwicklung und Standortseigenschaften im Gebiet des Bärhaldegranites. - *Allg. Forst- u. Jagdz.* **148**, 185-196.

ZÖTTL, H.W., K. STAHR & F. HÄDRICH (1979): Umsatz von Spurenelementen in der Bärhalde und ihren Ökosystemen. - *Mittlgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **29**, 569-576

V Literatur zur Exkursionsroute und zum Exkursionsgebiet

BLEICH, K.E., HÄDRICH, F., HAUFFE, H.-K., SCHLICHTING, E und H.W. ZÖTTL (1986): Guidebook for a landscape, soils and land use tour in the Federal Republic of Germany, Tour E, Baden-Württemberg. - *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **49**, 1-130.

GENSER, H. (1992): Geologischer Abriss über die Vorbergzonen des südöstlichen Oberrheingebietes. 22-55 in: MÄCKEL, R. und B. METZ (Hrsg.): *Schwarzwald und Oberrheintiefland, eine Einführung in das Exkursionsgebiet um Freiburg im Breisgau*. *Freiburger Geograph. Hefte* **36**, 319 S.

GROSCHOFF, R (1977): Grundgebirge - Übersicht, Paragneise, Metatextite und Diatextite. 5-29 in: *GLA Baden-Württ.* (Hrsg.): *Erl. z. Geol. Karte Freiburg i.Br. und Umgebung 1:50000*, Stuttgart, 351 S.

HÄDRICH, F., MOLL, W. und K. STAHR (1979a): Böden. 55-81 in: ZÖTTL, H.W. (ed.): *Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1979 in Freiburg i.Br.* - *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **28**, 398 S..

HÄDRICH, F., KEILEN, K., STAHR, K. und H.W. ZÖTTL (1979b): Bodengesellschaften des Bärhaldegranitgebietes. Exkursion B, 173-244, in: ZÖTTL, H.W. (Hrsg.): *Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1979 in Freiburg i.Br.* - *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **28**, 398 S.

HÄDRICH, F., MOLL, W. und K. STAHR (1988): Bodenentwicklung und Bodentypen. 53-69, in: *Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald* (Hrsg.): *Breisgau-Hochschwarzwald, Land vom Rhein über den Schwarzwald zur Baar*, 2. Aufl., Schillinger Freiburg, 520 S.

HÄDRICH, F. und K. STAHR (1989): Entwicklung, Eigenschaften und Verbreitung der Böden. 393-418 in: *Der Belchen - Geschichtlich-naturkundliche Monographie des schönsten Schwarzwaldberges*. - *Natur- und Landschaftsschutzgebiete Bad.-Württ.* **13**, Karlsruhe.

HÄDRICH, F. und K. STAHR (1992): Die Böden in der Umgebung von Freiburg i.Br. 129-195 in: MÄCKEL, R. und B. METZ (Hrsg.): *Schwarzwald und Oberrheintiefland, eine*

- Einführung in das Exkursionsgebiet um Freiburg im Breisgau. - Freiburger Geograph. Hefte 36, 319 S.
- HEYN, B.** (1989): Elementflüsse und Elementbilanzen in Waldökosystemen der Bärhalde - Südschwarzwald. Freiburger Bodenkundl. Abh. 23, 199 S.
- JAHN, R., HÄDRICH, F. und K. STAHR** (1994): Bodenminerale in Raum und Zeit. Exkursionsführer zur Tagung der Kommission VII - Bodenmineralogie - der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft vom 05.-08.10.1994 in Breisach am Kaiserstuhl.- Hohenheimer Bodenkdl. Ber. 20-II, 145 S.
- KEILEN, K.** (1978): Spurenelementverteilung und Bodenentwicklung im Bärhaldegranitgebiet (Südschwarzwald). Freiburger Bodenkundl. Abh. 8, 278 S.
- KELLER, J.** (1984): Der jungtertiäre Vulkanismus Südwestdeutschlands: Exkursionen in Kaiserstuhl und Hegau. Fortschr. d. Min. 62, Beih. 2, 2-35.
- LAMPARSKI, F.** (1985): Der Einfluß der Regenwurmart *Lumbricus badensis* auf die Waldböden im Südschwarzwald. Freiburger Bodenkundl. Abh. 15, 206 S.
- LIEHL, E.** (1988): Der Hochschwarzwald. 471-496 in: Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Hrsg.): Breisgau-Hochschwarzwald, Land vom Rhein über den Schwarzwald zur Baar, 2. Aufl., Schillinger Freiburg, 520 S.
- MAUS, H.** (1977): Grundgebirge - Granite. 50-53 in: GLA Baden-Württ. (Hrsg.): Erl. z. Geol. Karte Freiburg i.Br. und Umgebung 1: 50 000, Stuttgart, 351 S.
- METZ, B.** (1992): Glaziale Formen und Formungsprozesse im Schwarzwald. 57-80 in: MÄCKEL, R. und B. METZ (Hrsg.): Schwarzwald und Oberrheintiefland, eine Einführung in das Exkursionsgebiet um Freiburg im Breisgau. - Freiburger Geograph. Hefte 36, 319 S.
- OBBERDÖRFER, E.** (1979): Vegetation. 41-53 in: H.W. ZÖTTL (Red.): Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1979 in Freiburg i.Br. Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges. 28, 398 S.
- SCHREINER, A.** (1976): Hegau und westlicher Bodensee. - Sammlung Geolog. Führer 62, Gebr. Borntraeger Berlin, Stuttgart, 93 S.
- SCHREINER, A.** (1977): Quartär. 174-199 in: GLA Baden-Württ. (Hrsg.): Erl. z. Geol. Karte Freiburg i.Br. und Umgebung 1: 50 000, Stuttgart, 351 S.
- SCHREINER, A. und W. WIMMENAUER** (1979): Geologisch-tektonischer Aufbau und Gesteinsverbreitung, 23-39 in: H.W. ZÖTTL (Red.): Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1979 in Freiburg i.Br. Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges. 28, 398 S.
- STAHR, K.** (1979a): Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald. Freiburger Bodenkdl. Abh. 9, 273 S.
- STAHR, K.** (1979b): "Braunerden" im Grundgebirgsschwarzwald. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 9/II, 649-660.
- STAHR, K.** (1981): Die Böden. 109-118 in: WIMMENAUER, W. und A. SCHREINER: Erl.z. Blatt 8114 Feldberg der Geol. Karte 1:25000 von Baden-Württ. Stuttgart, 134 S.
- STAHR, K., HILDEBRAND, E.E. und H.W. ZÖTTL** (1979): Höhenabhängigkeit der Bodenentwicklung im Gneisschwarzwald. Exkursion A, 117-172 in: ZÖTTL, H.W. (Hrsg.): Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1979 in Freiburg i.Br. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 28, 398 S.
- STAHR, K., ZÖTTL, H.W. und F. HÄDRICH** (1980): Transport of trace elements in ecosystems of the Bärhalde watershed in the southern Black Forest. Soil Sci.130, (4), 217-224, New Brunswick/USA.
- WERNER, J.** (1994): Grundzüge einer regionalen Bodenkunde des südwestdeutschen Alpenvorlandes. Schriftenreihe Landesforstverw. Baden-Württ. 17, 91 S.
- ZÖTTL, H.W., K. STAHR und K. KEILEN** (1977): Bodenentwicklung und Standortseigenschaften im Gebiet des Bärhaldegranits. Allg. Forst- u. Jagdztg. 148 (10/11), 185-197.

Exkursion

D 6

Württembergisches Allgäu

K. Adam¹, S. Fiedler¹, S. Glatzel¹, M. Kleber¹,
A. Kretzschmar², B. Leick³, F. Rück⁴ und K. Stahr¹

Gashaushaltmessungen im Grünland des Allgäus

Exkursionsleitung: Friedrich Rück und Markus Kleber

Inhalt	Seite
1. Exkursionsroute	316
2. Beschreibung des Exkursionsgebietes	317
2.1 Naturräumliche Gliederung	317
2.2 Geologie und Geomorphologie	317
2.3 Klima	320
2.4 Natürliche Vegetation	320
2.5 Nutzung	320
3. Profilbeschreibungen und Interpretation	322
4. Untersuchungen zum Spurengashaushalt	337
4.1 Messung des CO ₂ -Efflux mit der Lundegardmethode (Oberweiler)	337
4.2 Emission klimawirksamer Spurengase nach Flüssigmistausbringung	339
4.3 Reaktion der Böden auf Klimaänderungen	340
4.4 Automatische Spurengasmessung-Registrierung von CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O	343
4.5 C-Akkumulation unter Grünland	344
4.6 Redoxphänomene in einem Naßgley	345
4.7 Vergleichende Betrachtung des CO ₂ -Efflux von Wald- und Grünlandböden	346
5. Literatur	347

¹ Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310), 70593 Stuttgart

² Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenbau und Grünland (340), 70593 Stuttgart

³ Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung (330), 70593 Stuttgart

⁴ Umweltbundesamt, Fachgebiet Grundsatzfragen (Bodenfunktionen) Bismarckplatz 1, 14193 Berlin

1. Exkursionsroute

Konstanz: Abfahrt Parkplatz Mainau (0800 Uhr)- Fähre nach Meersburg - B31 - Bodenseeufer -Friedrichshafen - Schussenbecken - B30 - Tettang - Drumlinlandschaft - Neukirch - Primisweiler - Schomberg - Geiselharz - B32 - Herfatz bei Wangen - Leupolz - Argental

Oberweiler: Profil D-6.1 (1000-1115) - Ratzenried - dort Mittagessen von 1130 - 1300 - Siggener Höhe - Westallgäuer Hügelland - Siggen/Neuweier -

Siggen: Profil D-6.2 - D-6.5

Herfatz - Geiselharz - Schomberg - Primisweiler - Neukirch - Tettang - Friedrichshafen - B31 - Meersburg - Fähre nach -

Konstanz (Rückkehr 1900)

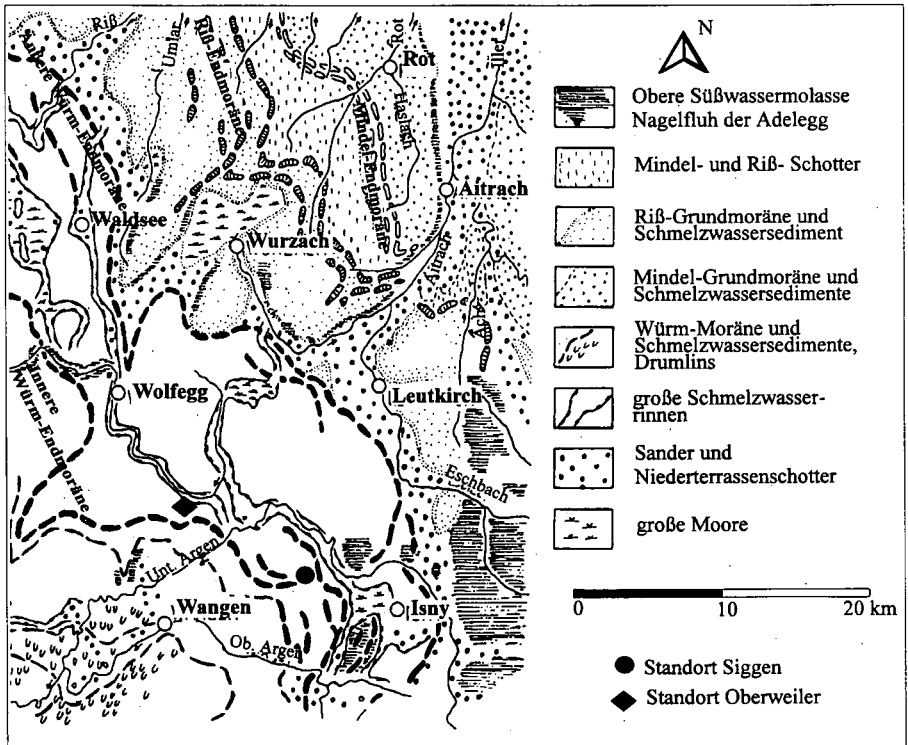


Abbildung 1: Lage und Quartärgeologie des Exkursionsgebietes nach Geyer & Gwinner (1991) und Konold (1987)

2. Beschreibung des Exkursionsgebietes

2.1 Naturräumliche Gliederung

Das Exkursionsgebiet befindet sich im **Westallgäuer Hügelland** (909 km²), das eine naturräumliche Einheit des übergeordneten voralpinen Hügel- und Moorlandes (10 070 km²) ist. Der Formenschatz des Hügel- und Moorlandes wurde geprägt durch das Eis der Vorlandgletscher. Die mächtigen eiszeitlichen Ablagerungen überdecken flachlagernde tertiäre Schichten. Charakteristisch für die Moränenlandschaft ist das kuppige Relief des Hügellandes, welches viele kleine geschlossene Becken aufweist, die ganz oder teilweise verlandet und vermoort sind. Ein junges und unausgeglichenes Entwässerungssystem ist typisch für die Landschaft.

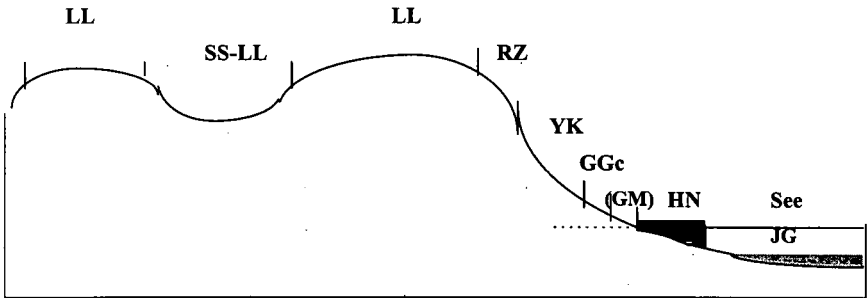
Die beiden wesentlichen Kriterien zur naturräumlichen Abgrenzung des Westallgäuer Hügellandes sind a) der Bereich der Ablagerungen des Rheingletschers mit dem daraus resultierenden Formenschatz (Jungmoränenlandschaft) und b) die Niederschlagsmenge (1000 - 1800 mm/a), die von W nach E zunimmt. Die geographische Abgrenzung dieser naturräumlichen Einheit wird im S und W vom Bodenseebecken bzw. der Schussenniederung gebildet. Die Altmoränenplatte von Zeil bildet die Nordgrenze. Die Erhebungen des Altdorfer Waldes und die Waldburger Höhe (äußere Endmoränenwälle) umschließen im NW das Becken, das von dem würmzeitlichen Gletscher erfüllt gewesen ist. Die gefalteten Nagelfluhlandschaften die Adelegg und der Bregenzerwald bilden die Grenzen der Einheit am Ost- und Südrand der Einheit.

2.2 Geologie und Geomorphologie

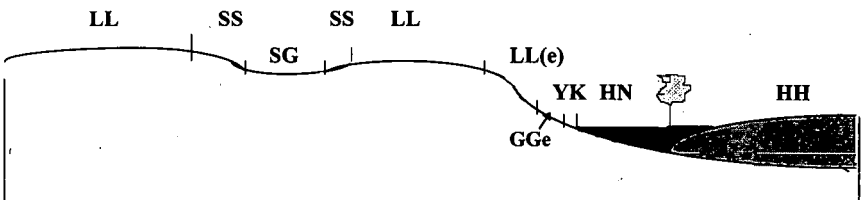
Den Untergrund des Arbeitsgebietes im württembergischen Allgäu bilden Gesteine, die im Oligozän und Miozän im sogenannten Molassetrog abgelagert wurden. Dieses Molassebecken, die nördliche Vortiefe der Alpen (entsprechend dem Schweizer Mittelland) wird im Süden durch die mächtigen Berge der nördlichen Kalkalpen (Ober-Ost-Alpin) begrenzt, denen nur noch ein schmaler Saum von Helvetikum und Flysch vorgelagert sind. Die Südgrenze des Troges verläuft in Ostwürttemberg von WSW nach ENE. Das Molassebecken selbst ist stark asymmetrisch. Während an seinem Südrand die Sedimentfüllung etwa 5.000 m mächtig ist, keilt das Becken nach Nordwesten auf die Juragesteine der Schwäbischen Alb flach aus. Die Südflanke des Molassebeckens wurde noch von einer Spätphase der Alpenfaltung ergriffen. Die Züge der Faltenmolasse können von den Arbeitsgebieten bei gutem Wetter als bewaldete Höhenrücken vor den Alpen gut erkannt werden. Der oberste Abschnitt der Molassegesteine ist die auch für die Bodenbildung des Arbeitsgebiets wichtige obere Süßwassermolasse. Diese limnisch-fluviatile Ablagerungen, die bis ins oberste Miozän geschüttet wurden, bestehen aus Sandsteinen, Mergeln bis hin zu Tonsteinen. Am weitesten verbreitet sind stark glimmerführende mergelige Feinsande leuchtend hellgelber Farbe, die zahlreiche Lokalnamen (Zapfensande, Pföhsande) tragen (*Geyer und Gwinner, 1991*). In den jüngeren Ablagerungen der glazialen Serie sind diese Gesteine mit von Süd nach Nord zunehmenden Anteilen beigemischt. Die Beimischung läßt

sich außer an der Korngrößenanalyse auch am Schwermineralspektrum feststellen. Dies ist besonders gut erkennbar, wenn die Glimmersande wie zu manchen Phasen von Osten (aus der Böhmisches Masse) geschüttet wurden. Über die Gesteine der oberen Süßwassermolasse schob sich während der verschiedenen Eiszeiten das Eis des Rheingletschers nach Norden und Osten. Das Untersuchungsgebiet liegt im östlichen Bereich des Rheingletschers im sogenannten Argenlobus. Die glazialen Ablagerungen nehmen wie die Molasse von Süden nach Norden in ihrer Mächtigkeit ab. Dies führt dazu, daß im Süden des Arbeitsgebietes die Landschaftsformen durch Gesteine der glazialen Serie hervorgerufen werden, während im Norden die Molasse die Vollformen bildet und lediglich von periglazialen und glazialen Sedimenten einige Meter mächtig überdeckt wurde. Die vorgestellten Untersuchungsstandorte liegen im Bereich der jüngsten (Würm)-Moränen. Eine Übersicht über die Bodengesellschaften unterschiedlich alter Glaziallandschaften gibt Abbildung 2.

Jungmoräne (Bad Waldsee)



Altmoräne (Bad Buchau-Biberach)



Legende

LL	Parabraunerde	YK	Kolluvisol	GGc	Kalkgley		Niedermoor
RZ	Pararendzina	SS	Pseudogley	GGe	Brauneisengley		Hochmoor
LL(e)	erodierte Parabraunerde	SG	Stagnogley	(GM)	Anmoorgley		Gyttja

Abbildung 2: Vereinfachtes Schema einer Bodengesellschaft der Moränenlandschaft

Der Standort Siggen (Abbildung 3) liegt im Bereich der inneren Jungendmoräne direkt auf der Nordflanke des Stadiums 6 (Singener Stadium). Im Bereich des engeren Arbeitsgebietes kommen Gesteine der glazialen Serie, das sind glaziale Gesteine im engeren Sinne sowie glazi-fluviatile und glazi-limnische Ablagerungen vor. Den größten Teil der Fläche nehmen Grundmoränen (Absetz- oder Abtaumoränen) ein. Dieses Material besteht zu etwa gleichen Teilen aus Ton, Schluff, Sand und Kies, ist grundsätzlich unsortiert und ungeschichtet (Schreiner, 1992). Es lagert meist sehr dicht und kann deshalb als primärer Wasserstauer wirken. Daneben kommen häufig in konvexen Formen Endmoränen oder besser Ablations- oder Obermoränen vor. Diese Moränen sind meist größer, insbesondere blockreicher und lagern wesentlich lockerer. Diese Ablationsmoräne liegt häufig auf einer Grundmoräne in geringer Mächtigkeit. Vor den jeweiligen Moränenständen sind glazifluviatile Vorschüttungsedimente zu finden. Diese Ablagerungen sind grundsätzlich grobkörnig, geschichtet und enthalten wenig Schluff und Ton. Am Rande von Endmoränenzügen können sie auch im steileren Hangbereich vorkommen. Andererseits können sie auch in quasi ebener Lage als Deltaschüttungen in Zungenbeckenseen auftreten. In die meisten abflußlosen Senken wurden zeitweise Schmelzwässer eingeleitet. Diese haben zur Bildung von Jahreszeitsedimenten (Warwen) geführt, die schluffig-tonig sind. Solche Senken sind heute verlandet und tragen Moore oder sie sind durch fluviatile Erosion unterschritten und tragen Böden mit Staunässe- und Pelosol-Merkmalen.

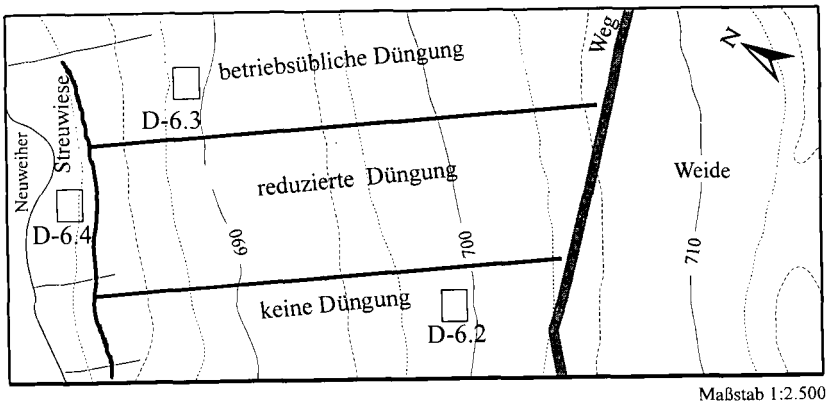


Abbildung 3: Lage der Profile D-6.2 - D-6.4 am Messhang Siggen Neuweiher

2.3 Klima

Der südöstliche Teil Oberschwabens gehört zu den feuchten und kühlen Gebieten Südwestdeutschlands. Die Niederschläge steigen vom Raum Ulm von 700 mm zum Alpenrand auf 2-3000 mm an. Die Untersuchungsflächen liegen bei ca. 1250 mm in Oberweiler und bei ca. 1400 mm in Siggen. Die Jahresschwankungen betragen ± 200 mm. Die Niederschläge sind sehr gleichmäßig über das Jahr verteilt, geringe Maxima ergeben sich im Juli/August und im Spätwinter März/April. Die Jahresdurchschnittstemperatur wird für den gesamten Raum mit ca. $6,5^{\circ}$ C angegeben. Während der letzten 8 Jahre lag sie im Durchschnitt über 1° C höher. Die Temperaturen der wärmsten Monate Juli und August schwanken zwischen 16 und 18° C. In den Wintermonaten wechseln häufig milde Frostwetterlagen mit Tauperioden. Ein bis vier Monate haben Mitteltemperaturen unter 0° C. Es kommen aber auch bis zu drei Monate lange, durchgehende Frostperioden vor. Die Böden gefrieren nur dann, wenn die Frostperiode einsetzt, ohne daß Schnee liegt. Dieser Zustand tritt sehr selten auf. Die jährlichen Verdunstungsraten schwanken nach Witterung zwischen knapp 500 mm und max. 800 mm. Daraus ergibt sich eine jährliche Durchfeuchtung (Grundwasser + Abflußspende) von mind. 500 mm und bis über 1000 mm. Monate mit negativer Wasserbilanz treten nur alle 2-3 Jahre auf, wenn die Niederschläge sehr niedrig ausfallen (meist Mai oder September). Während die große Humidität des Klimas eher atlantische Züge hat, ist die Temperaturdifferenz von $18,5 - 19^{\circ}$ C höher als im übrigen Baden-Württemberg und deshalb das Wärmeklima eher kontinental. Die große Vegetationsperiode (Zeitraum mit einer Lufttemperatur über 5° C) beginnt am 5. April und endet am 25. Oktober. Mit 205 Tagen ist sie damit für Baden-Württemberg relativ kurz. Die gute Wasserversorgung und das relativ kühle Klima begünstigen die Eignung des Gebietes für Grünlandwirtschaft. Dies wird noch durch die Zahl von mehr als 120 Frosttagen, aber nur 10 - 20 Sommertagen unterstrichen.

2.4 Natürliche Vegetation

Das Gebiet Oberschwabens ist von Natur aus ein geschlossenes Buchenwaldareal. Im westlichsten Bereich (Hegau) treten wärmeliebende Arten mit Übergängen zu den Eichenwäldern hinzu. Nach Südosten im kühlfeuchten Gebiet geht es in Buchen-Tannenwälder über. Davon abweichend sind lediglich die feuchten Senken, in denen in Niedermoor- und Grundwasserbereichen Schwarzerlenbruchwälder, im Hochmoorbereich Bergkiefern und Moorbirkenbestände, in den feuchten Gebieten des Allgäus auch natürliche Fichtenwälder vorkommen.

2.5 Nutzung

Das Bild, welches die Landschaft heute bietet, wird ausschließlich geprägt von intensiver Grünlandnutzung mit Fischweihern in den Senken und häufig den Horizont begrenzenden Fichtenäckern und stark zurücktretenden Anteilen von Laubmischwäldern an Steilhängen. Dieses Bild ist erst im Laufe des letzten Jahrhunderts, zum größten Teil erst in den letzten 50 Jahren entstanden.

Die prähistorischen Perioden und auch die römische Besiedlung bis hin zur Völkerwanderung hat das Arbeitsgebiet ohne jegliche intensive Besiedlung oder anthropogene Nutzung überstanden. Noch im 4. Jahrhundert wird berichtet, daß die Landschaft zum größten Teil "von undurchdringlichen wüsten Wäldern und ungeheuren Sumpf- und Wasserwüsten in den Niederungen und Tälern bedeckt sei" (*Büchle 1986*). Die eigentliche Besiedlung des Allgäus erfolgte erst in der fränkischen Periode im 7. und 8. Jahrhundert, meist durch Anlage von Einzelgehöften. Diese Anlage einer Streusiedlung mit Weilern und Einzelgehöften beherrschte das Mittelalter (*Flad 1953*). Die Erstsiedler, überwiegend Alemannen, lebten vom Ackerbau. Es herrschte Dreifelderwirtschaft mit Wintergetreide, Sommergetreide und Brache, daneben wurde die Brache und die Stoppel beweidet. Bereits im 16. Jahrhundert kam es in Oberschwaben zu ersten Flurbereinigungen.

Schon früh wurde erkannt, daß die ackerbauliche Nutzung für das Gebiet nicht optimal ist. So kann man in einer Pfarrchronik aus dem Jahre 1795 lesen: "Korn und Roggen gedeihen nicht gut, nur Gerste, Haber und Flachs, aber auch diese reifen nicht aus, manchmal bleibt alles grün. Der viele Regen bekommt dem Getreide nicht, nur Wiesen und Viehweiden sind vorzüglich. Der Feldbau aber ist sehr mühsam" (*Abt 1990*). Trotz dieser bereits früh erkannten Behinderung der ackerbaulichen Nutzung mußte an der Wirtschaftsweise aus Subsistenzgründen festgehalten werden. Im 19. Jahrhundert begann man mit der Herstellung haltbarer Käsesorten (Limburger und Emmentaler). Nach dem Anschluß an das Eisenbahnnetz im Jahre 1853 stiegen die Absatzmöglichkeiten für Molkereiprodukte und damit auch der Stellenwert der Milchviehwirtschaft und der Wiesenutzung. Bereits ab etwa 1840 wurden nasse Ödflächen mit Tonröhrendränagen trockengelegt. Bis etwa 1900 nahm zwar der Anteil des Grünlandes kaum zu, aber die Nutzung wurde intensiver. Der Anteil der mehrfach gemähten Wiesen stieg von etwa 15% bis auf etwa 50% zur Jahrhundertwende an. Generell ist in den letzten 300 Jahren eine Abnahme des Ackerlandes zu verzeichnen. Im Bereiche von Leutkirch war um 1720 der Grünlandanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche ca. 20%, um 1840 lag er in Leutkirch und bei Ratzenried in den engeren Arbeitsgebieten bei etwa 25%, um 1900 bei 50%, 1920 bei 75%. 1990 lag der Ackeranteil im württembergischen Allgäu nur noch bei 1% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (*Abt 1990*). Mit diesem Strukturwandel ging gleichzeitig ein abnehmender Anteil der Erwerbspersonen in der Landwirtschaft und eine Zunahme der Betriebsgröße einher. Während noch vor 1945 die Betriebsgröße unter 10 ha lag, liegen heute die Mehrzahl aller Betriebe zwischen 20 und 50 ha. Dem Agrarstrukturwandel im Arbeitsgebiet ist eine landschaftstypische Nutzungsweise zum Opfer gefallen - die Streuwiesenutzung. Diese einschürigen Wiesen, deren Ertrag im Winter als Einstreu verwendet wurde, und die sich hauptsächlich auf nicht anders nutzbaren Feuchtstandorten befanden, hatten ihre größte Ausdehnung zu Beginn des Jahrhunderts, wo ungefähr 10 - 15% der Fläche so genutzt wurde. Die Hälfte dieser Fläche ist inzwischen in Intensivgrünland umgewandelt worden. Ein kleinerer Teil wurde aufgeforstet, ein anderer fiel brach und wurde der Sukzession überlassen. Nur noch 1 - 2% der landwirtschaftlichen Nutzfläche wird heute als Streuwiese bewirtschaftet, was vor allem vom Naturschutz bedauert wird, da es sich um sehr artenreiche Bestände und um Rückzugsgebiete für eine Vielzahl von Tieren handelt (*Abt 1990*).

3. Profilbeschreibungen und Interpretation

Profil D-6.1: Kolluvisol Oberweiler

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Oberweiler (Kreis Ravensburg)	
Top. Karte:	(1:25000): Nr. 8224 (Vogt)	R. ³⁵ 61400 H: ⁵² 91250
Landschaft:	Westallgäuer Hügelland	
Höhe:	647,5 m ü. NN	
Relief:	Hangverebnung, Gefälle 2%	
natürliche Vegetation:	Tanne-Buche	
Nutzung:	Intensivgrünland	
Mittl. Jahrestemperatur:	6-7°C	
Mittl. Jahresniederschlag:	1250 mm	
Gestein:	Geschiebemergel (Würmgrundmoräne)	

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-9	2,5 Y 4/3-3/3, starke Durchwurzelung (W 4), 1 Vol. % Skelett, Ls2, carbonatfrei, feucht, Horizontgrenze eben und deutlich, Krümelgefüge, sehr stark humos
M1	9-32	2,5 Y 4/32, mittlere Durchwurzelung (W 3), 10 Vol. % Skelett, carbonatfrei, feucht, Horizontgrenze wellig, Ls2, Subpolyeder, stark humos
M2	32-54	2,5 Y 5/4-5/6, mittlere Durchwurzelung (W 3), 10-15 Vol. % Skelett, carbonatfrei, feucht, Horizontgrenze deutlich, Ls2, Subpolyeder, vereinzelt Rostflecken, Humustapeten entlang der Regenwurmbahnen, mittel humos
fAh-M	54-81	2,5 Y 5/6, sehr schwache Durchwurzelung (W 1), 10-15 Vol. % Skelett, carbonatfrei, feucht, deutliche Horizontgrenze, Ls2, Subpolyeder, vereinzelt Rostflecken, mittel humos
M-fAh	81-97	2,5 Y 4/3-3/3, Durchwurzelung nur vereinzelt in Regenwurmgängen (W 0), 10-15 Vol. % Skelett, carbonatfrei, feucht, Horizontgrenze deutlich und abrupt, Ls2, Subpolyeder (grob), stark humos, „Krotowinen“ aus mineralischem Material
IIfAh	97-105	2,5 YR 2/1, keine Wurzeln (W 0), 5 Vol. % Skelett, carbonatfrei, feucht, Horizontgrenze deutlich, Ls2, Polyeder (fein), stark humos, mineralische Tapete entlang der Regenwurmbahnen
Go-fAh	105-119 (113)	2,5 Y 3/2, keine Wurzeln (W 0), 2-3 Vol.% Skelett, carbonatfrei, feucht Horizontgrenze deutlich, Lu, kohärent, mittel humos
Go	119-140	2,5 Y 6/1 und 6/8, keine Wurzeln (W0), 1 Vo.% Skelett, carbonatfrei, feucht, Lu, kohärent, schwach humos, Rostflecken > 10 %

Bodentyp	KA4:	Norm - Kolluvisol
	FAO:	Cumulic Anthrosol
Humusform:	KA4:	Mull
Substratyp:	KA4:	Lehm

D-6.1 Interpretation

Ausgangssubstrat für die Bodenbildung sind Geschiebemergel aus Grundmoränenmaterial. Die Genese des Profils erschließt sich aus der Lage im Raum. Am Rande einer Hangmulde, die als früheres Toteisloch anzusprechen ist, könnte zu Beginn der Bodenbildung Vernässung geherrscht haben. Daraus resultiert der farblich intensiv ausgeprägte fAh-Horizont (2,5 YR 2/1). Dieser kann nicht als fAa angesprochen werden, da der C-Gehalt (4,1%) dafür nicht ausreicht. Die sehr mächtige kolluviale Überdeckung (97 cm) wurde in 5 Horizonte unterteilt. Die zwei über dem fAh folgenden Horizonte (M-fAh, fAh-M) wurden wegen der Farbabstufung als Übergangshorizonte ausgewiesen. Die starke Differenzierung der kolluvialen Überdeckung läßt darauf schließen, daß es verschiedene Phasen der Akkumulation gab. Die Rodungsphase im 7. und 8. Jh. mit ihren erosiven Vorgängen könnte die Übergangshorizonte hervorgebracht haben. Die Unterscheidung zwischen M1 und M2-Horizont basiert ebenfalls auf dem Gehalt an organischer Substanz und könnte auf Nutzungsänderungen zurückzuführen sein (Wechsel Grünland mit Acker). Informationen über Nutzungsgeschichte der letzten Jahrhunderte liegen nicht vor. Die Umwandlung von Acker- in Grünland erfolgte vor ca. 60 Jahren und beendete die kolluviale Überdeckung.

Der Standort ist physiologisch sehr tiefgründig. Die mittlere effektive Durchwurzelungstiefe liegt bei 13 dm. Die Durchwurzelbarkeit ist im Ah sehr gut und gut in den folgenden Horizonten. Fk, nFk und GPV ist in allen Horizonten hoch. Die Wasserdurchlässigkeit und die Luftkapazität werden mittel eingeschätzt. Mittel sauer ist die Bodenreaktion in allen Horizonten. Die sehr engen C/N Verhältnisse (8,1-6,2) und der Basenreichtum der obersten 4 Horizonte zeigt, daß die Humusqualität als sehr hoch einzuschätzen ist. Der Stickstoffvorrat von Ah und M1 ist mit 2,2 kg/m² sehr hoch.

D-6.1 Profildaten

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)						kf	kf
		cm	Vol %	gS	mS	fS	ΣS	Silt	Ton	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ah	9	1	19,2	12,0	6,1	37,3	42,4	20,2		
2	M1	32	10	18,5	12,5	7,2	38,3	42,1	19,6		
3	M2	54	15	19,1	12,1	8,6	39,8	41,6	18,6		
4	fAh-M	81	15	17,9	12,0	8,8	38,8	42,8	18,4		
5	M-fAh	97	15	17,4	9,3	6,3	32,9	44,8	22,3		
6	IIfAh	105	5	15,2	8,8	5,9	29,9	45,2	24,9		
7	Go-fAh	119	3	15,1	8,1	4,8	28,0	52,3	19,7		
8	Go	140	1	12,3	5,0	3,1	20,4	59,5	20,0		

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-% Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _d /Fe _o	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	0,8	67,3	58,8	51,2	40,8	21,5	9,25	4,41	2,23	0,48	0,55
2	M1	1,1	59,0	50,6	44,5	35,7	18,4	9,57	5,15	2,05	0,54	0,72
3	M ²	0,6	75,5	59,2	38,1	24,5	13,9	9,83	4,35	1,83	0,44	0,55
4	fAh-M	0,9	65,4	54,1	40,5	27,7	14,0	10,17	5,73	2,64	0,56	1,05
5	M-fAh	1,0	63,4	53,3	46,0	36,5	19,4	12,00	6,51	1,93	0,54	1,10
6	IIfAh	0,7	70,8	61,1	51,4	40,3	22,4	13,12	5,47	2,06	0,42	1,01
7	Go-fAh	1,3	50,2	45,3	40,6	33,4	16,8	7,73	2,08	0,57	0,27	0,27
8	Go	1,4	48,1	42,5	38,1	31,1	15,0	5,78	2,22	1,25	0,38	0,35

Nr.	Horizont	pH	pH	CaCO ₃	Corg.	N _t	C/N	PO _{4(Al)}	K _(Al)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	5,8	5,3	0	5,15	0,5	9,2	292,8	545,5
2	M1	5,9	5,0	0	3,34	0,35	8,9	119,3	100,3
3	M ²	6,3	5,3	0	1,61	0,19	8,4	13,2	44,6
4	fAh-M	6,4	5,5	0	1,50	0,18	8,1	4,9	38,8
5	M-fAh	6,3	5,6	0	3,02	0,25	11,2	23,0	48,4
6	IIfAh	6,4	5,7	0	4,08	0,30	11,7	69,3	60,0
5	Go-fAh	6,5	5,7	0	1,96	0,22	8,6	130,9	46,4
6	Go	6,6	5,7	0	0,68	0,07	9,1	164,4	44,0

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _e /kg						BS
		mmol _e /kg	mmol _e /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	260,9	146,0	2,7	0	119,5	12,7	10,7	0,3	98,1
2	M1	205,6	95,3	4,5	0,1	80,9	7,3	2,1	0,4	95,2
3	M ²	146,6	53,9	3,8	0,3	44,2	3,6	1,0	1,1	92,5
4	fAh-M	181,4	47,2	1,3	0,3	40,7	3,4	0,8	0,6	96,5
5	M-fAh	330,3	123,7	1,2	0,3	114,0	6,5	1,0	0,8	98,9
6	IIfAh	499,3	191,3	1,3	0,2	174,8	9,6	1,3	3,9	99,2
7	Go-fAh	273,5	121,1	0,9	0,2	111,0	6,0	1,4	1,6	99,1
8	Go	260,4	72,0	2,6	0,1	61,7	5,5	1,3	0,9	96,4

Profil D-6.2: (Hang-)Gley-Pseudogley Siggen-Neuweiher

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort: Siggen, Neuweiher (Kreis Ravensburg)
 Top. Karte: (1:25000): Nr. 8225 R: ³⁵705100 H: ⁵²864400
 Landschaft: Westallgäuer Jungmoränengebiet
 Höhe: 700 m ü. NN
 Relief: eben, Hangmitte
 natürliche Vegetation: Tanne-Buche
 Nutzung: Grünland (Silage), seit 9 Jahren ungedüngt
 Mittl. Jahrestemperatur: 6.5°C
 Mittl. Jahresniederschlag: 1400mm
 Gestein: Würm-Geschiebemergel

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-11	10YR4/3, schwach toniger Lehm, Lt2, frisch, krümelig, Wurzelfilz, Regenwurmröhren, undeutliche Grenze
rAp	11-24	10YR4/4, schwach sandiger Lehm, Ls2, frisch, krümelig - subpolyedrisch, Regenwurmröhren, deutliche Grenze
Sw	24-36	10YR5/4, schwach sandiger Lehm, Ls2, frisch, subpolyedrisch, Regenwurmröhren, wenige, kleine und vereinzelte Konkretionen, deutliche Grenze
Sd	36-45	2,5Y5/2, mittel schluffiger Ton, Tu3, feucht, subpolyedrisch - polyedrisch, Regenwurmröhren, Oxidationsspuren an Wurzeln, Mangankonkretionen, undeutliche Grenze
Go	45-75	2,5Y6/3, schwach toniger Lehm, Lt2, feucht, subpolyedrisch, Regenwurmröhren, sehr viele Konkretionen,
Gr	75-100	2,5Y5/2, schwach toniger Lehm, Lt2, naß, kohärent - subpolyedrisch, schwach marmoriert

Bodentyp KA4: (Hang-)Gley-Pseudogley
 FAO: Gleyic Stagnosol
 Humusform: KA4: Mull
 Substrattyp: KA4: Lehm

D-6.2 Profildaten

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)						kf	kf
		cm	Vol %	gS	mS	fS	ΣS	Silt	Ton	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ah	11	1,0	2,3	7,3	18,0	27,5	46,4	26,0		
2	rAp	24	0,7	2,8	7,7	18,0	28,6	47,1	24,3		
3	Sw	36	5,1	4,4	8,4	18,0	30,8	46,2	23,0		
4	Sd	45	1,1	1,6	4,1	11,7	17,4	51,4	31,3		
5	Go	75	7,0	4,4	7,4	16,2	27,9	45,8	26,3		
6	Gr	>100	9,4	4,3	7,2	15,3	26,8	45,9	27,3		

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-% Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _e /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	0,99	60,4	54,6	50,1	43,4	25,4	11,3	5,31	0,98	0,47	0,79
2	rAp	1,14	54,9	50,2	45,7	39,1	22,1	12,1	3,47	1,00	0,29	0,84
3	Sw	1,27	50,7	46,2	41,0	33,8	18,2	11,5	1,85	1,65	0,16	1,72
4	Sd	1,43	46,5	42,9	39,8	35,3	22,2	13,1	1,71	1,37	0,13	2,20
5	Go	1,38	48,4	43,4	38,8	32,5	18,5	13,1	2,02	1,51	0,15	1,87
6	Gr	1,43	46,1	42,2	37,9	32,1	18,7	15,5	4,90	1,73	0,32	0,76

Nr.	Horizont	pH	pH	CaCO ₃	Org.	N _i	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	5,7	5,3	0	4,80	4,88	9,8	448,9	96,7
2	rAp	5,8	5,3	0	3,50	3,63	9,6	236,1	66,0
3	Sw	6,3	5,6	0	1,77	1,91	9,3	23,3	40,1
4	Sd	6,8	5,9	0	1,01	1,22	8,3	8,6	51,0
5	Go	7,1	6,2	0	0,74	0,90	8,2	4,9	50,4
6	Gr	7,3	6,3	0	0,46	0,59	7,8	0	58,3

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mmol/kg	mmol/kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	319,3	194,2	3,4	0,2	179,4	8,8	2,0	0,4	98,1
2	rAp	286,2	59,2	2,9	0,2	46,7	6,0	2,3	1,1	94,7
3	Sw	205,7	63,0	2,4	0,1	56,0	3,8	0,3	0,4	96,1
4	Sd	250,6	75,0	1,0	0	68,2	5,1	0,6	0,2	98,7
5	Go	181,0	100,7	0,9	0	91,2	6,6	1,1	1,0	99,2
6	Gr	203,0	52,1	0,5	0	46,8	4,0	0,6	0,1	99,0

D-6.2 Interpretation

Am Hang liegt über dem eigentlichen Geschiebemergel eine spätglaziale-frühholozäne, durchschnittlich ca. 10 dm mächtige Umlagerungszone (*Hornig et al. 1991*). Es handelt sich dabei um verschiedene über- und nebeneinander liegende Sedimente, die durch ein Wechselspiel von Bodenfließen, Abspülung, Erosion und Akkumulation bei sich wandelndem Klima in Abhängigkeit von und z.T. gemeinsam mit dem Mikrorelief entstanden sind. Ausdruck dieser Inhomogenität ist am Standort D-6.2 die Linse aus feinem Sediment, die zwar geringmächtig, aber dennoch deutlich erkennbar in 36-45 cm Tiefe das Profil durchzieht. Gegen eine Ansprache als reliktsicherer Bt-Horizont spricht, daß makroskopisch keine Toncutane festzustellen sind, und die Linse in gleicher Hangposition nicht wieder auftritt.

Aufgrund der hohen Lagerungsdichte, dem geringen Grobporenanteil und somit der geringen Wasserdurchlässigkeit der quartären Substrate und des ganzjährig hohen Überschusses der klimatischen Wasserbilanz bildet sich ein oberflächennaher Hanggrundwasserkörper heraus. Die permanent hohen Wassergehalte wirken sich offenbar nicht negativ auf die physiologische Gründigkeit des Standortes bzw. auf das Wachstum der Grünlandgräser aus. Zum einen reicht der Grünlandvegetation eine gute Durchlüftung im Oberboden aus, zum anderen fördert eindringendes und abziehendes Hangzugwasser den Luftaustausch. Die Hydromorphiemerkmale sind bei diesem Hanggley im Vergleich zu den Grundwasserböden der Senken nicht besonders intensiv und erinnern mit Fe/Mn-Konkretionen und Rostflecken eher an Pseudogleye. Auch dies ist ein Resultat regelmäßiger O₂-Zufuhr und des stark schwankenden Grundwasserspiegels. Dazu kommt die Ausbildung eines mehrere Dezimeter mächtigen Kapillarsaumes (*Hornig et al. 1991*). Er äußert sich visuell wie stärkere Pseudovergleyung. Das Zusammenspiel von Bodenwasserdynamik und Profilaufbau führt somit zur Ausprägung eines systematisch nicht eindeutig fassbaren Bodentyps.

Profil D-6.3: Kolluvisol Siggen-Neuweiher

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Siggen, Neuweiher (Kreis Ravensburg)	
Top. Karte:	(1:25000): Nr. 8225	R: ³⁵ 70430 H: ⁵² 86600
Landschaft:	Westallgäuer Jungmoränengebiet	
Höhe:	690 m ü. NN	
Relief:	4° NW, Hangfuß	
natürliche Vegetation:	Tanne-Buche	
Nutzung:	Intensivgrünland, 4-5 Schnitte, > 200 kg N a ⁻¹ über Gülle	
Mittl. Jahrestemperatur:	6.5°C	
Mittl. Jahresniederschlag:	1400mm	
Gestein:	Würm-Geschiebemergel	

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-10	10YR3/4, schwach toniger Lehm, Lt2, frisch, krümelig, Wurzelfilz, zahlreiche Regenwurmgänge, deutliche Grenze
rAp	10-23	10YR4/3, schwach toniger Lehm, Lt2, frisch, subpolyedrisch - krümelig, Holzkohle, Regenwurmgänge, deutliche Grenze
M	23-51	10YR4/6, schwach toniger Lehm, Lt2, frisch, subpolyedrisch, Regenwurmgänge, vereinzelte, kleine Oxidkonkretionen, undeutliche Grenze
IIBv	51-67	10YR5/8, schwach toniger Lehm, Lt2, frisch, subpolyedrisch-polyedrisch, Regenwurmgänge, wenige Konkretionen, schwach marmoriert, undeutliche Grenze
Go	67-100	10YR5/6, schwach toniger Lehm, Lt2, frisch, subpolyedrisch - polyedrisch, Regenwurmgänge, zahlreiche Konkretionen
Bodentyp	KA4:	vergleyter (Norm-) Kolluvisol
	FAO:	Gleyic-cumulic Anthrosol
Humusform:	KA4:	Mull
Substrattyp:	KA4:	Lehm

D-6.3 Profildaten

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)						kf	
		cm	Vol %	gS	mS	fS	ΣS	Silt	Ton	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ah	10	0	2,4	6,5	15,7	24,5	47,1	28,4		
2	rAp	23	4,8	3,8	6,6	15,9	26,4	46,6	27,1		
3	wM	51	6,0	4,9	6,6	14,5	26,0	46,5	27,5		
4	IIBv	67	7,5	6,2	6,9	14,3	27,4	45,1	27,5		
5	Go	>100	9,7	7,1	7,7	13,8	28,7	39,5	31,8		

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-% Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _e /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	1,01	59,5	54,3	50,2	44,2	26,9	11,8	4,20	1,83	0,35	0,77
2	rAp	1,24	51,7	47,7	43,7	37,9	22,5	11,3	2,83	1,84	0,25	0,73
3	wM	1,35	49,9	44,2	39,7	33,7	19,6	12,4	2,37	1,75	0,19	0,41
4	IIBv	1,39	47,8	43,3	38,7	32,6	18,9	10,7	1,64	1,21	0,15	0,83
5	Go	1,60	40,3	38,2	35,5	31,7	21,0	14,9	4,04	1,15	0,27	0,56

Nr.	Horizont	pH	pH	CaCO ₃	Corg.	N _t	C/N	PO _{4(Al)}	K _(Al)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	5,2	5,2	0	4,72	4,61	10,2	175,7	115,4
2	rAp	5,7	5,2	0	2,69	2,93	9,2	38,0	72,0
3	wM	6,4	5,5	0	0,94	1,23	7,6	0	46,2
4	IIBv	6,5	5,7	0	0,58	0,74	7,8	0	52,7
5	Go	6,8	5,9	0	0,36	0,58	6,2	0	58,7

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mmol/kg	mmol/kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	312,4	81,0	5,4	0,3	67,2	6,4	1,4	0,2	92,9
2	rAp	245,5	79,4	3,2	0,5	69,2	5,4	0,9	0,3	95,5
3	wM	188,3	61,9	1,9	0	52,1	5,0	1,4	1,6	96,9
4	IIBv	155,4	50,1	1,8	0	41,7	3,9	1,2	1,5	96,3
5	Go	228,5	81,3	3,0	0	68,8	7,2	1,6	0,7	96,4

D-6.3 Interpretation

Der Boden ist aus Geschiebemergel einer wärmzeitlichen Endmoräne entstanden. Das unverwitterte Ausgangsgestein wird in den oberen 100 cm nicht erreicht. In 52 cm Tiefe besteht eine Schichtgrenze zwischen angeschwemmtem Kolluvium und in-situ verwittertem Geschiebemergel. Da das Kolluvium nur über wenige Meter transportiert wurde, ist es nicht anhand der Korngrößenverteilung von den unteren Horizonten zu unterscheiden.

Außer der Entkalkung war vor allem die Verbraunung profilprägend. Diese ist im IIBv an der hohen Farbsättigung erkennbar. Durch Vergeleyung entstandene Konkretionen treten ab 67 cm Tiefe auf. Dies äußert sich im hohen Gehalt an Fe_o. Die kolluvialen Horizonte haben sich seit ihrer Ablagerung in Gefüge, Humusakkumulation und Farbe differenziert. So ist noch heute der alte Pflughorizont erkennbar und der Ah wurde durch Regenwurmätigkeit neu aufgebaut. Mechanische Einschränkungen der Gründigkeit bestehen nicht. Im Unterboden muß zu Zeiten hohen Wasserstandes mit eingeschränktem Luftangebot gerechnet werden. Das angebaute Weidelgras leidet unter dieser Einschränkung wegen seines geringen Wurzeltiefganges jedoch nicht.

Eine ausgewogene Porengrößenverteilung läßt Raum für große Mengen pflanzenverfügbaren Wassers. Im Früh- oder Spätsommer sind kurze Zeiten mit ungenügender Wasserversorgung möglich.

Die Nährstoffversorgung des Kolluvisols ist gut, die Basensättigung beträgt in allen Horizonten nahezu 100%. Für Spurenelementmangel gibt es keine Anzeichen.

Der Standort besitzt gegenüber anderen Böden in Siggen den Vorteil eines vergleichsweise tief liegenden Go-Horizontes. Die am Hang leicht erhöhte Lage und die gute Struktur des Kolluviums gewährleisten ausreichende Drainage und verkürzen die Perioden mit Luftmangel. Unter den Bedingungen des kühlfeuchten Klimas ist der Kolluvisol HFN ein denkbar günstiger Pflanzenstandort.

Profil D-6.4: Naßgley Siggen-Neuweier

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	Siggen, Neuweier (Kreis Ravensburg)	
Top. Karte:	(1:25000): Nr. 8225	R: ³⁵ 73800 H: ⁵² 86740
Landschaft:	Westallgäuer Jungmoränengebiet	
Höhe:	682.8 m ü. NN	
Relief:	2° NE, Hangfuß/Senkenrand	
natürliche Vegetation:	Tanne-Buche	
Nutzung:	brachliegende Streuwiese	
Mittl. Jahrestemperatur:	6.5 °C	
Mittl. Jahresniederschlag:	1400 mm	
Gestein:	Kolluvium über (umgelagertem) Würm-Geschiebemergel	

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Aa	0-10	10YR2/3, stark humos (Wurzelfilz), 0 Vol.% Skelett, carbonatfrei, frisch, krümelig
Ah	10-23	Matrix: 2.5Y4/1.5; Rostflecken: 7.5YR5/8, stark humos, 0 Vol.% Skelett, carbonatfrei, Lu, frisch, (subpolydrisch) krümelig, sehr hohe Durchwurzelung, Rostsäure an Wurzelbahnen
AhGr	23-33	Matrix: 2.5Y5/1; Rostsäure: 10YR4/6, fG 5 - 10 Vol.% Skelett, carbonatfrei, Lu -Lt, frisch, subpolydrisch, hohe Durchwurzelung, Rostsäure an Wurzelbahnen, vereinzelt Holzkohle-Bröckchen
Gor	33-71	Matrix: 5Y5/1; Rostsäure: 10YR6/8, mG 5 - 10 Vol.% Skelett, einzelne Steine (fx), carbonatfrei, Lu - Lt, feucht - stellenweise naß, subpolydrisch, mäßige Durchwurzelung, Konkretionen ⊕ ¹ mit 1 mm Ø, schwarze und braune Rostsäure an Wurzelbahnen (Lepidokrokit)
Gro	71-87	Matrix: 5Y5/2; Rostflecken: 10YR5/6, fx 10-20 Vol.% Skelett, carbonatfrei, Lu - Lt, naß, kohärent - subpolydrisch, mäßige Durchwurzelung, Konkretionen ⊕ mit 1 mm Ø (schwarze + braune), mehr Rostflecken als Konkretionen (Lepidokrokit-Rostsäure an Wurzelbahnen)
IIG(r)o	90-120	Matrix: 5Y5/1; Rostflecken: 10YR5/7, fx (30) - 40 Vol.% Skelett, daneben einzelne Blöcke- (mx mit 20 cm Ø), carbonatfrei, Lt, naß, subpolydrisch - kohärent, vereinzelt Wurzeln, keine Konkretionen, nur Rostflecken (Goethit)
Bodentyp	KA4:	Humusreicher Naßgley
	FAO:	Mollic Gleysol
Humusform:	KA4:	Feuchtmull
Substrattyp:	KA4:	Lehm

¹ Konkretionsskala ⊕-⊗, mit ⊕ = Vorhandensein vereinzelter Konkretionen und ⊗ = sehr konkretionsreich

D-6.4 Profildaten

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)						kf	kf
		cm	Vol %.	gS	mS	fS	ΣS	Silt	Ton	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Aa	10	0	1,0	4,0	10,0	15,0	43,0	42,0		
2	Ah	23	0	1,0	5,0	13,0	19,0	54,0	27,0		
3	AhGr	33	7,5	3,0	7,0	15,0	25,0	43,0	32,0		
4	Gor	71	7,5	4,0	7,0	18,0	29,0	45,0	26,0		
5	Gro	87	15	6,0	9,0	17,0	32,0	39,0	29,0		
6	IIG(r)o	>100	35	8,0	10,0	16,0	34,0	37,0	29,0		

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-% Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _e /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Aa	0.31	76,5	74,8	69,7	63,2	43,8	14,4	8,0	2,5	0,56	0,44
2	Ah	0.52	69,0	67,7	62,3	54,0	31,2	11,2	6,1	2,5	0,54	0,12
3	AhGr	1.16	51,4	49,7	43,9	37,0	22,6	10,5	1,3	1,6	0,13	0,05
4	Gor	1.46	42,4	41,6	38,2	33,2	19,8	13,6	1,3	1,9	0,09	0,05
5	Gro	1.52	41,0	40,0	36,5	31,7	19,9	12,3	0,9	1,1	0,08	0,13
6	IIG(r)o	1.57	39,5	38,6	35,2	30,5	19,0	18,5	1,0	0,7	0,05	0,06

Nr.	Horizont	pH	pH	CaCO ₃	Corg.	N _i	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Aa	5,9	5,3	0	9,07	8,6	10,6	305,7	65,5
2	Ah	5,7	5,4	0	7,75	7,5	10,3	54,9	37,8
3	AhGr	6,3	6,2	0	1,32	1,4	9,4	0	37,8
4	Gor	6,4	6,4	0	1,17	1,2	9,8	2,5	56,2
5	Gro	6,9	6,8	0	0,39	0,6	6,5	6,7	63,3
6	IIG(r)o	7,1	7,1	0	0,21	0,4	5,3	44,5	61,0

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mmol/kg	mmol/kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Aa	884,5	225,4	4,2	0,0	201,0	14,1	2,9	3,2	98,1
2	Ah	664,1	255,8	6,3	0,0	233,1	14,5	0,9	1,1	97,6
3	AhGr	289,9	90,8	1,6	0,0	78,3	8,1	1,3	1,5	98,2
4	Gor	390,2	124,8	2,2	0,0	110,5	9,8	1,3	1,1	98,3
5	Gro	353,8	119,0	1,2	0,0	77,6	7,6	17,9	14,6	99,0
6	IIG(r)o	356,7	110,9	1,0	0,0	97,4	8,4	2,8	1,3	99,1

D-6.4 Interpretation

Das Profil ist mechanisch und physiologisch mittelgründig, feucht bis naß, schlecht bis mäßig durchlüftet. Die Nährstoffversorgung ist bei N, P, K, Fe und Mn sehr gut; die Nährstoffreserven sind bei P und K ebenfalls gut bis sehr gut, und die KAK sehr hoch bis hoch. Der Senkenbereich des Neuweihers reagiert aufgrund lateralen Wasserflusses auf ergiebige Niederschlagsereignisse mit einer zügigen Grundwasserstandserhöhung (bis zu 40 cm h⁻¹). Umgekehrt kann nach Niederschlagsende, zeitverzögert in Abhängigkeit von der Vorfeuchte und vorangegangener Tieflage des *Grundwasserspiegels*, ein ebenso rasches Absinken des Grundwasserspiegels beobachtet werden. Die geringe *Luftkapazität* des Naßgleys (3.2) sorgt jedoch dafür, daß nach fallendem Grundwasserstand die Poren in diesem Bereich zum größten Teil mit Wasser gefüllt bleiben und den Gasaustausch behindern. In Folge dessen sowie der NNW-Exposition ist der Abbau der organischen Substanz stark gehemmt, was zu einer deutlichen Akkumulation der *organischen Substanz* führte (Aa 9.1 % Corg). Die Vernässungstiefe setzt bei ca. bei 65 cm ein, bei Anschnitt von Makroporen kann bei allenfalls feuchter Matrix ein punktueller Wasseraustritt (horizontale 'by pass'-Wasserbewegung) beobachtet werden. Anhand der überwiegend grauen Horizontfärbung kann im Profil D-6.4 auf ein vorherrschend reduzierendes Milieu geschlossen werden (chroma 1.5 bzw. 1). Die Dominanz von Rostflecken verweist auf eine geringe Leitfähigkeit (Sauerstoffmangel). Die Lepidokrokit-Rostsäume an Schilfwurzelbahnen im Tiefenbereich von 33 bis 87 cm gelten als Hinweis auf Oxidationsprozesse während vollständiger Wassersättigung. Anhand der morphologischen Merkmale sollte das *Redoxpotential*, reflektiert durch die Sequenz stark reduzierter (ah 23 - 33 cm), reduzierter (Gor 33 - 71 cm) und schwach oxidiert (IIG(r)o 71 - 140 cm) Bereiche bei abnehmender Reduktionsfarbe mit der Tiefe ansteigen. Die morphologische Ansprache legt nahe, daß sowohl der Gro- als auch IIG(r)o-Horizont durch O₂-reiches Hangzugswasser beeinflusst werden. Wie die in-situ-Langzeitmessungen des Redoxpotentials (*Fiedler 1997*) jedoch zeigten, war dies nur episodisch der Fall. Auf Basis der Tiefenfunktion des arithmetischen Mittels wird das Redoxmilieu nach *Zhi-Guang (1985)* im Naßgley (Aa, Ah) als mäßig reduzierend (0 - 10 cm), schwach reduzierend (10 - 23 cm), mäßig reduzierend (23 - 87 cm) und stark reduzierend (87 - 140 cm) bewertet. Es ist anzunehmen, daß die abnehmende Reduktionsfarbe in diesem Bereich ein reliktsches Merkmal aus Zeiten niedrigerer Grundwasserstände darstellt.

Aufgrund niedriger Redoxpotentiale leiten sich Folgen hinsichtlich der Pedogenese ab:

- Fe_t/Fe_d-Verhältnisse im Oberboden um 0.55, Mn_t/Fe_d-Quotienten von 0.04 bis 0.012 über das gesamte Profil
- Der Anteil besonders 'aktiver' amorpher Fe(III)-Oxide (nach *Fischer 1976* = Fe_{o30min}/Fe_{o2h}) beträgt im Oberboden 95 bis 70 %. Für die Kristallisationshemmung können neben der organischen Substanz (*Schwertmann 1966*) auch häufig alternierende Eh-Bedingungen (*Childs 1992*) verantwortlich gemacht werden. Da solche Bedingungen jedoch relativ selten beobachtet wurden, scheint vielmehr die Zeitspanne der oxidierenden Bedingungen, hier sehr gering, für die Kristallisation ausschlaggebend.
- Gegenüber dem Ausgangsgestein wird ein Verlust von 46 % Mn im Solum bilanziert.

Profil D-6.5: Niedermoor Siggen-Wald

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort: Siggen, Neuweiher (Kreis Ravensburg)
 Top. Karte: (1:25000): Nr. 8225 R: 3569775 H: 5286900
 Landschaft: Westallgäuer Hügelland
 Höhe: 680 m ü. NN
 Relief: eben
 natürliche Vegetation: Tanne-Buche
 Nutzung: Fichtenjungwald
 Mittl. Jahrestemperatur: 6.5°C
 Mittl. Jahresniederschlag: 1400mm
 Gestein: Würm-Geschiebemergel

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
nHm	0-11	5 YR 2/2, starke Durchwurzelung (W 4), 0 Vol. %. Skelett, H8, Humusgehalt >30%, carbonatfrei, frisch, Horizontgrenze wellig und deutlich, Subpolyedergefüge, Lagerungsdichte sehr gering, Gefügestabilität mittel bis hoch, Besonderheit: konservierter Birkenast
nHa	11-28	5 YR 2/4, starke Durchwurzelung (W 4), 0 Vol. %. Skelett, carbonatfrei, frisch, Horizontgrenze wellig und deutlich, H9, Humusgehalt >30 %, Grobpolyeder, Besonderheit: konservierte Holzteilchen
Hw	28-43	7,5 Y 4/2, schwache Durchwurzelung (W 2), 2 Vol. %. Skelett, carbonatfrei, feucht, Horizontgrenze deutlich und stark wellig (Unterschiede um 7 cm), Lt3, kohärentes Gefüge, Humusgehalt > 30 %
Go	43-55	7,5 Y 5/1, sehr schwache Durchwurzelung (W 1), 2 Vol. %. Skelett, carbonatfrei, feucht, deutliche und wellige Horizontgrenze, Ls4, kohärentes Gefüge, zahlreiche Rostflecken und oxidische Wurzelröhren
Gr	55-87	7,5 YR 7/6, N6/0, sehr schwache Durchwurzelung (W1), 20 Vol. %. Skelett, carbonatfrei, feucht, Horizontgrenze deutlich und wellig, Ls4, kohärentes Gefüge, Rostflecken an Wurzelbahnen
eCvGr	>87	7,5 YR 7/6, N6/0, keine Wurzeln (W 0), 30 Vol. %. Skelett, 10 Vol% Karbonatgehalt, feucht, diffuse Horizontgrenze, Ls4, kohärentes Gefüge, wenige Rostflecken an Wurzelbahnen

Bodentyp KA4: Basenreiches Mulm - Niedermoor (entwässert) über Geschiebemergel
 FAO: Terric Histosol
Humusform: KA4: Niedermoorortorf
Substrattyp: KA4: Lehm

D-6.5 Profildaten

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)						kf	kf
		cm	Vol %	gS	mS	fS	ΣS	Silt	Ton	cm/sec	cm/d
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	nHm	11	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
2	nHa	28	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
3	Hw	43	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
4	IIGo	55	2	3,8	4,1	7,2	15,0	44,4	40,5		
5	Gr	87	20	5,5	8,5	13,5	27,6	44,9	27,6		
6	eCv - Gr	>87	30	7,3	9,7	15,4	32,5	43,7	23,9		

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-% Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _j /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	nHm	0,2	85,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	23,7	13,0	3,1	0,55	0,68
2	nHa	0,2	85,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	14,7	6,4	2,7	0,44	0,18
3	Hw	0,3	85,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,3	2,8	3,4	0,44	0,02
4	IIGo	0,8	68,8	59,6	51,1	44,2	28,6	4,7	2,4	0,9	0,50	0,04
5	Gr	1,4	49,6	44,5	41,1	37,4	28,0	4,5	2,6	0,3	0,58	0,05
6	eCv - Gr	1,7	36,0	34,7	31,9	27,6	16,0	n.b.	n.b.	0,3	n.b.	0,29

Nr.	Horizont	pH	pH	CaCO ₃	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	nHm	4,8	4,4	0	38,6	2,7	14	99,0	85,8
2	nHa	5,9	5,7	0	39,3	2,2	18	115,3	48,9
3	Hw	6,4	6,0	0	20,6	1,0	20	93,5	45,0
4	IIGo	7,0	6,4	0	2,2	0,2	13	10,1	71,2
5	Gr	7,2	6,4	0	0,3	0,1	4	5,5	42,9
6	eCv - Gr	8,1	6,5	31,5	0	0,1	n.b.	3,1	38,2

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mmol/kg	mmol/kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	nHm	1929,9	410,3	11,8	1,4	377,6	11,1	3,4	4,9	96,8
2	nHa	1934,5	629,3	3,8	0	597,9	25,0	0,9	1,7	99,4
3	Hw	1257,8	510,0	0,4	0	483,0	23,5	1,7	1,4	99,9
4	IIGo	441,5	153,6	0,4	0	139,9	10,1	2,0	1,2	99,7
5	Gr	231,5	63,6	0,6	0	55,7	5,2	1,0	1,0	99,0
6	eCv - Gr	168,9	65,7	0,0	0	59,5	3,3	1,0	1,8	100,0

D-6.5 Interpretation

Der Boden hat sich aus Geschiebemergel entwickelt. Das Profil liegt am Rand einer Senke, die nach dem Ende der letzten Eiszeit den Aufwuchs eines Niedermoors erlebte. Damit ging die Akkumulation von Torf einher. Vor etwa 500 Jahren wurde der Neuweiher aufgestaut, wodurch Schwankungen des Grundwasserspiegels auf die episodischen Ablass- und Weiherreinigungsphasen beschränkt wurden. Danach fanden in unbekanntem Zeitabständen Rodung, Drainage und Grünlandnutzung statt. Im Anschluß an die Drainierung setzte Vermulmung des Torfes ein. Vor rund 20 Jahren wurde die Grünlandnutzung aufgegeben und ein Fichtenacker angelegt.

Das Profil ist im wesentlichen zweigeteilt: auf dem nur geringmächtig (d. h. etwa 40 cm tief) entkalkten Geschiebemergel liegt eine Torfauflage. Im Torf zeigen sich die für eine Veränderung nach Entwässerung typischen Vermulmungsmerkmale. Durch den bei einer Tiefe von ca 35 cm konstanten Grundwasserspiegel ist die Gründigkeit stark eingeschränkt. Im Torf sind die Nährstoffvorräte trotz sehr hoher Kationenaustauschkapazität gering. Dadurch wird der Boden zu einem problematischen Pflanzenstandort, der lediglich für anspruchslose und flachwurzelnde Pflanzen geeignet ist.

4. Untersuchungen zum Spurengashaushalt

4.1 Messung des CO₂-Efflux mit der Lundegardh-Methode (Oberweiler)

Im baden-württembergischen Allgäu wird an 11 verschiedenen, repräsentativen Standorten bei unterschiedlicher Nutzung (Wald/Grünland) der CO₂-Efflux unter Anwendung der Lundegardhmethode (1924) gemessen. Dieses Teilforschungsprojekt ist eingebettet im Forschungsprogramm „Strategien zur Vermeidung der Emission klimarelevanter Gase und umwelttoxischer Stoffe aus Landwirtschaft und Landschaftsnutzung“ des Graduiertenkollegs der Universität Hohenheim. Das übergeordnete Ziel des Graduiertenkollegs besteht in der Weiterentwicklung der für die Erfassung und Bewertung gasförmiger Emissionen durch die Landwirtschaft einsetzbaren wissenschaftlichen Methoden. Die Ergebnisse der Messungen des hier beschriebenen Teilprojektes werden in einer Regionalisierung des CO₂-Effluxes münden. Im Verlauf der Exkursion werden 3 der 11 Standorte vorgestellt (D-6.1, 6.3, 6.5).

Die von Tesarova & Gloser (1976) modifizierte Lundegardh-Methode basiert auf folgender Meßtechnik: Granulierter Natronkalk wird in einem offenen Gefäß (Plastikschaale 100 cm³) auf den Boden plaziert und mit einem zum Boden hin offenen Zylinder überdeckt. Der Zylinder ist aus Weißblech, 31 cm hoch und besitzt einen Durchmesser von 23 cm. Der zuvor getrocknete Natronkalk (12 h/105°C) wird durch Besprühen mit Wasser für die Sorption von CO₂ aktiviert. Nach Exposition und wiederholter Trocknung (12h/105°C) wird der Natronkalk zurückgewogen. Bei der Reaktion zwischen Natronkalk und CO₂ entsteht Wasser, das durch Trocknung ausgetrieben wird. Die durch Wiegen ermittelte Gewichtszunahme wird mit einem Korrekturfaktor von 1,4 multipliziert (Edwards 1982). Grüne Pflanzenteile werden vor der Installation durch Schnitt entfernt. Bei jedem Wechsel des Natronkalks werden die Zylinder innerhalb der Meßparzelle umgesetzt. Die Zylinder werden mit 50x50cm großen PVC-Fliesen abgedeckt um die Metallzylinder vor Erhitzen zu schützen. Die Expositionszeit beträgt 7 Tage (Kleber et al. 1994).

Kleber (1997) fand, daß die Bodentemperatur 80% der Variabilität des jahreszeitlichen Verlaufes (1993-1995) des CO₂-Effluxes erklärt. Die Expositionsunterschiede der Kolluvisole in Oberweiler (SW) und Siggen (NW) und resultierende Unterschiede in der Bodentemperatur spiegeln sich in den Meßergebnissen des ersten Meßhalbjahres (13.06.-18.12.1996) wieder (Abbildungen 4 und 5). Der Kolluvisol in Oberweiler weist mit 3044 gCO₂ m⁻² einen um 500 g CO₂ m⁻² höheren Efflux auf als der Kolluvisol in Siggen (2544 gCO₂ m⁻²).

Folgerung:

Die Lundegardh-Methode erlaubt relativ kostengünstig Messungen an 11 verschiedenen, repräsentativen Standorten im Westallgäuer Hügelland. Damit ist die Voraussetzung für eine erste, grobe Einschätzung des CO₂-Efflux im Landschaftsmaßstab geschaffen.

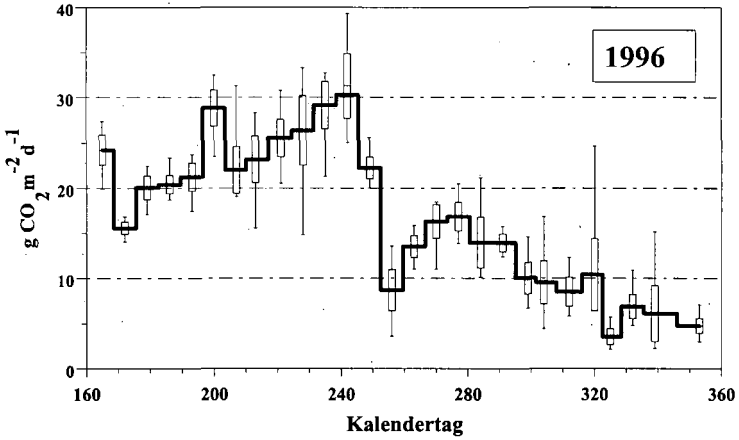


Abbildung 4: CO₂-Efflux in g CO₂ m⁻² d⁻¹ am Standort D 6.1 (Oberweiler) ausgedrückt in Mittelwerten aus 10 Wiederholungen mit Extremwerten und 95%-Vertrauensbereich für den Mittelwert.

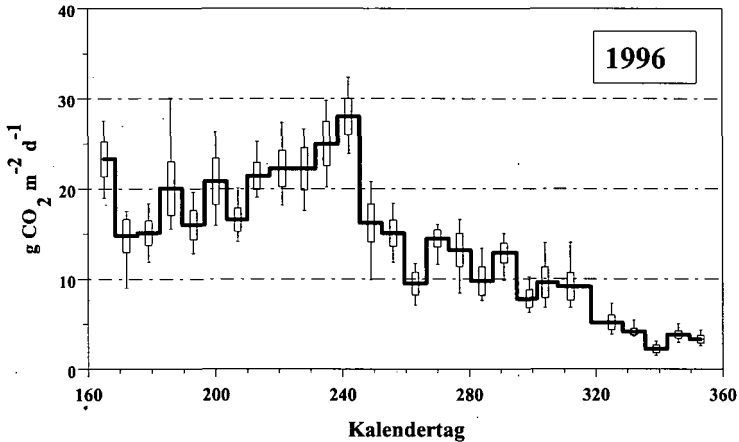


Abbildung 5: CO₂-Efflux in g CO₂ m⁻² d⁻¹ am Standort D 6.3 (Siggen) ausgedrückt in Mittelwerten aus 10 Wiederholungen mit Extremwerten und 95%-Vertrauensbereich für den Mittelwert.

4.2 Emission klimawirksamer Spurengase nach Flüssigmistausbringung auf Grünland

Problemstellung und Ziele

Über 90 % der Gesamtemission von Ammoniak (NH_3) in der BRD stammen aus landwirtschaftlichen Quellen. Ammoniak wird im besonderem Maße während bzw. nach der Ausbringung von Flüssigmist freigesetzt. Bei der herkömmlichen breitflächigen Ausbringung sind die NH_3 -Verluste abhängig von Witterungsverhältnissen (Sonneneinstrahlung, Niederschlag) und Flüssigmisteigenschaften (Trockensubstanzgehalt, Viskosität) und können schon am ersten Tag nach der Ausbringung über 50 % des im Flüssigmist enthaltenen NH_4^+ -N betragen (Mannheim, 1996). Dies führt nicht nur zu N-Verlusten für die Landwirtschaft, sondern auch zu einer Eutrophierung naturnaher Ökosysteme als Folge atmosphärischer N-Depositionen. Die NH_3 -Verluste lassen sich durch Injektion des Flüssigmistes in den Boden wirkungsvoll vermindern. Gleichzeitig können jedoch gasförmige N-Verluste in Form von Lachgas (N_2O) infolge verstärkter Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse im Boden auftreten. N_2O ist ein klimarelevantes Spurengas, das in der Troposphäre am Treibhauseffekt und in der Stratosphäre am Abbau der Ozonschicht beteiligt ist. Desweiteren kann durch die Zufuhr organischer Substanz mit dem Flüssigmist in den Boden auch die Emission der ebenfalls klimarelevanten Spurengase CO_2 und CH_4 erhöht werden.

Ziel dieses Teilprojektes ist die Quantifizierung der Emissionen von Ammoniak (NH_3), Lachgas (N_2O), Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) nach Flüssigmistausbringung auf Grünlandflächen im Allgäu in Abhängigkeit von Flüssigmisteigenschaften, Ausbringungsmenge, Ausbringungstechnik sowie N-Versorgungsgrad des Bodens.

Die Durchführung erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrartechnik. Die Untersuchungen werden im Rahmen eines DFG-Forschungsprojektes "Messung, Modellierung und Minderung von Gasemissionen in landwirtschaftlichen Betriebssystemen" durchgeführt.

Messung der NH_3 -Emission

Die Ammoniak-Emission wird mit der Windtunnel-Methode nach Braschkat et al. (1993) erfaßt. Hierbei ist der Luftraum über der Versuchsfläche durch einen Rechtecktunnel von der Umgebungsluft getrennt. Ventilatoren erzeugen im Tunnelinneren einen kontinuierlichen Luftstrom, der auf dem Weg von Lufteinlaß zum Luftauslaß über die Versuchsfläche (2 m^2) geleitet und dort mit NH_3 befrachtet wird. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit beträgt $3,5 \text{ m s}^{-1}$. Dies entspricht einem Luftaustausch im Windtunnel von 126 x min^{-1} . Ein Teilvolumenstrom (5 l min^{-1}) wird mittels einer Membranpumpe kontinuierlich über Schläuche aus dem Abschnitt vor der Versuchsfläche (Hintergrundkonzentration) und nach der Versuchsfläche (mit NH_3 befrachtete Probeluft) entnommen. Die Proben werden in zweifacher Wiederholung durch 250 ml Gaswaschflaschen mit Glasfiltereinsätzen geleitet, die mit einem definierten Volumen an $0,025 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ gefüllt sind. In diesem sauren Milieu wird das im Luftstrom enthaltene Ammoniak als Ammonium absorbiert. Dieses wird kolorimetrisch bei einer Wellenlänge von 660 nm bestimmt. Die NH_3 -Emission wird aus dem durchschnittlichen Luftvolumenstrom innerhalb des Windtunnels und der gemessenen NH_3 -Konzentrationsdifferenz zwischen Lufteinlaß und Luftauslaß berechnet.

Messung von NO₂, CH₄ und CO₂

Die Windtunnel-Methode ist durch hohe Luftdurchflußraten gekennzeichnet. Daher können Emissionen von NO₂, CO₂ und CH₄ aus dem Boden, die nur zu geringen Konzentrationsänderungen dieser Gase in der Luft führen, mit dieser Methode nicht gemessen werden. Es muß deshalb auf die sog. "Closed chamber"-Methode zurückgegriffen werden. Dabei wird die Versuchsfläche durch Meßkammern mit einer definierten Grundfläche über einen bestimmten Zeitraum unter vollständiger Unterbindung des Luftaustausches mit der Außenatmosphäre abgedeckt. Während dieser Zeit erfolgt eine Anreicherung der zu messenden Gase. Aus dem Konzentrationsanstieg (c) über die Zeit (t) und unter Berücksichtigung des Kammervolumens (V) und der Fläche (A) wird mit Hilfe einer linearen Regression der Gasfluß (F) bestimmt.

Die zur Verfügung stehenden PE-Meßkammern haben eine Grundfläche von jeweils 1 m². Die PC-gesteuerte Versuchsanlage besteht aus insgesamt 16 Meßkammern. Die Versuche werden in vierfacher Wiederholung mit vier verschiedenen Varianten durchgeführt. Die Messungen erfolgen täglich (1 bis 2x) über einen mehrwöchigen Zeitraum nach der Flüssigmistausbringung.

Die Probenahme erfolgt mittels automatischer Probenehmer. Hierbei wird die Probeluft über Teflonschläuche -nach vorausgehendem Spülvorgang der Schläuche- in zuvor evakuierte und mit Septen gasdicht verschlossene Probeflaschen (22 ml Vials) geleitet. Die Probenehmer haben ein Fassungsvermögen von jeweils 40 Vials, womit eine "unbeaufsichtigte" Probenahme über mehrere Tage stattfinden kann.

Die Gasproben werden am Gaschromatographen (HP 5890) analysiert. N₂O und CO₂ werden mittels eines ECD (Elektroneneinfangdetektor) und CH₄ mittels eines FID (Flammenionisationsdetektor) bestimmt. Der Probenauftrag erfolgt über einen automatischen Probenehmer (HS 40, Perkin Elmer).

4.3 Reaktion der Böden auf Klimaänderungen

Die Böden der Welt enthalten rund zweimal soviel Kohlenstoff, wie die Atmosphäre (Schlesinger 1991). Die Zersetzung der organischen Bodensubstanz entläßt Kohlendioxid in die Atmosphäre. Da die Menge des organischen Kohlenstoffes im Boden so groß ist, haben auch kleine Änderungen im Umfang dieses Pools große Auswirkungen auf die Biosphäre. Es ist daher wichtig, zu verstehen, wie das Kohlenstoffreservoir im Boden mit dem Klima wechselwirkt. Besondere Aufmerksamkeit muß dabei solchen Böden zuteil werden, die unter dem Einfluß kühlen und feuchten Klimas große Kohlenstoffmengen akkumuliert haben.

Hypothesen zur Reaktion von Standorten auf Klimaänderungen lassen sich experimentell kaum überprüfen, da man den komplexen Naturkörper Boden nicht ohne erhebliche Störung kontrollierten Versuchsbedingungen aussetzen kann. Insbesondere sind im Freiland keine Möglichkeiten zur experimentellen Beeinflussung des Klimas in den räumlichen Maßstäben gegeben, die für seriöse Aussagen erforderlich wären. Ein Ausweg ist das Monitoring von Klimabedingungen wie bodenphysiologischen Parametern über Jahre hinweg in der Hoffnung, in der gleichen Jahreszeit von Jahr zu Jahr einmal deutlich unterschiedliche Bedingungen anzutreffen. Der Sommer 1993 - 1995 unterschieden sich so gravierend

voneinander (Tabelle 1), das solche vergleichenden Beobachtungen angestellt werden konnten:

Tabelle 1: Durchschnittliche Bodentemperatur, durchschnittliche maximale Wasserkapazität (WRC) und Summe der Bodenatmung (Resp) in den Sommern 1993 - 1994 (Juni - August)

	Senke			Hang		
	WRC (%)	Temp (°C)	Resp (g CO ₂)	WRC (%)	Temp (°C)	Resp (g CO ₂)
1993	95	15,0	311	76	15,3	494
1994	71	16,3	467	56	17,9	478
1995	97	15,6	354	59	16,2	395

Ein Vergleich des warmen, trockenen Sommers 1994 mit dem durchschnittlichen Sommer 1993 ergab für ein typisches Kolluvium in Kuppenlage keine auffällige Veränderung in der physiologischen Aktivität, während ein Anmoorgley in Senkenlage im Vergleichszeitraum doppelt soviel Kohlendioxid freisetzte. Die an beiden Standorten geringeren Bodenwassergehalte führten auf der Kuppe zu einer Wasserunterversorgung des Bodens. In der Senke sanken die Bodenwassergehalte von Sättigung in einen die Zersetzung der organischen Bodensubstanz begünstigenden Bereich ab.

Folgendes Fazit kann gezogen werden:

1. Stark kohlenstoffhaltige Böden reagieren auf wärmeres Klima nicht zwangsläufig mit höherer Mineralisationstätigkeit.
2. Höhere physiologische Aktivität eines Bodens wird nicht allein durch Temperaturerhöhung verursacht, gleichzeitig muß die Bodenfeuchte in einem optimalen Bereich gehalten oder in diesen verschoben sein.
3. Nach Eintreten solcher optimalen Bedingungen (Temperaturerhöhung + Feuchte im Optimum), konnte beobachtet werden, wie ein Boden in 41 Tagen fast die Hälfte des Jahresumsatzes mineralisierte.

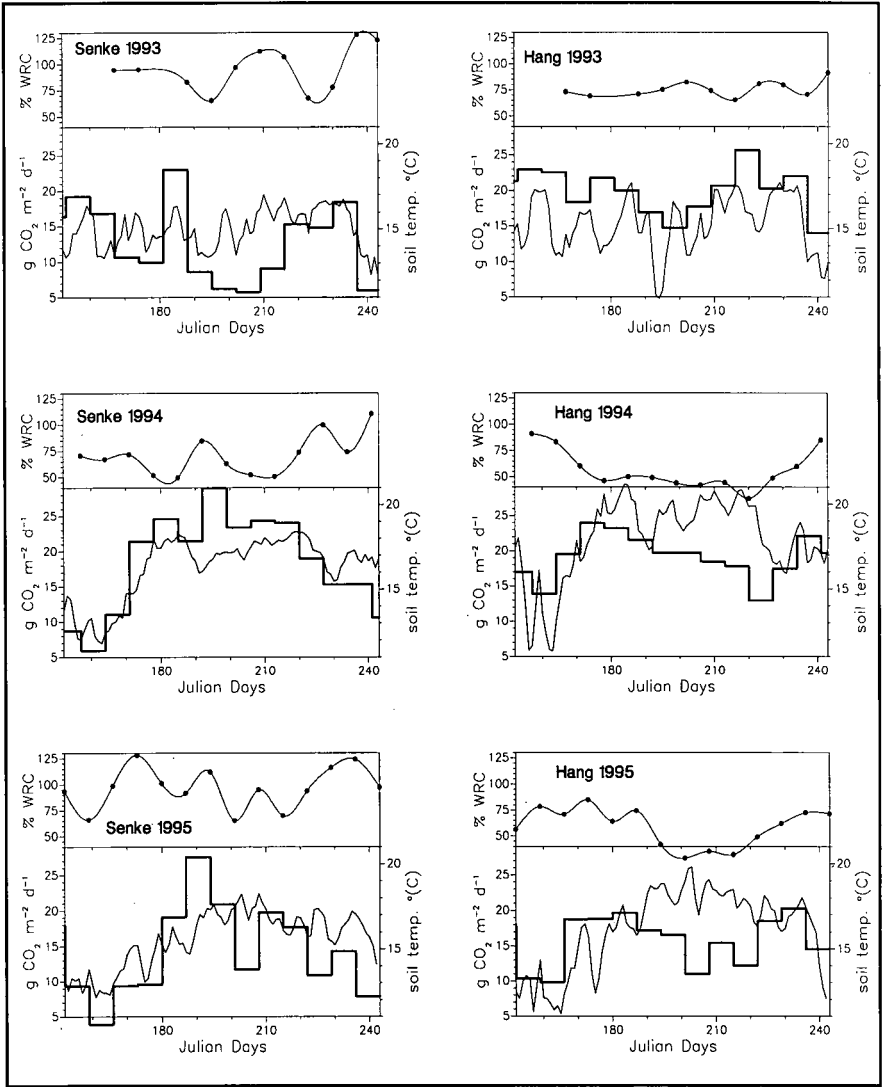


Abbildung 6: Darstellung der unterschiedlichen Respirationsraten an den Messplätzen Hangmitte und Senke in den Sommern 1993; 1994; und 1995 in Abhängigkeit von Bodentemperatur und Bodenfeuchte (ausgedrückt in % der maximalen Wasserkapazität, durchgezogene Linie).

4.4 Spurengasmessung: die automatische Registrierung von CO₂, CH₄ und N₂O

Einführung:

Im Rahmen der von der DFG geförderten Forschergruppe „Messung, Modellierung und Minderung von Gasemissionen in landwirtschaftlichen Betriebssystemen“ wird die Erstellung einer Bilanz der Spurengasflüsse in einem Milchviehbetrieb angestrebt. Die Rolle der Böden in Bezug auf Spurengasflüsse wird vom Institut für Bodenkunde und Standortlehre (310) der Universität Hohenheim mit Hilfe einer automatischen Meßanlage (*Glatzel et al. 1996*) untersucht.

Objekt

Auf einem Gley-Kolluvisol befinden sich zwei der drei Meßstellen der Meßanlage Siggen/Neuweiher. Die kolluviale Überdeckung des Geschiebemergels, die bis 51 cm Tiefe reicht, besitzt mehr als 2,5% C_{org}. Die Inkubationsexperimente von Kleber (*1997*) zeigen, daß dieser große Vorrat an Kohlenstoff schnellem Umsatz unterliegt. Da die Untersuchungsfläche erst seit 30 Jahren (das angeschwemmte Material ist Zeuge der Ackernutzung) als Grünland genutzt wird, ist von einer weiteren Steigerung des Humusspiegels auszugehen.

Die Relevanz des Kolluvisols für den Methanhaushalt betrifft vor allem dessen Potential, Methan zu oxidieren. Die hohen Mengen an Wirtschaftsdünger, die ausgebracht werden, unterscheiden den vorgestellten Standort von dem ungedüngten Kolluvisol an einer benachbarten Meßstelle. Der Vergleich dieser beiden Meßstellen liefert eine Einschätzung über die Einschränkung der Methanoxidationskapazität (*Hütsch et al. 1996*) am vorgestellten Standort.

Hydromorphe Merkmale, die bis 23 cm unter die Oberfläche reichen, dokumentieren die feuchten Verhältnisse am Standort. Da es sich eher um Grundwassernässe als um Stau­nässe handelt, bleiben die substratreichen Horizonte häufig im Feuchtbereich, der die Denitrifikation bis zum N₂O ablaufen läßt. Fallen die 4-5x jährlich stattfindenden Gülletermine mit Perioden hoher Bodenfeuchte zusammen, sind hohe Mengen an N₂O-Entbindung zu erwarten.

Meßinstallation

Die Meßanlage „Siggen/Neuweiher“ besteht aus drei gleichartigen Installationen an drei Meßstellen mit der Bodenform „Kolluvium über Geschiebemergel“. Dies sind eine Meßstelle im feuchten Schilfgürtel (SGU), eine Meßstelle am ungedüngten Hangfuß (HFN) und ihr Pendant am vollgedüngten Hangfuß (HFV). Am Beispiel von HFV, wo auch das Bodenprofil geöffnet ist, wird die Funktionsweise der Anlage erklärt.

Ziel bei der Konstruktion der Anlage war die Minderung von Kammereffekten, die bei Gasmessungen auftreten (*Hutchinson & Livingston, 1993*). Unter Federführung des Instituts für Agrartechnik (440) der Universität Hohenheim wurde eine bewegliche Kammer nach dem Vorbild des „moving chamber design“ von Edwards (*1974*) mit 1m² Grundfläche entwickelt. Im Ruhezustand ist die Kammer nach oben geklappt. Nur zu den Meßzeiten wird sie auf den 10 cm tief in den Boden eingelassenen Rahmen luftdicht aufgepreßt.

An den Meßstellen sind je vier Meßhauben installiert. Kohlendioxid wird automatisch mehrfach täglich im „closed-chamber“-Verfahren gemessen. Hierzu öffnet und schließt eine zentrale Steuerung die Kammern, bestimmt die CO₂-Konzentration in der Kammer zu verschiedenen Zeitpunkten mit einem IR-Gasanalysator (Fa. Siegrist, Karlsruhe), speichert die Daten und leitet das Gas zurück in die Kammern. Einzelproben, die über ein an der Haube angebrachtes Silikonseptum entnommen werden, dienen der gaschromatographischen Bestimmung von CH₄ und N₂O. Diese Proben werden wöchentlich entnommen.

Folgende Begleitparameter werden erfaßt: Bodenfeuchte, Redoxpotential, Grundwasserstand, Klimadaten. Die Bodenfeuchte wird mit einer TDR-Anlage stündlich in allen Horizonten erfaßt. Das Redoxpotential wird mit „aktiven“ Redoxelektroden ebenfalls stündlich in allen Horizonten aufgezeichnet. Wöchentlich werden Saugwasserproben zur Bestimmung der NH₄⁺-, NO₃⁻- und DOC-Konzentration der Bodenlösung in allen Horizonten gewonnen. Boden- und Lufttemperaturen, Niederschläge, Windweg und Globalstrahlung sind die stündlich aufgezeichneten Klimaparameter.

4.5 C-Akkumulation unter Grünland

Der Vegetationsform Grünland, die weltweit ca. 2/3 der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche einnimmt, kommt innerhalb des terrestrischen C-Haushaltes erhebliche Bedeutung als C-Senke zu (*Hellebrand 1993*). So beträgt allein der Anteil der Humusvorräte in der Krumenschicht der Mineralböden unter mitteleuropäischen Bedingungen ca. 3-13 % (*Klapp 1971*). Der hier akkumulierte organisch gebundene C übersteigt mithin den unter Acker angereicherten um ein Mehrfaches, bewegt sich aber in einer weiten Spanne. Bestimmend für die Höhe der Humusgehalte unter Grünland ist primär der Standort, sofern landwirtschaftliche Nutzung hinzutritt, aber auch deren Art und Intensität. Ähnliches gilt für die Wurzelmasse unter Grünland (*Voigtländer und Jacob 1987*), die nach älteren Untersuchungen bewirtschaftungs-, nutzungs- und jahreszeitbedingt im Krumbereich (0-30 cm) zwischen 10 und 450 dt TM/ha schwanken kann (*Kmoch 1952*). Dabei kommt offenbar der N-Versorgung eine besondere Bedeutung zu: Mäßige N-Versorgung bzw. mäßiger N-Mangel begünstigen Wurzelwuchs und Wurzelmasse und umgekehrt (*Dirven & Wind 1980*). Die Wurzelmasse steht aber auch im Zusammenhang zur Lebensdauer der Wurzeln, die zumindest bei den Gräsern je nach Grasart und Nutzungsintensität zwischen wenigen Monaten und mehreren Jahren variieren kann (*Troughton 1981*). Die C-Vorräte im Boden wechseln somit in Abhängigkeit von Bewirtschaftung und Nutzung.

An definierten Pflanzenbeständen, die längerfristig differenziert gedüngt und in einheitlicher Intensität praxisgemäß genutzt werden, soll der in Aufwüchsen, Stoppel, Bestandesabfall sowie in der Rhizosphäre (Wurzeln, anderen Pflanzenresten und Mikroben bis zu einer Tiefe von 90 cm) angereicherte C quantifiziert werden. Speziell soll verfolgt werden, inwieweit hierbei die N-Versorgung der Pflanzenbestände die C-Akkumulation im Boden jahreszeitbezogen und langfristig beeinflusst. Daraus sollen Empfehlungen für den Standort abgeleitet werden, die geeignet sind, bewirtschaftungsbedingte CO₂-Emissionen aus Grünland zu minimieren und die Fähigkeit der Vegetationsform zu fördern, C zu akkumulieren und langfristig zu deponieren.

Auf den drei Düngevarianten (① Gülledüngung betriebsüblich; ② 60% von ①; ③ ohne Düngung) werden folgende Details untersucht

1. Oberirdisch erntbare Pflanzenmasse
Entnahme: Doppelmessermotormäher
Termine: ca. 10/Jahr
Schnitthöhe: 5 cm
Erntefläche: 1 m²
Wiederholungen: 6 je Untersuchungsvariante
Feststellungen: Frischmasse, TS-Gehalt, Trockenmasse

2. Stoppel und Bestandesabfall
Abtrennen der Stoppelreste mittels Akku-Schere unmittelbar an der Bodenoberfläche auf jeweils 6 Teilflächen (10x20 cm) innerhalb der Erntefläche zu 1. Aufsammeln sämtlicher Pflanzenbestandteile auf der Bodenoberfläche.
Termine, Wiederholungen und Feststellungen wie 1.

3. Unterirdische Biomasse
Entnahme von Bohrkernen aus dem Boden mittels N_{min}-Raupe (äquivalent Pürckhauer-Bohrstock, Ø 3,5 cm) bzw. HUMAX-Bohrer (Ø 5 cm, insbesondere für vergleichende Wurzelwaschungen).
Entnahmetiefe: 0-30 bzw. 0-90 cm
Bodenschichten: 0-10, 10-20, 20-30, 30-60, 60-90 cm
Wiederholungen: 6x6 Bohrkern je Untersuchungsvariante
Termine: 6-8/Jahr bei frostfreiem Boden

4.6 Redoxphänomene in einem Nassgley

Das Redoxpotential als integrierende Größe bietet sich zum indikativen Nachweis von Gas-Emissionen aus Böden an, da es der Parameter ist, in dem sich sehr rasch Änderungen des Wasser/Lufthaushaltes widerspiegeln. 1995 wurde mittels einer modifizierten Redoxanlage nach Fiedler & Fischer (1996) an zwei Senkenstandorten des Neuweiher (LMT, UMT), einer davon Naßgley (UMT), zu wöchentlichen CH₄-Emissionsmessungen begleitende Redoxmessungen im stündlichen Intervall durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Grundwasserstand und Eh zeigten einen gegenläufigen Verlauf
- Hohe CH₄-Emissionen traten nur dann auf, wenn eine geringe (bzw. keine) Oxidationszone im Profil vorhanden war.
- Profilspezifische Unterschiede in der Redoxdynamik spiegelten hinsichtlich der Höhe der Emissionen einen interpretierbaren Trend wider.
- Multiple Regression:
Während sich die CH₄-Emissionen im LMT durch das Redoxpotential zu 60 % erklären lassen, war der Zusammenhang im Naßgley weniger deutlich (Abbildung 7). Das legt die

Vermutung nahe, daß weitere Parameter wie z.B. Porenverteilung und C_{org} -Gehalte (Tabelle 2) verantwortlich gemacht werden können.

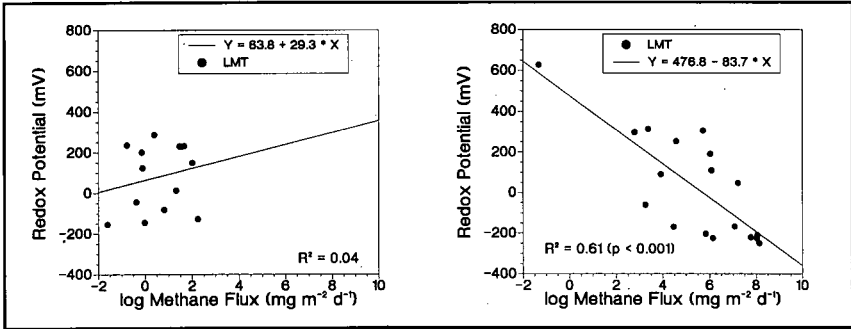


Abbildung 7: CH_4 Efflux gegen das mittlere Redoxpotential der vorangegangenen Woche, dargestellt für die Methanfallen UMT und LMT.

Tabelle 2: Kenndaten zur Charakterisierung des Methanefflux von 2 Fällen am Senkenrand

	LMT (Naßgley)	UMT (Kolluvisol)
CH_4 -Flux [$mg\ m^{-2}\ d^{-1}$]	-3.1 bis 28.7	-6.3 bis 6658
Eh [mV]		
Mittel	82	14
Range	-155 bis +287	-251 bis +628
Grundwasserstand [cm u. Fl.]	2 bis 89	8 bis 62
Bodentemperatur in 5 cm Tiefe [$^{\circ}C$]	7.7 bis 18.3	7.1 bis 18.6
C-Gehalt in 35 - 100 cm Tiefe [$kg\ m^{-2}$]	7.4	18.2
Porosität [$l\ m^{-3}$]		
0.2 - 50 μm	205	251
> 50 μm	52	145

4.7 Vergleichende Betrachtung des CO_2 -Efflux von Wald- und Grünlandböden

Zu ca. 30% wird die landwirtschaftliche Nutzfläche von Wald und zu ca. 70% von Grünland eingenommen. Der Niedermoorogley (D-6.5) ist sowohl für die Bodengesellschaft der Jungmoränenlandschaft (vgl. Abb. 2) als auch für die Nutzung ein charakteristischer Standort. Die Fichtenforstmonokultur ist das typische Erscheinungsbild der forstwirtschaftlichen Nutzung im Westallgäuer Hügelland. Senkenstandorte, die durch Drainagesysteme (hier im Siggener Wald Entwässerungsgräben) im letzten Jahrhundert in Kultur genommen wurden, nehmen einen Flächenanteil von ca. 21-25 % der gesamten Nutzfläche ein.

Der Exkursionstandort D-6.5 ist einer von drei Waldstandorten, an denen der CO₂-Efflux wöchentlich mit der Lundegardh-Methode (vgl. Kap. 4.1) gemessen wird. Die ersten Meßergebnisse (Tab. 2) belegen erwartungsgemäß, daß der CO₂-Efflux deutlich (25-50%) geringer ist als bei den Grünlandstandorten. Auffällig ist, daß der Waldstandort in Siggen mit 1208 gCO₂ m⁻² einen doppelt so hohen CO₂-Efflux aufweist wie ein ähnlich alter Wald in Oberweiler (581 gCO₂ m⁻²). Es ist beabsichtigt, die Abhängigkeit des CO₂-Efflux von Bodentemperatur, -feuchte und potentieller Kohlenstoffmineralisation (Brutversuch) zu prüfen, um eine Prognose der Bodenatmung zu ermöglichen.

Tabelle 3: Summe des CO₂-Efflux [g m⁻²]. Wochenmittel (n = 10) aufsummiert im Meßzeitraum vom 04.07.-18.12. 1996.

Standort	Bodentyp	Nutzung	ΣCO ₂ -Efflux [g m ⁻²]
Oberweiler	Braunerde	Fichtenforst (Jungbestand)	581
Oberweiler	Braunerde	Fichtenforst (Altbestand)	871
Siggen (D-6.5)	Niedermoorgley	Fichtenforst (Jungbestand)	1208
Siggen (D-6.3)	Kolluvisol	Grünland	2162
Oberweiler (D-6.1)	Kolluvisol	Grünland	2642

5. Literatur

- ABT, K. (1990): Landschaftsökologische Auswirkungen des Agrarstrukturwandels im württembergischen Allgäu. Dissertation Universität Hohenheim. 161 S.
- BRASCHKAT J., T. MANNHEIM, D. HORLACHER und H. MARSCHNER (1993): Measurement of ammonia emissions after liquid manure application: I. Construction of a windtunnel system for measurements under field conditions. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 156, 393-396.
- BÜCHELE, B. (1986): Ratzenried, eine Allgäuer Heimatgeschichte. Band 1, Verein zur Pflege von Heimat und Brauchtum, Ratzenried.
- CHILDS, C.W. (1992): Ferrihydrite: A review of structure, properties and occurrence in relation to soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 155:441-448
- DIRVEN, J.G.P.; EN WIND, K. (1980): De beworteling van enige grassoorten bij verschillende bodemvruchtbaarheid. Stikstof 8, 354-359.
- EDWARDS, N.T. (1974): A moving chamber design for measuring soil respiration rates. Oikos 25:97-101.
- EDWARDS, N.T. (1982): The use of soda lime for measuring respiration rates in terrestrial systems. Pedobiologica 23: 321-330.
- FIEDLER, S. (1997): In-situ-Langzeitmessungen des Redoxpotentials in hydromorphen Böden einer Endmoränenlandschaft im württembergischen Alpenvorland. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte (i. Druck). 123 S.
- FIEDLER, S. und W. R. FISCHER (1994): Automatische Messanlage zur Erfassung kontinuierlicher Langzeitmessungen von Redoxpotentialen in Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 157:305-308.
- FISCHER, W.R. (1976): Differenzierung oxalatlöslicher Eisenoxide. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 139: 641-646

- FLACH, M. (1953): Die agrarwirtschaftliche Entwicklung des württembergischen Allgäu seit 1840. Dissertation Universität Hohenheim.
- GEYER, O. und M.P. GWINNER (1991): Geologie von Baden-Württemberg, 4. Aufl. Schweizerbart, Stuttgart. 482 S.
- GLATZEL, S., KLEBER, M., RÜCK, F., STAHR, K. (1996): A device to monitor soil CO₂, CH₄, and N₂O fluxes in the Allgäu (SW Germany). BGS-Dokument 8:31-32.
- HELLEBRAND, H.J. (1993): Grünlandökosysteme. Eine Diskussion zu Stoffströmen und Reststoffverwertung. Landtechnik 48:655-657.
- HORNIG, W., MICKLEY, W. and K. STAHR (1991): Genese, Eigenschaften und Verbreitung der Böden im Westallgäuer Hügelland. Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg 33:199-217.
- HUTCHINSON, G. & LIVINGSTON, G. (1993): Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. In: Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change. ASA Special Publication No. 55:64-78.
- HÜTSCH, B.W., RUSSELL, P., MENGEL, K. (1996): CH₄ Oxidation in two temperate arable soils as affected by nitrate and ammonium application. Biology & Fertility of soils. 23(1):86-92.
- KLAPP, E. (1971): Wiesen und Weiden. 4. Aufl. Verlag Paul Parey Berlin.
- KLEBER, M. (1997): Carbon exchange in humid grassland soils. Diss. Univ. Hohenheim. 238 S.
- KLEBER, M., STAHR, K. and I. HENNING-MÜLLER (1994): Der Einfluß der Expositionszeit auf die Höhe der Bodenatmung bei Anwendung der Lundegardhmethod. Z.Pflanzenernähr.Bodenk. 157:441-445.
- KMOCH, H.G. (1952): Über den Umfang und einige Gesetzmäßigkeiten der Wurzelmassebildung unter Grasnarben. Z. Acker. und Pflanzenbau, 95:363-380.
- KONOLD, W. (1987): Oberschwäbische Weiher und Seen. Beihefte Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württemberg 52, S.12.
- LUNDEGARDH, H. (1927): Carbon dioxide evolution of soil and crop growth. Soil Sci. 23:417-453.
- MANNHEIM T. (1996): Ammoniakemission von landwirtschaftlichen Versuchsflächen: Quellen und Minderungsmaßnahmen. Dissertation Univ. Hohenheim.
- SCHLESINGER, W.H. (1991): Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic Press, San Diego, pp 443.
- SCHMID, W. (1994): Geologie im Bereich der Inneren Würmendmoräne zwischen Siggen und Ratzenried. Dipl. Arb. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Tübingen.
- SCHREINER, A. (1992): Angewandte Quartärgeologie. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 257 S.
- SCHWERTMANN, U. (1966): Inhibitory effect of soil organic matter in the crystallisation of amorphous ferric hydroxide. Nature 212: 645-446
- TESAROVA, M., und J. GLOSER (1976): Total CO₂ output from alluvial soils with two types of grassland communities. Pedobiologica 16: 364-372.
- TROUGHTON, A. (1981): Lengths of life of grass roots. Grass and Forage Sci., 36:117-120.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C; JENKINSON, D.S. (1987): An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19:03-707.
- VOIGTLÄNDER, G. und H. JACOB (1987): Grünlandwirtschaft und Futterbau, Verl. E. Ulmer, Stuttgart.
- ZHI-GUANG, L. (1985): Oxidation-reduction potential. In Y. TIAN-REN (Ed.). Physical chemistry of paddy soils. Springer, Berlin, pp. 1-26

Exkursion

D 7

Schussenbecken

M. Kösel¹ und W. Vogl²

Böden und landschaftsspezifische Aspekte des Bodenschutzes im Bereich des Schussenbeckens (Oberschwaben)

Inhalt	Seite
1. Einführung	350
2. Exkursionsroute	350
3. Beschreibung des Exkursionsgebietes	352
3.1 Geologie und Geomorphologie	352
3.2 Klima und Vegetation	354
3.3 Nutzung und Inanspruchnahme durch den Menschen	355
4. Exkursionspunkte	356
4.1 Exkursionspunkt 1: Pseudogley-Parabraunerde	356
4.2 Exkursionspunkt 2: Auengley	359
4.3 Exkursionspunkt 3: Aussichtspunkt, Probleme des Bodenschutzes bei Sonderkulturen	362
4.4 Exkursionspunkt 4: Pseudogley-Pelosol-Braunerde	362
4.5 Exkursionspunkt 5: Podsolige Braunerde	366
4.6 Exkursionspunkt 6: Podsolige Braunerde mit Pararendzina; Kiesabbau und Rekultivierung aus der Sicht des Bodenschutzes	369
4.7 Exkursionspunkt 7: Podsoliger Braunerde-Gley und Gley	376
5. Literatur	382

¹ Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Albertstr. 5, 79104 Freiburg

² Landratsamt Ravensburg, Friedrichstr. 6, 88212 Ravensburg

1. Einführung

Die Exkursion führt in das Gebiet des Schussenbeckens, einen Ausläufer des Bodenseebekens, der sich von Friedrichshafen und Langenargen nordwärts in die würmzeitliche Moränenlandschaft erstreckt.

Neben dem Beckenbereich i. e. S. werden durch die Exkursion auch die umgebenden Hochgebiete erschlossen. Der Exkursionsraum wird vom Menschen durch vielfältige Nutzungen (z. B. Sonderkulturen, Kiesabbau, Siedlung und Verkehr) intensiv in Anspruch genommen. Die Exkursion stellt die wichtigsten Bodenformen des Raumes vor - auf grundwasserfernen Standorten und im Bereich der Umrahmung terrestrische Böden (Parabraunerden aus verschiedenen Ausgangssubstraten, Braunerde, Pelosol) sowie im zentralen, grundwassererfüllten Bereich des Beckens semiterrestrische Böden (Gleye versch. Ausprägung). Ergänzend wird an geeigneten Stellen auf landschaftsspezifische Fragen des Bodenschutzes eingegangen (Hopfen- und Obstanbau, Kiesabbau).

2. Exkursionsroute

Start und Ende der Exkursion ist Konstanz. Zunächst wird der Bodensee auf einer Fähre nach Meersburg überquert. Die weitere Route führt über Markdorf, Ravensburg und Weingarten zu den ersten Exkursionspunkten. Von dort geht es weiter über Liebenau nach Tannau und Tettngang zu weiteren Haltepunkten. Von Tettngang führt die Route zum Fährhafen Friedrichshafen. Mit der Bodenseefähre geht es dann zurück nach Konstanz.

Meersburg, ein kleines reizvolles Städtchen mit mittelalterlichem Stadtbild ist bekannt durch seine guten Weine. Nachdem Konstanz protestantisch geworden war, verlegten die Bischöfe ihre Residenz 1526 nach Meersburg. Durch die baufreudigen Barockbischöfe erlebte Meersburg einen großen Aufschwung. Besonders sehenswert ist das Alte Schloß, dessen Mittelurm mit bis zu 3 m dicken Mauern auf das 7. Jahrhundert zurückgeht. Die Dichterin Annette von Droste-Hülshoff lebte hier längere Zeit.

Markdorf ist eine traditionsreiche Stadt am Südfuß des bewaldeten Gehrenberges, die bereits 1250 durch die Freiherren von Markdorf zur Stadt erhoben wurde. Die Konstanzer Bischöfe erwarben es Ende des 14. Jahrhunderts und bauten die aus dem Mittelalter stammende Burg im 15. Jahrhundert zu ihrer Sommerresidenz um.

Ravensburg ist wirtschaftlicher und kultureller Mittelpunkt Oberschwabens. Bedeutende Betriebe haben hier ihren Sitz: der Verlag "Ravensburger", der Turbinen- und Papiermaschinenhersteller Fa. Sulzer-Voith sowie die Maschinenfabrik Ravensburg.

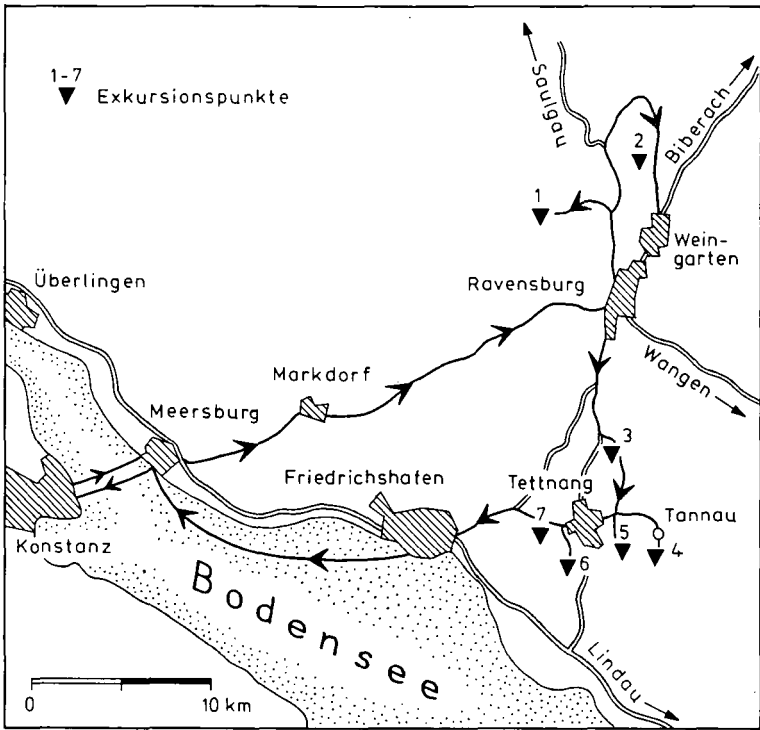


Abb. 1 Exkursionsroute

Die Innenstadt weist mit ihren alten Türmen und gotischen Bauten noch weitgehend mittelalterlichen Charakter auf. Die hoch über der Stadt liegende Veitsburg war einer der ältesten Stammsitze des Welfengeschlechts. Herzog Welf IV ist Gründer des Klosters Weingarten. Im späten Mittelalter war Ravensburg das bedeutendste Wirtschaftszentrum Oberschwabens. Die große "Ravensburger Handelsgesellschaft" kontrollierte von hier aus einen großen Teil des Handels mit Südeuropa. Das Wahrzeichen Ravensburgs ist der "Mehlsack", der höchste Turm der Stadt. Die Bürger erbauten ihn 1350, um von ihm aus das Geschehen auf dem Gelände in der Veitsburg beobachten zu können.

Weingarten: Hier befindet sich die größte Barockbasilika nördlich der Alpen. Weingarten hat außerdem eine pädagogische Hochschule und eine Fachhochschule für Maschinenbau.

Um 500 n. Chr. ließen sich im Schussental die Alemannen nieder. Das Kloster Weingarten wurde im 10. Jahrhundert als Frauenkloster gegründet. 1053 wurde es auf den Martinsberg verlegt und den Benediktinern übergeben. Die Mönche erhielten 1094 von der Welfin Judita die Reliquie des Blutes

Christi. Die Klosterkirche wurde 1715 unter Abt Sebastian Hyller erbaut. Bedeutende Künstler wie Franz Beer, Johann Herkommer, Michael Thumb, die Gebrüder Asam waren beim Bau beteiligt. Die "Heilig-Blut"-Reliquie ist Mittelpunkt der alljährlich am Freitag nach Christi-Himmelfahrt stattfindenden weltgrößten Reiterprozession. Am Blutfreitag wird die Heilig-Blut-Reliquie in Begleitung von 2000-3000 Reitern durch die Fluren Weingartens getragen. Um am Blutritt teilnehmen zu können, halten sich noch viele oberschwäbische Landwirte ein Pferd.

Tettang ist die ehemalige Residenzstadt der Grafen von Montfort. Sie ist Mittelpunkt des oberschwäbischen Hopfen und Obstanbaues. Südlich der Stadt liegt der Tettanger Wald, das größte Waldgebiet am Bodensee. Tettang, eine Gründung der Grafen von Montfort erhielt 1297 die Stadtrechte, war von 1780 bis 1805 österreichisch und fiel 1810 an Württemberg. Besondere Sehenswürdigkeit ist das 1712-1720 erbaute Neue Schloß mit seiner mächtigen Südfassade.

Friedrichshafen ist die Messe- und Industriestadt mitten im Obstgarten am Bodensee. Als ehemalige Sommerresidenz der württembergischen Könige ist sie heute internationaler Wirtschaftsplatz mit Sitz bedeutender Firmen wie: Zahnradfabrik Friedrichshafen (ZF), Motoren und Turbinenunion (mtu), Dornier usw.. Hier finden auch internationale Messen (z. B. Interboot, Outdoor) statt. Friedrichshafen ist erst seit 1811 Stadt; König Friedrich vereinigte die alte Reichsstadt Buchhorn mit der Klostersiedlung Hofen. Berühmt wurde Friedrichshafen durch die Luftfahrtpioniere Graf von Zeppelin und Julius Dornier.

3. Beschreibung des Exkursionsgebietes

3.1 Geologie und Geomorphologie

Der Exkursionsraum liegt im letztzeitszeitlich (Würm) geformten Jungmoränengebiet des Rheinvorlandgletschers. Der weiteste, bis max. 60 km von den Alpen ins Vorland reichende Vorstoß des würmzeitlichen Gletschers schuf um 20 000 BP den Endmoränenwall der Äußeren Jungendmoräne. Nur zu dieser Zeit entwässerte der Rheingletscher zur Donau hin. Nach einer Abschmelzphase kam es 2000-3000 Jahre später zu einem erneuten, jedoch nicht mehr so weit reichenden Vorstoß (KELLER & KRAYSS 1989: 11), welcher die über größere Strecken gut faßbaren Wälle der Inneren Jungendmoräne hinterließ. In einer internen, auf das Bodenseebecken beschränkten Position befinden sich weitere, meist undeutliche Endmoränenbildungen (Konstanzer-Stadium), deren Alter mit etwa 15 000 BP anzunehmen ist. Der später folgende inneralpine Eisabbau muß außerordentlich rasch erfolgt sein. Wie Datierungen an Mooren zeigen, ist das Eisfreiwerden des Rheintals zwischen Bodensee und dem ca. 50 km südlich gelegenen Sargans, noch während der Ältesten Dryas zwischen 15 000 und 13 000 BP erfolgt (JORDI 1986: 47 f.)

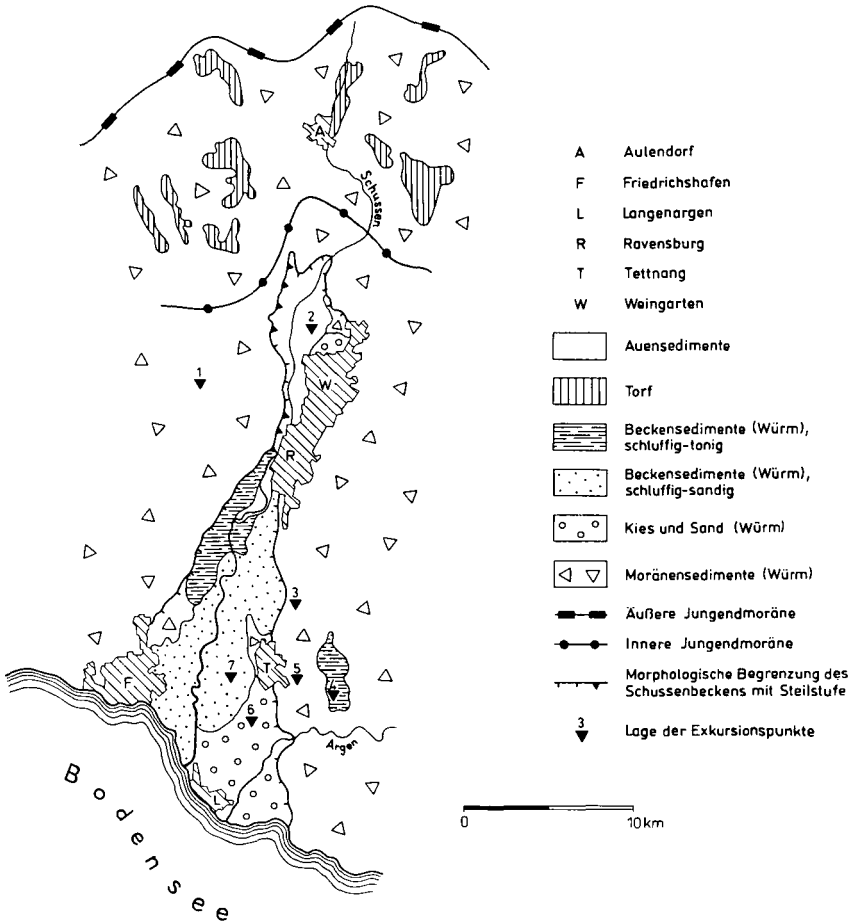


Abb. 2 Geologisch-morphologische Übersichtskarte

Beim Austreten der pleistozänen Gletscher aus dem Alpenrheintal ins Vorland zerfloß das Eis fächerförmig in mehrere Eisströme, die radial angeordnete tiefe Beckenstrukturen im tertiären Molasseuntergrund formten. In der Verlängerung des Alpenrheintals wurde mit dem Schussenbecken ein sehr tiefes, örtlich bis 200 m unter Gelände reichendes Becken angelegt, das sich weit nach Norden erstreckt und als Leitbahn für den besonders weit ins Vorland vorstoßenden Eisstrom des Schussenlobus diente. Die geologische Beckenstruktur im Untergrund ist deutlich größer als der

morphographisch abgrenzbare Beckenbereich. Für die Entstehung der tiefen Glazialbecken im Alpenvorland werden heute v. a. subglaziale Schmelzwässer unter hohem hydrostatischem Druck verantwortlich gemacht. Zusätzlich erfolgte sicher eine Überprägung der Erosionsform durch Gletscherschurf. Die Beckenbildung fand nach der Deckenschotterzeit (Günz-Mindel) mit ihren hochliegenden Schottern, im Zuge mittelpleistozäner Vereisungen (Riß-Komplex) mit großen Eismächtigkeiten statt und war im wesentlichen bereits vor Beginn der Würmeiszeit abgeschlossen. Mit fluviatilen Sedimenten, glazilimnischen Ablagerungen und Moränensedimenten besteht die Füllung des Schussenbeckens aus dem typischen Spektrum des glazialen Umfelds.

Als bodenkundlich relevante Gesteine kommen an der Oberfläche Kiese, Sande, feinkörnige Beckenablagerungen und Moränensedimente aus der Würmeiszeit sowie holozäne Auensedimente vor. An randlich des Beckens begrenzenden Steilstufen treten mäßig verfestigte Sandsteine des Tertiärs zu Tage, die oberflächennah allerdings meist von Rutschmassen verkleidet sind. Auf den umrahmenden Hochbereichen werden die tertiären Molassegesteine z. T. nur geringmächtig (wenige Meter), aber weitgehend flächendeckend von Moränenablagerungen der Würmeiszeit überlagert. Über weite Strecken besitzt hier das Gelände den Charakter einer wellig-hügeligen Grundmoränenlandschaft. Deutlich stärker reliefiert ist das Moränenhügelland in der südöstlichen Umrahmung des Schussenbeckens bei Tettngang, das bereits zu den typischen, stark hügeligen Landschaftsformen des Allgäus überleitet.

3.2 Klima und Vegetation

Während im nördlich an das Schussenbecken anschließende Jungmoränengebiet die Temperaturverhältnisse als mäßig kühl charakterisiert werden können (ELLENBERG 1955) und die Jahrestemperatur rasch auf Werte zwischen 7,0 °C (Pfullendorf) und 7,3 °C (Aulendorf) absinkt, macht sich im südlichen Jungmoränengebiet und insbesondere im Schussenbecken der Einfluß des Bodensees günstig bemerkbar. Die Klimastationen Ravensburg und Weingarten besitzen eine Jahrestemperatur von 8,3 °C, die Station Friedrichshafen/Flughafen am Süden des Schussenbeckens weist bereits 8,8 °C auf. Die Jahresamplitude der Temperatur ist mit mehr als 19 °C (Ravensburg: Januar -1,5 °C, Juli 17,8 °C) ziemlich ausgeprägt. Das mäßig warme bis warme Klima des Schussenbeckens erlaubt lokal noch etwas Weinbau, der in früherer Zeit größere Bedeutung besaß.

Als Folge der Stauwirkung der Alpen tritt im Exkursionsgebiet ein markanter Niederschlagsgradient auf, der ein Ansteigen der Niederschläge nach Südosten hin bedingt. Blitzenreute in der nördlichen Umrahmung des Schussenbeckens besitzt 849 mm Jahresniederschlag (ETpot 570 mm), das ca. 10 km südlich gelegene Ravensburg weist bereits 980 mm (ETpot 620 mm) auf und Tettngang/Hagenbuchen weitere 14 km südlich, besitzt einen Mittelwert von 1132 mm (ETpot 600 mm). Charakteristisch ist ein hoher Anteil von Sommerniederschlägen, die etwa das 1,8-fache der Niederschläge im Winterhalbjahr betragen (sämtliche Angaben Deutscher Wetterdienst 1931-1960, mit Ausnahme Tettngang/Hagenbuchen 1965-1987).

Als natürliche Vegetation war in der Umrahmung sowie auf grundwasserfernen Standorten im Schussenbecken ein submontaner Buche-Eichen-Tannenwald ausgebildet. Im zentralen, grundwassererfüllten Beckenbereich dürfte auf sandigen und kiesigen Substraten, wie im Reliktgebiet des Schenkenwalds nördlich von Weingarten, ursprünglich ein artenreicher Mischwald mit Stieleiche, Hainbuche, Schwarzerle, Esche und Bergahorn verbreitet gewesen sein. Die ursprüngliche, standortstypische Vegetation ist heute jedoch vielfach durch Fichtenanpflanzungen verdrängt.

3.3 Nutzung und Inanspruchnahme durch den Menschen

Das Gebiet des Schussenbeckens ist heute einer der wachstumsstärksten Räume in Baden-Württemberg und wird in besonders vielfältiger Weise durch den Menschen in Anspruch genommen. Neben Nutzungsproblemen durch die Intensivlandwirtschaft, den Sonderkulturenanbau (Hopfen, Obst) und die Rohstoffgewinnung (Kies), ist v. a. der hohe Bodenverbrauch für Siedlung, Verkehr und Industrie kritisch zu bewerten. Das Schussenbecken ist geprägt von der Entwicklungsachse Weingarten/Ravensburg-Tettngang, sowie im Randbereich von Friedrichshafen-Markdorf. Im Raum Ravensburg leben 85 000, im Raum Friedrichshafen 61 000 Einwohner. Der Raum Friedrichshafen weist mit 774 Einwohnern/qkm die höchste Siedlungsdichte auf, Ravensburg ist mit 497 Einwohnern/qkm deutlich dünner besiedelt. Neben den erheblichen Zuzügen macht sich der sog. innere Entwicklungsbedarf beim Bodenverbrauch erheblich bemerkbar. Waren 1968 2,6 Personen für einen Haushalt anzusetzen, so liegt die mittlere Haushaltgröße heute noch bei 2,3 Personen. Zusammen mit den gestiegenen Wohnraumsprüchen (1968: 25 qm/Person 1995: 35 qm/Person) bedeutet dies einen erheblichen Bedarf an Bauland. Im Bodenseekreis wuchs die mit Gebäuden und Verkehrsflächen überbaute Fläche von 1981 bis 1993 um 15 %, von 10,1 % auf 11,6 % der Kreisfläche. In Ravensburg sind die Verhältnisse weniger drastisch, jedoch sind auch hier die Grenzen der Bebaubarkeit mittlerweile erreicht. Weitere Ausweisung von größeren Baugebieten im Schussental sollten schon wegen der zu befürchtenden Klimaverschlechterungen in den Altsiedlungen möglichst unterbleiben. Die Neubaugebiete von Ravensburg liegen daher heute auf den Hochflächen mit landwirtschaftlich gut nutzbaren Böden.

4. Exkursionspunkte

4.1 Exkursionspunkt 1

Bodenprofil 1: Baumgartenwald, Pseudogley-Parabraunerde auf würmzeitlichem Geschiebemergel

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 1 km südwestlich von Großbaumgarten, Top. Karte 8123 Weingarten (R: 35 40 650, H: 52 97 740), Höhe: 579 m ü.NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 965 mm (Station Weingarten) Wärmestufe nach ELLENBERG (1955): mittelmäßig, 7,5 - 8,0 °C
Relief:	schwach geneigter Scheitelbereich (4% SW)
Ökolog. Feuchtegrad:	frisch, schwach wechselnd
Nutzung:	Tannen-Mischwald (Tanne, Fichte, Rotbuche); 60-80 jährig

Profilbeschreibung

L		Laub- und Nadelstreu
Of	1,3-0,3cm	weiche Tannen- und Fichtennadeln und Nadelbruchstücke, einzelne Blattfragmente, teilweise verklebt, wenig Feinhumus
Oh	0,3-0cm	dunkelgrau-schwarzer Feinhumus
Ah	0-7cm	schwach sandiger Lehm, schwach kiesig, dunkelbraungrau (10YR 4/3), stark humos, Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt
Sw-Al	-28cm	schwach sandiger Lehm, schwach kiesig, fahlbraun (10YR 6/4), einzelne Rostflecken, schwach humos, Subpolyedergefüge, mittel durchwurzelt
IISd-Bt	-57cm	mittel toniger Lehm, mittel kiesig, dunkelbraun (10YR 4/4), Rost- und Bleichflecken (10YR 5/8 und 2.5Y 5/4), Fe/Mn-Tapeten, wenige Konkretionen, Polyedergefüge, dicht, schwach durchwurzelt
Sd-Bvt	-78cm	mittel toniger Lehm, mittel kiesig, braun (10YR 5/4), Rost- und Bleichflecken (10YR 5/8 u. 2.5Y 5/4), Fe/Mn-Tapeten, wenige Konkretionen, Polyedergefüge, dicht, sehr schwach durchwurzelt
Sd-Btv	-95cm	mittel toniger Lehm, mittel kiesig, gelbbraun (2.5Y 5/4), Rostflecken (10YR 5/6), wenige Konkretionen, Kohärentgefüge, dicht, sehr schwach durchwurzelt
Sd-lCvn	>150cm	schwach toniger Lehm, stark kiesig, z.T. Blöcke, olivgrau (5Y6/4), Rostflecken (10YR 5/8), karbonatreich, Kohärentgefüge, dicht
Bodentyp:		Pseudogley-Parabraunerde (SS-LL)
Humusform:		Mullartiger Moder, stellenweise feinhumusarmer Moder
Ausgangsgestein:		Hauptlage über würmzeitlichem Geschiebemergel
Substrattyp:		Flacher kiesführender (Kryo-) Lehm über kiesführendem Moränenenton (p-(k)lg-(k)t)

Tab. 1: Physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenprofil Nr. 1, Blumenhau, Pseudogley-Parabraunerde

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
		cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Ah	0-7	3*	2,8	7,5	18,7	20,6	16,3	10,4	29,0	47,3	23,7
2	Sw-Al	-28	5*	2,7	8,1	16,9	21,8	15,9	12,0	27,7	49,7	22,6
3	IISd-Bt	-57	15*	2,6	6,2	12,1	16,4	14,0	12,0	20,9	42,4	36,7
4	Sd-Bvt	-78	15*	2,8	6,2	13,0	16,1	14,1	11,6	22,0	41,8	36,2
5	Sd-Btv	-95	12*	1,9	7,2	14,0	15,7	14,3	11,9	23,1	41,9	35,0
6	Sd-Cvn	>150	30*	3,8	8,4	14,6	17,1	15,0	12,5	26,8	44,6	28,6

*Schätzwert (Vol.%)

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	1,07	59,7	48,1	41,2	36,1	21,8	7,26	2,72	1,90	0,37	0,18
2	Sw-Al	1,41	45,6	35,1	31,3	28,1	12,1	7,49	2,37	1,69	0,32	0,30
3	IISd-Bt	1,61	39,1	38,0	35,4	32,3	28,6	14,58	1,17	1,82	0,08	0,33
4	Sd-Bvt	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	12,94	1,03	1,22	0,08	0,54
5	Sd-Btv	1,56	41,8	39,2	36,6	33,5	26,2	12,70	0,86	1,12	0,07	0,56
6	Sd-Cvn	1,72	35,1	34,8	33,5	31,4	22,1	8,30	0,40	0,63	0,05	0,20

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO _{4(Al)}	K _(Al)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	3,8	3,6	0,0	5,4	3,6	15	18	38
2	Sw-Al	4,3	3,8	0,0	1,2	1,0	12	3	28
3	IISd-Bt	6,0	4,8	0,0	0,3	0,5	5	1	73
4	Sd-Bvt	6,9	6,8	0,0	0,3	0,5	6	37	92
5	Sd-Btv	8,4	7,0	0,8	0,2	0,5	5	26	98
6	Sd-Cvn	n.b.	7,4	16,7	n.b.	n.b.	-	3	89

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	325	110	5,8	69,0	17,0	1,5	0,7	<0,1	18*
2	Sw-Al	172	72	25,0	53,0	8,8	0,5	0,3	<0,1	13*
3	IISd-Bt	244	129	0,3	10,0	105,0	13,0	<0,1	<0,1	91*
4	Sd-Bvt	246	168	0,0	<0,1	156,0	12,0	0,3	<0,1	100*
5	Sd-Btv	270	n.b.	0,0	0,0	256,0	11,0	2,6	0,3	100
6	Sd-Cvn	211	n.b.	0,0	0,0	197,0	11,0	2,4	0,8	100

*Kationen aus KAK_{eff}-Bestimmung

Verbreitung und Vergesellschaftung

In der vorwiegend flachhügeligen Grundmoränenlandschaft der westlichen Umrahmung des Schussenbeckens treten weitverbreitet bindige, relativ tonreiche Geschiebemergel mit pseudovergleyten Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden auf. An wasserzügigen Hängen sowie auf stärker gerundeten Kulminationsbereichen kann der Staunäseeinfluß völlig verschwinden - es treten dann meist mäßig tief entwickelte Parabraunerden auf. Im Bereich von abflußträgen Flachhängen und Verebnungen kommen örtlich Parabraunerde-Pseudogleye vor. Im landwirtschaftlich genutzten Gelände sind meist nur mäßig erodierte, pseudovergleyte Parabraunerden verbreitet. Pararendzinen sind selten und treten stellenweise auf deutlich gerundeten Kulminationsbereichen und an konvexen Oberhängen auf. Die Kolluvisole in den Tiefenbereichen sind nur untergeordnet tiefgründig ausgebildet und als Pseudogley-Kolluvisol und Gley-Kolluvisol meist deutlich hydromorph überprägt.

Substrat- und Bodengeneese

Der tonige Geschiebemergel von Profil 1 wird an der Geländeoberfläche von einer ca. 30 cm mächtigen, kiesarmen Zone mit erhöhtem Grobschluffgehalt überlagert, die als spätglaziale Soliflukationsdecke (Hauptlage) interpretiert wird (vgl. KÖSEL 1996). Im Zuge der holozänen Pedogenese wurde das Profil mäßig tief entkalkt, verbraunt und verlehmt. Die Ausbildung eines Bt-Horizonts (Sd-Bt u. Bvt) mit nicht sehr intensiven Tonbelägen läßt vermuten, daß die ausgeprägte Bodenartenschichtung zwischen Al- und Bt-Horizont nur untergeordnet auf Lessivierung zurückzuführen ist, sondern primär durch die geologische Schichtung bedingt ist. Dafür spricht auch, daß der Btv-Horizont ab 8 dm u. Fl. mit nur einzelnen, schwachen Toncutanen bereits 35% Ton aufweist und damit nur geringfügig unter dem Tongehalt der Bt-Horizonte liegt. Die deutlich erkennbare Pseudovergleyung ist eine Folge der geringen Luftkapazität und Durchlässigkeit des Geschiebemergels und der B-Horizonte, die sich auch durch Gefügeabsonderung nicht grundsätzlich erhöht haben.

Bodenbewertung

Aufgrund ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung (nFK mit ca. 100 mm nur mittel, aber Niederschlag etwa 970 mm mit hohem Sommeranteil; Basensättigung im Hauptwurzelraum 13-90%) stellt der Boden insgesamt einen recht guten Waldstandort dar. Lediglich die P-Versorgung ist eher als mäßig einzustufen. Zwar befinden sich in den tieferen Unterbodenhorizonten (Sd-Bvt

u. Sd-Btv) erheblich P-Mengen (ca. 170 kg/ha), doch dürften diese wegen der sehr geringen Durchwurzelung nur ungenügend erschlossen werden. Die mäßig staunasse Ausbildung der Parabraunerde bedingt eine allenfalls geringe Einschränkung bei der Baumartenwahl (Fichte).

4.2 Exkursionspunkt 2

Bodenprofil 2: Föhrenried, Auengley aus tonigem Auensediment

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 1 km nordwestlich von Schachen, Top. Karte 8123 Weingarten (R: 35 47 375, H: 53 00 900), Höhe: 444 m ü.NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 965 mm (Station Weingarten), Wärmestufe nach ELLENBERG (1955): mäßig warm, 8,0 - 8,5 °C
Relief:	ebener Tiefenbereich (0%)
Ökolog. Feuchtegrad:	mäßig feucht, wechselnd
Nutzung:	Brache, ehemals Acker

Profilbeschreibung

rAp	0-22cm	schwach schluffiger Ton, dunkelgraubraun (10YR 4/2), stark humos, Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt, feucht
P-Sd-rGo	-60cm	schwach schluffiger Ton, gelbolivbraun (5Y 6/2), zahlreiche Rostflecken (7.5YR 5/8-7/8) z.T. diffus verteilt, mittel humos, Prismengefüge, schwach durchwurzelt, feucht
rAh-Go	-80cm	mittel toniger Lehm, dunkelgrau (2.5Y 4/1), zahlreiche Rostflecken (7.5YR 6/8), schwach humos, Kohärentgefüge, schwach durchwurzelt, feucht
Gro	-112cm	mittel toniger Lehm, olivgrau (7.5Y 6/2), zahlreich Rostflecken (7.5YR 5/8), schwach humos, Kohärentgefüge, sehr schwach durchwurzelt, stark feucht
Gr1	-128cm	schwach lehmiger Sand, schwach kiesig, grau (2.5Y 5/1), vereinzelt Rostflecken (7.5YR 5/6), Kohärentgefüge, naß
Gr2	>150cm	mittel schluffiger Ton, grünlichgrau (7.5GY 5/1), Kohärentgefüge, naß
	134-137cm	Band aus stark zersetztem Torf
Bodentyp:		Auengley (GGa) mit Pseudovergleyung im Oberboden
Ausgangsgestein:		überwiegend tonreiche Auensedimente
Substrattyp:		Fluviton (f-t)

Tab. 2: Physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenprofil Nr. 2, Föhrenried, Auengley

Nr.	Horizont	Tiefe cm	Skelett %	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
				gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	rAp	0-22	0	0,3	2,0	10,7	8,4	15,7	14,6	13,0	38,7	48,3
2	P-Sd-rGo	-60	0	0,3	0,7	5,5	11,4	18,1	15,9	6,5	45,4	48,1
3	rAh-Go	-80	0	0,6	1,2	7,1	14,2	19,7	13,1	8,9	47,0	44,1
4	Gro	-112	0	0,1	1,1	11,6	15,2	20,3	12,0	12,8	47,5	39,7
5	Gr1	-128	0	7,0	36,5	33,7	8,7	4,2	3,6	77,2	16,5	6,3
6	Gr2	>150	0	0,1	0,2	6,9	23,1	22,5	12,6	7,2	58,2	34,6

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol. %	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³		0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	rAp	0,82	69,2	65,7	56,5	49,4	28,5	16,09	3,98	1,88	0,25	0,65
2	P-Sd-rGo	1,09	58,8	57,7	54,4	51,6	32,7	20,80	1,69	1,80	0,08	0,58
3	rAh-Go	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	22,40	2,48	1,56	0,11	0,51
4	Gro	1,44	46,4	47,9	46,1	44,0	34,4	15,73	1,26	1,14	0,08	0,04
5	Gr1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,36	0,44	0,20	0,32	0,00
6	Gr2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,40	1,25	0,61	0,37	0,01

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	PO _{4(Al)}	K _(Al)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)					mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	rAp	5,7	5,5	0,0	4,4	5,1	8,6	15	97
2	P-Sd-rGo	6,7	6,1	0,0	1,8	2,2	8,3	10	83
3	rAh-Go	6,9	6,2	0,0	1,1	1,1	9,5	4	113
4	Gro	7,1	6,4	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	11	115
5	Gr1	6,9	6,5	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	35	34
6	Gr2	7,0	6,5	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	43	115

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg		mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	rAp	460	n.b.	0,0	0,0	239,0	28,0	2,2	3,3	59
2	P-Sd-rGo	412	n.b.	0,0	0,0	238,0	25,0	1,5	2,8	65
3	rAh-Go	294	n.b.	0,0	0,0	262,0	31,0	1,2	<0,1	100
4	Gro	218	n.b.	0,0	0,0	189,0	28,0	1,5	<0,1	100
5	Gr1	53	n.b.	0,0	0,0	48,0	5,3	<0,1	<0,1	100
6	Gr2	204	n.b.	0,0	0,0	177,0	25,0	1,7	<0,1	100

Verbreitung und Vergesellschaftung

Der weitgespannte Auenbereich im nördlichen Schussenbecken zeichnet sich durch die großflächige Verbreitung von Auengleyen aus. In einem unterschiedlich breiten Streifen entlang der Schussen, die das Gebiet von Norden nach Süden durchquert, geht der Grundwassereinfluß zurück und es sind auf jungem Substrat in Flußnähe kalkhaltige Veges, Gley-Veges sowie weiter entfernt Vega-Gleye ausgebildet (WEIß & KÖSEL 1997).

Substrat und Bodengese

Im nördlichen Schussenbecken kommen verbreitet kalkfreie, tonreiche Auensedimente vor. Sie wurden vermutlich primär von den seitlich einmündenden Bächen schwemmfächerartig in den Senkenbereich geschüttet. Auffällig ist der Gegensatz zu den jungen, kalkhaltigen und sandig-lehmigen Auenlehmen, die entlang der Schussen vorkommen. An der Basis der tonigen Auenablagerungen tritt nicht selten eine Torflage auf, die ein sehr frühes Einsetzen der Auen-sedimentation anzeigt. Mit charakteristisch hohen *Pinus*-Werten und einem sehr geringen Nichtbaumpollenanteil kann sie pollenanalytisch eindeutig dem Präboreal zugeordnet werden. Geringe Mengen von *Corylus* und *Picea* sowie das Vorhandensein von thermisch schon etwas anspruchsvolleren Kräutern wie *Filipendula* und *Valeriana* weist auf den baldigen Übergang zum Boreal hin, was etwa ein Alter von 9300-9500 BP (korrig. Zeitskala) bedeutet (schriftl. Mitt. Bludau). Im ursprünglich nassen Föhrenried wurde v. a. in den 30er Jahren durch die Anlage von tiefen Gräben der Grundwasserspiegel merklich abgesenkt. Der obere Solumbereich wurde so der Gleydynamik entzogen und ist heute durch die mäßig starke Absonderung eines Prismengefüges geprägt. Diffuse Rostflecken und eine insgesamt etwas grauere Färbung, v.a. im Bereich von Aggregatflächen, deuten auf Pseudovergleyung hin. Vermutlich dient der aktuelle Go-Horizont (ab 6 dm u. Fl.) mit seinem kohärenten Gefüge als Stauhohizont für den darüberliegenden Sd-P-rGo-Horizont. In der Vegetation sind durch Quecke (*Elymus repens*), Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*) und stumpfblättrigen Ampfer (*Rumex obtusifolius*) deutliche Staunässezeiger vorhanden, die eine Einstufung des Profils als mäßig staunaß erlauben.

Bodenbewertung

Infolge v.a. jahreszeitlich länger anhaltendem Wasserüberschuß (Luftmangel, schlechte Befahrbarkeit, spätes Abtrocknen) als Acker schlecht geeignet. Derzeit ist der Standort nach Aufgabe der Bewirtschaftung als Acker in Umstellung begriffen und wird - eine normale

Wiesenbewirtschaftung vorausgesetzt - in eine schwach wechselnde Feuchtwiese übergehen, mit einer nicht zuletzt wegen der insgesamt guten Nährstoffversorgung hohen bis sehr hohen Ertragsfähigkeit.

4.3 Exkursionspunkt 3

Probleme des Bodenschutzes bei Sonderkulturen

Der Raum Tettngang ist Zentrum des oberschwäbischen Sonderkulturanbaus. Im Bodenseekreis nehmen Hopfen, Obst und Wein 15.5% der landwirtschaftlichen Fläche ein, mit einer Zunahme der Anbaufläche in den letzten 12 Jahren um 3,5%. In den Zentren des Sonderkulturanbaues bedeutet dies oft 100% Sonderkultur. Durch den häufigen Pestizideinsatz sind die Böden stellenweise erheblich belastet. In langjährig genutzten Hopfengärten können Kupfergehalte über 600 mg/kg gemessen werden. Dies kann insbesondere dann zum Problem werden, wenn diese Hopfengärten in Siedlungsnähe zu Bauland umgenutzt werden sollen. Sehr viele Gartenpflanzen vertragen diese hohen Kupferkonzentrationen nicht, so daß eine uneingeschränkte Nutzung als Haus- oder Vorgarten erst nach Bodenaustausch möglich ist. Ebenfalls aus der Hopfennutzung rührt die stellenweise hohe Belastung mit Quecksilber her. Die Hopfenstangen wurden in früheren Zeiten mit Quecksilbersalzen in einfachen Vorrichtungen gegen Fäulnis imprägniert, was zu punktuellen Quecksilberbelastungen in der Umgebung der Dörfer führte. Durch Auswaschung in den Hopfengärten und das Verbrennen von unbrauchbar gewordenen Hopfenstangen wurde das Quecksilber auch flächig verteilt und ist daher nahezu ubiquitär verbreitet.

4.4 Exkursionspunkt 4

Bodenprofil 3: Tannauer Becken, Pseudogley-Pelosol-Braunerde auf feinkörnigem Beckensediment

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 1 km südlich von Tannau, Top. Karte 8323 Tettngang (R: 35 48 125, H: 52 79 425), Höhe: 491 m ü.NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 1132 mm (Station Tettngang), Wärmestufe nach ELLENBERG (1955): mäßig warm, 8,0 - 8,5 °C
Relief:	hängiger Kulminationsbereich
Ökologischer Feuchtegrad:	frisch, schwach wechselnd
Nutzung:	Mischwald (Rotbuche, Tanne, Kiefer, Fichte); ca. 80 jährig

Profilbeschreibung

L		Laub- und Nadelstreu,
Of	2,8-0,8cm	verklebte Blattreste, weiche Nadeln und Nadelbruchstücke
Oh	0,8-0cm	dunkelgrau-schwarzer Feinhumus, stark durchwurzelt
Ah	0-5cm	mittel schluffiger Ton, dunkelbraungrau (10YR 2/3), stark humos, Subpolyedergefüge, mittel durchwurzelt
Sw-Bv	-23cm	mittel schluffiger Ton, fahlbraun (10YR 6/4), Rostflecken (10YR 5/6 u. 5/8), wenig Konkretionen, schwach humos, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt
IIBv-P-Sd1	-58cm	schwach schluffiger Ton, olivgelb (5Y 6/3), zahlreiche Rostflecken (10YR 5/6 u. 5/8), Fe/Mn-Tapeten an Basis, wenig Konkretionen, Prismen- und Polyedergefüge, schwach durchwurzelt
Bv-P-Sd2	-76cm	schwach schluffiger Ton, olivgelb (5Y 6/3), zahlreiche Rostflecken (10YR 5/6 u. 5/8), wenig Konkretionen, Kohärent- bis Polyedergefüge, dicht, schwach durchwurzelt
Cc+Sd-ICvn	-96cm	schwach schluffiger Ton, olivgrau (5Y 6/1), Rostflecken (2.5Y 6/6), sehr karbonatreich, zahlreiche Kalkkonkretionen, Kohärentgefüge, sehr schwach durchwurzelt
Sd-ICvn	>140cm	schwach schluffiger Ton, olivgrau (5Y 6/1), Rostflecken (2.5Y 6/6), sehr karbonatreich, Kalkkonkretionen, Kohärentgefüge
Bodentyp:		Pseudogley-Pelosol-Braunerde (SS-BB/DD)
Humusform:		feinhumusarmer Moder
Ausgangsgestein:		Hauptlage über würmzeitlichen, schluffig-tonigen Beckensediment
Substrattyp:		flacher (Kryo-) Schluffton über Fluvilehmtone (p-ut/vgl-lt)

Tab. 3: Physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenprofil Nr. 3, Tannauer Becken, Pseudogley-Pelosol-Braunerde

Nr.	Horizont	Tiefe cm	Skelett %	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
				gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Oh	+0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Ah	0-5	<1	0,1	0,7	0,9	13,7	23,9	20,0	1,7	57,6	38,7
3	Sw-Bv	-23	<1	0,2	0,8	1,2	14,8	23,4	21,8	2,2	60,0	37,8
4	IIBv-P-Sd1	-58	<1	0,3	0,5	0,8	10,2	17,8	19,7	1,6	47,7	50,7
5	Bv-P-Sd2	-76	<1	0,1	0,1	0,1	10,9	16,7	18,1	0,3	45,7	54,0
6	Cc+Sd-ICvn	-96	<1	1,0	0,7	0,3	3,8	17,8	25,9	2,0	47,5	50,5
7	Sd-ICvn	>140	<1	0,7	0,4	0,1	3,9	16,6	25,0	1,2	45,5	53,3

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Oh	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,77	1,86	1,45	0,27	0,55
2	Ah	0,78	70,5	35,9	33,4	31,1	18,4	13,28	3,98	2,14	0,30	0,49
3	Sw-Bv	1,27	52,1	41,6	36,6	35,0	21,5	17,75	4,17	2,31	0,23	0,38
4	IIBv-P-Sd1	1,42	47,0	44,8	42,8	41,6	25,0	17,20	1,15	2,34	0,07	0,12
5	Bv-P-Sd2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	18,35	0,84	2,06	0,05	0,32
6	Cc+Sd-ICvn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9,48	0,54	1,08	0,06	0,17
7	Sd-ICvn	1,71	35,5	37,0	35,7	35,4	24,7	9,46	0,68	1,06	0,07	0,17

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Oh	4,2	3,9	0,0	28,6	13,3	21	107	311
2	Ah	4,6	4,1	0,0	6,1	3,8	17	14	111
3	Sw-Bv	4,5	3,8	0,0	1,0	0,9	11	0	70
4	IIBv-P-Sd1	5,1	4,2	0,0	0,3	0,7	5	0	127
5	Bv-P-Sd2	6,5	6,3	0,0	0,3	0,7	4	16	182
6	Cc+Sd-ICvn	8,2	7,6	39,2	n.b.	n.b.	-	0	108
7	Sd-ICvn	8,3	7,7	36,6	n.b.	n.b.	-	0	136

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Oh	825	293	2,7	3,6	227,0	20,0	4,6	<0,1	86*
2	Ah	372	145	1,8	27,0	91,0	8,4	1,7	<0,1	70*
3	Sw-Bv	214	113	3,0	71,0	32,0	3,6	0,6	<0,1	32*
4	IIBv-P-Sd1	226	128	1,8	42,0	73,0	8,9	1,8	<0,1	65*
5	Bv-P-Sd2	303	223	0,0	<0,1	205,0	15,0	2,1	<0,1	100*
6	Cc+Sd-ICvn	184	-	10,0	<0,1	157,0	14,0	2,7	<0,1	94
7	Sd-ICvn	202	-	6,7	<0,1	173,0	19,0	3,3	<0,1	97

*Kationen aus KAK_{eff}-Bestimmung

Verbreitung und Vergesellschaftung

Auf schluffig-tonigen Beckensedimenten ist die Pseudogley-Pelosol-Braunerde weitverbreitet. Sie wechselt reliefbedingt mit Pseudogleyen, die in ebener Lage sowie insbesondere in örtlich nicht seltenen Toteishohlformen auftreten. Beim Vorhandensein von schwebenden Grundwasser-

vorkommen können die Hohlformen auch Nieder- und Übergangsmoore enthalten. Im landwirtschaftlich genutzten Gelände ist der geringmächtige Bv-Horizont der Pseudogley-Pelosol-Braunerden häufig erodiert, weshalb dort Pseudogley-Pelosole und Pelosol-Pseudogleye typisch sind.

Substrat- und Bodengenese

Das Ausgangsmaterial sind schluffig-tonige Beckensedimente mit einer geringmächtigen, tonärmeren Zone an der Erdoberfläche. Da diese in nicht landwirtschaftlich genutzten Bereichen das Relief mit konstanter Mächtigkeit überzieht, ist sie als eine spätglaziale Soliflukationsdecke (Hauptlage) zu interpretieren, deren Tongehalt im Vergleich zum Liegenden durch die Einarbeitung von äolischem Material verringert wurde.

Der entkalkte Solumbereich im Beckensediment zeigt v. a. im oberen Abschnitt eine ausgeprägte Gefügebildung mit der Absonderung von Prismen und Polyedern (Sd-Bv-P1), der unter Abschnitt ist weniger gut aggregiert und vermittelt bereits zum kohärenten Gefüge der C-Horizonte. Die geringe Wasserdurchlässigkeit des Beckensediments, verbunden mit geringer Luftkapazität, bedingt jahreszeitlich Luftmangel und führt zu deutlichen Sesquioxidumlagerungen. Das stellenweise verstärkte Auftreten von Fe/Mn-Konkretionen und -Tapeten an der Basis des Bv-P-Sd1-Horizontes ist vermutlich auf die wasserstauende Wirkung des schwächer ausgeprägten Aggregatgefüges im liegenden Bv-P-Sd2-Horizont zurückzuführen. Trotz der hohen Jahresniederschläge ist das Profil nur mäßig tief entkalkt. In Naßphasen wird Bodenwasser oberhalb des dichten Bv-P-Sd-Horizonts lateral im Sw-Bv-Horizont weggeführt und steht damit nicht mehr für die Sickerung und Kalklösung zur Verfügung.

Bodenbewertung

Wegen der hohen Niederschläge (ca. 1100 mm) ist trotz der nur mittleren nFK sehr selten mit sommerlichen Dürreerscheinungen zu rechnen. Der frische, schwach wechselnde Standort erlaubt ein weites Anbauspektrum. Die insgesamt mäßig staunasse Ausbildung der Pelosol-Braunerde bedingt eine gewisse Einschränkung (Fichte) bei der Baumartenwahl. Die Nährstoffversorgung ist insgesamt als gut einzustufen (Basensättigung in We 32 - 100%, K ca. 1300 kg/ha), allerdings ist die verfügbare P-Menge mit ca. 50 kg/ha nur gering bis mittel. Zusammenfassend stellt der Boden einen recht guten, relativ wuchskräftigen Waldstandort dar.

4.5 Exkursionspunkt 5

Bodenprofil 4: Einschlag, podsolige Parabraunerde auf würmzeitlichem Geschiebemergel

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 2 km südöstlich von Tett nang (Stadtmitte), Top. Karte 8323 Tett nang (R: 35 46 120, H: 52 80 340), Höhe: 540 m ü.NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 1132 mm (Station Tett nang 1965-87), Wärmestufe nach ELLENBERG (1955): mittelmäßig, 7,5 - 8,0 °C
Relief:	gestreckter Hang (21% SW)
Nutzung:	Mischwald (Rotbuche, Fichte, Europäische Lärche, Kiefer); ca. 70 jährig

Profilbeschreibung

L		Laub- und Nadelstreu
Of	7-4,5cm	weiche Lärchennadeln und Nadelbruchstücke, untergeordnet Blattfragmente, verklebt, wenig Feinhumus
Oh	4,5-0cm	schwarzer Feinhumus (7.5YR 1.7/1), stark durchwurzelt
Ahe	0-5cm	schluffiger Lehm, schwach kiesig, violettstichig-dunkelgraubraun (7.5YR 3/3), sehr stark humos, Subpolyedergefüge, mittel durchwurzelt
Bs-A1	-9cm	schluffiger Lehm, schwach kiesig, kräftig braun (10YR 4/6), humos, Subpolyedergefüge, mittel durchwurzelt
Al	-35cm	schwach sandiger bis schluffiger Lehm, schwach kiesig, z.T. kantige Steine und Blöcke an Basis, hellbraun (10YR 6/6), schwach humos, Subpolyedergefüge, sehr locker, mittel durchwurzelt
IIBt1	-72cm	schwach sandiger bis schwach toniger Lehm, mittel kiesig, dunkelbraun (10YR 4/3), Polyedergefüge, dicht, schwach durchwurzelt
Bt2	-115cm	schwach sandiger bis schwach toniger Lehm, mittel kiesig, dunkelbraun (10YR 4/3), Polyedergefüge, dicht, sehr schwach durchwurzelt
Bvt	-142cm	schwach sandiger Lehm, mittel kiesig, braun (10YR 4/4), Kohärentgefüge, dicht, sehr schwach durchwurzelt
Btv	-165cm	schwach sandiger Lehm, mittel kiesig, olivbraun (2.5YR 4/3), Kohärentgefüge, sehr schwach durchwurzelt
ICvn	>190cm	schwach sandiger Lehm, mittel kiesig, geröllführend (runde Steine), olivgrau (5Y 6/2), karbonatreich, Kohärentgefüge
Bodentyp:		stark podsolige Parabraunerde (p4LL)
Humusform:		feinhumusreicher Moder, stellenweise rohhumusartiger Moder
Ausgangsgestein:		Hauptlage über würmzeitlichem Geschiebemergel
Substrattyp:		kiesführender (Kryo-) Schluff über Moränenkieslehm. (p-(k)u/g-kl)

Tab.4: Physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenprofil Nr.4, Einschlag, podsolige Parabraunerde

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
		cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Oh	+4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Ahe	0-5	10	3,7	9,2	15,7	24,1	18,4	9,1	28,6	51,6	19,8
3	Bs-Al	-9	n.b.	4,0	9,3	16,7	25,3	16,5	10,3	30,0	52,1	17,9
4	Al	-35	18	4,5	10,6	17,7	25,2	15,0	9,2	32,8	49,4	18,6
5	IIBt1	-72	28	3,8	11,9	17,9	18,9	14,4	9,2	33,6	42,5	23,9
6	Bt2	-115	30	4,9	12,7	18,2	17,2	12,9	9,2	35,8	39,3	24,9
7	Bvt	-142	n.b.	4,6	13,3	15,6	20,7	13,7	8,8	32,7	43,2	23,2
8	Btv	-165	n.b.	3,8	15,9	20,1	20,1	13,1	7,6	39,8	40,8	19,4
9	ICvn	>190	n.b.	6,2	14,1	18,3	19,7	13,7	9,8	38,6	43,2	18,2

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Oh	0,16	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,77	2,72	1,61	0,57	0,03
2	Ahe	0,68	74,4	34,4	31,5	26,3	11,1	8,77	5,44	2,48	0,62	0,01
3	Bs-Al	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	8,40	3,84	4,25	0,46	0,01
4	Al	1,04	60,6	41,5	31,8	25,5	9,3	7,36	2,37	3,11	0,32	0,07
5	IIBt1	1,57	41,0	31,5	30,8	27,9	17,2	10,18	1,52	1,98	0,15	0,38
6	Bt2	1,64	37,9	32,9	29,0	27,0	18,0	10,22	1,58	1,58	0,15	0,47
7	Bvt	1,59	39,9	34,7	31,1	29,3	17,1	9,73	1,63	1,37	0,17	0,51
8	Btv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	8,54	1,50	0,93	0,18	0,52
9	ICvn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,73	0,42	0,40	0,11	0,10

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Oh	3,5	3,0	0,0	27,4	13,1	21	53	146
2	Ahe	3,5	3,0	0,0	10,5	4,4	24	13	30
3	Bs-Al	4,2	3,9	0,0	3,5	1,1	31	2	15
4	Al	4,4	4,2	0,0	1,3	0,6	21	0	12
5	IIBt1	4,6	4,1	0,0	0,2	0,4	5	0	43
6	Bt2	5,4	4,5	0,0	0,2	0,4	5	13	49
7	Bvt	5,8	5,1	0,0	0,2	0,4	5	25	50
8	Btv	6,4	6,1	0,0	n.b.	n.b.	-	45	39
9	ICvn	7,9	7,7	30,4	n.b.	n.b.	-	2	29

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Oh	700	167	25,0	40,0	83,0	7,7	0,5	<0,1	55*
2	Ahe	423	132	15,0	93,0	9,9	<0,1	<0,1	<0,1	8*
3	Bs-Al	201	53	0,8	49,0	0,8	<0,1	1,3	<0,1	4*
4	Al	108	28	0,4	26,0	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	1*
5	IIbt1	107	35	1,1	29,0	2,5	0,7	0,8	<0,1	11*
6	Bt2	123	49	0,6	4,9	29,0	14,0	0,2	<0,1	88*
7	Bvt	134	62	0,2	1,4	47,0	13,0	<0,1	<0,1	96*
8	Btv	120	61	0,0	<0,1	55,0	5,1	<0,1	<0,1	98*
9	ICvn	89	n.b.	0,0	<0,1	85,0	3,3	<0,1	<0,1	100

*Kationen aus KAK_{eff}-Bestimmung

Verbreitung und Vergesellschaftung

Das niederschlagsreiche Moränenhügelland in der südöstlichen Umrahmung des Schussenbeckens zeichnet sich durch tief entwickelte podsolige Parabraunerden (KÖSEL & WALDMANN 1995) aus. Vor allem an Unterhängen kann örtlich mäßige Pseudovergleyung auftreten. Unter landwirtschaftlicher Nutzung kommen schwach bis stark erodierte Parabraunerden vor, aber nur punktuell Pararendzinen. In den Tiefenbereichen treten je nach Grundwassereinfluß Kolluvisole, Gley-Kolluvisole und Kolluvisol-Gleye auf.

Substrat- und Bodengeneese

Das Ausgangsmaterial ist ein kalkreicher, kiesiger, sandig-lehmiger Geschiebemergel, der oberflächennah von einer 35 cm mächtigen, spätglazialen Solifluktionsdecke überwandert wurde. Diese besitzt einen deutlich geringeren Kiesgehalt - vermutlich wurde auch hier äolisches Material von dem Auftauboden aufgearbeitet, wodurch der Kiesanteil verdünnt wurde. Zum anderen zeichnet sich die periglaziale Deckschicht durch das Vorkommen von hangparallel eingeregelteten kantigen Steinen aus, die im glazigenen Liegendmaterial völlig fehlen und auf die Einwirkung der Frostsprengung im Zuge der Regelation hindeuten.

Die hohen Niederschläge haben zu einem tief entkalkten Bodenprofil geführt, wie es typisch für das südöstliche Jungmoränengebiet in Südwestdeutschland ist. Der Entkalkung nachfolgend wurde das Profil intensiv verbraunt, verlehmt und schließlich lessiviert. Besonders auffällig ist der ausgeprägte Dichteunterschied zwischen dem lockeren Al-Horizont in der Solifluktionsdecke und

den dichten Bt-Horizonten im glazialen Substrat, der primär geogen und nur untergeordnet pedogen (Lessivierung) bedingt sein dürfte. Ebenfalls typisch für das niederschlagsreiche Jungmoränengebiet ist eine deutlich erkennbare Podsoligkeit der Böden. Aufgrund der Ausbildung eines Ahe-Horizontes mit darunter folgendem Bs-Al als Anreicherungshorizont ist das Exkursionsprofil als stark podsolig zu kennzeichnen und übersteigt damit die übliche schwache bis mäßige Podsoligkeit der Parabraunerden. Unter Umständen spielt hier der deutliche Lärchenanteil im Baumbestand eine Rolle, der einen hohen jährlichen Anfall von schwer zersetzbarer Streu liefert.

Bodenbewertung

Der Standort ist geprägt durch einen insgesamt schlechten ökochemischen Zustand. Eine deutlich gehemmte Streuzersetzung hat zur Akkumulation beträchtlicher Mengen von schlechteren Moderhumusformen geführt. Das Profil ist bis in den Unterboden (Bt1) sehr stark versauert (Basensättigung I - 11%). Der hohe Al-Anteil an den Austauschern weist auf eine mögliche antagonistische Hemmung bei der Aufnahme von Nährkationen hin. Bezogen auf den effektiven Wurzelraum (We ca. 10 dm) sind die verfügbaren Nährstoffmengen bei K als relativ hoch (ca. 400 kg/ha) und bei P eher als gering (ca. 40 kg/ha) einzuschätzen. Die tieferen Unterbodenhorizonte (Bvt u. Btv) mit beachtlichen Nährstoffmengen liegen im wesentlichen bereits unterhalb von We und können daher kaum zur Nährstoffversorgung beitragen.

Der mit einem nicht ungünstigen Wasserhaushalt (trotz hoher Niederschläge nicht staunaß, hohe nFK) ausgestattete Standort erfährt durch die starke Versauerung eine deutliche Einschränkung und besitzt nur mäßige Wuchsleistung.

4.6 Exkursionspunkt 6

Bodenprofil 5: Tettnanger Wald I, podsolige Parabraunerde auf würemzeitlichem Kies

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 3,5 km südlich von Tettnang (Stadtmitte), Top. Karte 8323 Tettnang (R: 35 44 170, H: 52 78 000), Höhe: 445 m ü.NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 1132 mm (Station Tettnang 1965-1987), Wärmestufe nach ELLENBERG (1955): mäßig warm, 8,0 - 8,5 °C
Relief:	ebener Scheitelbereich (0%)
Ökolog. Feuchtegrad:	frisch
Nutzung:	Mischwald (Rotbuche, Fichte, Kiefer); ca. 70-80 jährig

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Oh	0,19	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,47	2,57	1,25	0,47	0,24
2	Aeh	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9,55	5,15	2,40	0,54	0,08
3	Al	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9,94	2,55	3,90	0,26	0,52
4	IIBt	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	11,95	1,24	2,50	0,10	0,26
5	Btv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	8,04	0,75	1,18	0,09	0,34
6	Bv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,03	0,91	0,78	0,15	0,36
7	Cc+ICvn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Oh	3,7	3,4	0,0	28,1	15,1	19	108	160
2	Aeh	4,0	3,3	0,0	8,7	4,2	21	20	64
3	Al	4,4	4,1	0,0	1,4	0,9	n.b.	5	14
4	IIBt	4,4	4,1	0,0	0,2	0,4	n.b.	5	23
5	Btv	4,7	4,2	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	5	11
6	Bv	5,0	4,5	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	10	9
7	Cc+ICvn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol/kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Oh	697	172	9,7	20,0	110,0	8,6	<0,1	<0,1	69*
2	Aeh	422	110	4,9	74,0	22,0	2,7	0,7	<0,1	24*
3	Al	131	35	0,3	30,0	1,3	<0,1	0,2	<0,1	4*
4	IIBt	84	31	0,3	28,0	1,6	<0,1	0,3	<0,1	6*
5	Btv	53	20	0,3	14,0	3,6	<0,1	<0,1	<0,1	19*
6	Bv	44	16	0,2	6,3	5,8	1,6	<0,1	<0,1	49*
7	Cc+ICvn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

*Kationen aus KAK_{eff}-Bestimmung

Verbreitung und Vergesellschaftung

Auf den grundwasserfernen Kiesterrassen im niederschlagsreichen, südöstlichen Schussenbecken ist die tief entwickelte podsolige Parabraunerde der weitaus vorherrschende Bodentyp (KÖSEL & ROTHENHÄUSLER 1992). In örtlich nicht seltenen Toteishohlformen treten podsolige Braunerden

aus sandigen Füllungen auf. Wegen des hohen Sonderkulturanteils überwiegen unter landwirtschaftlicher Nutzung Rigosol-Parabraunerden.

Substrat- und Bodengenese

Die Deltakiese der Argenterrassen wurden zur Zeit des Konstanzer Stadiums (ca. 15 000 BP) durch eisrandparallele Schmelzwässer von Osten über das Argental dem Schussenbecken zugeführt und dort in einen Eisstausee geschüttet, der sich zwischen dem Eisrand im Süden und der höheren Umrahmung des Schussenbeckens gebildet hatte.

Geologisch stellen die obersten 30 cm des Profils eine eigenständige Schicht dar. Relativ hohe Schluffgehalte und ein deutlich geringerer Kiesgehalt zeigen, daß unter periglazialen Bedingungen äolisches Material in einen Auftauboden eingeweht wurde und den Grobbodenanteil verdünnt hat. Infolge der hohen Jahresniederschläge von rund 1100 mm ist der Boden mit 13 dm tief entkalkt. Zum Vergleich: auf würmzeitlichen Kiesen im nördlichen Oberschwaben mit ca. 800 mm Niederschlag beträgt die durchschnittliche Entkalkungstiefe ca. 8 dm. Durch die der Entkalkung folgenden Prozesse der Verbraunung, Verlehmung und schließlich Tonverlagerung hat sich eine Parabraunerde mit deutlich ausgebildetem Bt-Horizont entwickelt. Für die Zweischicht-Parabraunerden auf Kies ist im niederschlagsreichen südöstlichen Oberschwaben charakteristisch, daß der Al-Horizont in der periglazialen Deckschicht einen höheren Tongehalt besitzt als der eigentliche Tonanreicherungs-horizont im Kies (IIBt). Der parabraunerdetypische "Tonbauch" im Bt ist somit nicht vorhanden. Die Parabraunerde ist schwach podsolig (Aeh), stellenweise ist an der Profilwand jedoch bereits eine stärkere Podsoligkeit (Ahe-BsAl) erkennbar.

Bodenbewertung

Obwohl die Parabraunerde tiefgründig ausgebildet ist, besitzt sie wegen des hohen Skelettgehalts nur mittlere nFK, die sich aber aufgrund der stark positiven klimatischen Wasserbilanz allenfalls sehr selten nachteilig auswirken dürfte. Das insgesamt relativ locker gelagerte Solummaterial bedingt eine hohe vertikale Wasserdurchlässigkeit, eine hohe Luftkapazität (trotz ebener Lage und hoher Niederschläge keine Staunässe!) und eine recht gute Durchwurzelung bis in die kiesigen Unterbodenhorizonte. Das Profil ist zwar tiefgründig versauert, besitzt aber ein relativ gutes Nährstoffangebot (P ca. 130 kg/ha, K ca. 160 kg/ha), welches aufgrund der tief reichenden Durchwurzelung auch weitgehend verfügbar ist. Zusammenfassend ergibt der Boden trotz erkennbarer Podsoligkeit einen mittleren bis guten Waldstandort.

Bodenprofil 6: Tettninger Wald II, Pararendzina aus Rekultivierungsmaterial

Standortsbeschreibung

Klima: Mittl. Jahresniederschlag: 1132 mm (Station Tettning 1965-1987),
Wärmestufe nach ELLENBERG (1955): mäßig warm, 8,0 - 8,5 °C

Relief: gestreckter Hang (27% W)

Nutzung: Aufforstung (Rotbuche); 15-20 jährig

Profilbeschreibung

L		Laubstreu
Of	0,5-0cm	Blattfragmente, teilweise verklebt
Ah	0-11cm	stark lehmiger Sand, mittel kiesig, dunkelgraubraun (10YR 4/3), mittel humos, Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt, karbonatarm
jCv1	-30cm	stark lehmiger Sand, stark kiesig, gräulichbraun (10YR 4/3), schwach humos, Kohärent- bis Polyedergefüge, dicht, schwach durchwurzelt, karbonatarm
jCv2	-60cm	stark lehmiger Sand, stark kiesig, gräulichbraun (10YR 4/3), schwach humos, Kohärent- bis Polyedergefüge, dicht, sehr schwach durchwurzelt, karbonatarm
jCv3	-90cm	stark lehmiger Sand, stark kiesig, gräulichbraun (10YR 4/3), schwach humos, Kohärent- bis Polyedergefüge, dicht, sehr schwach durchwurzelt, karbonatarm
jCv4	>115cm	stark lehmiger Sand, stark kiesig, gräulichbraun (10YR 4/3), schwach humos, Kohärent- bis Polyedergefüge, dicht, karbonatarm

Bodentyp: Pararendzina (RZ)

Humusform: F-Mull

Ausgangsgestein: Rekultivierungsmaterial

Substrattyp: Anthrokieslehm (o-kl)

Tab. 6: Physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenprofil Nr. 6, Tettninger Wald II, Pararendzina

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
				cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Ah	0-11	30*	12,7	20,7	16,2	18,0	9,5	6,9	49,6	34,4	16,0
2	jCv1	-30	50*	12,8	23,7	15,9	17,5	9,1	7,4	52,4	34,0	13,6
3	jCv2	-60	50*	16,9	22,0	14,7	17,2	8,3	6,4	53,6	31,9	14,5
4	jCv3	-90	50*	13,0	22,3	18,4	15,6	9,7	7,5	53,7	32,8	13,5
5	jCv4	>115	50*	14,6	21,0	16,9	17,4	9,3	7,4	52,5	34,1	13,4

*Schätzwert (Vol.%)

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10,97	2,17	2,36	0,20	0,65
2	jCv1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	11,24	2,19	2,40	0,19	0,67
3	jCv2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10,98	2,16	2,22	0,20	0,65
4	jCv3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10,68	2,32	2,11	0,22	0,69
5	jCv4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10,38	2,47	2,27	0,24	0,69

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	7,4	7,1	1,3	2,5	1,6	15	35	86
2	jCv1	7,7	7,4	2,4	0,8	0,5	16	20	47
3	jCv2	7,8	7,5	2,9	n.b.	n.b.	n.b.	19	22
4	jCv3	7,8	7,5	2,9	n.b.	n.b.	n.b.	19	20
5	jCv4	7,8	7,5	2,9	n.b.	n.b.	n.b.	19	20

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	189	131	0,0	<0,1	118,0	9,9	1,4	<0,1	99*
2	jCv1	105	110	0,0	<0,1	107,0	1,8	0,6	<0,1	100*
3	jCv2	107	115	0,0	<0,1	114,0	1,2	0,1	<0,1	100*
4	jCv3	105	115	0,0	<0,1	114,0	0,6	<0,1	<0,1	100*
5	jCv4	100	110	0,0	<0,1	110,0	<0,1	1,7	<0,1	100*

*Kationen aus KAK_{eff}-Bestimmung

Verbreitung

Rekultivierte Bereiche in den Kiesgruben des Tettmanger Walds

Substrat- und Bodengenese

Das Rekultivierungsmaterial ist weitgehend homogen und besteht vorwiegend aus Bt-Material der ursprünglich vorkommenden Parabraunerde. Im Zuge der Deponierung und des nachfolgenden Auftrags wurde das Bt-Material etwas verunreinigt. Es erhielt dadurch einen geringen Carbonatgehalt und ist durchweg fleckig schwach humos. Im Gegensatz zur locker gelagerten natürlichen Parabraunerde ist das aufgetragene Rekultivierungsmaterial sehr dicht gelagert. Auf dem vor ca. 12 - 15 Jahren bepflanzen Standort hat sich seither ein relativ gut ausgebildeter Ah-

Horizont entwickelt. Für die pedogene Veränderung der tiefer liegenden Horizonte reichte die bisher zur Verfügung stehende Zeit nicht aus.

Bodenbewertung

Das stark verdichtete Rekultivierungsmaterial mit seinem hohen Kiesgehalt schränkt die Durchwurzelbarkeit sehr stark ein. Die nFK ist allenfalls gering (max. 60 mm) und hat sich gegenüber der natürlichen Parabraunerde mindestens halbiert. Wegen der hängigen Lage ist Staunässe kein Problem. Für die zukünftige Entwicklung des Standorts ist entscheidend, in welchem Maße es den Baumwurzeln mit zunehmender Zeit gelingt, das stark verdichtete Substrat zu lockern, den ungünstigen Wasser- und Lufthaushalt zu verbessern und die vorhandenen Nährstoffvorräte durch eine bessere Durchwurzelung zu erschließen.

Kiesabbau und Rekultivierung aus der Sicht des Bodenschutzes

Kies und Sand sind die wichtigsten Rohstoffe Oberschwabens. Die Großräume Reutlingen/Tübingen und Stuttgart werden hauptsächlich aus Oberschwaben mit diesen wichtigen Baustoffen versorgt. In den Landkreisen Friedrichshafen, Ravensburg und Sigmaringen werden derzeit jährlich ca. 10 Mio. t abgebaut. Das derzeit genehmigte Abbauvolumen von 46,5 Mio. t reicht somit noch 4 - 5 Jahre. Die Kiesunternehmer haben daher einen weiteren Bedarf von 917 ha Abbaufäche angemeldet. Die bedeutendsten Kiesvorkommen in der Region werden im neuen Regionalplan als Vorranggebiete zur Rohstoffgewinnung ausgewiesen. Ein spezieller Teilregionalplan, der auch mit dem benachbarten Ausland abgestimmt ist, berücksichtigt die Rohstoffsicherung in der Region.

Kiesabbau bedeutet die vollständige Zerstörung des natürlichen Bodenaufbaus und Veränderungen der Landschaft. Zwar wird versucht den Verlust an Bodenfruchtbarkeit durch Rekultivierung zu minimieren, jedoch wird dieses Ziel häufig nicht im ausreichenden Maße erreicht. Bleibende Schäden sind häufig starke Bodenverdichtungen im Bereich der Abbausohle, Verdichtungen des aufgetragenen Rekultivierungsmaterials und z. T. ungeeignetes (belastetes) Rekultivierungsmaterial. Durch Auflagen in den Abbaugenehmigungen und unangemeldete Kontrollen soll zumindest die Auffüllung mit belastetem Bodenmaterial verhindert werden.

Eine Vollverfüllung der Abbaugruben ist in der Regel wegen fehlendem Bodenmaterial nicht möglich. Aus diesem Grund verbleiben nach dem Abbau geschlossene Hohlformen, in die die Kaltluft der Umgebung einströmt. Folge davon sind Kaltluftseen die gerade bei forstlicher Folgenutzung häufig zu Schwierigkeiten beim Anwachsen von Setzlingen und zu Wachstumsdepressionen führen.

4.7 Exkursionspunkt 7

Bodenprofil 7: Bürgermoos I, podsoliger Braunerde-Gley aus sandigem Beckensediment

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 2,5 km südwestlich von Tett nang (Stadtmitte), Top. Karte 8323 Tett nang (R: 35 42 240, H: 52 80 510), Höhe: 413,5 m ü.NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 1132 mm (Station Tett nang 1965-1987), Wärmestufe nach ELLENBERG (1955): mäßig warm, 8,0 - 8,5 °C
Relief:	schwach geneigter Kulminationsbereich (6% SW)
Ökolog. Feuchtegrad:	frisch bis mäßig feucht, wechselnd
Nutzung:	Laubwald (Rotbuche, Esche)

Profilbeschreibung

L		Laubstreu
Of	3,8-2,5cm	Blattfragmente, z.T skelettiert, verklebt, wenig Feinhumus
Oh	2,5-0cm	schwarzer Feinhumus (7.5YR 1.7/1), stark durchwurzelt
Aeh	0-8cm	stark lehmiger Sand, violettstichig-dunkelbraungrau (7.5YR 3/2), stark humos, Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt
Ah-Bv	-18cm	stark lehmiger Sand, gelbbraun (2.5Y 5/4), mittel humos, Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt
Go	-39cm	schwach toniger Sand, braungelb (2.5Y 6/4), viele Rostflecken (7.5YR 5/8), Kohärentgefüge, schwach durchwurzelt
Gro	-62cm	Sand, olivgrau (5Y 6/3), wenige Rostflecken (7.5YR 5/6) Kohärentgefüge, schwach durchwurzelt
Grco	-83cm	schluffiger Lehm, olivgrau (5Y 6/2), wenige Rostflecken (10YR 5/8), Sekundärkarbonat in Wurzelröhren, Kohärentgefüge, sehr karbonatreich, schwach durchwurzelt
Gor	-128cm	mittel schluffiger Sand, olivstichig grau (2.5GY 6/1), einzelne Rostflecken (10YR 6/6), Kohärentgefüge, karbonathaltig, naß
Gr	>140cm	mittel schluffiger Sand, olivstichig grau (2.5GY 6/1), karbonathaltig, stark naß
Bodentyp:		schwach podsoliger Braunerde-Gley (p2BB-GG)
Humusform:		feinhumusreicher Moder
Ausgangsgestein:		sandige Beckensedimente der Würmeiszeit
Substrattyp:		Beckensand (fgl-s)

Tab. 7: Physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenprofil Nr. 7, Bürgermoos I, podsoliger Braunerde-Gley

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
		cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Oh	+2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Aeh	0-8	0	0,9	24,5	35,1	11,6	7,9	5,2	60,5	24,7	14,8
3	Ah-Bv	-18	0	0,9	26,4	37,8	11,8	6,8	4,2	65,1	22,8	12,1
4	Go	-39	0	0,7	40,0	45,0	5,1	2,7	0,8	85,7	8,6	5,7
5	Gro	-62	0	1,3	48,6	38,7	4,6	1,7	0,7	88,6	7,0	4,4
6	Grco	-83	0	0,2	1,3	2,4	21,6	30,4	17,0	3,9	69,0	27,1
7	Gor	-128	0	0,2	1,0	65,0	23,6	2,8	2,4	66,2	28,8	5,0
8	Gr	>140	0	0,3	1,0	65,7	24,2	3,0	0,8	67,0	28,0	5,0

Nr.	Horizont	Dichte	Poren-	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	vol.	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Oh	0,13	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,04	3,27	1,55	0,65	0,02
2	Aeh	0,84	68,4	50,2	39,2	29,3	13,7	9,42	5,50	2,25	0,58	0,00
3	Ah-Bv	1,03	61,3	47,3	35,0	27,5	14,0	7,88	3,40	2,50	0,43	0,00
4	Go	1,57	40,9	33,0	27,2	22,0	11,1	4,18	1,22	0,87	0,29	0,01
5	Gro	1,39	47,4	39,3	18,5	11,3	3,0	2,35	0,36	0,40	0,15	0,03
6	Grco	1,71	35,5	38,2	36,8	35,2	22,4	4,92	0,55	0,15	0,11	0,21
7	Gor	1,57	40,6	41,8	40,0	10,6	2,9	0,83	0,14	0,00	0,17	0,02
8	Gr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,01	0,22	0,00	0,22	0,01

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Oh	3,6	3,2	0,0	28,0	16,9	17	55	14
2	Aeh	3,9	3,3	0,0	5,1	3,3	15	8	24
3	Ah-Bv	4,5	4,1	0,0	1,5	0,8	19	2	9
4	Go	4,8	4,2	0,0	0,2	0,2	9	11	6
5	Gro	5,2	4,3	0,0	n.b.	n.b.	-	25	9
6	Grco	8,2	7,5	34,6	n.b.	n.b.	-	2	83
7	Gor	8,2	7,5	3,0	n.b.	n.b.	-	5	25
8	Gr	8,2	7,5	3,0	n.b.	n.b.	-	6	24

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Oh	690	165	12,0	41,0	89,0	11,0	0,2	<0,1	61*
2	Aeh	316	75	2,3	61,0	4,8	0,2	0,2	<0,1	7*
3	Ah-Bv	137	30	0,5	28,0	0,7	<0,1	<0,1	<0,1	2*
4	Go	44	13	0,2	12,0	0,7	<0,1	<0,1	<0,1	5*
5	Gro	33	13	0,2	8,0	4,2	<0,1	<0,1	<0,1	33*
6	Grco	164	n.b.	0,0	<0,1	140,0	22,0	1,6	0,2	100
7	Gör	49	n.b.	0,0	<0,1	43,0	5,6	<0,1	<0,1	100
8	Gr	48	n.b.	0,0	<0,1	43,0	5,1	<0,1	<0,1	100

*Kationen aus KAK_{eff}-Bestimmung

Bodenprofil 8: Bürgermoos II, Gley aus schluffig-sandigem Beckensediment

Standortsbeschreibung

- Lage: ca. 2,5 km südwestlich von Tettngang (Stadtmitte), Top. Karte 8323 Tettngang (R: 35 42 230, H: 52 80 510), Höhe: 413 m ü.NN
- Klima: Mittl. Jahresniederschlag: 1132 mm (Station Tettngang),
Wärmestufe nach ELLENBERG (1955):
mäßig warm, 8,0 - 8,5°C
- Relief: ebener Tiefenbereich (0%)
- Ökolog. Feuchtegrad: mäßig feucht , stark wechselnd
- Nutzung: Laubwald (Esche, Schwarzerle, Stieleiche), ca. 30jährig

Profilbeschreibung

- Axh 0-14cm sandiger Lehm, bräunlich schwarz (10YR 3/1), stark humos, Krümelgefüge, stark durchwurzelt
- Go-Ah -26cm sandiger Lehm, bräunlich schwarz, (10YR 3/1), einzelne Rostflecken, stark humos, Subpolyederggefüge, mittel durchwurzelt
- Go -37cm schwach sandiger Lehm, olivgrau (5Y 6/2), viele Rostflecken (7.5YR 5/8), karbonathaltig, Kohärentgefüge, stark durchwurzelt
- Gro -46cm sandig-lehmiger Schluff, grau (7.5Y 6/1), Rostflecken (10YR 5/8), karbonatreich, Kohärentgefüge, schwach durchwurzelt
- Gor -109cm schwach schluffiger Sand, grau (10Y 6/1), einzelne Rostflecken (10YR 5/6), karbonatreich, Kohärentgefüge, sehr schwach durchwurzelt, naß
- Gr 130cm schwach schluffiger Sand, grau (10Y 5/1), karbonatreich, naß

Bodentyp: Gley (GG)
 Humusform: A-Mull
 Ausgangsgestein: schluffig-sandige Beckensedimente der Würmeiszeit
 Substrattyp: Fluvilehm über Fluvisand (fgl-l/fgl-s)

Tab. 8: Physikalische und chemische Eigenschaften von Bodenprofil Nr. 8, Bürgermoos II, Gley

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
		cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Axh	0-14	0	1,6	8,6	38,7	17,6	9,5	5,4	48,9	32,5	18,6
2	Go-Ah	-26	0	1,5	9,5	39,3	16,8	9,6	5,7	50,3	32,1	17,6
3	Go	-37	0	0,6	3,2	28,3	21,5	16,8	8,8	32,1	47,1	20,8
4	Gro	-46	0	0,3	5,1	34,5	31,2	13,3	5,6	39,9	50,1	10,0
5	Gor	-109	0	0,2	7,4	73,0	11,3	2,7	2,2	80,6	16,2	3,2
6	Gr	>130	0	0,3	3,6	79,0	12,1	1,8	0,8	82,9	14,7	2,4

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Axh	0,80	69,6	56,1	48,5	41,3	19,6	12,00	4,07	1,38	0,34	0,34
2	Go-Ah	0,98	63,0	52,9	45,9	37,9	16,3	10,54	3,57	1,05	0,34	0,61
3	Go	1,53	42,3	41,1	38,0	34,9	18,8	13,20	2,66	0,54	0,20	1,00
4	Gro	1,50	43,4	40,1	38,2	11,8	2,5	3,48	0,54	0,20	0,16	0,09
5	Gor	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,98	0,20	0,06	0,20	0,02
6	Gr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,70	0,15	0,03	0,21	0,01

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Axh	6,3	6,1	0,0	5,1	4,4	11	10	35
2	Go-Ah	6,9	6,6	0,0	3,4	3,0	11	7	25
3	Go	7,8	7,5	3,3	n.b.	n.b.	-	16	66
4	Gro	8,1	7,6	26,7	n.b.	n.b.	-	3	40
5	Gor	8,2	7,6	24,2	n.b.	n.b.	-	4	18
6	Gr	8,2	7,6	29,2	n.b.	n.b.	-	5	18

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c / kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Axh	338	146	0,0	<0,1	125,0	19,0	0,3	<0,1	100*
2	Go-Ah	311	153	0,0	<0,1	133,0	19,0	0,1	<0,1	100*
3	Go	208	203	0,0	<0,1	184,0	18,0	0,5	<0,1	100*
4	Gro	108	n.b.	0,0	<0,1	96,0	9,9	0,2	1,4	100
5	Gor	48	n.b.	0,0	<0,1	43,0	4,6	<0,1	0,6	100
6	Gr	36	n.b.	0,0	<0,1	30,0	4,3	<0,1	1,5	100

*Kationen aus KAK_{eff}-Bestimmung

Verbreitung und Vergesellschaftung

Der grundwassererfüllte, weitgespannte Senkenbereich im südlichen Schussenbecken weist häufig einen durch das Mikorelief bedingten typischen Bodenwechsel auf. Auf Vollformen (sehr flache Hügel und Wellen) treten verbreitet podsolige Braunerde-Gleye auf, während in den Tiefenbereichen typische Gleye ausgebildet sind. Unter landwirtschaftlicher Nutzung wurde das Mikorelief meist ausgeglichen. Infolge des häufigen Hopfenanbaus sind hier rigolte Gleye verbreitet.

Substrat- und Bodengenese

Das Ausgangsmaterial sind schluffig-sandige Beckensedimente der Würmeiszeit. Die Bodenausbildung wird entscheidend durch die jährlich vorherrschenden Bodenwasserverhältnisse geprägt. In den Tiefenbereichen mit hohem mittleren Grundwasserstand (Bodenprofil 8, Gley: Grundwasserstand Juni 1996 8 dm u. Fl., Januar 1997 1,5 dm u. Fl.) reicht der jährliche Grundwasserschwankungsbereich bis an die Bodenoberfläche. Selbst im Sommer findet die meiste Zeit erheblicher kapillarer Aufstieg von der Grundwasseroberfläche bis in die Ah-Horizonte statt, wodurch eine Entbasung und stärkere Versauerung unterbunden werden. Die im Sommer günstigen Feuchteverhältnisse und der gute ökochemische Zustand bedingen einen bodenbiologisch aktiven Standort mit rascher Streuzersetzung und hoher Mineralisierungsrate.

Im Bereich der flachen Kuppen und Wellen ändern sich die Bodenwasserverhältnisse mit zunehmendem Grundwasserabstand. Nur zur Zeit des winterlichen Grundwasserhochstandes findet in Profil 7 (Braunerde-Gley: Grundwasserstand Juni 1996 13 dm u. Fl., Januar 1997 6 dm u. Fl.) nennenswerter kapillarer Aufstieg bis in den Oberboden statt. Auf das Jahr bezogen überwiegen im Oberboden Sickerwasserverhältnisse. Unter diesen Bedingungen hat sich im obersten Solumbereich

eine flach entwickelte podsolige Braunerde mit mächtigerem Moderhumus gebildet. Am Exkursionspunkt ist gut zu beobachten, wie sich die reliefbedingt kleinräumig ändernden Bodenwasserverhältnisse auf das Bodenprofil und die Ausbildung der Humusformen auswirkt.

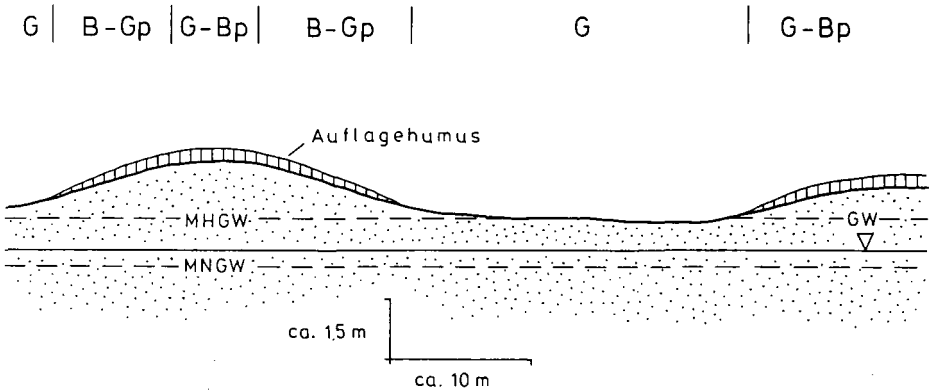


Abb. 3 Schema zum reliefbedingten Bodenwechsel im südlichen Schussenbecken

Bodenbewertung

Bei insgesamt mäßig gutem bis gutem Nährstoffangebot werden die Standortseigenschaften der Exkursionsprofile im wesentlichen durch den Wasser- bzw. Lufthaushalt bestimmt. Aufgrund des größeren Grundwasserabstands erlaubt der Braunerde-Gley ein breiteres Anbauspektrum. Deutliche Einschränkungen ergeben sich jedoch für Baumarten die empfindlich auf zeitweise hoch stehendes Grundwasser reagieren (v. a. Buche, Fichte) und dann erhöhte Windwurfgefährdung aufweisen.

5 Literatur

- ELLENBERG, H. (1955): Wuchsklimate von Südwestdeutschland 1: 200 000; Stuttgart.
- JORDI, U. (1986): Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch.- Geogr.Bernensia, G27: 168 S., 2 Abb., 21 Fig. 21 Tab., 29 Kt.; Bern.
- KRAYSS, E. & KELLER, O. (1989): Die eiszeitliche Reliefentwicklung im Bodenseeraum.- Vermess., Photogramm., Kulturtech., 89(1): 8-12, 5 Abb.; Zürich.
- KÖSEL, M. (1996): Der Einfluß von Relief und periglazialen Deckschichten auf die Bodenausbildung im mittleren Rheingletschergebiet von Oberschwaben.- Tüb. Geowiss. Arb., D1: 147 S., 52 Abb., 3 Tab.; Tübingen.
- KÖSEL, M. & ROTHENHÄUSLER (1992): Karte und Tabellarische Erläuterung. Blatt 8323 Tettngang - Bodenkarte Baden-Württ. 1 : 25000: 41 S., 1 Tab., 1 Kt., Freiburg/Breisgau.
- KÖSEL, M. & WALDMANN, F. (1995): Karte und Tabellarische Erläuterung. Baden-Württembergischer Teil der Blätter CC 7926 Augsburg, CC 8718 Konstanz, CC 8726 Kempten - Bodenübersichtskarte Baden-Württ. 1 : 200000 : 59 S., 1 Tab., 1 Kt. Freiburg/Breisgau.
- WEIß, M. & KÖSEL, M. (1997): Karte und Tabellarische Erläuterung. Blatt 8123 Weingarten - Bodenkarte Baden-Württ. 1 : 25000 (im Druck).

Exkursion

D 8

Landkreis Lörrach

W. Fleck¹, M. Thater² und F. Zwölfer¹

mit Beiträgen von:

H. Bächle (Stadt Rheinfelden), M. Boll (GLA Freiburg), A. Keller (ETH Zürich),
M. Lehle (LfU Karlsruhe), H. Lenz (NLFB Bremen) und J. Schneider (Univ. Hohenheim)

Böden und Bodenschutz im Verdichtungsraum Basel - Lörrach - Rheinfelden

Exkursionsleitung: W. Fleck, M. Thater und F. Zwölfer

Inhalt	Seite
1. Einführung	384
2. Exkursionsroute	384
3. Beschreibung des Exkursionsgebietes	386
4. Naturnahe Böden des Markgräfler Hügellandes und der Oberrheinebene. Bewertung der Schutzwürdigkeit von Böden für den vorsorgenden Bodenschutz	349
5. Urbane Böden in Rheinfelden (Baden) Bodenbelastungen und fallbezogene Stadtbodenkartierung	404
6. Literatur	420

¹ Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Abt. Bodenkunde, Postfach, 79095 Freiburg

² Landratsamt Lörrach, Amt für Wasserrecht und Bodenschutz, Postfach 1860, 79537 Lörrach

1. Einführung

Die Exkursion widmet sich Fragestellungen des vorsorgenden und des kurativen (sanierenden) Bodenschutzes in einem Ballungsraum. Am Vormittag soll anhand der Bodenkarte 1:25.000 des Blattes Lörrach und ausgewählter Bodenprofile der Oberrheinebene und des Markgräfler Hügellandes insbesondere die Schutzwürdigkeit verschiedener naturnaher Böden im Hinblick auf den Flächenverbrauch durch Siedlung und Verkehr zur Diskussion gestellt werden. Dabei sollen die Möglichkeiten und Grenzen einer praxisorientierten ökologischen Bewertung von Böden und deren Umsetzung in Planungen und Gestattungsverfahren angesprochen werden. Am Nachmittag werden in Rheinfelden (Baden) die Erkundung, Bewertung und Sanierung von spezifischen Bodenbelastungen unter besonderer Berücksichtigung der hier angewandten Belastungsfall-orientierten Stadtbodenkartierung dargestellt.

Neben den fachlich-wissenschaftlichen Methoden und Erkenntnissen sind für eine praktische Umsetzung des Bodenschutzes auch immer rechtlich-verwaltungstechnische Gegebenheiten von Bedeutung, die hier vor dem Hintergrund des Bodenschutzgesetzes von Baden-Württemberg (BodSchG 1991) und dessen untergesetzlichem Regelwerk zu betrachten sind.

2. Exkursionsroute

Die Fahrtstrecke führt von Konstanz aus über den Schweizer Grenzzort Kreuzlingen auf der Autobahn über Frauenfeld und Winterthur durch die Moränenlandschaft des Kantons Thurgau nach Zürich. Die größte Stadt der Schweiz wird nördlich umfahren und der durch intensive Industrieansiedlung geprägten Limmataue folgend wird die Stadt Baden und das den nördlichen Teil des Schweizer Mittellandes entwässernde Aaretal erreicht. Durch einen neuen Autobahntunnel wird ein Teil des Schweizer Jura unterquert um dann im sanften Gefälle entlang dem Tal der Sissle das dicht besiedelte Tal des Hochrheins bei Stein/Bad Säkingen zu erreichen. Dem hier etwa 3 km breiten Hochrheintal folgend, werden die Sole-Kurstadt Rheinfelden (CH) mit ihrer weithin sichtbaren "Feldschlösschen"-Brauerei und die von den Römern gegründete Siedlung Kaiseraugst passiert. Hier beginnen die industriellen Ansiedlungen der chemischen Industrie (Ciba, Hoffmann-La Roche, Novartis, Sandoz, etc.) im Großraum Basel. Auf der Autobahn wird die Stadt Basel durchquert und am Grenzübergang Weil am Rhein der Exkursionsraum erreicht.

Der erste Exkursionspunkt liegt auf der Anhöhe des Tüllinger Berges oberhalb von Haltingen bei Weil am Rhein. Von hier bietet sich - bei klarer Sicht - ein guter Überblick auf das Exkursionsgebiet des Vormittags (Markgräfler Hügelland und Oberrheinebene). Über die Bundesstraße 3 in Richtung Kandern wird im Markgräfler Tertiärhügelland nordöstlich von Wintersweiler das erste Exkursionsprofil erreicht. Die Weiterfahrt geht zurück in die Rheinebene, wo auf der Niederterrasse westlich von Fischingen und in der Rheinaue südlich von Efringen-Kirchen die Exkursionsprofile 2 und 3 vorgestellt werden (Fahrtroute siehe Abb. 1).

Nach dem Mittagessen wird das Markgräflerland in Richtung Osten verlassen, das vom Feldberg i. Schw. kommende Wiesental bei Lörrach überquert und die Muschelkalk-Bruchscholle des Dinkelberges durchfahren, um das Hochrheintal bei der Stadt Rheinfelden (Baden) nun von Nordwesten her zu erreichen. In Rheinfelden wird zunächst ein Überblick über die Stadt und die Belastungssituation gegeben, um dann anhand der drei im Innenstadtbereich gelegenen Exkursionspro-

file 4 bis 6 die Methodik und die Ergebnisse der Stadtbodenkartierung Rheinfelden zu diskutieren.

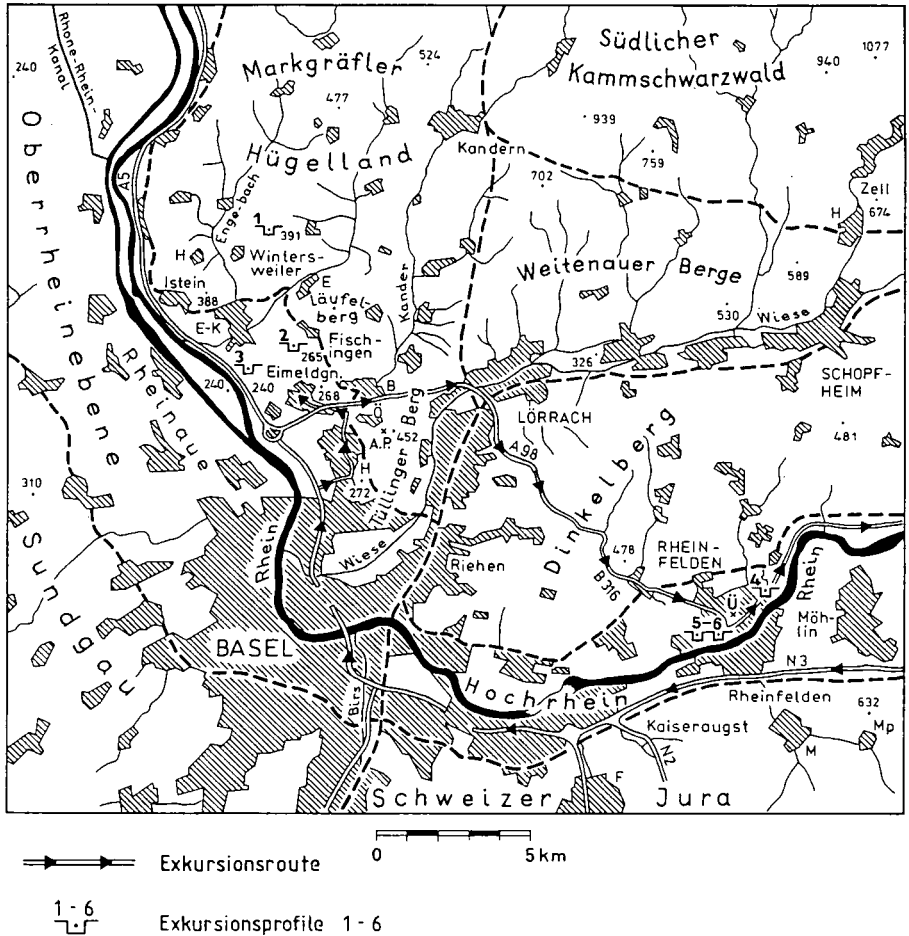


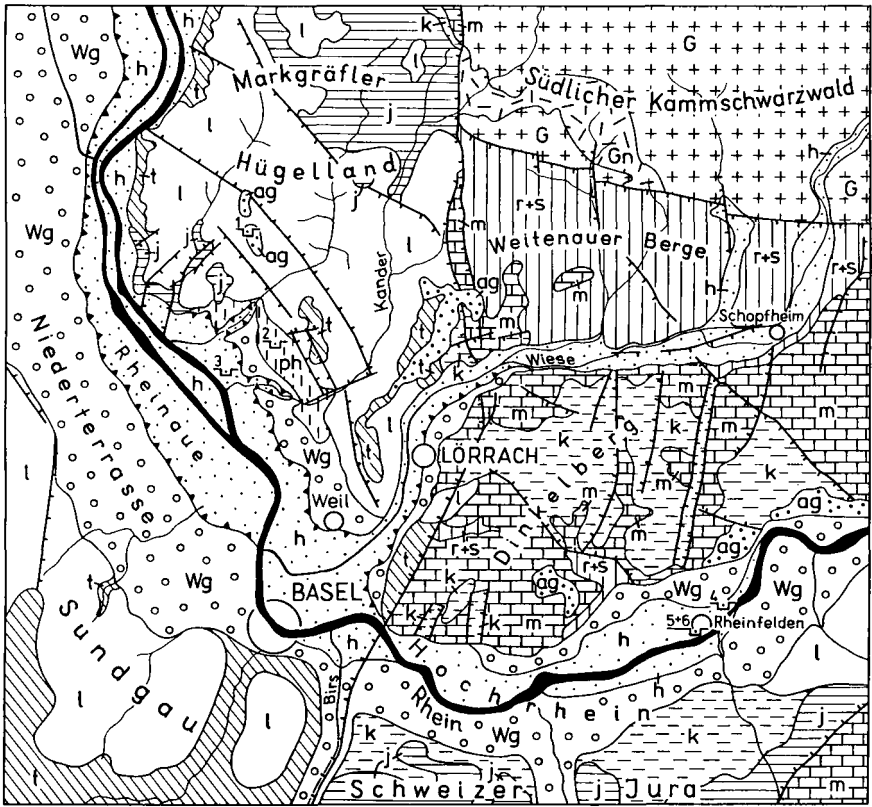
Abb. 1: Fahrtroute und Lage der Bodenprofile im Exkursionsgebiet

Die Rückfahrt erfolgt auf deutscher Seite das Hochrheintal hinauf über Bad Säckingen und Launenburg nach Waldshut-Tiengen. Hier wird dem Tal der Wutach über Stühlingen gefolgt und bei Blumberg der Randen, das Bindeglied zwischen Schwäbischem und Schweizer Jura überquert. Über Tengen, vorbei am Hegau mit tertiären Basaltkegeln, erreichen wir das glazial geprägte Singener Becken. Die Weiterfahrt führt über Radolfzell entlang dem Bodensee (Zellersee) zurück zum Ausgangspunkt Konstanz.

3. Beschreibung des Exkursionsgebietes

Die **naturräumliche Gliederung** des Exkursionsgebietes ist eng an die **geologisch-tektonische** Situation gebunden. Die Heraushebung des Schwarzwalds und das Einsinken des Oberrheingrabens vollzog sich im Tertiär entlang N-S- und NW-SE-verlaufender, rheinischer bzw. herzynischer Störungen, die den Bereich zwischen Schwarzwald und Grabenzentrum in zahlreiche Einzelschollen zerlegten (Abb. 2). Der Bereich des heutigen **Kamm Schwarzwalds** erfuhr dabei die stärkste Heraushebung. Das Deckgebirge aus mesozoischen Sedimentgesteinen wurde bis auf das Grundgebirge vollständig abgetragen. Die in der nordöstlichen Umrahmung des Exkursionsgebietes gelegenen, bis auf über 1000 m ansteigenden Schwarzwaldberge sind im wesentlichen aus Granit und Metamorphiten aufgebaut. Durch große Randverwerfungen getrennt, schließen sich nach Süden und Westen tiefer gelegene Bruchschollen an. Im Süden folgen die meist bewaldeten aus Sand- und Tonsteinen des Rotliegenden und Buntsandsteins aufgebauten **Weitenauer Berge**. In ihrem Südwestteil sind auf den Hochflächen des Oberen Buntsandsteins noch Reste des Unteren Muschelkalks erhalten. Dagegen wird der Muschelkalk südlich des Wiesentals landschaftsprägend. Die auf der verkarsteten Hochfläche des **Dinkelbergs** anstehenden Kalk- und Dolomitsteine des Oberen Muschelkalks werden im Bereich tektonischer Gräben, besonders im zentralen Dinkelberg, von Ton-, Dolomit- und Kalksteinen, sowie z. T. gipsführenden Mergelsteinen des Keupers und Unteren Juras unterbrochen. Infolge des starken Südeinfallens der Schichten treten Buntsandstein und Rotliegendes nur noch kleinflächig am Südrand des Wiesentals sowie in kleinen Taleinschnitten zwischen Lörrach und Rheinfeldern zutage.

Entlang der Linie Kandern-Lörrach werden Schwarzwald, Weitenauer Berge und Dinkelberg durch eine NS-verlaufende, rheinisch streichende Verwerfungszone vom **Markgräfler Hügelland** getrennt. Fallen die Hochflächen der Weitenauer Berge und des Dinkelbergs von rund 600 m im Norden stetig auf Höhen um 400 m am Südrand des Dinkelbergs ab, so bewegen sich die Geländehöhen im auf Blatt Lörrach gelegenen Südteil des Markgräfler Hügellandes zwischen 270 und 400 m. Lediglich die bewaldeten Höhen im Nordosten des Kartenblatts sowie der Tüllinger Berg westlich von Lörrach überragen das vorgelagerte Hügelland. Infolge der geringen Höhenlage und der Nähe zur Oberrheinebene sind die jurassischen und tertiären Sedimentgesteine großflächig von bis zu 30 m mächtigem Löß überdeckt. Die Lagerung der nur kleinflächig an Steilhängen und auf Bergkuppen zutage tretenden Kalk-, Mergel- und Sandsteine gibt deutliche Hinweise auf die Fortsetzung der tertiären Bruchtektonik. So findet der herzynisch streichende, zentrale Dinkelberggraben im sog. Bamlacher Graben im Nordostteil des Kartenblatts seine Fortsetzung. Auf einer Breite von 3 bis 4 km werden weiche, z. T. wenig verfestigte Sedimentgesteine des Oligozäns fast vollständig von mächtigem Löß verkleidet. Die nordöstlich und südwestlich anschließenden, weniger abgesunkenen Schichtpakete weisen neben sandig-tonigen Oligozänsedimenten (Läufelberg) und Resten altpleistozäner Schotter (Katzenberg) vor allem harte, meist verkarstete Kalksteine des Oberjuras (Oxford) auf. Gegenüber den auch morphologisch meist tiefer gelegenen Grabenzonen



- | | | | |
|--------|--------------------------------------|-------|---------------------------------|
| h | Auensedimente | j | Jura |
| l ph l | Spätwürmzeitlicher Hochflutlehm | k | Keuper |
| Wg | Niederterrassenschotter | m | Muschelkalk |
| ag | Altpleistozäne Schotter | r+s | Rottliegendes und Buntsandstein |
| l | Löss und Lösslehm, häufig umgelagert | + G + | Granit |
| t | Tertiär | Gn | Gneis |
| | Verwerfung | | Terrassenkante |

Abb. 2: Geologische Karte des Exkursionsgebietes

treten diese Hochschollen besonders am Isteiner Klotz als Hochfläche mit steil abfallenden Rändern hervor. Begünstigt durch fehlende Lößbedeckung werden die für die Zementherstellung geeigneten Kalksteine bei Huttingen und Istein abgebaut.

Das Markgräfler Hügelland bricht nach Westen zur **Oberrhinebene** ab. Der Grenzverlauf zwischen Hügelland und Oberrhinebene, wie auch der Verlauf des Rheins und seiner Zuflüsse, zeichnen die rheinisch und herzynisch verlaufenden Verwerfungen nach. Die ab Basel rheinabwärts rasch zunehmende Breite der Oberrhinebene wird rechtsrheinisch nur vom Isteiner Klotz unterbrochen. Seine zum Rhein z. T. senkrecht abfallenden Felswände zeigen noch heute die bis zur Rheinkorrektur im vergangenen Jahrhundert anhaltende fluviatile Formung. Die Schottermächtigkeit über tertiären und jurassischen Gesteinen steigt von 5 bis 15 m in der **Rheinaue** auf 20 bis 30 m im Bereich der Niederterrasse an. Am Ende der Würmeiszeit kamen auf den Niederterrasenschottern östlich der Linie Efringen-Eimeldingen-Haltingen tonige Hochflutsedimente der Kander zur Ablagerung. Am **Hochrhein** hat sich der Rhein einige Meter in ältere Auenterrassen eingetieft. Der damit verbundene natürliche Schutz vor Überflutung und tiefe Grundwasserstände ermöglichten die frühe Besiedlung und ackerbauliche Nutzung. Trockenabbau von Kies spielt bis heute eine wichtige Rolle.

Klimatisch weist das beschriebene Gebiet große Unterschiede auf. Das untere Hochrheintal und die südliche Oberrhinebene gehören mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von fast 10 °C (Rheinfelden 9,9 °C) zu den wärmsten Gebieten Deutschlands. Besonders wärmebegünstigt sind auch die Südlagen des Markgräfler Hügellands und des Dinkelbergs. In ungünstigeren Lagen sinkt hier die Durchschnittstemperatur auf 8-9 °C ab, in mittleren Höhenlagen (700-900 m) des Schwarzwalds auf 6-7 °C, in Hochlagen auf unter 4 °C. Charakteristisch für das Gebiet sind Inversionen bei winterlichen Hochdruckwetterlagen mit Nebel und Kälte in den Niederungen und Sonnenschein auf den Höhen. Die Niederschläge sind auch in der Oberrhinebene im Gegensatz zu nördlicheren Bereichen (Colmarer Trockeninsel mit 500 mm Jahresniederschlag) relativ hoch (Basel um 800 mm), da einerseits die Regenschattenwirkung der Vogesen fehlt (Burgundische Pforte) und andererseits der Regenstau an den nahe liegenden Schwarzwaldhängen zur Wirkung kommt. Auf dem Dinkelberg und in den Weitenauer Bergen steigt der Jahresniederschlag auf über 1000 mm an, in den Kammgebieten des Schwarzwalds schließlich auf 1700-1900 mm.

Die **Landnutzung** spiegelt die großen, durch Klima, Boden und Relief bedingten Gegensätze des Gebietes wider. Weinbau herrscht in den warmen Süd- und Westlagen des Markgräfler Hügellands vor. In geringem Umfang ist er auch noch am Südrand des Dinkelbergs zu finden. Trotz des hohen Wärmeangebots gab es in der Oberrhinebene und im Hochrheintal noch nie Rebland. Spätfrostgefahr und geringere Sonneneinstrahlung in der Ebene sind die Ursache. In der Rheinaue nördlich von Basel - ursprünglich Auewald und allenfalls Grünland - konnte nach Ausbleiben der Überflutungen auch der Ackerbau Fuß fassen. Auf der Niederterrasse, im Hochrheintal (soweit noch nicht bebaut)

und im lößbedeckten Hügelland spielt neben dem Ackerbau der Obstbau eine bedeutsame Rolle. Der Dinkelberg hat seinen Namen vom anspruchslosen Dinkel, der auf flachgründigen Kalksteinböden in früherer Zeit große Verbreitung fand. Im übrigen wird der Dinkelberg durch große Waldflächen geprägt, die auch in den Weitenauer Bergen und im Schwarzwald vorherrschen.

4. Böden des Markgräfler Hügellandes und der Oberrheinebene - Bewertung der Schutzwürdigkeit von Böden für den vorsorgenden Bodenschutz

4.1 Böden und Bodenvergesellschaftung

Im Markgräfler Hügelland haben sich infolge intensiver landwirtschaftlicher Nutzung nur auf den bewaldeten Höhenrücken vollständige Bodenprofile erhalten, die Einblick in die natürliche Bodenentwicklung zulassen. Auf Löß und lößreichen Deckschichten sind dabei tief entwickelte Parabraunerden verbreitet, die auf abgeflachten Scheiteln in Pseudogley-Parabraunerden, bei geringer Deckschichtmächtigkeit auf wenig durchlässigen Gesteinen in Parabraunerde-Pseudogley (Profil 1) und Pseudogley übergehen. Dagegen sind die Böden der landwirtschaftlich genutzten Flächen durch Bodenerosion mehr oder weniger stark abgetragen oder von verlagertem Bodenmaterial überdeckt. Auf den im Westen des Hügellandes gelegenen tektonischen Hochschollen mit vergleichsweise hoher Reliefenergie sind die Parabraunerden nahezu vollständig aus der Landschaft verschwunden. Pararendzinen aus kalkreichem, an Hängen häufig mit Tertiärgesteinen vermischem Löß, vereinzelt Rendzina auf Jurakalk und Pelosol auf tonigem Tertiärgestein bestimmen das Bodenmuster. Im nordöstlich anschließenden tiefer gelegenen Teil des Lößhügellandes kommen Pararendzinen nur noch vereinzelt auf stärker gewölbten Riedeln vor. Ausgedehnte, flachhügelige Ackerflächen mit Parabraunerden werden von flachen Mulden mit Kolluvisolen unterbrochen. Die Parabraunerden sind meist deutlich verkürzt. Reste des A1-Horizonts sind im Pflughorizont mit tonigerem Bt-Material vermischt.

Bei hohen Grundwasserständen leiten die Unterläufe flacher Muldentäler mit Kolluvisol-Gley zu den Auen der Haupttäler mit Vega-Gley und Gley über. Am Fuße des Hügellandes lagert Kolluvisol über den im Ostteil der Niederterrasse weitverbreiteten Pseudogley-Parabraunerden aus tonigem Hochflutlehm (Profil 2). Nach Westen schließen sich auf den Niederterrassenschottern Parabraunerden mit intensiv rotbraunem Tonanreicherungshorizont an. MOLL (1970) nannte diesen hämatithaltigen Boden "Rubefizierte Parabraunerde". Vom AK Bodensystematik (1985) wurde dieser Subtyp in "Rötliche Parabraunerde" umbenannt.

Die zwischen Niederterrassenkante und Rhein gelegene Rheinaue wurde bis zur Begrädigung und Eindeichung Mitte des letzten Jahrhunderts noch regelmäßig von Rheinhochwässern mit Zufuhr von kalkreichen Auensedimenten überflutet. Die Vertiefung des Gerinnebetts sowie der Bau des Rheinseitenkanals nach dem ersten Weltkrieg führten zu großflächiger Grundwasserabsenkung. Die Vergleyung der weitverbreiteten Gley-Vega (Profil 3) und Gley-Paternia sowie der Gleye in

Auenrinnen ist somit reliktsicher Natur. Die Böden stehen heute am Beginn einer rein terrestrischen Bodenentwicklung.

4.2 Zur Bewertung der Schutzwürdigkeit von Böden

Schutz des Bodens vor Zerstörung durch Flächeninanspruchnahmen für "Grundnutzungen" wie Siedlung und Verkehr ist nur ein Teilaspekt des vorsorgenden Bodenschutzes, allerdings ein Aspekt von erheblicher Bedeutung: in den letzten 40 Jahren wurde für solche "Grundnutzungen" eine Bodenfläche von der gleichen Größe wie in der ganzen Siedlungsgeschichte zuvor verbraucht. In Ballungsräumen ist dieses Problem besonders brisant.

Beim Schutz des Bodens vor derartigem Verbrauch ist neben einer allgemeinen Verminderung der Flächeninanspruchnahme daran zu denken, verschiedenen Böden eine unterschiedliche Schutzwürdigkeit zuzusprechen und in der Planung nach Alternativen zu suchen, durch die jeweils die am wenigsten schutzwürdigen Böden für "Grundnutzungen" in Anspruch genommen werden.

Die Frage nach der unterschiedlichen Schutzwürdigkeit von Böden ist also von großer praktischer Bedeutung und es überrascht zunächst, daß es den Fachleuten von der Bodenkunde so schwer fällt, sich auf eine Klassifizierung der Böden nach ihrer Schutzwürdigkeit zu einigen. Der scheinbar einfachste Weg, sie in gute, mittlere und schlechte Böden einzuteilen und davon ihre Schutzwürdigkeit abhängig zu machen, wird durch die Frage, wozu sie denn gut sein sollen, blockiert. Denn hierauf gibt es zahlreiche Antworten und derselbe Boden kann je nach Antwort und dahinter stehendem Interesse einmal "gut", einmal "schlecht" sein.

Einigkeit besteht allerdings weitgehend darin, daß Böden nicht "per se", also z. B. wegen ihrer Schönheit, sondern wegen ihrer Leistungen bzw. Funktionen zu schützen sind (SCHLICHTUNG 1984). Als weitere Kriterien werden Seltenheit, Natürlichkeit und Reproduzierbarkeit genannt (STASCH et al. 1991).

In **Baden-Württemberg** wurde durch das Landesbodenschutzgesetz (1991) die funktionale Betrachtungsweise aufgegriffen. Dort werden 6 Bodenfunktionen aufgeführt, wobei neben umweltrelevanten Funktionen auch der Wert des Bodens als landschaftsgeschichtliche Urkunde genannt wird. Im Hinblick auf einen einheitlichen Verwaltungsvollzug wurde im Umweltministerium ein Leitfaden zur "Bewertung der Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit" entwickelt, in dem 4 Bodenfunktionen eingehend behandelt werden (UMWELTMINISTERIUM Baden-Württemberg 1995). Zur abschließenden Gesamtbewertung der Schutzwürdigkeit der Böden in einem Planungsraum müssen die einzelnen, nach diesem Leitfaden erzielten Bewertungsergebnisse in Bezug gesetzt werden zum vorhandenen Bodeninventar und zu den übergeordneten Planungszielen. Die Beurteilung der Schutzwürdigkeit von Böden wird hier demnach als ein Schritt angesehen, der über die Funktionsermittlung hinausgeht und letztlich aus der Gesamtschau der Landschaftsplanung zu vollziehen ist.

Eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung der Bodenschutzbelange in der Planung ist die Bereitstellung von Karten, die eine Funktionsbewertung aufzeigen. Das Geologische Landesamt Baden-Württemberg hat deshalb eine Bodenfunktionenkarte 1 : 50 000 erarbeitet in der Hoffnung, weiterführende Arbeiten in dieser Richtung anzuregen (HORNIG et al. 1994). Hier wurden lediglich 3 Funktionen (Standort für Kulturpflanzen, Ausgleichskörper im Wasserkreislauf, Filter und Puffer für Schadstoffe) in 3 Bewertungsstufen dargestellt. Trotz dieser Vereinfachungen ergaben sich 16 Bewertungskombinationen. Auch diese Karte liefert zunächst nur Bausteine für eine Beurteilung der Schutzwürdigkeit der Böden.

Trotz der vielen grundsätzlichen und anwendungsbezogenen Überlegungen in der Fachwelt ist das Problem - die Bewertung der Schutzwürdigkeit von Böden - also keineswegs gelöst. Der so zwingend und logisch erscheinende Weg der funktionalen Betrachtungsweise hat das Problem erheblich kompliziert:

1. Bei Bewertung der Böden nach ihren Leistungen müssen neben bodeneigenen Kriterien auch andere Standortfaktoren berücksichtigt werden (z. B. ist die Leistungsfähigkeit als Standort für Kulturpflanzen klima- und reliefabhängig).
2. Infolge der Multifunktionalität der Böden erhebt sich die Frage der Gewichtung von Einzel-funktionen. Sind sie alle gleich zu gewichten? Dann ergibt sich in vielen Fällen eine mittlere Gesamtbewertung, da einige Funktionen gegenläufig sind (z. B. Standort für Kulturpflanzen - Standort für seltene natürliche Vegetation). Sind sie je nach Planungsraum verschieden zu gewichten? Dann können Verwaltungsgrenzen zu Schutzwürdigkeitsgrenzen werden. Nicht zuletzt sei darauf hingewiesen, daß bei einer Verschlechterung der Nahrungs-mittelversorgung eine ganz neue Lage entstünde, durch die alle derzeitigen Überlegungen zu Gedankenspielerien würden.
3. Wenn Leistungen des Bodens seine Schutzwürdigkeit bestimmen, dann müssen die Leistungen quantifiziert werden. Denn bei Beurteilung der hier in Frage stehenden Flächeninanspruchnahmen müssen Flächen verglichen werden und z. B. die Aussage möglich sein: 1 ha der Fläche A hat die Leistungsfähigkeit wie 2 ha der Fläche B. Eine Quantifizierung ist aber generell schwierig und bei einigen Funktionen prinzipiell unmöglich (Standort für natürliche Vegetation, landschaftsgeschichtliche Urkunde).

Aus diesen Darstellungen erhellt, daß die Exkursionsteilnehmer kein Patentrezept zur Lösung des Problems erwarten können. An den 3 Exkursionsprofilen des Vormittags sollen diese Fragen angesprochen werden und vor allem zu einer fruchtbaren Diskussion führen.

4.3 Exkursionsprofile

Die Lage der Exkursionsprofile ist in Abb. 1 und 2 verzeichnet. Die Exkursionsroute folgt der hier dargestellten Reihenfolge.

Profil 1: Katzenberg - Parabraunerde-Pseudogley auf altpleistozänen Schottern

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 1 km nordöstlich von Wintersweiler, Top. Karte 8311 Lörrach (R: ³³ 93 560, H: ⁵² 83 400), Höhe 391 m ü. NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 850-900 mm (Station Kandern 881 mm) Mittl. Jahrestemperatur: 9 °C
Relief:	schwach geneigter Scheitelpbereich (4 % NW)
Nutzung:	Laubwald (Rotbuche, Traubeneiche; >100jährig)

Profilbeschreibung

L (+Of)		Laubstreu, darunter z. T. Blattreste (Of)
Ah	0 - 5 cm	stark toniger Schluff, sehr schwach kiesig, dunkelbraungrau (10YR 4/2), stark humos, Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt
Al-Sw	- 42 cm	mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig, braungrau (10YR5/4), wenige Fe/Mn-Flecken, mittel gebleicht, schwach humos, Subpolyedergefüge, mittel durchwurzelt
IISdw	- 68 cm	stark toniger Schluff (mittel toniger Schluff neben schluffigem Ton), schwach kiesig, grauockerfleckig (10YR5/4), viele Fe/Mn-Flecken, mittel gebleicht, sehr schwach humos, (Sub-)Polyedergefüge, schwach durchwurzelt
IIISd	-120 cm	mittel toniger Lehm, stark kiesig, wenige runde Steine, grauockerfleckig (10YR4/6), viele Fe/Mn-Flecken und -Konkretionen, mittel gebleicht, Subpolyedergefüge, dicht, sehr schwach durchwurzelt
IVSd-ICv	>170 cm	sandig-toniger Lehm, sehr stark kiesig, steinig, grauockerfleckig (10YR5/6), viele Fe/Mn-Flecken und -Konkretionen, schwach gebleicht, dicht
Bodentyp:		Parabraunerde-Pseudogley (LL-SS)
Humusform:		Mull (L-Mull, z.T. F-Mull)
Ausgangsgestein:		Hauptlage über Mittellage auf altpleistozänen Schottern (Buntsandstein und Grundgebirge)
Substrattyp:		(Kryo-) Schluff über (Kryo-) Tonkies (p-u/p-tk)

Tab. 1: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. 1, Katzenberg, Parabraunerde-Pseudogley

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett ¹⁾	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
		cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Ah	5	<1	1,1	1,6	3,3	41,1	25,1	7,1	6,0	73,3	20,7
2	Al-Sw	42	<1	1,6	2,2	3,5	43,2	27,2	7,0	7,3	77,4	15,3
3	IISdw	68	5-10	1,4	2,9	2,9	38,4	22,1	9,9	7,2	70,4	22,4
4	IIISd	120	40-60	7,1	10,8	7,7	17,0	10,5	8,9	25,6	36,4	37,8
5	IVSd-ICv	>170	60-80	8,1	21,2	12,4	9,8	7,2	8,7	41,7	25,7	32,6

1) Schätzwerte

Nr.	Horizont	Dichte	Porenvol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,54	3,63	0,88	0,56	0,74
2	Al-Sw	1,39	47,5	41,1	36,7	31,4	11,6	6,31	4,45	0,73	0,71	0,32
3	IISdw	1,53	42,3	42,1	37,6	32,9	18,5	9,53	5,48	0,85	0,58	0,74
4	IIISd	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	18,8	2,65	1,38	0,14	1,04
5	IVSd-ICv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	19,1	1,14	1,38	0,06	0,18

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	5,3	5,0	0	3,31	2,5	13	33	200
2	Al-Sw	4,7	4,1	0	1,10	0,9	12	9	46
3	IISdw	5,2	4,4	0	0,41	0,4	10	25	98
4	IIISd	5,5	4,7	0	0,17	0,3	-	2	155
5	IVSd-ICv	5,7	5,1	0	0,17	0,3	-	0	118

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg ²⁾						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	175	90	0,2	2,6	58	7,1	1,6	<0,1	74
2	Al-Sw	99	45	1,0	28	7,0	1,6	0,6	2,2	25
3	IISdw	126	81	0,8	16	42	16	1,2	<0,1	73
4	IIISd	222	180	0,4	5,4	128	36	2,2	<0,1	93
5	IVSd-ICv	171	145	0,2	1,2	114	25	1,8	0,4	98

2) mit NH₄Cl beim pH des Bodens

Verbreitung und Vergesellschaftung

Auf den höchsten Erhebungen im Markgräler Hügelland haben sich Reste altpleistozäner Schotter erhalten. Ihre intensive Verwitterung und ihre nur geringmächtige Überlagerung mit lößlehmreichen Deckschichten führte in flachen Lagen zur Ausbildung von Parabraunerde-Pseudogleyen. In stärker geneigten, wasserzügigen Rand- und Hanglagen werden diese von Pseudogley-Parabraunerden und (pseudovergleyten) Parabraunerden abgelöst (BÖLL & FLECK 1994). Die lößlehmreichen Deckschichten verzahnen sich im Oberhangbereich mit mächtigem würmzeitlichem Löß. Östlich des Katzenbergs haben sich im Lößhügelland großflächig Parabraunerden erhalten. Bei höherer Reliefenergie herrschen auf der Westseite dagegen Pararendzinen vor.

Boden- und Substratgenese

Die relativ hohen Tongehalte im skelettreichen Unterboden lassen eine präholozäne Verwitterung der Schotter vermuten. Nach unten stark abnehmende Fe_0/Fe_d -Verhältnisse bei zunehmenden, auf den Tongehalt bezogenen Fe_d -Gehalten unterstreichen diese Annahme. Der höhere Grob- und Mittelschluffgehalt im IIISd-Horizont läßt auf Umlagerung der Schotter im oberen Teil mit geringer Lößeinmischung schließen. Ein deutlicher Substratwechsel vollzieht sich zur überlagernden Deckschicht. Schluffgehalt und Verteilung der Schlufffraktionen stimmen nahezu vollständig mit vergleichbaren Horizonten von Lößprofilen überein. Der IISdw-Horizont wird als Rest einer ursprünglich wohl mächtigeren Mittellage gedeutet. Die wellig-zapfenförmige Grenze zum Al-Sw-Horizont weist auf kryoturbate, solimixtive Prozesse bei der Bildung der hangenden Hauptlage hin. Die während der Jüngeren Tundrenzeit, einer letzten kurzen Kaltphase der ausgehenden Würmkaltzeit, im Auftaubereich des Dauerfrostbodens entstandene Hauptlage hat sich im schwach geneigten Gelände vermutlich nur wenig lateral bewegt. Einmischung von aufgewehtem Löß und Aufarbeitung des Liegendmaterials herrschten vor.

Mit Ausnahme des Ah-Horizonts sind alle Horizonte des Parabraunerde-Pseudogleys an einzelne Schichten gebunden. Der Tongehaltsunterschied zwischen Al-Sw und IISdw bzw. IIISd ist sowohl durch Substratunterschiede als auch durch Tonverlagerung zu erklären.

Bodenbewertung

Infolge ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung (nFK >160 mm bei einem Niederschlag von >850 mm/a, Basensättigung im Hauptwurzelraum 25-75 %) stellt der Boden einen recht guten Waldstandort dar, wobei allerdings die Baumartenwahl infolge des zeitweiligen Auftretens von bis in den Oberboden reichender Staunässe eingeschränkt ist.

Trotz gehemmter Wasserdurchlässigkeit des Unterbodens und damit eingeschränkter Tiefensickerung ist kaum mit raschem Oberflächenabfluß zu rechnen, da das Speichervolumen groß ist (in den Grobporen des Oberbodens können vorübergehend zusätzlich >40 mm Wasser gespeichert werden) und der laterale, oberflächennahe Zwischenabfluß infolge der geringen Hangneigung stark verzögert ist.

Die Filter und Pufferwirkung ist infolge geringer pH-Werte (<5) für anorganische Schadstoffe und Säuren gering, für organische Schadstoffe mittel (Humusform Mull weist auf hohe mikrobielle Aktivität hin, Humus- und Tonmenge liegen jedoch mit 15 bzw. 175 kg/m² nur im mittleren Bereich). Der Boden ist in Baden-Württemberg selten, zeigt einen hohen Natürlichkeitsgrad, ist nicht reproduzierbar (da in langen Zeiträumen entstanden) und landschaftsgeschichtlich von hoher Bedeutung (altpleistozäne Höhenschotter).

Profil 2: Niederterrasse bei Fischingen - Pseudogley-Parabraunerde auf spätwürmzeitlichem Hochflutlehm

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 700 m südwestlich von Fischingen, Top. Karte 8311 Lörrach (R.: ³³ 94 320, H.: ⁵² 79 565), Höhe 264 m ü. NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 750-800 mm (Station Eimeldingen 784 mm) Mittl. Jahrestemperatur: >9 °C
Relief:	Verebnung, nicht geneigt
Nutzung:	Obstbau (Kirsche), ehemals Acker

Profilbeschreibung

Ah	0 - 5 cm	schluffiger Lehm, dunkelbraungrau (10YR3/4), mittel humos, Subpolyeder-, z. T. Kohärentgefüge, sehr stark durchwurzelt (Graswurzelfilz)
rAp	- 25 cm	schluffiger Lehm, dunkelbraungrau (10YR4/4), schwach humos, mittel verfestigtes Kohärentgefüge, mittel durchwurzelt
Al	- 38 cm	schluffiger Lehm, hellgraubraun (10YR6/4), sehr wenige Fe/Mn-Flecken und -Konkretionen, sehr schwach gebleicht, sehr schwach humos, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt
Al-Sw	- 54 cm	schluffiger Lehm, hellbraungrau (10YR6/4), mäßig viele Fe/Mn-Flecken und -Konkretionen, mittel gebleicht, sehr schwach humos, Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt
IISd-Bt	- 95 cm	mittel schluffiger Ton, rötlichbraun (7.5YR4/6), mäßig viele Fe/Mn-Flecken, schwach gebleicht, Polyedergefüge, hohe effektive Lagerungsdichte, schwach durchwurzelt
IIISd-fAh-Bt	-130 cm	schwach schluffiger Ton, sehr schwach grusig, braunschwarz (7.5YR 2/3), wenige Fe/Mn-Flecken, schwach gebleicht, schwach humos, Polyedergefüge, sehr hohe effektive Lagerungsdichte, sehr schwach durchwurzelt
Sd-fAh	-162 cm	schwach schluffiger Ton, schwach grusig, schwarz (7.5YR2/2), wenige Fe/Mn-Flecken, schwach gebleicht, schwach humos, sehr hohe effektive Lagerungsdichte
IVBvt	>200 cm	sandig-toniger Lehm (Fingerprobe), mittel grusig, dunkelbraun (7.5YR 4/4), wenige Fe/Mn-Flecken
Bodentyp:		Pseudogley-Parabraunerde (SS-LL)
Ausgangsgestein:		Hauptlage über spätwürmzeitlichem Hochflutlehm
Substrattyp:		(Kryo-) Schluff über Fluviton (p-u/f-t)

Tab. 2: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. 2, Fisingen, Pseudogley- Parabraunerde

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett ¹⁾	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
		cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Ah	5	<1	5,7	8,1	7,5	31,4	18,2	7,3	21,3	56,9	21,8
2	rAp	25	<1	5,9	8,7	6,6	32,4	18,1	7,0	21,2	57,5	21,3
3	Al	38	<1	5,9	8,0	6,6	31,4	21,4	7,9	20,5	60,7	18,8
4	Al-Sw	54	<1	4,9	6,8	5,0	30,3	22,7	9,8	16,7	62,8	20,5
5	IISd-Bt	95	<1	2,5	4,6	3,8	25,0	20,8	9,9	10,9	55,7	33,4
6	IIISd-fAhBt	130	<1	0,5	2,8	2,3	11,0	17,2	12,1	5,6	40,3	54,1
7	Sd-fAh	162	5-10	2,4	7,5	6,2	12,2	13,6	9,7	16,1	35,5	48,4

1) Schätzwerte

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	l	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,91	1,82	0,42	0,31	0,30
2	rAp	1,46	45,1	39,7	33,6	30,1	11,5	6,08	1,89	0,53	0,31	0,31
3	Al	1,60	39,6	34,2	30,4	26,3	9,6	6,27	1,98	0,54	0,32	0,21
4	Al-Sw	1,58	40,5	33,8	29,4	26,2	11,0	7,27	2,56	0,60	0,35	0,12
5	IISd-Bt	1,59	39,9	36,7	34,6	32,9	23,5	10,3	3,50	0,65	0,34	0,01
6	IIISd-fAhBt	1,57	40,7	39,4	38,9	38,1	28,4	12,1	4,05	0,75	0,33	0,19
7	Sd-fAh	1,60	39,6	37,2	36,6	35,7	26,2	12,5	5,32	0,99	0,43	0,24

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	l	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	5,9	5,7	0	1,89	1,94	9	150	443
2	rAp	6,5	6,3	0	0,96	1,17	8	149	242
3	Al	6,9	6,7	0	0,51	0,56	9	27	148
4	Al-Sw	6,7	6,4	0	0,29	0,37	8	14	119
5	IISd-Bt	7,4	7,0	0	0,19	0,25	7	12	101
6	IIISd-fAhBt	7,0	6,7	0	0,60	0,63	9	30	228
7	Sd-fAh	6,9	6,4	0	0,88	0,72	12	30	210

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c / kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	l	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	178	-	-	<0,1	140	24	12	1,6	100
2	rAp	118	-	-	<0,1	96	16	6,2	1,6	100
3	Al	102	-	-	<0,1	87	9,5	3,2	2,2	100
4	Al-Sw	104	-	-	<0,1	93	7,7	2,2	1,5	100
5	IISd-Bt	182	-	-	<0,1	170	12	0,3	<0,1	100
6	IIISd-fAhBt	312	-	-	<0,1	258	53	1,2	<0,1	100
7	Sd-fAh	319	-	-	<0,1	259	57	1,9	0,8	100

Verbreitung und Vergesellschaftung

Auf der Osthälfte der Niederterrasse zwischen Efringen-Kirchen und Haltingen sind die würmzeitlichen Terrassenschotter von 1,5-3,5 m mächtigen, dichten Hochflutlehmen der Kander überdeckt. Das ebene Relief und geringe Substratunterschiede führten zu einer Bodengesellschaft mit engem

Bodentypenspektrum. Auf den schwer durchlässigen Hochflutlehm haben sich vorwiegend Pseudogley-Parabraunerden und Parabraunerde-Pseudogleye entwickelt, die nur vereinzelt, in flachen Mulden, von Kolluvisol überdeckt sind.

Boden- und Substratgenese

Der über den Niederterrassenschottern liegende Hochflutlehm wird im Profil von einem 6 dm mächtigen schwach humosen Tonhorizont durchzogen, der den Hochflutlehm in einen unterlagernden, grusführenden Abschnitt aus sandig-tonigem Lehm und einen überlagernden Teil aus schluffigem Ton trennt. Etwa 70 m nördlich des Profils geht der schluffige Ton in eine sandig-grusige Rinnenfüllung über. Der Hochflutlehm wird schließlich von einer 5-6 dm mächtigen Deckschicht mit höherem Sand- und geringerem Tongehalt abgeschlossen. Zwar besitzen Deckschicht und liegender Hochflutlehm ähnliche Schluffgehalte, vergleicht man jedoch die einzelnen Schlufffraktionen, so fällt der auf Kosten des Feinschluffs höhere Grobschluffanteil in der Deckschicht auf (gU/fU-Verhältnisse: Deckschicht um 4, Hochflutlehm 2,5). Zum Vergleich besitzen Lößparabraunerden gU/fU-Verhältnisse von über 4 in Al- und Bt-Horizont. Die Verteilung der Schlufffraktionen weist somit auf erhöhte Lößanteile in der Deckschicht hin, was neben ihrer weiträumig konstanten Mächtigkeit von 3-6 dm in Verbindung mit fehlender Schichtung und sehr geringen Humusgehalten die Deutung als eigenständige Schicht mit kryoturbater Genese unterstreicht. Eine Parallelisierung mit der im ersten Profil gezeigten Hauptlage liegt deshalb nahe. Der liegende Hochflutlehm besitzt somit entgegen der Darstellung in der amtlichen geologischen Karte (WITTMANN 1988) kein holozänes, sondern sehr wahrscheinlich spätwürmzeitliches Alter. Pollenanalysen vergleichbarer Hochflutlehmabfolgen bestätigen diese Alterseinstufung. Die Humusanreicherung im Zwischenhorizont wird auf vorübergehende Stillwasserverhältnisse in einem Spätwürminterstadial zurückgeführt.

Bodenbewertung

Die bodenartlich (schluffiger Lehm) und klimatisch bedingten idealen Voraussetzungen für den Landbau werden durch zeitweise auftretende Staunässe etwas eingeschränkt. Da deutliche Staunässemerkmale jedoch erst unterhalb etwa 40 cm Tiefe auftreten, ist der Standort auch als Acker noch gut geeignet (abgesehen von Hackfrüchten). Auch der Obstbau findet gute Voraussetzungen. Die hier vertretene Kirsche sollte allerdings durch andere Obstarten ersetzt werden (z. B. Apfel).

Das hohe Wasserspeichervermögen des Bodens (nFK bis 1 m Tiefe ca. 160 mm, Speicherkapazität der Grobporen ca. 70 mm) ermöglicht die Aufnahme hoher Regenmengen. Mit Oberflächen- und Zwischenabfluß ist nicht zu rechnen (ebene Lage), sodaß Überschußwasser vertikal versickert, wobei der Schutz des Grundwassers durch die hohe Filter- und Pufferkapazität des Bodens (hohe pH-Werte, hohe Tonmenge) in hervorragender Weise gewährleistet wird. Der Boden ist anthropogen durch Bodenbearbeitung und Düngung verändert, ist im Oberrheintal verbreitet (also nicht selten), ist nicht reproduzierbar und landschaftsgeschichtlich interessant (spätwürmzeitlicher Hochflutlehm).

Profil 3: Rheinaue bei Efringen-Kirchen - Gley-Vega mit reliktsicher Vergleyung aus Auensediment über Rheinkies

Standortsbeschreibung

Lage:	ca. 1 km südlich von Efringen-Kirchen, Top. Karte 8311 Lörrach (R.: ³³ 92 570, H.: ⁵² 78 620), Höhe: 239 m ü. NN
Klima:	Mittl. Jahresniederschlag: 750-800 mm (Station Eimeldingen 784 mm) Mittl. Jahrestemperatur: >9 °C
Relief:	Verebnung, nicht geneigt
Nutzung:	Laubwald (Ahorn, Esche, 25jährig, Erstaufforstung)

Profilbeschreibung

L		Laubstreu
Ah	0 - 20 cm	sandig-lehmiger Schluff, sehr schwach kiesig, dunkelbraungrau (2.5Y 3/2), carbonatreich, mittel humos, Krümelgefüge, stark durchwurzelt
M	- 50 cm	sandig-lehmiger Schluff, sehr schwach kiesig, braungrau (2.5Y4/3), carbonatreich, sehr wenige Fe/Mn-Flecken, schwach humos, Subpolyederggefüge, mittel durchwurzelt
rGo-M	- 66 cm	sandig-lehmiger Schluff, sehr schwach kiesig, braungrau (2.5Y 5/4), carbonatreich, wenige Fe/Mn-Flecken, sehr schwach humos, Subpolyederggefüge, mittel durchwurzelt
II IC-rGo	- 95 cm	schwach schluffiger Sand, sehr schwach kiesig, hellbraungrau (2.5Y 6/3, carbonatreich, mäßig viele Fe/Mn-Flecken, sehr schwach humos, schwach verfestigtes Kohärentgefüge, schwach durchwurzelt
III rGo	-120 cm	sandiger Kies, bunt, Feinboden carbonatreich, viele Fe/Mn-Flecken, Einzelkorngefüge

Bodentyp:	Gley-Vega mit reliktrischer Vergleyung (rGG-AB)
Humusform:	L-Mull
Ausgangsgestein:	Auenschluff über Auensand auf holozänem Rheinschotter
Substrattyp:	Auenschluff über tiefem Fluvikies (fo-u//f-k)

Verbreitung und Vergesellschaftung

Seit der Rheinkorrektion wird der Profilstandort nicht mehr von Rheinhochwässern überflutet. Das Grundwasser wurde auf mittlere Stände von 2,5-3 m u. GOF abgesenkt. Seltene Spitzenwerte liegen bei 1,5-2 m u. GOF. Bei den im Profil ab 5 dm u. GOF auftretenden Rostflecken handelt es sich folglich um reliktsiche Gleymerkmale, die in der zugehörigen Bodengesellschaft z. T. erst unterhalb 8 dm u. GOF auftreten (Bodentyp: Vega). Darüber hinaus sind in der Rheinaue Kalkpaternia und

Tab. 3: Physikalische und chemische Eigenschaften des Profils Nr. 3, Efringen-Kirchen, Gley-Vega mit reliktsicher Vergleyung

Nr.	Horizont	Tiefe	Skelett ¹⁾	Textur (% der humusfreien Feinerde)								
		cm	%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	ΣS	ΣU	Ton
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	7	8	9
1	Ah	20	<1	0,9	4,4	24,1	31,1	16,2	7,4	29,4	54,7	15,9
2	M	50	<1	0,7	5,3	26,1	29,4	17,7	8,5	32,1	55,6	12,3
3	rGo-M	66	<1	0,7	7,4	32,9	25,8	17,0	7,8	41,0	50,6	8,4
4	IIIc-rGo	95	<1	0,1	13,8	60,5	15,2	5,4	2,2	74,4	22,8	2,8
5	IIIrGo	120	>75	2,4	76,2	17,0	3,8	0,3	0,2	95,6	4,3	0,1

1) Schätzwerte

Nr.	Horizont	Dichte	Poren- vol.	Vol.-%Wasser bei pF				Fe _d	Fe _o	Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o
		g/cm ³	%	0,6	1,8	2,5	4,2	mg/g	mg/g	mg/g		mg/g
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Ah	1,27	52,0	43,4	36,8	28,5	13,2	5,97	1,51	0,39	0,25	0,27
2	M	1,45	45,2	37,7	31,4	23,9	9,3	5,84	1,37	0,38	0,23	0,23
3	rGo-M	1,46	44,7	41,6	37,2	29,4	9,4	5,38	0,97	0,18	0,18	0,20
4	IIIc-rGo	1,40	47,2	43,5	28,3	14,2	11,0	3,38	0,48	0,18	0,14	0,07
5	IIIrGo	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,15	0,21	0,18	0,10	0,04

Nr.	Horizont	pH	pH	Carbonat	Corg.	N _t	C/N	PO ₄ (AL)	K _(AL)
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)	%	%	mg/g		mg/kg	mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Ah	7,4	7,4	15,7	2,17	1,84	12	81	151
2	M	7,7	7,3	16,9	1,00	1,16	9	27	65
3	rGo-M	7,9	7,4	20,1	0,47	0,9	5	5	33
4	IIIc-rGo	8,1	7,1	21,7	0,24	0,6	-	6	20
5	IIIrGo	8,2	7,3	17,4	0,12	0,7	-	7	11

Nr.	Horizont	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen in mmol _c /kg						BS
		mmol _c /kg	mmol _c /kg	H	Al	Ca	Mg	K	Na	%
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Ah	211	-	-	<0,1	197	6,8	4,8	2,3	100
2	M	170	-	-	<0,1	158	5,8	3,9	2,0	100
3	rGo-M	137	-	-	<0,1	128	4,7	1,9	2,3	100
4	IIIc-rGo	56	-	-	<0,1	50	2,2	0,8	2,5	100
5	IIIrGo	36	-	-	<0,1	32	2,2	<0,1	1,9	100

(Relikt-) Gley-Kalkpaternia entlang des Rheins sowie in Auenrinnen Gley, Naßgley und Niedermoor, mit vorherrschend reliktsicher Vergleyung verbreitet.

Substrat- und Bodengese

Beim Ausgangsgestein der Bodenbildung handelt es sich um eine für die junge Rheinaue typische Abfolge aus kalkreichem, feinsandig-schluffigem Auesediment über kiesiger Flußbettfazies. Die unter dem Oberboden homogen verteilte organische Substanz ist wahrscheinlich auf sedimentiertes Solummaterial zurückzuführen und genügt mit 1,7 % organischer Substanz der Definition eines M-Horizonts (AG Boden 1996). Dagegen sind entlang des Rheins jüngste, sandig-kiesige Hochwasser-sedimente verbreitet, die im Unterboden deutlich geringere Humusgehalte zeigen (Bodentyp: Kalkpaternia).

Bodenbewertung

Im Gegensatz zu den infolge der starken Grundwasserabsenkung weit verbreiteten Trockenstandorten der Rheinaue südlich des Kaiserstuhls ("Versteppung") gewährleistet dieser Boden eine gute Wasserversorgung: Grund hierfür ist neben den relativ hohen Niederschlägen (750-800 mm) die hohe nFK - sie beträgt ca. 200 mm (berechnet aus pF 1,8). Bis in die 60er Jahre wurde der Boden als Acker genutzt (Bodenschätzung: SL3 A1) und wäre sogar für den Spargelanbau gut geeignet. Insgesamt ein für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung gut geeigneter Boden, wobei für die höchste Einstufung (sehr gut) die Gründigkeit zu gering (ab 95 cm Kies) und die Bodenart zu leicht ist.

Infolge der ebenen Lage und der ausreichenden Wasserdurchlässigkeit kommt es nicht zu Direktabfluß: Regenüberschüsse versickern ins Grundwasser, wobei infolge hoher Filter- und Pufferkapazität des Bodens (Kalkgehalt, hohe pH-Werte, hohes mikrobielles Abbauvermögen, hohe Humusmenge) ein relativ guter Grundwasserschutz gewährleistet wird.

Der Boden ist nicht gerade selten und pedogenetisch so wenig überprägt, daß er durch künstliche Auffüllung fast reproduzierbar erscheint (mit Ausnahme der reliktsichen Gley-Merkmale). Landschaftsgeschichtlich ist er von mäßigem Interesse, wenn man von den die ehemalige Auen- und Grundwasserdynamik bezeugenden Merkmalen absieht.

4.4 Abschließende Betrachtungen und Fragen

Nach dem Leitfaden des Umweltministeriums Baden-Württemberg (vgl. 4.2) ergibt sich folgende Bewertung der 3 Exkursionsprofile (1-5 = sehr geringe bis sehr hohe Leistungsfähigkeit):

	Profil 1	Profil 2	Profil 3
Standort für natürliche Vegetation:	3-4	3	2
Standort für Kulturpflanzen:	3	4	4
Ausgleichskörper im Wasserkreislauf:	4	5	5
Filter und Puffer für Schadstoffe:	2	4	4

Das Bewertungsverfahren soll hier nicht dargelegt und diskutiert werden (dazu wird auch bei der Exkursion keine Zeit sein). Das Ergebnis scheint jedoch insgesamt plausibel: Die durch Profil 2 und 3 repräsentierten Böden haben eine höhere Leistungsfähigkeit im Naturhaushalt als der Boden von Profil 1 (abgesehen von der potentiellen Eignung als Standort für natürliche Vegetation). Berücksichtigt man allerdings die Kriterien Seltenheit, Reproduzierbarkeit und landschaftsgeschichtliche Urkunde, so wird man dem Boden des Profils 1 den Vorzug geben.

Der Landschaftsplaner wird nun vor folgende Situation gestellt: Die Gemeinden verlangen neue Gewerbeflächen in der Ebene (Profil 2 und 3), die Wasserwirtschaft will die Freiflächen in der Ebene aber erhalten (die Oberrheinebene stellt das wichtigste Grundwasservorkommen Baden-Württembergs dar), die Landwirtschaft bevorzugt ebenfalls die fruchtbaren Böden der Rheinebene, Forstwirtschaft und Fremdenverkehr setzen sich hingegen für die wenigen Waldflächen (Profil 1) des Markgräfler Hügellandes ein etc. ... Von Seiten der Bodenkunde erhält der Planer keine einfache und eindeutige Aussage über die relative Schutzwürdigkeit der jeweiligen Böden - er wird also im Hinblick auf den Bodenschutz "verbal-argumentativ" jonglieren, bis er seinen Auftraggeber einigermaßen befriedigt hat (oft nicht im Sinne der Erhaltung einer der "wichtigsten Lebensgrundlagen"). Diese Gefahr sollte man sehen.

Es gibt im Gebiet (bei der Exkursion nicht vorgeführte) Standorte, die noch deutlicher werden lassen, wie bei gleichgewichtiger Berücksichtigung divergierender Bodenfunktionen das Anliegen des Bodenschutzes auseinanderdividiert werden kann: Am Isteiner Klotz liegt ein heiß umkämpftes Biotop (Steppenheide), dessen Böden (Rendzinen aus Kalkstein) ansonsten geringwertig sind. Soll hier die Bodenkunde mit dem Argument, der Boden besitze als "Standort für natürliche Vegetation" höchste Leistungsfähigkeit, dem Naturschutz Hilfestellung leisten, die er gar nicht nötig hat? Oder: Zur Erhaltung trockener Kiesböden in der Rheinaue können sich Naturschutz (Halbtrockenrasen, Orchideenstandorte) und Grundwasserschutz (hohe Grundwasserneubildung) verbünden. Soll hier auch die Bodenkunde Schützenhilfe leisten?

Das berechnete Anliegen der bodenkundlichen Wissenschaft, zu untersuchen und darzulegen, wozu Böden mehr oder weniger "gut" sein können, führt - wie man sieht - bei strikter Anwendung im Bodenschutz zu Problemen. Denn zu irgendwas sind ja alle Böden gut, was zu dem (allerdings auch berechtigten) Wunsch führt, möglichst alle Böden zu erhalten. Da dieser Wunsch Illusion ist, bleibt nur selektiver Bodenschutz.

"Der Boden ist eines der kostbarsten Güter der Menschheit. Er ermöglicht es Pflanzen, Tieren und Menschen, auf der Erdoberfläche zu leben" (Europäische Bodencharta). Der Aufgabe, Lebensgrundlage für Pflanzen, Tiere und Menschen zu sein, wird der tiefgründige Lehm Boden mit ausgeglichenem Wasser- und Lufthaushalt und hohem Speichervermögen für Nährstoffe in umfassendster Weise gerecht, am wenigsten der sehr flachgründige Festgesteinsboden. Bei einer solchen Rangordnung der Schutzwürdigkeit wird in Mitteleuropa die Schwarzerde an der Spitze stehen, der Syrosem ganz am Ende. Mit Berücksichtigung der Funktionen "Standort für Kulturpflanzen", "Ausgleichskörper im Wasserkreislauf" und "Filter und Puffer für Schadstoffe" weist der Leitfadens des Umweltministeriums in diese Richtung. Nimmt man allerdings die dort ebenfalls berücksichtigten Aspekte der Leistungsfähigkeit als "Standort für natürliche Vegetation" und der "Bedeutung als landschaftsgeschichtliche Urkunde" hinzu, so gerät die Rangordnung ins Schwanken. Es scheint daher bedenkenswert, ob solche speziellen Aspekte ebenso wie die Seltenheit oder Reproduzierbarkeit bei einer allgemeinen Bewertung der Schutzwürdigkeit von Böden zunächst ausgespart werden sollten.

5. Urbane Böden in Rheinfelden (Baden) - Bodenbelastungen und Stadtbodenkartierung

Urbane Böden weisen im allgemeinen höhere Gehalte an potentiell toxischen Substanzen auf als Böden land- oder forstwirtschaftlich geprägter Räume (BLUME, 1992; MEUSER, 1996a). Dies trifft besonders für Böden in intensiv industriell geprägten Gebieten wie dem Ballungsraum Basel - Lössach - Rheinfelden zu, wo die Böden durch Immissionen und Abfälle der industriellen Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten stark beeinflusst wurden. Ein bedeutsames Beispiel für die aus diesen Prozessen folgenden Einwirkungen auf Böden ist die gerade 100 Jahre alte Industriestadt Rheinfelden (Baden).

5.1 Entwicklung der Stadt Rheinfelden (Baden)

Mit dem Bau des ersten Flußkraftwerkes in Europa im Jahr 1898 begann die Entwicklung der Stadt Rheinfelden (Baden) auf der deutschen Seite des Hochrheins. Aufgrund der nunmehr vorhandenen Elektrizitätsquelle siedelten sich energieintensive Industriebetriebe (Aluminiumhütte, chemische Industrie) an, die Arbeitskräfte aus dem näheren Umfeld aber auch anderen Regionen Europas anzogen. Zum Bau der Industrieanlagen und der Arbeitersiedlungen wurden naheliegende Kiesvorkommen ausgebeutet und die entstandenen Kiesgruben mit Industrieabfällen verfüllt. Diese verfüllten Kiesgruben stellen heute die mitten im Stadtgebiet von Rheinfelden anzutreffenden Altlasten dar (FREMGEN & ZISSEL, 1992). Innerhalb weniger Jahrzehnte entwickelte sich Rheinfelden zu einem florierenden Standort der chemischen Industrie mit ca. 7.000 Einwohnern im Jahr 1935, an dem Firmen wie die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron mit den Nachfolgefirmen IG Farben AG, Dynamit Nobel AG und Hüls AG oder Degussa AG und Aluminium Rheinfelden Produktionsstätten betrieben (MOHR, 1987). Noch heute sind in der aktuell rund 31.000 Einwohner zählenden Stadt eine Aluminiumgießerei sowie je ein Werk der Chemiekonzerne Degussa AG und Hüls AG angesiedelt.

5.2 Bodenbelastungen in Rheinfelden

Aufgrund einer von 1967 bis 1986 in Rheinfelden betriebenen Pentachlorphenol-Produktion bestand Mitte der 80er Jahre ein Verdacht auf Belastungen der Oberböden über den Luftpfad mit organischen Schadstoffen (insbesondere Pentachlorphenol sowie polychlorierte Dibenz-p-dioxine und Dibenzofurane). Diesen Verdachtsmomenten folgend, wurde 1989 erstmals der Oberboden im betreffenden Werksgelände hinsichtlich seiner Gehalte an organischen Schadstoffen untersucht. Die dabei vorgefundenen erhöhten Gehalte an Dioxinen und Furanen (PCDD/PCDF) führten zu weitergehenden Untersuchungen der Oberböden im den Betriebsarealen benachbarten Siedlungsgebiet. Auch hier wurden erhebliche Schadstoffgehalte (PCDD/PCDF, PCP, PAK, Blei und Quecksilber) in den Böden ermittelt. Anhand eines Rasters unter Berücksichtigung der Hauptwindrichtungen wurden daraufhin schrittweise weitergehende Oberbodenuntersuchungen im an die Werksareale angrenzenden innerstädtischen Siedlungsbereich durchgeführt. Dabei wurde im Januar 1991 ein Spitzenwert von 26.000 ng I-TEQ* PCDD/F pro kg Oberboden gemessen. Der zu erwartende Hintergrundgehalt liegt in Rheinfelden bei ca. 4 ng I-TEQ/kg. Von der BUND/LÄNDER-ARBEITSGRUPPE DIOXINE (1991) werden in Siedlungsgebieten ab 1.000 ng I-TEQ/kg Sanierungsmaßnahmen (z.B. Bodenaustausch) empfohlen. In Baden-Württemberg sind ab

* I-TEQ = Internationale Toxizitätsäquivalente nach NATO-CCMS

diesem Grenzwert Sanierungsmaßnahmen durch die "Verwaltungsvorschrift (VwV) Organische Schadstoffe" (UMWELTMINISTERIUM, 1996) sogar vorgeschrieben. Gleichzeitig wurde nicht die erwartete gleichförmige, in Ausbreitungsrichtung abnehmende Schadstoffbelastung vorgefunden, sondern es fanden sich im Gegenteil sehr hohe Dioxin- und Furangelhalte häufig völlig unregelmäßig verteilt in direkter Nachbarschaft zu relativ geringen. Bei einer im Februar 1991 gezogenen optisch auffälligen Unterbodenprobe aus 60-80 cm Tiefe wurde der bis dahin weltweit höchste PCDD/PCDF-Gehalt im Boden mit rund 3,9 Millionen ng I-TEQ/kg gemessen.

Diese Situation warf für die zuständigen Bodenschutzbehörden zwei Fragenkomplexe auf:

1. Die Frage nach den Ursachen dieser exorbitant hohen und scheinbar räumlich unregelmäßig im Stadtgebiet verbreiteten Bodenbelastungen besonders mit PCDD/PCDF.
2. Die Frage nach dem Ausmaß und der räumlichen Verteilung der Bodenbelastungen im Stadtgebiet.

5.2.1 Ursachen der Bodenbelastungen

Durch eine umfangreiche Literaturrecherche und den Vergleich von PCDD/PCDF-Isomerenmustern konnten als Ursache für die hohen Dioxin- und Furan-Belastungen der Böden die Rückstände der in Rheinfeldern von ca. 1900 bis in die 30er Jahre praktizierten Chloralkalielektrolyse nach dem sogenannten "Griesheim-Verfahren" ermittelt werden (LUTZ et al., 1991). Bei diesem Verfahren wurde das Chlor an Kohle- oder Graphitanoden, die zu ca. 25 Gewichtsprozent Steinkohleteerpech als Bindemittel enthielten, entwickelt. Das entstehende Chlor reagierte teilweise mit den im Steinkohleteer enthaltenen PAK und bildete auch polychlorierte Dibenzofurane (allerdings kaum Dibenzodioxine, da diese im Steinkohleteerpech nahezu nicht enthalten waren und ihre Bildungstemperatur nicht erreicht wurde). Zur Fällung des in der Steinsalzsole enthaltenen störenden Sulfats wurde Bariumchlorid zugegeben. Die Anodenköpfe und die Chlorsammelleitungen der "Griesheim-Zelle" bestanden aus Blei. Im Zellschlamm, dem Rückstand aus der Elektrolysezelle, sind somit hohe Gehalte an PAK, Bariumsulfat und Blei, aber auch sehr hohe Gehalte an PCDD/PCDF und hier besonders an Furanen enthalten. Da beim direkten Umgang mit den Abfällen aus der Elektrolyse schwere Erkrankungen (z.B. Chlorakne) aufgetreten waren, wurden die Rückstände mit Bauschutt und Erdmaterial vermischt und nach einer längeren Zwischenlagerzeit zur Ablagerung in o.g. Kiesgruben verbracht bzw. zur Verfüllung von Senken, Baugruben oder Wegen verwendet. Bei späteren Baumaßnahmen auf den Ablagerungsstandorten wurde das belastete Erdmaterial teilweise weiter im Stadtgebiet verschleppt.

5.2.2 Räumliche Verbreitung der Belastungen im Stadtgebiet

Das Zellschlammmaterial weist neben seiner oben dargestellten stofflichen Charakterisierung mit erhöhten PAK-, BaSO_4 -, Blei- und Furan-Gehalten auch optische Eigenheiten auf. Die Kohle- und Graphitelektroden hinterlassen im Zellrückstand schwarz-glänzende, i.d.R. leicht verschmierbare Partikel. Das BaSO_4 ist im Rückstand als weiß-gräulicher Bariumsulfatschlamm, der bei Säurezugabe nicht aufbraust, zu erkennen. Diese Substratmerkmale sind zwar teilweise nur bei sehr genauer Betrachtung der Bodenprofile (mit Lupe und Pinzette) erkennbar, sie liefern aber nahezu eindeutige Hinweise auf die, die Bodenbelastungen verursachenden, Chloralkalirückstände. Aufgrund dieses Sachverhaltes wurde im Frühjahr 1992 entschieden, im Rahmen eines

Pilotprojektes des Umweltministeriums Baden-Württemberg mit der Methode einer fallbezogenen Stadtbodenkartierung auf Grundlage der Kartieranleitung des AK STADTBÖDEN (1989) die flächenhafte Ausdehnung der PCDD/PCDF-Bodenbelastungen im Innenstadtbereich von Rheinfelden zu ermitteln (THATER et al., 1996).

5.3 Grundlagen und Methodik der fallbezogenen Stadtbodenkartierung Rheinfelden

Die Stadtbodenkunde ist ein junges Gebiet der Pedologie. Stadtbodenkartierungen wurden in Deutschland erst seit Mitte der 80er Jahre beispielsweise in Berlin (GRENZLIUS, 1987), Kiel (CORDSEN et al., 1988), Hamburg (WOLFF, 1993), Stuttgart (HOLLAND, 1996) oder anderen Großstädten durchgeführt. Dabei wurde verhältnismäßig kleinmaßstäblich im Maßstab 1:20.000 bis 1:50.000 kartiert. Die Grundlage für diese Kartierungen waren i.d.R. die Empfehlungen zur Stadtbodenkartierung des AK STADTBÖDEN der DBG von 1989. Die meisten dieser Untersuchungen erfolgten prioritär unter dem Gesichtspunkt der Bodeninventur und hatten neben dem naturwissenschaftlichen Schwerpunkt keine konkreten praktischen Fragestellungen zu lösen. Da in Rheinfelden die konkrete Frage nach dem räumlichen Ausmaß der stofflichen Bodenbelastungen zu klären war, gleichzeitig aber auch eine Stadtbodenkarte für weitere Anwendungen (städtebauliche Entwicklungsplanung, etc.) zu erstellen war, mußte die vom AK STADTBÖDEN (1989) empfohlene Vorgehensweise spezifiziert werden.

5.3.1 Methodik der fallbezogenen Stadtbodenkartierung Rheinfelden

Die Stadtbodenkartierung Rheinfelden wurde 1993/94 vom Institut für Bodenkunde und Standortlehre der Universität Hohenheim im Auftrag des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut und der Landesanstalt für Umweltschutz Karlsruhe als Pilotprojekt des Umweltministeriums Baden-Württemberg (STAHR et al., 1994) durchgeführt.

Für diese - am konkreten Bodenbelastungsfall orientierte - Stadtbodenkartierung, wurde aufgrund umfangreicher Voruntersuchungen die Arbeitshypothese erstellt, daß die erhöhten PCDD/PCDF-Bodenbelastungen durch eine bodenkundliche Geländeaufnahme erfaßbar sind. Dabei wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Die relevanten Bodenbelastungen mit PCDD/PCDF über ca. 100 ng I-TEQ/kg entstammen Produktionsrückständen der Chloralkalielektrolyse und sind nicht über atmosphärische Deposition in die Böden gelangt.
2. Die PCDD/PCDF aus den Rückständen der Chloralkalielektrolyse sind an Graphit-, Teer- oder Pechpartikel gebunden und/oder mit dem Auftreten von BaSO₄-Material vergesellschaftet.
3. Derartige Partikel und Materialien sind bei einer stadtbodenkundlichen Feldansprache erkennbar.

Da für Verwaltungshandeln das Flurstück die maßgebliche Flächeneinheit ist, wurden die Böden parzellenscharf sondiert, die erhobenen Daten in einer Datenbank erfaßt und ihre Verbreitung in einer digitalen Bodenkarte im Maßstab 1:5.000 dargestellt.

Um die Frage der Verbreitung anthropogen gestörter Böden mit erhöhter PCDD/PCDF-Belastung zu klären, war basierend auf den Empfehlungen des Arbeitskreises Stadtböden der DBG (AK STADTBÖDEN, 1989) zu Beginn der Feldarbeiten eine intensive, am Belastungsfall orientierte, Methodenentwicklung nötig.

In der Benennung eines Bodens sollte der Verunreinigungsgrad mit auffälligem Material zum Ausdruck gebracht werden. Daher mußte gemeinsam mit der Bodenschutzverwaltung eine unkonventionelle, praxisorientierte und in weiten Teilen eigenständige Bodeneinteilung entwickelt werden.

Die erstellte Einteilung ist substratbetont und ergibt sich aus Art, Anteil und Tiefenlage von technogenen Beimengungen. Sie erfolgte anhand eines speziell für die Rheinfelder Verhältnisse ausgearbeiteten Substratschlüssels ähnlich dem von MEUSER (1996b) vorgeschlagenem Verfahren. Die Horizontsymbolik der natürlichen Horizonte folgte der damals gültigen "Bodenkundlichen Kartieranleitung, KA 3" (AG BODENKUNDE 1982). Für anthropogen beeinflusste Horizonte wurde eine der Fragestellung angepaßte Horizontsymbolik erstellt, die aufbauend auf der KA 3 eine genauere Differenzierung des Hemerobiegrades (= Grad der anthropogenen Beeinflussung) der Böden zuläßt (Tab. 4).

Tabelle 4: Beispiele zur Herleitung der Bodeneinheiten (Kartierschlüssel)

Bodeneinheit	Horizontabfolge bzw. diagnostischer Horizont	Anteil technogener Beimengungen [Vol-%]		Horizont- mächtigkeit
		1. Hor.	2. oder tieferer Hor.	
Braunerde	Ah - Bv	0	0	
Braunerde mit sehr wenig Beimengungen	yjYAh - Bv	1	0	
Braunerde mit wenig Beimengungen	jyYAh - Bv	2-7	0	
Kipp-Braunerde	jYAh - jYBv	0	0	
Kipp-Braunerde mit sehr wenig Beimengungen	jYAh - yjYBv	0	1	
	yjYAh - jyYBv	1	1	
Kipp-Braunerde mit wenig Beimengungen	jYAh - jyYBv	0	2-7	
	yjYAh - jyYBv	1	2-7	
	jyYAh - jyYBv	2-7	2-7	
Depo-Braunerde mit mäßig Beimengungen	AhjY od. BvjY	8-20	8-20	
Depo-Braunerde mit viel Beimengungen	AhjY od. BvjY	21-40	21-40	
Deposol mit Schlacke-, Bauschutt-, ...Horizont	yY		> 40	< 30 cm
Schlacke-, Bauschutt-, ...-Deposol	yY		> 40	30-60 cm
mächtiger Schlacke-, Bauschutt-, ...-Deposol	yY		> 40	> 60 cm

In Anlehnung an die "Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland" (AK BODENSYSTEMATIK DER DBG, 1985) wurden aus diagnostischen Horizonten bzw. Horizontabfolgen Bodeneinheiten, Untereinheiten und Varietäten abgeleitet (Tab. 4). Bodeneinheiten gleichen oder ähnlichen Hemerobiegrades wurden in Bodengruppen zusammengefaßt (Tab. 5).

Tabelle 5: Einteilung der kartierten Böden

	Nr.	Bodengruppe	Bodeneinheit	
natürliche Böden	11	Braunerden	Braunerden	
			Parabraunerden	
		Kolluvien	Kolluvium (Fluviales Kolluvium)	
	12	oberflächlich gestörte Braunerden mit Beimengungen unbedenklicher Herkunft		Braunerden mit sehr wenig Beimengungen
				Braunerden mit wenig Beimengungen
				Parabraunerden mit sehr wenig Beimeng.
				Parabraunerden mit wenig Beimeng.
	13	oberflächlich gestörte Braunerden mit Beimengungen bedenklicher Herkunft (b)		Braunerden mit sehr wenig Beimeng. (b)
				Braunerden mit wenig Beimeng. (b)
				Parabraunerden mit sehr wenig Beimeng. (b)
			Parabraunerden mit wenig Beimeng. (b)	
14	Kipp-Böden		Kipp-Lockersyroseme	
			Kipp-Pararendzinen	
			Kipp-Braunerden	
15	Kipp-Böden mit Beimengungen unbedenklicher Herkunft		Kipp-Pararendzinen mit sehr wenig Beimeng.	
			Kipp-Pararendzinen mit wenig Beimeng.	
			Kipp-Braunerden mit sehr wenig Beimeng.	
			Kipp-Braunerden mit wenig Beimeng.	
16	Kipp-Böden mit Beimengungen bedenklicher Herkunft (b)		Kipp-Pararendzinen mit sehr wenig Beimeng. (b)	
			Kipp-Pararendzinen mit wenig Beimeng. (b)	
			Kipp-Braunerden mit sehr wenig Beimeng. (b)	
			Kipp-Braunerden mit wenig Beimeng. (b)	
17	Depo-Böden mit Beimengungen unbedenklicher Herkunft		Depo-Lockersyroseme mit mäßig Beimeng.	
			Depo-Braunerden mit mäßig Beimeng.	
			Depo-Braunerden mit viel Beimeng.	
18	Depo-Böden mit Beimengungen bedenklicher Herkunft (b)		Depo-Lockersyroseme mit mäßig Beimeng. (b)	
			Depo-Braunerden mit mäßig Beimeng. (b)	
			Depo-Braunerden mit viel Beimeng. (b)	
19	Deposole unbedenklicher Herkunft		Deposole mit ...-Horizont	
			...-Deposole	
anthropogen sehr stark beeinflusste Böden	20	Deposole bedenklicher Herkunft (b)	Deposole mit ...-Horizont (b)	
			...-Deposole (b)	
			mächtige ...-Deposole (b)	



Bei den technogenen Beimengungen wurde entsprechend der Fragestellung differenziert zwischen "unbedenklichen" Materialien, wie z.B. Ziegel, Mörtel, Beton, Asphalt, Glas, Keramik, Eisen-teile, Kunststoffe, Alufolie usw. (zusammenfassend als "Beimengungen unbedenklicher Herkunft" bezeichnet) und "bedenklichen" Abfällen vorwiegend industrieller Herkunft, die möglicherweise

auf erhöhte Dioxingehalte hinweisen können (zusammenfassend als "*Beimengungen bedenklicher Herkunft*" bezeichnet). Sobald die Leitsubstrate Asche / Schlacke, Graphit, Pech, Ruß, Schamott oder weißes, carbonatfreies Pulver (Bariumsulfatschlamm) in einem Horizont gefunden wurden, wurden diese Bodeneinheiten, Untereinheiten und Varietäten auch in eigene Bodengruppen eingeteilt (Tab. 5).

Die Kartierung erfolgte grundstücksweise in der Regel mit dem Pürckhauer-Bohrstock bis 1 m Tiefe, soweit möglich an Baugruben und nur in Ausnahmefällen an Schürfrubenprofilen. Je nach Grundstücksgröße und Relief wurden mindestens zwei und maximal sieben Bohrungen je Parzelle niedergebracht. Aus Gründen des Gesundheitsschutzes war i.d.R. mit Staubmaske und Gummihandschuhen zu arbeiten.

Es konnten die in Tabelle 5 dargestellten zehn verschiedene Bodengruppen ausgewiesen werden.

Im 290 ha großen Innenstadtgebiet von Rheinfeldern wurden 1916 Flurstücke kartiert. Auf 263 Grundstücken konnte aus verschiedenen Gründen keine Sondierung erfolgen (siehe Tab. 6). Auf 1653 Grundstücken erfolgte an rund 3700 Bohrpunkten eine Bodenansprache.

729 Grundstücke wurden für Laboranalysen beprobt, wobei aus Gründen der Fragestellung (es sollte die Schadstoffbelastung der Böden bis in 1 m Tiefe ermittelt werden) und der Arbeitstechnik (Bohrstockbeprobung) keine horizontweise Beprobung vorgenommen wurde, sondern Mischproben aus 0 - 1 m Tiefe mit mindestens fünf Einstichen im Bereich des organoleptischen Verunreinigungsmaximum des jeweiligen Grundstücks gezogen wurden. An allen Proben wurden die Gesamtgehalte von Ba, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn an Pulver-Tabletten mit der Röntgenfluoreszenz-Analyse bestimmt. Der Hg-Gehalt wurde nach Königswasserextraktion am AAS bestimmt.

140 Proben wurden aufgrund der Erkenntnisse aus den Geländeerhebungen und unter Berücksichtigung von Fragen des Verwaltungsvollzugs ausgewählt und beim Institut Fresenius (Ingelheim) auf PCDD/PCDF analysiert.

5.4 Ergebnisse der Stadtbodenkartierung

5.4.1 Geländeuntersuchungen

Auf 4,5 % der sondierten Grundstücke wurden natürliche Böden (Braunerden, Parabraunerden, Kolluvien) vorgefunden (Tab. 6). Diese Böden sind eng an landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung ohne Bebauung gebunden. Bei den natürlichen Böden Rheinfeldens liegt als Hauptbodenart schluffiger Lehm vor. Sie sind fast alle bis in 1 m Tiefe entkalkt. Die pH-Werte liegen zwischen 5,0-6,0. Die elektrische Leitfähigkeit ist über alle Horizonte konstant niedrig (Max. 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Böden aus umgelagerten oder aufgefüllten, natürlichen Substraten ohne Fremdbeimengungen wurden als "Kipp-Böden" (Bodengruppe 14) bezeichnet. Sie sind vor allem in den jüngeren Stadtteilen und in reinen Wohngebieten verbreitet. Als Bodenart überwiegt gegenüber den natürlichen Böden die Bodenartengruppe lehmiger Schluff. Über die Hälfte der Böden dieser Bodenartengruppe ist bis in den Unterboden entkalkt. Bei den pH-Werten ergibt sich ein entsprechendes Bild. Die elektrische Leitfähigkeit ist im Mittelwert über alle Horizonte gegenüber den natürlichen Böden leicht erhöht.

Bei anthropogen beeinflussten Böden wurde bei gleichem Anteil technogener Beimengungen jeweils in zwei Bodengruppen unterschieden. Zum einen solche mit technogenen Beimengungen, die nicht aus industriellen Prozessen mit Dioxinverdacht stammen und zum anderen solche mit Beimengungen, die möglicherweise auf erhöhte Dioxingehalte hinweisen können.

Tabelle 6: Verteilung der Böden Rheinfeldens auf die ausgewiesenen Bodengruppen

Nr.	Bodengruppen und nicht sondierte Flächen	Flurstücke				
		kartiert n	sondiert abs. n	rel. %	beprobt n	PCDD/F- Analysen n
11	Natürliche Böden	73	73	4,5	6	1
12	Oberflächlich gestörte Böden mit Beimengungen unbedenklicher Herkunft	13	13	0,8	1	1
13	Oberflächlich gestörte Böden mit Beimengungen bedenklicher Herkunft	23	23	1,4	9	1
14	Kipp-Böden	269	269	16,3	23	4
15	Kipp-Böden mit Beimeng. unbedenklicher Herkunft	353	353	21,4	44	5
16	Kipp-Böden mit Beimeng. bedenklicher Herkunft	641	641	38,8	436	72
17	Depo-Böden mit Beimeng. unbedenklicher Herkunft	37	37	2,3	3	1
18	Depo-Böden mit Beimeng. bedenklicher Herkunft	172	172	10,4	146	34
19	Deposole unbedenklicher Herkunft	8	8	0,5	3	0
20	Deposole bedenklicher Herkunft	64	64	4,0	58	21
	Bekannte Altlastenflächen	50	-	-	-	-
	Industrieflächen	17	-	-	-	-
	Zutritt verweigert	4	-	-	-	-
	Überbaut oder / und versiegelt	192	-	-	-	-
Summe		1916	1653	100	729	140

Böden mit technogenen Beimengungen ohne Dioxinverdacht, die als *Beimengungen unbedenklicher Herkunft* bezeichnet wurden (z. B. Bauschutt), sind vor allem in den neueren Stadtteilen zu finden. Dagegen sind Böden mit *Beimengungen bedenklicher Herkunft* eher in den älteren Stadtteilen verbreitet. Unabhängig von der Art der technogenen Beimengungen können für diese Böden folgende Charakteristika festgehalten werden: Mit zunehmendem Hemerobiegrad nimmt der Anteil von lehmigem Schluff als Hauptbodenart ab und der Anteil von sandigem Lehm, lehmigem Sand und Sand nimmt zu. Mit steigendem Hemerobiegrad nimmt tendenziell auch der Carbonatgehalt im Ober- und Unterboden zu, wobei stark anthropogen gestörte Böden im Ober- und Unterboden carbonatfrei bis extrem carbonatreich sein können. Die pH-Werte liegen dann im Oberboden häufig zwischen pH 6,0-8,0 und im Unterboden von pH 6,5-11,0. Die elektrische

Leitfähigkeit ist gegenüber natürlichen Böden oder Kippböden im Mittelwert und im Maximum erhöht. Jedoch zeigt sich hier keine eindeutige Korrelation zum Hemerobiegrad.

5.4.2 Laboruntersuchungen

Bei den Ergebnissen der Laboruntersuchungen zeigte sich, daß die Böden in Rheinfelden i.d.R. im Vergleich zu urbanen Böden anderenorts - auch unter Berücksichtigung der hier bis in 1 m Tiefe reichenden Mischprobenahme - nur geringe Gehalte an Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn aufweisen. Nur in den Böden der Bodengruppen mit Beimengungen bedenklicher Herkunft ergaben sich in Einzelfällen deutlich erhöhte Schwermetallgehalte (Tab. 7). Diese Schadstoffgehalte ließen sich immer mit industriellen Ablagerungen in Verbindung bringen.

Die Gehalte an Barium, welches nach LUTZ et al. (1991) als möglicher Leitparameter betrachtet wurde, sind in den Böden Rheinfeldens zwar regelmäßig etwas erhöht, zeigen aber ebenfalls nur bei den Bodengruppen mit Beimengungen bedenklicher Herkunft hohe bis sehr hohe Konzentrationen.

Die PCDD/PCDF-Gehalte in den untersuchten Böden liegen bei allen Proben der Bodengruppen *ohne* Beimengungen bedenklicher Herkunft unter oder im Bereich von 100 ng I-TEQ/kg (nur bei einer Ausnahme wurden 136 ng I-TEQ/kg Boden gemessen). Hier muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß durch die an Fragen des Verwaltungsvollzugs orientierte Auswahl der zur PCDD/PCDF-Analyse gebrachten Bodenproben eine deutlich gewichtete Stichprobe erzeugt wurde. Für die Bodengruppen *mit* Beimengungen bedenklicher Herkunft ergaben sich in 30 Fällen Dioxin- und Furangehalte von > 1.000 ng I-TEQ/kg. Der Maximalgehalt wurde mit 124.932 ng I-TEQ/kg Boden ermittelt. Allerdings wurden auch in diesen Bodengruppen PCDD/PCDF-Gehalte von deutlich < 1.000 ng I-TEQ/kg gemessen.

Die Verteilung der PCDD/PCDF-Belastungen der Böden im Kartiergebiet folgt, ähnlich der Verbreitung der optisch auffälligen Böden, weitgehend den einzelnen Bauabschnitten der Stadt:

Eine Belastung von 5-40 ng I-TEQ/kg liegt über die ganze Innenstadt verteilt vor ("Hintergrundbelastung" für Rheinfelden), während sich PCDD/PCDF-Gehalte von < 5 ng I-TEQ/kg) nahezu ausschließlich auf die natürlichen Böden und die jüngeren Bebauungsgebiete beschränken. Bodenbelastungen von > 100 ng I-TEQ/kg) haben ihre Hauptverbreitung in den älteren Stadtteilen. Die wenigen Ausnahmen in der jüngeren Bebauung werden eindeutig durch die sichtbaren technologischen Beimengungen bedenklicher Herkunft bestätigt. Es handelt sich hierbei um einzelne, sehr eng begrenzte (flurstücksbezogene) "Verschleppungsnester".

Im Bereich der älteren Bebauung fanden sich insgesamt deutlich höhere PCDD/PCDF-Belastungen, welche auch flurstücksübergreifend auftreten können.

Die optisch wenig oder gar nicht gestörten Böden lagen bis auf eine Ausnahme (mit atypischem Kongenerenmuster) unter 40 ng I-TEQ/kg. Von den übrigen auf PCDD/PCDF untersuchten Proben weisen nur Böden der Bodengruppen 16, 18 und 20 Gehalte über 40 ng I-TEQ/kg auf. Die Arbeitshypothese, wonach in Rheinfelden PCDD/PCDF-Belastungen des Bodens von über ca. 100 ng I-TEQ/kg an sichtbare Partikel gebunden vorliegen und daher bei der Stadtbodenkartierung durch eine bodenkundliche Geländeaufnahme erfaßt werden können (siehe Kapitel 5.3.1), wurde somit weitgehend bestätigt.

Tabelle 7: Kennwerte verschiedener Schadstoffgehalte in den Böden des Innenstadtgebietes von Rheinfelden

Nr.	Bodengruppen	Cr mg/kg		Cu mg/kg		Hg mg/kg		Ni mg/kg		Pb mg/kg		Zn mg/kg		PCDD/F ng I-TEQ/kg	
		Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max
11	Natürliche Böden	56	146	33	40	0,04	0,08	43	58	33	37	62	101		2,1
12	Oberflächlich gestörte Böden mit Beimengungen unbedenklicher Herkunft	33	33	25	25	0,11	0,11	28	28	30	30	51	51		136
13	Oberflächlich gestörte Böden mit Beimengungen bedenklicher Herkunft	81	96	40	80	0,08	0,25	50	58	44	111	129	382		243
14	Kipp-Böden	51	94	30	57	0,05	0,27	32	51	33	69	71	185	4,0	11,7
15	Kipp-Böden mit Beimeng. unbedenklicher Herkunft	54	112	36	65	0,14	3,90	32	56	41	110	77	367	6,1	14,8
16	Kipp-Böden mit Beimeng. bedenklicher Herkunft	69	1758	43	459	0,12	5,90	40	76	56	3056	138	824	36,8	19137
17	Depo-Böden mit Beimeng. unbedenklicher Herkunft	97	99	47	50	0,11	0,70	43	52	49	52	146	158	5,0	5,0
18	Depo-Böden mit Beimeng. bedenklicher Herkunft	78	3006	47	193	0,12	3,38	43	108	69	1994	140	1767	153	124932
19	Deposole unbedenklicher Herkunft	84	93	50	91	0,16	0,23	40	50	55	60	164	260	n.b.	n.b.
20	Deposole bedenklicher Herkunft	86	3201	49	467	0,15	24,35	50	370	66	1076	153	525	114	104217
	alle Böden mit Beimengungen unbedenklicher Herkunft (n=51)	57	112	36	91	0,14	3,90	32	56	41	136	88	367	6,1 (n=7)	136
	alle Böden mit Beimengungen bedenklicher Herkunft (n=649)	74	3201	44	467	0,12	24,35	41	370	59	3059	138	1767	68,6 (n=128)	124932
	alle Böden (n=729)	71	3201	43	467	0,12	24,35	41	370	56	3059	133	1767	52,0 (n=140)	124932

Med = Median; Max = Maximalwert; I-TEQ = Internationale Toxizitätsäquivalente nach NATO-CCMS

Daraus darf jedoch nicht der Umkehrschluß gezogen werden, daß alle organoleptisch deutlich auffälligen Böden auch hohe PCDD/PCDF-Gehalte aufweisen. Böden der Bodengruppen 16, 18 und 20 erreichen zwar in Einzelfällen Werte bis deutlich über 100.000 ng I-TEQ/kg, der Median der PCDD/PCDF-Gehalte für diese Bodengruppen befindet sich aber bei rund 70 ng I-TEQ/kg (Tab. 7).

5.4.3 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Um den Nutzen einer vertieften, statistischen Auswertung der mit der Stadtbodenkartierung Rheinfeldern erhobenen Daten zu evaluieren, wurde an der ETH Zürich, Institut für Terrestrische Ökologie, Fachbereich Bodenschutz eine Vorstudie mit vornehmlich explorativem Charakter durchgeführt (KELLER et al., 1995).

Primäres Ziel dieser Studie war, Zusammenhänge zwischen der Dioxin- und Schwermetallbelastung der Böden und den erfaßten profilmorphologischen Bodenmerkmalen zu finden, die als kosteneffiziente Leitparameter für eine Diagnose von Dioxinen und Schwermetallbelastungen im Boden dienen können (deskriptive Datenvisualisierung, Varianz-, Regressions- und Kovarianzanalyse). Weiterhin war die Abklärung der Möglichkeit einer Differenzierung der Bodenkarte hinsichtlich positiver und negativer Indikatoren der Schadstoffbelastung (Clusteranalyse) sowie die Analyse der räumlichen Repräsentativität einzelner Sondierungen innerhalb eines Flurstücks von Interesse (Semi- und Kovariogrammanalyse). Im Rahmen dieses Exkursionsführers soll kurz auf die wichtigsten Ergebnisse der Identifikation positiver und negativer Indikatoren erhöhter Dioxinbelastungen eingegangen werden.

Die sondierten Flurstücke wiesen häufig in mindestens einem Horizont Schlacke (762 Flurstücke), Ruß (259) oder Pech (105) auf. Das Vorhandensein der Beimengungsart Schlacke in der Bodenprobe erklärte zwar das Vorhandensein von Dioxinen sowie erhöhte Barium- und Schwermetallgehalte, nicht aber die Höhe der Schadstoffbelastungen. Ruß und weißes Pulver (BaSO_4 -Schlammrückstände) wiesen auf erhöhte Dioxinbelastungen hin. Pech und Graphit erklärten keine erhöhten Dioxinbelastungen. Quantitative Zusammenhänge von Beimengungsarten und Dioxinbelastungen wurden nicht gefunden.

Korrelationen der zu untersuchenden Parameter weisen auf ähnliche bzw. gleiche Ursachen der Schadstoffbelastung hin. Die Dioxingehalte korrelierten vor allem mit den Barium-, Blei- und Kupfergehalten. Weiterhin zeigten sich Korrelationen zwischen Ba und Pb, Pb und Cu, Pb und Zn sowie Cu und Zn. Die vermuteten Zusammenhänge der Hg-Belastungen mit Ba, Pb und Dioxinen konnten nicht bestätigt werden. Im multivarianten Raum repräsentierte die erste Hauptkomponente der transformierten Ba-, Pb-, Cu- und Zn-Gehalte etwa 2/3 der gesamten Varianz der korrelierten Variablen. Um Prognosen für sondierte, aber nicht beprobte Flurstücke hinsichtlich der Dioxinbelastung angeben zu können, wurde eine bestmögliche Klassenunterscheidung der dioxinbeprobten Flurstücke (Gruppen < 100 ng, 100-1000 ng und > 1000 ng I-TEQ/kg) anhand geeigneter Parameter gerechnet. Mit den Ba-, Pb-, Cu- und Zn-Gehalten sowie den Beimengungsarten Schlacke, Pech und Ruß konnte lediglich eine schwache Diskriminierung der Gruppen erreicht werden. Die Beimengungsarten trugen hier nur bedingt zur Unterscheidung der Dioxin-

gruppen bei, obwohl Sondierungen mit Schlacke- und Rußanteilen signifikant höhere Dioxingehalte aufwiesen.

Die statistische Analyse zeigte, daß die Nachweisbarkeit von Zusammenhängen zwischen der Dioxin-, Ba- und Schwermetallbelastung der Böden und den profilmorphologischen Merkmalen u.a. vermutlich stark durch die gewählte gerichtete Kartiermethodik limitiert wurde. Durch die vollzugsorientierte Abklärung von vermuteten Belastungen ("positive" Verdachtsabklärung) waren Böden, bei denen keine Belastung vermutet wurde, insbesondere durch die geringe Analysenanzahl in den Bodengruppen 11, 14 und 15, statistisch ungenügend repräsentiert. Ein Rückschluß auf nicht beprobte Flurstücke, um den Belastungsverdacht eines Flurstückes auszuschließen zu können ("negative" Verdachtsabklärung) war somit nur unter Vorbehalt möglich. Weitere limitierende Faktoren der Nachweisbarkeit von Zusammenhängen zwischen der Dioxinbelastung und anderen Indikatoren stellten die Siebung der Bodenproben bei < 2 mm (insbesondere bzgl. Beimengungen) sowie die Mischbeprobung aus dem ersten Bodenmeter bzw. fehlende Dioxinanalysen von Horizonten mit spezifischen Merkmalen (z.B. Pechanteil) dar. Zur Ergänzung und Erhöhung der Aussagekraft der Stadtbodenkartierung Rheinfeldens wurden daher weitere Analysen und Abklärungen vorgeschlagen.

5.5 Beispielhafte Bodenprofile

Von den 1653 untersuchten Bohrstockprofilen sind für die Exkursion drei für Rheinfeldens repräsentative und für die jeweilige Bodengruppe typische Profile ausgewählt worden. Dabei wurde aus Gründen des Gesundheitsschutzes auf geringe Schadstoffgehalte in den Demonstrationsprofilen geachtet, weshalb keine Depo-Böden oder Deposole aus Chloralkalielektrolyse-Rückständen gezeigt werden können. Die Exkursionsprofile geben aber einen vollständigen Einblick in die Methodik der Stadtbodenkartierung Rheinfeldens.

5.5.1 Exkursionsprofil 4: Standort Scheffelstraße 17-21

Das Profil befindet sich im Vorgarten einer Wohnblockbebauung aus dem Jahr 1951. Die Vorgärten der benachbarten Gebäude entlang der Straße in Richtung Osten sind ebenfalls mit ähnlichen Industrieabfällen verfüllt.

Die Profildaten und die Herleitung der Bodeneinheit sind in Tabelle 8 dargestellt.

Beim Hauptsubstrat im dritten Horizont (33-79 cm Tiefe) des Profils handelt es sich um Schlacke(n) aus der Aluminiumproduktion, die hier wahrscheinlich in den Jahren von 1942 bis 1946 verfüllt wurden.

Nach den Laboranalysen der Stadtbodenkartierung (0-1 m Mischprobe) weist das Bodenprofil mit 68,9 ng I-TEQ/kg keine deutlich erhöhten PCDD/PCDF-Gehalte auf. Selbst das vorgefundene technologene Substrat enthält mit 141 ng I-TEQ/kg keine Dioxingehalte weit über dem Schwellenwert vom 100 ng I-TEQ/kg. Das Substrat ist aber durch hohe Al-, Cr- sowie Carbonat-Gehalte gekennzeichnet.

Bei den Schwermetall-Gesamtgehalten überschreitet lediglich der Cr-Gehalt im yY-Horizont mit 700 mg/kg den Prüfwert Pges der "Verwaltungsvorschrift (VwV) Anorganische Schadstoffe"

(UMWELTMINISTERIUM, 1993) hinsichtlich des Schutzgutes Mensch bei Nutzung Siedlungsfläche (500 mg Cr/kg).

Die mobilen Schwermetallgehalte (NH_4NO_3 -Extrakt) liegen ebenfalls mit Ausnahme des Cr im yY-Horizont unterhalb der Prüfwerte Pmob der genannten VwV. Im yY-Horizont überschreitet der mobile Cr-Gehalt mit $83 \mu\text{g Cr/kg}$ den Prüfwert hinsichtlich des Schutzgutes Pflanzen ($60 \mu\text{g/kg}$). Bei einer gärtnerischen Nutzung des Grundstückes wäre hier eine Einzelfallprüfung bzgl. möglicher Nutzungseinschränkungen vorzunehmen. Bei der aktuellen Nutzung und den nur gering erhöhten Schadstoffgehalten im Oberboden besteht hier kein Handlungsbedarf der Bodenschutzbehörden. Allerdings darf das bei denkbaren Baumaßnahmen anfallende (Erd-)Material nicht uneingeschränkt verwertet werden, sondern ist aufgrund des PCDD/PCDF-Gehaltes von $>5 \text{ ng I-TEQ/kg}$ auf eine speziell für Aushub aus der Rheinfelder Innenstadt eingerichtete Depone zu verbringen.

5.5.2 Exkursionsprofil 5: Standort Güterstraße 6-8

Das Profil befindet sich auf einer als privater Spielplatz genutzten Rasenfläche hinter einem Wohnblock aus dem Jahr 1955.

Dieses Profil repräsentiert die mit 641 kartierten Grundstücken zahlenmäßig mit Abstand bedeutendste Bodengruppe 16, Kipp-Böden mit Beimengungen bedenklicher Herkunft (b).

Die Profildaten sowie die Herleitung der Einstufung in die Bodeneinheit sind in Tabelle 9 zusammengefaßt.

In das bei Baumaßnahmen zur Verfüllung gebrachte natürliche Bodenmaterial (hier einem kiesigen Auenlehm) sind geringe Anteile technogener Beimengungen als kleine Partikel eingemischt. Allerdings können diese nur geringen Anteile an "Beimengungen bedenklicher Herkunft" (2-7 Vol.-%) erhebliche PCDD/PCDF-Belastungen verursachen: Profil 5 ist das der drei Exkursionsprofile mit der höchsten Dioxinbelastung (212 ng I-TEQ/kg in der 0-1 m Mischprobe). Nach der Geländeansprache organoleptisch sehr ähnliche Profile enthalten bis nahezu $20.000 \text{ ng I-TEQ/kg}$.

Die Schwermetallgehalte in diesem Profil liegen sowohl bei den Gesamt- wie auch bei den mobilen Gehalten unterhalb der Prüfwerte der VwV Anorganische Schadstoffe.

Eine Einschränkung der Nutzung ist aufgrund der ermittelten Oberbodengehalte nicht notwendig. Allerdings legt der PCDD/PCDF-Wert von deutlich über 100 ng I-TEQ/kg im Gesamtprofil die Empfehlung nahe, die Grünfläche nicht als Spielplatz für Kleinkinder zu nutzen.

5.5.3 Exkursionsprofil 6: Standort Rheinpark

Dieses Profil befindet sich in einem Park am Rheinufer. Das Grundstück wird als öffentliche Grünfläche genutzt. Es wurde als Beispiel für einen deutlich durch anthropogene Auffüllung gestörten Boden *ohne* "Beimengungen bedenklicher Herkunft" ausgewählt (Bodengruppe 17, Depo-Böden mit Beimengungen unbedenklicher Herkunft).

Die Profildaten und die Herleitung der Bodeneinheit sind in Tabelle 10 zusammengefaßt.

Obwohl die gesamte Tiefe dieses Profils durch offenkundige anthropogene Aufschüttung entstanden ist, finden sich im Boden nur unbedenkliche Beimengungen wie Ziegel, Mörtel oder Bruchsteine (Bauschutt). Bedeutsam ist, daß dieses Profil im Vergleich zum vorhergehenden Standort

Tabelle 8: Profildaten für Exkursionsprofil 4 "Scheffelstraße 17-21"

Profil 4: Scheffelstraße 17-21

<u>ProfilNr.</u>	<u>Bodeneinheit</u>	<u>Bodengruppe</u>	<u>Substrat</u>	<u>Nutzung</u>	<u>Versiegelung</u>
7178	Schlacke-Deposol	20	Schlacke aus Aluminium- produktion/Lehm	Wohnblock mit Hausgärten	80%

Nr.	Hori- zont	Tiefe (cm)	Skelett (Vol.-%)	Textur	pH (CaCl ₂)	el. Leitf. (µS)	Carbonat (Gew.-%)	Farbe (Munsell)	Beimengungen	
									Art*	Anteil (%)
1	jYAh	0-20	2-10	U1	7,2	62	2-10	10YR3/2	-	-
2	yyYBv	20-33	2-10	U12	7,5	110	10-25	10YR6/3	Zi/Mö	<1/<1
3	IlyY	33-79	25-50	S1	7,6	111	25-50	10YR3/2	Sch/Gl/Mö/Zi	>40/<1/2-7/2-7
4	IIIBv	79-100	0-2	L12	7,2	109	0-0,5	10YR4/4	-	-

Nr.	Hori- zont	Gesamtgehalte (mg/kg)									NH ₄ NO ₃ -Extrakte (µg/kg)							PCDD/F (ng I-TEQ/kg)	
		Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn	As	Ba	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn		As
1	jYAh	84	0,45	119	38	0,18	38	255	14	n.b.	<10	2,9	<15	72	<1	<15	217	<5	25,8
2	yyYBv	46	0,30	148	26	0,17	31	147	10	n.b.	<10	<0,5	<15	82	<1	<15	<10	<5	34,2
3	IlyY	44	0,36	700	86	0,07	83	91	29	n.b.	<10	<0,5	83	<15	<1	43	<10	6	141,2
4	IIIBv	40	0,27	59	28	0,05	47	96	16	n.b.	<10	<0,5	<15	<15	<1	<15	<10	<5	n.b.
Im-Misch- probe (SBK)**		70	<10	1102	43	0,10	50	137	n.b.	136	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	68,9

*Zi=Ziegel, Mö=Mörtel, Ko=Kohle, St=Bruchsteine, Gl=Glas, Ru=Ruß, Sch=Schlacke, Gra=Graphit; **SBK=Stadtbodenkartierung (93/94)

Der Anteil an Schlacken liegt im diagnostischen 3. Horizont über 40 %, so daß dieser Horizont nach dem erstellten Kartierschlüssel (Tab. 4) als yY-Horizont (umgelagertes Substrat mit > 40 Vol.-% technogenen Beimengungen) angesprochen wurde. Ein yY-Horizont mit 30-60 cm Mächtigkeit ist diagnostisch für einen Deposol (in diesem Fall "Schlacke-Deposol"). Da die Beimengungen industrieller Herkunft sind und nach feldbodenkundlicher Ansprache auf möglicherweise erhöhte PCDD/PCDF-Gehalte hinweisen ("*Beimengungen bedenklicher Herkunft*"), wird dieses Profil in die Bodengruppe 20, Deposole bedenklicher Herkunft (b) eingestuft.

Tabelle 9: Profildaten für Exkursionsprofil 5 "Güterstraße 6-8"

Profil 5: Güterstraße 6-8

ProfilNr.	Bodeneinheit	Bodengruppe	Substrat	Nutzung	Versiegelung
8318	Kipp-Braunerde mit wenig Beimengungen bedenklicher Herkunft	16	Auffüllung mit kiesigem Lehm	Wohnblock mit Spielfläche	50%

Nr.	Horizont	Tiefe (cm)	Skelett (Vol.-%)	Textur	pH (CaCl ₂)	el. Leitf. (µS)	Carbonat (Gew.-%)	Farbe (Munsell)	Beimengungen	
									Art*	Anteil (%)
1	jjYAh	0-26	2-10	Uls	7,1	170	2-10	10YR3/4	Ko/Zi/Sch/Gra	2-7/<1/<1/<1
2	jjYBv	26-65	25-50	Slu	7,3	214	10-25	10YR5/4	Zi/Ru/Sch/Gra	2-7/<1/<1/<1
3	IIjjYBv	65-90	10-25	Lu	n.b.	n.b.	2-10	10YR5/4	Zi/Sch	<1/2-7
4	IIlrBv	90-100	<2	Üs	n.b.	n.b.	25-50	n.b.	-	-

Nr.	Horizont	Gesamtgehalte (mg/kg)									NH ₄ NO ₃ -Extrakte (µg/kg)							PCDD/F (ng I-TEQ/kg)	
		Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn	As	Ba	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn		As
1	jjYAh	53	0,35	31	29	0,25	29	102	8,7	n.b.	<15	<0,5	<15	123	<1	<15	<10	<5	71,1
2	jjYBv	34	0,25	33	20	0,13	30	93	8,3	n.b.	<15	<0,5	<15	<15	<1	<15	<10	<5	16,1
3	IIjjYBv	46	0,25	42	25	0,17	38	149	8,8	n.b.	<15	<0,5	<15	<15	<1	<15	<10	<5	5,1
4	IIlrBv	18	0,18	18	12	0,11	20	43	6,1	n.b.	<15	<0,5	<15	<15	<1	<15	<10	<5	n.b.
1m-Mischprobe (SBK)**		55	<10	36	32	0,10	29	98	n.b.	100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	212,0

*Zi=Ziegel, Mö=Mörtel, Ko=Kohle, St=Bruchsteine, Gl=Glas, Ru=Ruß, Sch=Schlacke, Gra=Graphit; **SBK=Stadtbodenkartierung (93/94)

Im 1. Horizont, einem humosen A-Horizont, liegen 2-7 Vol.-% Kohle und je bis zu 1 Vol.-% Schlacke und Graphit vor. Es handelt sich um umgelagertes bzw. aufgefülltes Auenlehmmaterial, vermischt mit wenig Beimengungen bedenklicher Herkunft. Der Carbonatgehalt von 2-10 % ist auf die geringen Anteile an Bauschutt zurückzuführen. Bei der Profilsprache überwiegt der Eindruck des A-Horizontes, weshalb dieser Horizont nach Kartierschlüssel als **jjYAh** bezeichnet wird. Im 2. Horizont liegt ebenfalls umgelagertes bzw. aufgefülltes, verbrauchtes Auenlehmmaterial vermischt mit wenig Beimengungen bedenklicher Herkunft und wenig Ziegeln vor. Er wird folglich als **jjYBv** bezeichnet. Bedingt durch deutlich geringeren Skelettanteil, den Körnungssprung und den geringeren Carbonatgehalt bei sonst ähnlichen Merkmalen wie Horizont 2, wird der 3. Horizont als **IIjjYBv** bezeichnet. Diese Horizontabfolge führt zur Benennung des Bodens als Kipp-Braunerde mit wenig Beimengungen bedenklicher Herkunft (b).

Tabelle 10: Profildaten für Exkursionsprofil 6 "Rheinpark"

Profil 6: Rheinpark

ProfilNr.	Bodeneinheit	Bodengruppe	Substrat	Nutzung	Versiegelung
8381	tiefhumose Depo-Pseudogley-Braunerde mit mäßig Beimengungen unbedenklicher Herkunft	17	Lößlehm und Bauschutt	Öffentliche Parkanlage	15 %

Nr.	Horizont	Tiefe (cm)	Skelett (Vol.-%)	Textur	pH (CaCl ₂)	el. Leitf. (µS)	Carbonat (Gew.-%)	Farbe (Munsell)	Beimengungen	
									Art*	Anteil (%)
1	yjYAB	0-18	10-25	Uls	7,0	74	2-10	10YR4/3	Zi	<1
2	BvyjY	18-57	25-50	Uls	6,9	90	2-10	10YR4/2	Zi/St	8-20/8-20
3	jjYSw	57-80	25-50	Lus	7,1	123	10-25	10YR4/2	Zi/Mö/St	<1/<1/<1
4	yjYSg	80-100	10-25	Ls	7,2	132	10-25	10YR4/2	Zi/Mö	<1/<1

Nr.	Horizont	Gesamtgehalte (mg/kg)										NH ₄ NO ₃ -Extrakte (µg/kg)						PCDD/F (ng I-TEQ/kg)		
		Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn	As	Ba	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn	As		
1	yjYAB	46	0,38	28	32	0,29	25	86	8,1	n.b.	<10	<0,5	<15	139	<1	<15	<10	<5		1,2
2	BvyjY	46	0,26	26	27	0,24	22	84	7,9	n.b.	<10	<0,5	<15	62	<1	<15	<10	13		4,4
3	jjYSw	51	0,23	24	24	0,35	22	72	8,0	n.b.	<10	<0,5	<15	58	<1	<15	<10	12		2,3
4	yjYSg	40	0,24	25	20	0,21	21	68	7,3	n.b.	<10	<0,5	<15	65	<1	30	<10	20		n.b.
1m-Mischprobe (SBK)**		55	<10	84	44	0,44	29	75	n.b.	147	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		6,6

*Zi=Ziegel, Mö=Mörtel, Ko=Kohle, St=Bruchsteine, Gl=Glas, Ru=Ruß, Sch=Schlacke, Gra=Graphit; **SBK=Stadtbodenkartierung (93/94)

Der erste Horizont dieses Profils ist ein umgelagerter Auenlehm mit sehr geringen Anteilen an Bauschutt (Ziegel). Im 2. Horizont hat das umgelagerte, verbrauchte Auenlehmmaterial einen deutlich erhöhten Anteil von je 8-20 Vol.-% Ziegel und Bruchsteinen. Dieser Horizont ist als BvyjY-Horizont diagnostisch für die Bodengruppe der "Depo-Böden". Unterhalb von 57 cm Tiefe treten deutliche Stauwassermerkmale auf, weshalb dieser Boden in die Bodeneinheit Depo-Pseudogley-Braunerde mit mäßig Beimengungen unbedenklicher Herkunft (Bodengruppe 17) eingereiht wurde.

optisch zwar deutlich stärker gestört erscheint, aber dennoch keine technogenen Beimengungen aus industriellen Prozessen, welche möglicherweise auf erhöhte Dioxingehalte hinweisen, enthält.

Auch die untersuchten Schadstoffgehalte (Schwermetalle und Dioxine) befinden sich im Rahmen der gültigen Vorgaben für eine uneingeschränkte Bodennutzung. Aus stofflicher Sicht könnte das beim Aushub dieser Fläche anfallende Material uneingeschränkt verwertet werden.

5.6 Fazit und Ausblick

Das bei der hier vorgestellten Untersuchung gewählte Vorgehen einer Stadtbodenkartierung orientierte sich stark an den Bedürfnissen der vor Ort tätigen Bodenschutzbehörden. Es zeigt, daß die Methoden der Stadtbodenkunde durch fallorientiertes Vorgehen auch bei praktischen Fragestellungen erfolgreich angewendet werden können. Die Erkenntnisse zur Lösung der Belastungsproblematik in Rheinfeldern konnten durch die bei der Stadtbodenkartierung gewonnenen Daten erheblich erweitert werden. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde eine detaillierte Sanierungs- und Entsorgungsplanung erstellt. Seit Januar 1997 sind in Rheinfeldern entsprechende Sanierungsmaßnahmen im Gange. Mit dem Abschluß der Gesamtsanierung der PCDD/PCDF-Bodenbelastungen im Stadtgebiet von Rheinfeldern mit einem geschätzten Kostenumfang von ca. 10 Mio. DM wird in spätestens fünf Jahren gerechnet.

Das vollzugsorientierte Vorgehen wirft auf der naturwissenschaftlichen Seite Fragen auf, die im Zuge der bisherigen Untersuchungen noch nicht zweifelsfrei geklärt werden konnten. Weiterer Untersuchungsbedarf besteht u.a. bei der Ausdehnung der beprobten und analysierten Standorte auf organoleptisch nicht auffällige Sondierungen, um somit einen verdachtsunabhängigen, repräsentativen Datensatz zu erhalten.

Der angewandte Probennahmemodus (1 m Mischprobe) hat sich bisher für die Rheinfelder Fragestellung bewährt, sollte aber dennoch an einer hinreichend großen Anzahl Horizont-Einzelproben genauer überprüft werden. Desgleichen dürfte die Analytik der Fraktion > 2 mm, wie auch der Einzelkomponenten der technogenen Beimengungen aufschlußreiche Erkenntnisse über die Problematik der Erkennung von Belastungsrisiken an Feldmerkmalen bergen.

Die Art der Nutzung und die Bebauungszeit eines Flurstücks bestimmen sowohl den Grad der angenommenen Maximalkontamination, wie auch die räumliche Verteilung von gestörten und ungestörten Bereichen deutlich mit. Genauere Aussagen hierüber könnten feinrastrige Detailkartierungen von entsprechenden Flurstücken mit statistischer Auswertung ergeben.

Dem angewandten Bodenschutz in Verdichtungsräumen wäre nach entsprechender Integration der gewonnenen Erkenntnisse eine abgesicherte und kosteneffiziente Methodengrundlage zur Erfassung und Abgrenzung von Kontaminationsherden, die dem jeweiligen Belastungsfall angepaßt werden könnte, verfügbar.

Die fallbezogene Stadtbodenkartierung Rheinfeldern kann mit ihrer konkreten Fragestellung und dem streng substratbezogenen Vorgehen bei der Bodeneinteilung als ein gelungenes Beispiel für ein anwendungsorientiertes Vorgehen in der Stadtbodenkunde angesehen werden.

6. Literatur

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., 392 S., 33 Abb., 91 Tab., Hannover.
- AG BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. 3. Aufl., 331 S., 19 Abb., 98 Tab., 1 Beil., Hannover.
- AK BODENSYSTEMATIK DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (1985): Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland (Kurzfassung). Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 44, 1-90, Oldenburg.
- AK STADTBÖDEN (1989): Kartierung von Stadtböden. - Empfehlung des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die bodenkundliche Kartieranleitung urban, gewerblich und bedenklich überformter Flächen (Stadtböden). UBA-Texte 18/89, 162 S., Berlin.
- BLUME, H.-P. [Hrsg.] (1992): Handbuch des Bodenschutzes. 2. Aufl., Ecomed, Landsberg/Lech.
- BodSchG (1991): Gesetz zum Schutz des Bodens (BodSchG) Baden-Württemberg vom 24.06.91; Gesetzblatt von Baden-Württemberg 1991, S. 434-440, Stuttgart.
- BOLL, M., FLECK, W. (1994): Karte und Tabellarische Erläuterung. Blatt 8311 Lörrach - Bodenkarte Baden-Württ. 1:25.000. 45 S., 1 Tab., 1 Kt., Geol. Landesamt Baden-Württ., Freiburg i. Br.
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGRUPPE DIOXINE (1991): Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine. - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn.
- CORDESEN, E., SIEM, H.-K., FINNERN, H., BLUME, H.-P. (1988): Bodenkarte 1:20.000 Kiel und Umland. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 56, 333-338, Oldenburg.
- FREMGEN, B., ZISSEL, G. (1992): "Dioxin-Altlasten" - eine der Ursachen für die Dioxinbelastung in Rheinfelden. Müll und Abfall, 1, 23-28.
- GRENZIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West) - Klassifizierung, Vergesellschaftung, Ökologische Eigenschaften. Diss. TU Berlin, FB Landschaftsentwicklung, 526 S.
- HOLLAND, K. (1996): Stadtböden im Keuperbergland am Beispiel Stuttgarts. Hohenheimer Bodenkundl. Hefte, 39, 228 S., Stuttgart
- HORNIG, W., WALDMANN, F., ZWÖLFER, F. (1994): Bodenfunktionenkarte 1:50.000, Blatt L 7520 Reutlingen - Bewertung des Bodens als Standort für Kulturpflanzen, als Ausgleichskörper im Wasserkreislauf sowie als Filter und Puffer. 28 S., 4 Tab., Tab.-Anh., 1 Kt.; Geol. Landesamt Baden-Württ., Freiburg i.Br.
- KELLER, A., VON STEIGER, B., SCHULIN, R. (1995): Auswertung der Daten der Stadtbodenkartierung Rheinfelden; Bericht für das Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Waldshut, 54 S. u. Anhang, unveröff.
- LUTZ, G., OTTO, W., SCHÖNBERGER, H. (1991): Neue Altlast - Hochgradig mit polychlorierten Dibenzofuranen belastete Rückstände aus der Chlorerzeugung gelangten jahrzehntelang in die Umwelt. Müllmagazin, 3, 55-60, Berlin.
- MARKS, R., MÜLLER, M.J., LESER, H., KLINK, H.J. (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes. - Forschungen zur deutschen Landeskunde, 229, 222 S., 25 Abb., 61 Tab., Trier.

- MEUSER, H. (1996a): Schadstoffpotential technogener Substrate in Böden urban-industrieller Verdichtungsräume. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 159, 621-628, Weinheim.
- MEUSER, H. (1996b): Ein Bestimmungsschlüssel für natürliche und technogene Substrate in Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 159, 305-312, Weinheim.
- MOHR, B. (1987): Rheinfelden (Baden). Siedlungsentwicklung 1895-1975. Rheinfelder Neujahrsblätter, 25-86, Rheinfelden (Baden).
- MOLL, W. (1970): Beiträge zur Genese und Systematischen Stellung rubefizierter Parabraunerden aus alpinen Schottern und Geschieben. - Freiburger Bodenkdl. Abh., 3; 180 S., 14 Abb., 11 Tab.; Freiburg i. Br.
- ROSNER, H.-J. (1993): Witterung und Klima.- In: Der Landkreis Lörrach, 1; 48-62, Thorbecke, Sigmaringen.
- SCHLICHTING, E. (1984): Forschungsdefizite im Bodenschutz. - Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, 27; 181-204, Berlin.
- SCHNEIDER, J. (1994): Eignung DV-gestützter Verfahren zur Datenerhebung in Urbanen Räumen. Diss. GHS Essen, FB Bio- und Geowissenschaften, 138 S.
- STAHR, K., ANTONI, G., BÄCHLE, H., KALLIS, P., LENZ, H., SCHNEIDER, J. (1994): Abschlußbericht zum Pilotprojekt Stadtbodenkartierung Rheinfelden (Baden) mit Datenbank und digitaler Bodenkarte 1:5.000. Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 113 S. u. 9 Karten; Stuttgart.
- STASCH, D., STAHR, K., SYDOW, M. (1991): Welche Böden müssen für den Naturschutz erhalten werden? - Berliner Naturschutzblätter, 35 (2); 53-64, Berlin.
- THATER, M., SCHIRG, H. LILLICH, W. (1996): Dioxin-Bodenbelastungen in Rheinfelden (Baden) - eine Zwischenbilanz. Wasser & Boden, 9, 33-38, Berlin.
- UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1993): Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum BodSchG über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (VwV Anorganische Schadstoffe) vom 24.08.93. - GABl. 30, 1029-1036; Stuttgart.
- UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit - Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. Luft-Boden-Abfall, 31, 34 S., 6 Anl., Stuttgart.
- UMWELTMINISTERIUM BADEN- WÜRTTEMBERG (1996): Vierte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum BodSchG über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten organischer Schadstoffe im Boden (VwV Organische Schadstoffe) vom 10.12.95. - GABl. 2, 87-94; Stuttgart.
- WITTMANN, O. (1988): Erläuterungen zu Blatt 8311 Lörrach. - Geol. Kt. Baden-Württ. 1:25.000; 153 S., 20 Abb., 6 Tab., 9 Taf., 1 Beil.; Stuttgart.
- WOLFF, R. (1993): Erfassung, Beschreibung und Funktionale Bewertung der Eigenschaften von Stadtböden am Beispiel Hamburgs. - Hamburger Bodenkundl. Arbeiten, 23, 365 S.



Exkursion

D 9

Hegau-Wanderung

K. Stahr¹, O. Ehrmann¹ und R. Böcker²

mit Beiträgen von:

L. Herrmann, R. Jahn, O. Beck, D. Siegmund und K.-H. Papenfuß

Böden und Standorte aus tertiären Vulkaniten und Mergeln, pleistozänen und holozänen Ablagerungen im zentralen Hegau bei Hohenstoffeln

Exkursionsleitung: K. Stahr, O. Ehrmann und R. Böcker

Inhalt	Seite
1. EXKURSIONSRUTE	424
2. BESCHREIBUNG DES EXKURSIONSGEBIETES	428
2.1 Naturräumliche Gliederung	428
2.2 Geologie und Geomorphologie	429
2.3 Klima	432
2.4 Vegetation	433
2.5 Einfluß der Landnutzung	435
2.6 Bodenverbreitung	438
3. EXKURSIONSPUNKTE	443
3.1 Braunerde-Pelosol Hohenstoffeln	443
3.2 Basaltsteinbruch Hohenstoffeln	447
3.3 Nordgipfel Hohenstoffeln	447
3.4 Gley-Heuwiesen	448
3.5 Ranker Homboll-Sattel	451
3.6 Pseudogley-Pelosol Homboll-Sattel	454
3.7 Pararendzina Gehren	458
3.8 Parabraunerde Gehren	461
3.9 Gley über Niedermoor Heiliggrab	464
4. REGENWURMPOPULATIONEN IN BÖDEN	471
5. LITERATUR	473

¹ Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre (310), 70593 Stuttgart

² Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie (320), 70593 Stuttgart

1. EXKURSIONSROUTE

Konstanz: Die Altstadt von Konstanz liegt auf dem Endmoränenwall eines würmeiszeitlichen Rückzugsstadiums des sogenannten 'Konstanzer Stadiums'. Nördlich der Altstadt fließt der Rhein vom Obersee in den Untersee, den er nach Westen bei Stein am Rhein wieder verläßt. Westlich der Endmoräne wurden im Becken des Untersees im Spätglazial Beckentone abgelagert, auf denen sich im Holozän Seekreide und Schnecklisand sowie Mudden abgelagert haben. Dadurch ist westlich von Konstanz ein Teil des ehemaligen Seebeckens verlandet.

Mainau-Parkplatz: Der Mainau-Parkplatz liegt nördlich des Moränenrückens, der sich zwischen Untersee und Überlinger See nach Südosten vorschiebt und die Ortsteile Allmannsdorf, Petershausen und Staad trägt. Er liegt am Ufer des Überlinger Sees ebenfalls auf kalkigen, holozänen Ablagerungen des Bodensees.

Wollmatingen: Die Exkursionsroute führt nach Westen in den Bodanrück hinein, der hier vom würmzeitlichen Geschiebemergel der Grundmoräne bedeckt ist. Im östlichen und südlichen Teil des Bodanrücks sind die Moränen zu einer Vielzahl von Drumlinhügeln geformt. Diese streichen überwiegend von WNW nach ESE. Zwischen den Drumlins winden sich unregelmäßige Niederungen, die von verlandeten Seen und häufig noch kalkhaltigen Auenlehmen erfüllt sind.

Hegne: Westlich von Wollmatingen führt die Straße über die würmeiszeitliche Strandterrasse des Bodensees. Der Teil zwischen der Insel Reichenau und dem Bodanrück wird auch Gnadensee genannt.

Allensbach/Markelfingen: Die Bundesstraße 33 führt am Ufer des Sees um die Orte Allensbach (Meinungsforschungs-Institut) und Markelfingen herum. Dabei bleibt sie in der gleichen Landschaftsposition.

Mindelsee: Vor Markelfingen biegt die Schnellstraße vom Seeufer in das Innere des Bodanrücks ab. Sie führt, zum Teil durch Lärmschutzwälle begleitet, entlang des größten Naturschutzgebietes auf dem Bodanrück zum noch nicht verlandeten Mindelsee (vgl. Halbtags-Exkursion). Im Hintergrund nach Norden erscheint der Hohe Bodanrück mit seinen Ablagerungen, die von der unteren Süßwassermolasse bis hinauf zur oberen Süßwassermolasse reichen und deren höchste Teile von Moränen der Mindel- und Günzeiszeit bedeckt sind.

Radolfzell/Stahringen: Beim Ort Stahringen ist der Bodanrück zerschnitten durch ein Schmelzwassertal, welches Wasser und Schutt von Norden in die Singener Schotterebene geschüttet hat. Von dort führt die Straße mehrere Kilometer über eine jungwürmzeitliche Schotterebene, die sich von Steißlingen nach Südosten über Singen, Rielasingen, Gottmadingen zum Rhein erstreckt. Hier holozäne, rubezierte Parabraunerde (Exkursion D. 3). Nördlich der Straße tauchen die Molasseberge des Bodanrücks sanft in das Hegaubecken ab.

Friedingen: Am Schloßberg von Friedingen wird noch einmal ein sanfter Höhenzug, der aus Geschiebemergel, bedeckter, oberer Meeresmolasse aufgebaut ist, überquert. Am Friedinger Schloßberg ist er von Mindelmoräne bedeckt. Danach wird das Tal der Aach durchquert (Karstquelle - vgl. Exkursion D 4).

Hohentwiel: Am Autobahnkreuz Hegau folgen wir der Richtung Schaffhausen und sehen vor uns im Südosten den mächtigen Phonolithschlot des Hohentwiel mit seiner Burgruine. Der steil aufsteigende Höhenrücken, welcher sich nach Norden anschließt, ist hauptsächlich aus Deckentuffen aufgebaut. Am anderen Ende ragt der ebenfalls burggekrönte Hohenkrähen mit steiler Ostflanke heraus.

Singen: An der Autobahnausfahrt Singen Nord-Mühlhausen verlassen wir die Autobahn und folgen der Bundesstraße 33 am Fuße des eben beschriebenen Rückens nach Norden. Dabei überqueren wir die innere Jungendmoräne (Singer Stadium).

Mühlhausen: Mühlhausen liegt am Südrand des großen Hegau-Beckens, welches sich von hier nach Norden und Osten aufspannt. Es ist eine wärmzeitliche Schotterebene, die wegen des hohen Grundwasserstandes großflächig vermoort ist und von einer größeren Zahl von Würmendmoränen, meist in west-östlicher Richtung, durchzogen ist.

Mägdeberg: Südwestlich von Mühlhausen liegt ein weiterer Phonolithschlot von einer großen Burganlage bedeckt, der Mägdeberg. Er krönt den aus Deckentuff und mergeliger Juranagelfluh aufgebauten Höhenzug. Den Feldstraßen folgend erreichen wir über den Höhenzug die Senke von Weiterdingen.

Weiterdingen: Weiterdingen liegt am Fuße des Hohenstoffeln und wird von einem spätmittelalterlichen Schloß neben der Kirche liegend überragt. Weiterdingen wurde bereits in der späten Jungsteinzeit (Bandkeramik) und später in keltischer Zeit besiedelt. Die heutige Siedlung geht auf die Landnahme-Periode des 5. - 7. Jahrhunderts zurück. Südöstlich von Weiterdingen liegt eine breite vermoorte Senke in einem kleinen wärmzeitlichen Zungenbecken (Wiesental). Weiterdingen ist der Ausgangspunkt der Wanderung.

Hohenstoffeln: Der Hohenstoffeln ist mit 844 m der zweithöchste Berg des Hegaus. Im zentralen Hegau ragt er als Kegel mit seinen beiden markanten von Basaltschlotten (Olivin-Meililitit) gebildeten Gipfeln, den **Stoffeln**, heraus. Bei der Bildung der Vulkane dürfte die Landoberfläche in etwa 100 m höher als der heutige Gipfel gewesen sein. Durch die pliozäne und pleistozäne Erosion wurde der Berg herauspräpariert. Besonders am Südgipfel steckt der zentrale Basalt in Basaltuffen. Neben den Hauptgipfeln sind vor allem auf der Süd- und Ostseite einzelne kleine Basaltschlote und -Gänge bekannt. Die Basalte drängen in Gesteine der jüngeren Juranagelfluh, hier nur noch mergelig entwickelt, sowie darüber lagernde oder eingeschaltete Deckentuffe ein. Für die Bodenentwicklung ist relevant, daß über diese tertiären Ablagerungen sich periglazial gebildete Schuttdecken aus Basalt zum Teil mit eingemischten Deckentuffen gebildet haben, die fast bis zum Fuß des Berges reichen können.

Exkursionspunkt 1: Braunerde-Pelosol - Hohenstoffeln

Weiter aufwärts führt der Weg vorbei an der großen Jagdhütte in den seit den 30er Jahren durch Naturschutz-Aktivitäten aufgelassenen Basaltsteinbruch auf der Nordseite des Stoffelngipfels.

Exkursionspunkt 2: Basaltsteinbruch - Hohenstoffeln

Stoffler-Hof: Über die obere Abbauterrasse des Steinbruchs erreicht man nach Westen auf einer Rodungsinsel einen der beiden noch erhaltenen Lehenhöfe am Stoffeln, den Stoffler-Hof, der als traditioneller Mischbetrieb bewirtschaftet wird.

Nordgipfel: Vom Stoffler-Hof geht der Fußweg steil im Wald zum Nordgipfel des Hohenstoffelns hinauf. Bei gutem Wetter entlohnt der weite Blick hinüber zum höchsten Hegau-Vulkan, Hohenhewen (848 m), ins Tal von Binningen und Welschingen und hinüber auf die Schwäbische Alb für die Mühe des Aufstiegs.

Exkursionspunkt 3: Landschaftsüberblick vom Nordgipfel (844 m)

Sennhof: Der Abstieg erfolgt seitlich am Südgipfel (832 m) vorbei über mäßig steile Waldwege, die in tonigen oder tonig verwitternden Böden, vor allem bei feuchten Wetter besonders rutschig sind, bis wir am Sennhof wieder die Freiflächen erreichen. Westlich des Sennhofs wird der Abstieg sanfter und führt über einen Rücken, der von einem Basalttuffschlot gebildet wird. Westlich des Hofguts Homboll liegt in einer sanften Mulde zwischen Resten rißzeitlicher Moränenlehme das Heuwiesental.

Exkursionspunkt 4: Gley - Heuwiesen

Vom Heuwiesental steigen wir hinauf auf den Sattel zum Hofgut Homboll, auf dessen Nordseite wir eine weitere Senke am Hang des Hohenstoffeln, die Rüte, erkennen. Das Gut Homboll ist ein viehstarker Gemischtbetrieb mit teilweiser Eigenvermarktung über hofeigene Besenwirtschaft (Mittagspause). Der Betrieb nimmt regelmäßig Landwirtschafts- und Hauswirtschafts-Praktikanten auf. Der Homboll ist ein kleiner Adventivkrater mit basaltischer und Basalttuff-Schlotfüllung. Auch er war im Mittelalter von einer kleinen Burg bestanden.

Exkursionspunkt 5: Ranker - Homboll, Südhang

Exkursionspunkt 6: Pseudogley-Pelosol - Homboll, Sattel

Der Homboll liegt in der Linie der äußersten Würmendmoräne. Vom Homboll nach Süden ist der Endmoränenzug über die Lange Zelk gut erkennbar. Nach Norden schneidet sich die Senke der Rüte ein, die sich in jüngster Zeit stark vertieft, über das Tiefental nach Osten entleert.

Gehren: Vom Homboll nach Südwesten führt der Weg entlang des Endmoränenrückens zum Weiler Pfaffwiesen. Davor liegt das Waldstück Gehren.

Exkursionspunkt 7 und 8: Pararendzina und Parabraunerde - Gehren

Vom Gehren geht der Weg nach Nordosten auf der hier steiler abfallenden Innenseite der Jungendmoräne, vorbei nochmal am Homboll und führt dann oberhalb der Wallfahrtskapelle Heiliggrab steil abwärts.

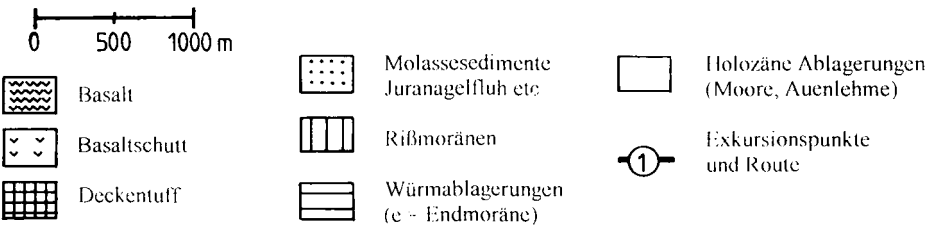


Abbildung 1: Übersichtskarte über die Wanderstrecke am Hohenstoffeln. (B: Binningen; W: Weiterdingen; D: Duchtlingen; R: Riedheim; H: Hilzingen)

Heiliggrab: Die Wallfahrtskapelle wurde im 17. Jahrhundert von einem nach Jerusalem wallfahrenden Grafen in Einlösung eines Gelübdes erstellt. Die Heiliggrab Kapelle liegt unterhalb der durch den Hegau führenden Römerstraße von Engen über Weiterdingen nach Hilzingen.

Mark-Senke: Unterhalb der Heiliggrab Kapelle liegt eine ovale Toteissenke, die zunächst einen See und inzwischen ein schilfbewachsenes Moor trägt.

Exkursionspunkt 9: Gley über Niedermoor - Heiliggrab

Die kleinen Kuppen um die Toteissenke werden von tertiären Sinterkalken gebildet, die Rendzinen tragen. Vom Niedermoor-Mark führt der Weg über einen kleinen Sattel nach Duchtlingen im Wiesental. Duchtlingen ist seit der Jungsteinzeit nahezu durchgehend besiedelt gewesen. Es darf als der älteste Ort im zentralen Hegau gelten. (Abendessen)
Rückfahrt über Autobahn und B 33 nach Konstanz.

2. BESCHREIBUNG DES EXKURSIONSGEBIETS

2.1 Naturräumliche Gliederung

Der Exkursionsraum wird hinsichtlich seiner naturräumlichen Gliederung und hinsichtlich seiner agrarökologischen, standortkundlichen Gliederung zum Teil unterschiedlich betrachtet. Dies gilt vor allem für die Feingliederung des Gebietes. Verständlich wird die unterschiedliche Betrachtung dadurch, daß die Landschaft nicht nur der Molasseauffüllung unterlag, sondern auch einer regen vulkanischen Tätigkeit, so daß später glaziale und fluviatile Überprägung häufig in entgegengesetzter Richtung wirkten und schließlich der Raum von einer verkarsteten Kalksteinplatte unterlagert wird. Auch die großen Reliefunterschiede geben Anlaß zu standörtlichen Differenzierungen.

Vom Ausgangspunkt der Exkursion wird zunächst der Bodanrück durchfahren, der zum Jungmoränenhügelland des Bodenseebeckens gehört, allerdings von den aus tertiären Sedimenten aufgebauten Rücken des Hohen Bodanrücks überragt wird. Das übrige Gebiet gehört vollständig der Landschaft des Hegau an. Dieser Hegau ist hauptsächlich dreigegliedert. Im Osten und Südosten finden wir das große Hegaubecken (die Aach-Niederung) mit seinen Mooren und Schotterterrassen, nach Westen folgt der zentrale Hegau mit seinen Kegelbergvulkanen, nach Norden schließt sich der Bereich der Hegau-Alb an, die ebenfalls noch von tertiären Ablagerungen der oberen Meeresmolasse und der Süßwassermolasse überlagert ist und die von den Vulkanen des Hewenegg und des Wartenbergs durchschlagen wurde. Der Hegau ist allgemein wegen seiner Lage am Rande des Bodenseebeckens als ein Raum erhöhter Klimagunst bekannt. Allein die Becken der Niedermoore im nördlichen Hegau sind auch Kaltluftgebiete und deshalb noch keiner intensiven Landnutzung unterzogen. Der Kegelberg-Hegau findet seine Begrenzung der

Landnutzung in der großen Reliefenergie und in den rasch erreichten Höhen von über 600 m.

2.2 Geologie und Geomorphologie

Die ältesten im Gebiet bekannten Gesteine sind die **Kalksteine des Weißen Jura**, die die Hochfläche der Schwäbischen Alb bilden. Diese Kalksteinhochfläche fällt von Nordosten beim Hewenegg, wo die obersten Kalksteine, die Bankkalke des Weißen Jura (ϵ 3), ca. 750 m Höhe erreichen, nach Südosten relativ gleichmäßig ab. Sie erreicht am Hohenhewen etwa 500 m über N.N. und liegt unter dem Hohenstoffeln nur noch in etwa 300 m über N.N. Die nächsten Weißjura-Aufschlüsse sind etwa 5 km nordwestlich vom Hohenstoffeln bei Blumenfeld und nördlich bei Engen, jeweils in etwa 500 m Höhe zu finden. Über das Ende der Jurazeit und über die Kreidezeit liegen bisher keine Zeugnisse vor (SCHREINER, 1966). Als Rückstände der Verwitterung der Jura-Kalksteine liegen Bohnerzlehme vor, die in Karsthohlräumen erhalten sind. Die festländische Periode dauerte im Hegau bis weit in das Oberoligozän. Während dieser Zeit hatte sich nördlich der entstehenden Alpen bereits die Synklinale des **Molassebeckens** eingetieft. Dieses Senkengebiet wanderte langsam nordwärts, wobei die Kalksteine im Süden absanken, im Norden weiter aufstiegen. Dabei schritt der Bereich mit Sedimentation langsam nach Norden fort und erreichte zu Beginn des Miozän den Hegau. Zur Zeit der oberen Meeresmolasse nagte am Nordwestrand des Hegau die Brandung ein Kliff in die Kalksteinfelsen des Weißen Juras (SCHREINER, 1974). Diese Kliff-Linie ist heute noch zum Teil als eine 50 m hohe Geländestufe auf der Juratafel zu erkennen. Innerhalb des Miozäns (Helvetikum) fiel der nördliche Teil des Meeresmolassebeckens durch Hebung bereits trocken. Darauf bildeten sich nördlich im Hebungsbereich die Krustenkalke des Albsteins, nach Süden bildete sich eine breite Flußrinne aus, die die Gesteine der oberen Meeresmolasse zum größten Teil wieder ausräumte.

Die Graupensandrinne: In dieser breiten Flußrinne, die von Norden nach Südwesten zog, wurden Glimmersande und Mergel abgelagert (Haldenhofmergel). Von Norden wird zu dieser Zeit die Jura-Hochfläche und später die Albsteinfläche durchschnitten und es wird die Juranagelfluh, ein kalksteinbetonter Schotter der beckenwärts in Lehme und Mergel übergeht, sedimentiert. Der Nordrand der Graupensandrinne läuft direkt nördlich des Exkursionsgebietes bei Engen, entlang der späteren, wurmzeitlichen Schmelzwasserrinne nach Beuren. Der Südrand der Graupensandrinne läuft ca. 20 km weiter südlich durch den hohen Bodanrück. Später erfolgten die Ablagerungen der oberen Süßwassermolasse, die von Süden her alpine Schüttungen in den Bereich des Schiener Berges brachten und von Norden her die Schuttfächer der Juranagelfluh-Flüsse ausbildeten.

Vulkanismus: In diese Zeit, ca. 15 - 12 Millionen Jahre vor heute, fallen die ersten vulkanischen Erscheinungen im Hegau, die Ausbrüche der **Deckentuffe**. Im zentralen Kegelberg-Hegau erreichen die Tuffe mehr als 100 m Mächtigkeit und bilden den

Höhenrücken vom Hohentwiel über den Hohenkrähen zum Hohenstoffeln, der dann nach Norden Richtung Ehingen und Welschingen abfällt. Im Bereich des Hohenstoffeln sind bis zu 100 m dieser Deckentuffe erhalten. Die Deckentuffe wurden aus Schloten gefördert, deren Zentrum im Bereich von Duchtlingen lag. Man kann sich vorstellen, daß dies damals ein unregelmäßiges Hügelland mit Kratern und Tuffhügeln war. Dieses wurde im weiteren Verlauf der Molassesedimentation von Mergeln der Juranagefluh von Norden und von Glimmersanden von Süden überschüttet. Gegen Ende der Deckentuffsedimentation drangen in einem Zeitraum von 12 - 8,5 Millionen Jahren ebenfalls im Miozän die **Basalte** der westlichen Hegau-Vulkane auf. Alle diese Gesteine sind Olivin-Mellilithite (KELLER, 1984). Neben den großen Hegau-Vulkanen Wartenberg, Hewenegg, Neuhewen, Hohenhewen und Hohenstoffeln gibt es mindestens 30 kleinere, weitere Vorkommen dieser Eruptionen (MÄUSNEST und SCHREINER, 1982). Zur Gruppe dieser Olivin-Mellilithite gehören die Basalte und Basalttuffe der beiden Stoffeln und des Hombolls, die bei der Exkursion besichtigt werden. Zur Zeit dieser Vulkan-Ausbrüche lag die Landschaft des Hegau voraussichtlich in einer Höhe zwischen 200 und 300 m über dem Meeresspiegel. Die Meeresküste lag damals zwischen Budapest und Wien.

Inzwischen ist der Hegau etwa 600 m aufgestiegen. Dies gab Anlaß zu einer intensiven Abtragung während des Pliozäns und auch des späteren Pleistozäns. Zuvor sind aber noch an der Wende von Miozän zu Pliozän mit einem Alter von etwas mehr als 7 Mill. Jahre im östlichen Hegau eine Reihe von Phonolitschloten entstanden (Mägdeberg, Hohenkrähen, Hohentwiel, Stauffen und Gönnersbohl). Diese **Phonolite** haben nicht die Erdoberfläche erreicht, sondern Staukuppen ausgebildet, die etwa 100 bis 200 m unter der damaligen Landoberfläche steckengeblieben sind. Wie sich aus den Basalten die Phonolite differenziert haben, ist bis heute unklar (KELLER und BREY, 1983).

Im Pliozän führte die Donau vom Schwarzwald und aus dem Schweizer Mittelland kommend Wasser und Sedimente nach Osten. Der Alpenrhein war noch ein Donauzufluß. Erst später schnitt sich der Rhein vom Oberrheingraben rückwärts in das Hochrheintal ein. Während der Günzeiszeit oder einer älteren Eiszeit wurde dann das Bodenseebecken soweit ausgetieft, daß Schmelzwasserrinnen sich den Weg nach Westen zum Rhein bahnten. Durch die Hebung des Gebietes um etwa 600 m wurde im Pliozän und Pleistozän hauptsächlich die Erosion gefördert. Dementsprechend sind Ablagerungen des Pliozäns und des älteren Pleistozäns kaum noch erhalten.

Auf den höheren Molassebergen Bodanrück, Schiener Berg, sowie auf den Rücken oberhalb von Gottmadingen finden sich noch zu Nagelfluh verbackene Deckenschotter der **Günz- und Mindelzeit**. Erst nachdem die Landschaft wesentlich weiter ausgeräumt wurde, sind während der Rißeiszeit flächenhaft End- und Grundmoränenablagerungen im nördlichen und zentralen Hegau erhalten geblieben. Diese sind vom Hohenstoffeln auf der Nordseite der würmzeitlichen Schmelzwasserrinne Richtung Blumenfeld und Tengen großflächig zu erkennen. Auch um den damaligen Nunatak Hohenstoffeln herum liegt auf

der Südseite noch ein rißzeitlicher Moränenkranz vom Homboll über die Pfaffwiesen nach Binningen. Zur **Rißzeit** müssen die südlichen und östlichen Hegau-Vulkane noch vollständig vom Eis bedeckt gewesen sein, während der Hohenstoffeln als Nunatak aus dem Eis herausragte. Der Hewenegg und der Wartenberg lagen außerhalb des Vereisungsgebietes. Die Böden des Riß-/Würm-Interglazials sind im Gebiet nicht erhalten, da während der Würmeiszeit noch eine starke Überformung des Gebietes durch Vergletscherung und im Periglazialraum durch Bodenfließen eingesetzt hat.

Die äußere **Würmendmoräne** hat in einer Höhenlage von etwa 660 m den Hohenstoffeln umgeben. Der Berg ragte damals also noch etwa 200 m aus dem Eis hervor. Auf der Südseite bildeten sich zwischen dem Endmoränenzug der Würmeiszeit und dem eigentlichen Kegelberg die Talungen der Heuwiesen und der Rüte heraus. Östlich und westlich des Hohenstoffeln reichte das Würmeis noch bis zu 5 km weiter nach Norden, stieg dabei aber in Höhen von etwa 500 m ab. Durch das Vordringen vom Bodenseebecken hatte sich das Eis die Wasserabflußwege über das Rheintal selbst abgesperrt. Dadurch mußte sich eine zentrale große Schmelzwasserrinne zwischen dem Hohenstoffeln und dem Hohenhewen ausbilden, die dort nach Westen und westlich des Hohenstoffeln dann über das Bibertal und später das Riedbachtal (Exkursion D 3) nach Süden zum Rhein bzw. in die Gottmadinger Schotterebene führte.

Beim Abschmelzen des Eises bildeten sich mehrere Stillstandslagen aus. Die erste bedeutende Stillstandslage war das sogenannte **Singener Stadium** oder die innere Jugendmoräne. Zu dieser Zeit war der südliche Teil des großen Hegaubeckens noch vom Eis bedeckt, der nördliche bereits eisfrei, ebenso wie der Kegelberg-Hegau. In diesem Bereich setzen nun für einige Jahrtausende noch periglaziale Prozesse ein. Dabei wurden von den Bergflanken glaziale Ablagerungen zum Teil wieder abgetragen oder mit dem Liegenden vermischt. Beim weiteren Abschmelzen des Eises wurde die Singener Ebene freigegeben und hauptsächlich von den Schmelzwässern, die von der Gletscherzunge des Überlinger Sees her kamen aufgeschottert. Zur Zeit des nächsten großen Rückzugshaltes des **Konstanzer Stadiums** waren der Überlinger und der Zeller See bereits vollständig eisfrei. Sie wurden zum Teil aufgeschottert, dienten aber hauptsächlich als Zungenbecken, in denen Warwarene-Tone abgelagert wurden.

Nach dem Abschmelzen des Eises bildete sich im Holozän ein modernes Entwässerungssysteme aus, welches zum Teil die Fließrichtung gegenüber den Schmelzwasserrinnen umkehrte. Dies gilt im Exkursionsgebiet besonders für den Hepbach und den Saubach, die am Fuße des großen Deckentuffrückens zur Radolfzeller Aach strömen. Insgesamt gilt dies für alle Bäche, die von Westen und Norden in den Überlinger See oder den Zeller See strömen. Westlich des Kegelberg-Hegau blieben die Fließrichtungen zum Rhein hin erhalten. In großen Teilen der Schmelzwasserrinnen blieb der Grundwasserstand hoch, aber die zu bewegendenden Wassermassen wurden wesentlich

geringer, dadurch entstanden feuchte Standorte bis hin zu Seen, die im Zuge des Holozäns dann verlandeten und Niedermoore bildeten.

Das Holozän wäre eine geologisch-geomorphologisch ruhige Phase, würde nicht der **Mensch** in die Landschaft eingreifen. Die großflächigen vorgeschichtlichen und geschichtlichen Rodungsphasen haben immer zum Abtrag geführt, aber auch Bauwerke wie die Burgen auf den Hegau-Vulkanen und die Anlage von Dörfern am Rande vermoorter Senken haben die Landschaft stark verändert. Besonders im Hochmittelalter und zu Beginn der Neuzeit kam es zu starken Bodenumlagerungen, so daß heute die Hänge und Kuppen durch Verlust von 1 m bis 2 m Bodenmaterial und die Senken besonders vom Rande her mit häufig mehr als 1 m mächtigen Kolluvien und Schuttkegeln aufgefüllt wurden. Auch durch Terrassierung entlang der steileren Hänge hat der Mensch stark in die kleineren Landschaftsformen eingegriffen. Schließlich hat der Abbau von Basalt und Phonolith an Niedermoororten früher zu Brennzwecken, heute für gartenbauliche Zwecke und in hohem Maße der Kiesabbau das Landschaftsbild geprägt. Von größeren Industrieansiedlungen und großen Verkehrsbauwerken blieb der Kegelberg-Hegau bis auf die Anlage des Autobahntunnels unter dem Hohentwiel bisher glücklicherweise verschont. Kiesabbau, Autobahnbau und Industrieansiedlung haben aber die Singener Schotterebene vollständig ihres natürlichen und auch ihres traditionellen Landschaftsbildes beraubt.

2.3 Klima

Die Jahresmitteltemperatur liegt in den tieferen Teilen des Hegaubeckens bereits etwas über 9° C. In den zentralen Orten des Kegelberg-Hegau in ca. 600 m bis 700 m bei etwa 7° C und auf den Höhen der Berge bereits unter 7° C. Der Bereich gilt als Übergangsklima zwischen mehr atlantischer zu kontinentaler Tönung. Der kontinentale Einschlag ist durch die Lee-Lage hinter Schwarzwald und Schwäbischer Alb bedingt. Die mittleren Monatstemperaturen haben eine Jahresschwankung von 18 bis 19° C. Dezember und Januar erreichen als kälteste Monate je nach Höhenlage Tiefstwerte zwischen 0 und -2° C. Der Juli, als wärmster Monat, liegt entsprechend zwischen + 18° und + 16° C. In tiefen Lagen treten mehr als 40 Sommertage mit mehr als 25° C als Höchsttemperatur auf, auf den Höhen sind es weniger als 30. Drückende Hitze, bei der auch nachts die Temperaturen nicht unter 25° C absinken, ist sehr selten. Die große Vegetationsperiode reicht von Ende März bis Anfang November. In der kleinen Vegetationsperiode liegt die Mitteltemperatur zwischen 14° und 16° C. Der Winter ist meist relativ mild. Es treten 100 bis maximal 120 Frosttage auf und ca. 30 Eistage. Das Hegaubecken gilt als sehr stark spätfrostgefährdet. Solche Fröste sind bis 25. April zu erwarten. Im hügeligen, zentralen Hegau treten Spätfröste sehr selten auf. Senken, in denen die Kaltluft nicht abfließen kann, wie zum Beispiel im Wiesental unterhalb Weiterdingen oder um den Binninger See sind auch stark spätfrostgefährdet und deshalb für den Obstbau ungeeignet. Der durchschnittliche Niederschlag liegt im Hegaubecken zwischen 700 und 800 Millimeter und steigt nach

Westen auf bis zu 850 Millimeter an. Etwa 40 % des Niederschlags fällt in die Periode zwischen Mai und Juli. Der Regen kommt mit den Hauptwindrichtungen W und SW, nach NW sind die regenbringenden Winde durch den Schwarzwald abgeschirmt. Herbst und Winter sind relativ niederschlagsarm. Die Schönwetterperioden sind teilweise durch Föhn hervorgerufen, oft aber auch durch stabile Inversionswetterlagen, in denen sich im Hegaubecken, wie auch im Bodensee-Becken ein stabiler Kaltluftsee bildet, an dessen Oberkante eine manchmal den Tag überdauernde Hochnebeldecke beobachtet wird. Die Hegau-Vulkane ragen oft über diese Hochnebeldecke hinweg und liegen dann in der wärmeren, oberen Luftschicht. Entsprechend ist die Fernsicht, insbesondere zu den Alpen, an solchen Tagen ausgezeichnet. Reliefbedingt treten kleinklimatisch große Unterschiede auf. So ist der Südhang des Hohentwiel noch eine günstige Weinbaulage, während auf der Nordseite des Hohenstoffelns oder des Hohenhewens bereits ein artenreicher Bergwald die Landschaft prägt.

2.4 Vegetation

Die Vegetation des Hegaus ist geprägt von ihren Laubmischwäldern, deren Bestand von der Buche (*Fagus sylvatica*) sowie reichlich vorkommenden Eichen- und Hainbuchen dominiert wird. Von Norden und Westen her ist etwa bei der 800 mm Isohyete das natürliche Areal der Tanne begrenzt. Der Hegau ist zu trocken und zu warm für diese Baumart. Im Hegaubecken und in Höhenlagen bis etwa 500 m dominiert der Eichen-Buchen-Hainbuchenwald. Hier ist die Traubeneiche von Natur aus das wichtigste Glied der Gesellschaft. Sie kommt auf den trockenen, oberflächlich versauerten, relativ warmen Böden vor (vgl. Exk. D 3). In diesen Wäldern wird auch die Winterlinde beobachtet. Die Charakterart der Bodenvegetation ist hier die Hainsimse. Auf schwereren Böden kommt als zweite Variante des Eichen-Buchen-Hainbuchenwaldes die Aronstabreiche Variante vor. Hier wird die Traubeneiche durch die Stieleiche ersetzt. Solche Wälder sind auf Geschiebemergel und auf feuchteren, grundwassernahen Standorten zu finden. Auch in tonig/lehmigen Absätzen von Schmelzwasserrinnen, wie bei Riedheim (Exkursionspunkt D 3.4), wird diese Waldgesellschaft beobachtet. Statt der Winterlinde sind hier Esche und seltener Bergahorn und Bergulme verbreitet. Diese lehmigeren Standorte sind meist weniger oder gar nicht entkalkt. Charakterarten der Bodenvegetation sind *Arum maculatum* und *Allium ursinum*. Im Hügelland ist die charakteristische Waldgesellschaft der Waldmeister-Buchenwald. Diese Buchenwälder sind strauch- und moosarme Hallenwälder. Die Eiche tritt zurück, dagegen treten Esche, Berg- und Spitzahorn auf. Die Krautschicht ist im Frühjahr durch frühblühende Geophyten wie Buschwindröschen, Leberblümchen und Scharbockskraut gekennzeichnet. Danach treten Waldmeister und Maiglöckchen, Türkenbundlilie, Ährige Teufelskralle, Wolliger Hahnenfuß und Vielblütige Weißwurz auf. In lichterem Waldbereichen wird Efeu bodendeckend (Exkursionspunkt 7 und 8). Dieser Waldtyp findet seine beste Entwicklung auf mäßig frischen Parabraunerden.

Als eine Variante kalkreicherer oder zumindest calciumreicher Standorte gilt der Orchideenbuchenwald. Hier kommt die Rotbuche mit Traubeneiche, Winterlinde und Bergahorn in der Baumschicht vor. Dieser Wald ist kein Hallenwald. In der Strauchschicht wird Seidelbast, Rote Heckenkirsche, Eingrifflicher Weißdorn und Roter Hartriegel beobachtet. Die Krautschicht bildet das Maiglöckchen, das Rote und Weiße Waldvögelein, der Nestwurz, die Berg- und die Fingersegge, sowie das Nickende Perlgras. Dieser Waldtyp ist auf der Südflanke des Hohenstoffeln entwickelt, kommt aber häufiger in der Umgebung von Engen am Abhang des Weißen Jura vor.

Als wärmeliebender Bergwald tritt der Eschen-Ahorn-Lindenwald auf, auch Linden-Bergwald genannt. Hier tritt die Buche zugunsten von Berg- und Spitzahorn, Sommer- und Winterlinde und Ulme zurück. Dieser Bergwald ist sehr artenreich. In ihm treten auch Esche und Hainbuche, Eiche und Zitterpappel, wie Eberesche, Mehlbeere und Elsbeere auf. In der Strauchschicht beobachtet man das Europäische Pfaffenhütchen, den Gemeinen Liguster und den Wolligen Schneeball, in der Krautschicht die stinkende Nießwurz und Weiße Segge. Dieser Bergwald tritt auf der Nordostseite des Hohenstoffeln und auch am Hohentwiel auf. Dieser Waldtyp ist wohl ein Wald, der sich auf offenen Berghängen wieder ansiedeln konnte, nachdem die intensivere Nutzung des Gebiets durch Aufgabe der Burgen beendet wurde.

An schroffen, schattigen Steilhängen, wie auf der Nordseite des Hohenstoffeln kommt der Eschen-Ulmen-Ahorn-Schluchtwald vor. Diese Wälder sind recht selten, kommen aber an den feuchten Nordhängen der großen Hegau-Vulkane vor. Die dort auftretenden Arten der Strauch- und Krautschicht benötigen hohe Luftfeuchte. In der Baumschicht sind Gemeine Esche, Bergahorn, Sommerlinde und Ulme dominant. In der Strauchschicht tritt schwarzer Holunder auf, in der Krautschicht die Hirschzunge und das Silberblatt, Waldgeißbart, Blasenfarn, sowie der Gelappte Schildfarn und das Ährige Christofskraut.

Als eine letzte Waldformation gilt der an kleinen Flecken auftretende Steppenheidewald. Beschrieben wurde er am Felskranz um den Hohentwiel als Eichen-Linden-Steppenheidewald. In dieser Waldgesellschaft kommt auch die Kiefer selten vor. Als Vorstufe dieses Waldtyps sind sonnenseitige Traufsituationen von Wäldern auf flachgründigen Standorten und besonders Feldraine anzusehen, auf denen sich Liguster-Schlehengebüsch angesiedelt hat (vgl. Exkursionspunkt Homboll). Hier treten hauptsächlich der gemeine Liguster, die Schlehe und die Hundsrose, an frischeren Standorten auch die Hasel auf.

Azonale Vegetationsformen, wie Auenwälder mit Schwarzerle, Weide, Pappel und Esche, mit der Traubeneiche im Unterwuchs kommen in den Auen des Hegau weit verbreitet vor. In den großen Senkengebieten mit Niedermooren treten Erlen-Bruchwälder auf, daneben Großseggenriede und Bestände mit Schilf, Kohldistel und Mädesüß.

An die trockenen, flachgründigen Standorte mancher Hegauberge besonders gut angepaßt, ist die Vegetation der sogenannten Steppenheide (GRADMANN, 1933). Sie ist sehr reich an seltenen Pflanzen und geprägt durch urwüchsige, lockerstehende, große

Gräser und Stauden. Einzelne eingestreute Sträucher und Bäume, sowie mit Moosen und Flechten bewachsene Felsaufragungen. Als Leitpflanzen für diese Gesellschaft gelten die Küchenschelle, die Traubenhyanthe, Berglauch, Warzenwolfsmilch, Hirschwurz und das seltene Bergsteinkraut (vgl. Homboll Exkursionspunkt 5).

2.5 Einfluß der Landnutzung

Obwohl der Mensch schon sehr früh im Hegau belegt ist und wahrscheinlich das Abschmelzen des Eises vom Singener zum Konstanzer Rückzugsstadium mit erlebt hat, sind die Jäger und Sammler, welche in den Höhlen der Juramalmkalke Unterschlupf fanden, für die Landschaftsentwicklung und Wiederbewaldung des Gebietes ohne Bedeutung gewesen.

Im Mesolithikum lebten Jäger, Fischer und Sammler hauptsächlich an den Ufern fischreicher Gewässer, wie am Bodensee. Auch als sich etwa 7.000 v. Chr. die ersten jungsteinzeitlichen Ackerbaukulturen entwickelten, blieb der Hegau unverändert. Die Bandkeramikultur erreichte dieses Gebiet nicht, vielmehr schien es ein Rückzugsgebiet mittelsteinzeitlicher Bevölkerung zu bleiben.

Die erste neolithische Strömung, die eine wirkliche Rodung und ackerbauliche Landnutzung im Hegau bedeutete, war die Rössener Kultur um ca. 5.000 v. Chr. Hier sind bereits Siedlungen in Binningen, Duchtlingen, Hilzingen und Singen belegt. Diese Kultur siedelte nicht an den Seen, wie die älteren Kulturen und hat so einen Teil der Wälder zeitweise erobert. Auch die folgende Michelsberger Kultur hat im Hegau Ackerbau und Viehzucht getrieben. Sie hat wieder ihre Siedlungen mehr an Seen und Gewässer gelegt, d.h. die Fischerei hat für diese Kultur wieder eine größere Rolle gespielt. Auch Pollenanalysen aus der Zeit des jüngeren Atlantikum belegen, daß diese ersten Kollonisten bereits kleinflächige Rodungen durchgeführt haben und dabei die natürliche Waldvegetation erstmals lokal vollständig zerstört haben. Als Kulturpflanzen waren Gerste, Emmer, Flachs und Mohn bekannt, später auch Einkorn und Zwergweizen. Inwieweit diese anthropogenen Eingriffe bereits zu Bodenveränderungen geführt haben, ist noch nicht bekannt.

An der Wende von der Jungsteinzeit zur Bronzezeit tritt erstmals eine Bevölkerung auf, die sich durch intensiven Handel auszeichnet. Diese Glockenbecherkultur hinterließ ein großes Gräberfeld in der Nordstadt von Singen. Damals war wohl Singen das erste Mal der zentrale Ort des Hegau. In der folgenden mittleren Bronzezeit (Hügelgräberzeit) sind stärkere Aktivitäten der Viehzucht belegt, während der Ackerbau vernachlässigt wurde. Hügelgräber-Siedlungen sind aus Singen, Rielasingen, Hilzingen, Mittelbrunn, Binningen und Duchtlingen bekannt. Die Struktur der Siedlungen hat sich wohl verändert gegenüber den größeren Dörfern der Jungsteinzeit. Jetzt dominieren Einzelhöfe oder kleinere Gruppensiedlungen. RÖSCH (1987) nimmt an, daß der wirtschaftliche Umschwung von Ackerbau zu Weidewirtschaft zu einem größeren Bedarf an Wirtschaftsgrünland führte und

damit eine stärkere Rodungsphase bedeutete. Sicherlich ist aber in dieser Zeit auch die Waldweide noch von großer Bedeutung gewesen. Im Zusammenhang mit der Untersuchung von Hügelgräbern konnte aber festgestellt werden, daß in dieser Zeit bereits stärkere Erosion und Bildung von Kolluvien geherrscht haben muß. Allerdings ist dies sicherlich nicht von flächenhaft großer Bedeutung gewesen. In Ablösung der Hügelgräberkultur trat die Urnenfelderkultur auf, die sich wieder hauptsächlich entlang von Seen aber auch anderen Feuchtgebiete niederließ.

Diese Besiedlung der Feuchtgebiete hörte im 1. Jahrtausend v. Chr. fast abrupt auf. Ob dies klimatische Ursachen hatte (Subatlantikum) ist nach wie vor umstritten. Die folgende Hallstattzeit (frühe Eisenzeit), um 500 v. Chr. war eine der wirtschaftlich reichsten Epochen im Hegau. Hier lebte ein wohlhabendes Großbauerntum in Einzelhöfen, das aber auch am überregionalen Handel beteiligt war. Auch hier finden wir wieder Siedlungen im engeren Exkursionsgebiet bei Singen, Binningen, Welschingen und Duchtlingen, sowie am Mägdeberg. Diese Zeit ist auch als die Zeit der keltischen Siedlung bekannt. Eine zweite keltische Siedlungsperiode war die Latène-Zeit, in der wieder Großsiedlungen entstanden. Singen ist die einzige größere Siedlung aus dieser Periode. Während der Latène-Zeit wurden die Kelten von den Germanen über den Rhein nach Süden verdrängt. Die Hegau war am Ende der Latène-Zeit ein siedlungs- und menschenarmer Raum (helvetische Einöde der römischen Schriftsteller).

Im Jahre 15 v. Chr. drangen die Römer von der Schweiz her in den Hegau ein. Das Gebiet blieb Etappe und genoß bis zum Jahr 260 n. Chr. die Vorzüge des römischen Reichsfriedens. Der Hegau entwickelte sich wieder zu einem bevorzugten Agrarland. Römische Befestigungen gab es nicht, dagegen eine ganze Reihe von Gutshöfen. Die römischen Gutshöfe siedelten nur in den höher gelegenen Gebieten und mieden die Senken der Radolfzeller und Stockacher Aach. Während dieser Zeit gab es eine Straße, die von Engen am Hohenstoffeln entlang, beim Heiliggrab nach Hilzingen und in die Schweiz führte. Dieser Straße folgte später die Landstraße von Weiterdingen nach Hilzingen. In der Mitte des 3. Jahrhunderts wurden die Römer durch die Alemannen verdrängt. Diese besiedelten den Raum Gebiet zunächst aber nur sehr zögernd. Der Reichtum der wenigen Siedler läßt sich durch die aufwendigen Grabbeigaben belegen. Ende des 7. Jahrhunderts wird das Gebiet christianisiert und die Beigaben in den Gräbern hören auf.

Zwischen dem 5. und 7. Jahrhundert werden die älteren Dörfer des Gebietes gegründet (Endung 'ingen' - Landnahmezeit). Die meisten dieser Weilersiedlungen sind urkundlich erst ein- bis zweihundert Jahre nach Gründung erwähnt worden. In einer relativ kurzen Zeit von 140 Jahren fand eine Verdoppelung der Siedlungszentren statt. Mit dieser schlagartigen Veränderung wird die Naturlandschaft endgültig in eine Kulturlandschaft umgewandelt. Die nach dem 7. Jahrhundert gegründeten Siedlungen sind an neuen Endungen wie 'heim', 'hausen', 'hofen' und 'beuren' zu erkennen. Bis zum Beginn des Hochmittelalters ist auch diese Besiedlungsphase abgeschlossen. In der Zeit zwischen

dem 11. und 13. Jahrhundert wurden an der Peripherie der Altmarkungen weitere Rodungen durchgeführt und in der Überzahl noch Einzelhöfe gegründet. Da in der Landnahmezeit schon der größte Teil des zentralen Hegaus besiedelt war, hat diese späte Phase, in der Siedlungsgründungen mit '-dorf' und '-weiler' entstanden, hier kaum noch eine Rolle gespielt.

Im Spätmittelalter setzte eine rückwärtige Siedlungsentwicklung ein. Es entstanden die ersten Wüstungen. Dabei wurden vor allem die später entstandenen Rodesiedlungen wieder aufgegeben, während die Altsiedelorte bestehen blieben. Die Landgemeinden zogen das in ihrem Vorfeld wüstliegende Land an sich und bewirtschafteten es. Damit bildeten sich bis ins 15. Jahrhundert die heutigen Gemarkungen heraus.

Die Zeit der römischen Besiedlung und das Frühmittelalter waren eine andauernde geomorphodynamische Stabilitätsphase. Mit dichter Waldvegetation und dadurch ungestörter Bodenentwicklung. Die frühen mittelalterlichen Rodungsphasen leiteten eine Bodenerosion bisher nicht gekannten Ausmaßes ein. Die Rodungen haben zwar die Bodenumlagerungen nicht direkt ausgelöst, sie waren aber die notwendige Bedingung dafür. Der Rodungsstand des Hochmittelalters dürfte dem heutigen mindestens entsprochen haben, möglicherweise war er noch größer. Auf jeden Fall finden wir heute einen großen Teil auch älterer Wälder in ehemals ackerbaulich genutzten Gebieten, zum Beispiel: Pfaffwiesen und Gehren (Exkursionspunkt D 9 - 7 und 8). Im Hochmittelalter wurde das Gebiet in einer Drei- oder Zweifelder-Wirtschaft mit einem Grünbrachejahr genutzt. Die Brache wurde regelmäßig beweidet. Der Wechsel von Getreideanbau (Dinkel) und Grünbrache bietet normalerweise einen besseren Erosionsschutz als die heutige stärker von Hackfrüchten dominierte Fruchtfolge. Man muß deshalb annehmen, daß im Früh- und Hochmittelalter nutzungsbedingt keine außergewöhnlich hohe Bodenerosion auftrat, dennoch müssen wir mit einer schwachen, flächenhaften Bodenerosion rechnen. Diese ist auch im engeren Untersuchungsgebiet bereits belegt. So fand GÖTTLICH (1975) den Beginn der kolluvialen Überdeckung des Weiterdinger Moores (Wiesental) aufgrund von ¹⁴C-Analysen in der Zeit um das Jahr 800 n. Chr. Im 14. Jhd. sind katastrophale Niederschlagsereignisse auch im Hegau urkundlich erwähnt (vgl. BORK, 1988). Man muß annehmen, daß stark eingeschnittene Bäche sich in dieser Zeit gebildet haben. Im Spätmittelalter nahm der Ackerbau zugunsten der Viehzucht wieder ab. Auch ein Vordringen des Waldes wurde beobachtet. Dies dürfte wieder zu einer Beruhigung der Erosion geführt haben. Die hangparallele Bewirtschaftung führte zur Ausbildung von Ackerterrassen. Einzelne katastrophale Erosionsereignisse verbunden mit Hochwässern in den Niederungen, z.B. im Bodenseeraum, wurden im August 1343 beobachtet. Solche Beobachtungen gehen aber bis heute weiter. Die meisten dieser Erosionsrinnen sind aktiv oder durch nachfolgende geringere Erosionsereignisse wieder verfüllt worden. Im Arbeitsgebiet entstand zwischen Weiterdingen und dem Homboll in der Zeit zwischen 1880 und 1890 durch ein Starkregen-Ereignis das sogenannte Tiefental; eine tiefe

Erosionskerbe, die Bodenmaterial und Geschiebemergel in die Senke des Wiesentals westlich der Lochmühle ablagerte.

Die Einführung der Düngung im 19. Jahrhundert hat direkt wohl keinen wesentlichen Einfluß auf Bodenentwicklung und Bodenumlagerung im Gebiet gehabt. Erst die Einführung von Zugmaschinen, Flurbereinigung und Wegebau, Intensivierung von Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz haben die Landschaft in einem Maße verändert, wie es wohl seit der Landnahmezeit im Frühmittelalter nicht mehr vorgekommen ist. Allein die Eingriffe in die Böden sind so stark, wie sie noch nie zuvor waren. Dies ist auch an der durch Schwermetalle und P-Konzentrierung erfaßbaren Bildung junger Kolluvien zu belegen. Häufig sind an Unterhängen die jungen Kolluvien so mächtig, wie die Kolluvien, welche sich in den 5.000 bis 7.000 Jahren zuvor gebildet hatten. Einen Eindruck von der heutigen landwirtschaftlichen Nutzung, die durch forstliche Nutzung auf ca. 20 % der Flächen (fürstliche und Gemeinde-Waldungen) durch Ackerbau auf etwa 40 % der Fläche durch Dauergrünland, auf etwa 25 % der Fläche zum Teil mit Streuobst und 1 % Sonderkulturen gekennzeichnet ist, gibt Tab. 2.5 von Exkursion D 3. Das Exkursionsgebiet gehört zur Gesamtgemeinde Hilzingen.

2.6 Bodenverbreitung

Die generellen Strukturen der Bodengesellschaft wurden bereits im einleitenden Kapitel (STAHR und PEYER in diesem Band) beschrieben - vgl. dort auch Schnitt durch die Bodengesellschaft vom Hohenstoffeln nach Südosten. Die Bodenkarte zeigt im Gipfelbereich des Hohenstoffeln eine Bodengesellschaft, die von Mullrankern dominiert wird. Es handelt sich um basenreiche, sehr humose Ranker, die aus Schutt von Basalt und Basalt-Tuff entstanden sind. Vergesellschaftet sind sie mit Felshumusböden und Skeletthumusböden. Das Vorhandensein und die Ausdehnung dieser Bodeneinheiten ist viel stärker durch den Menschen bedingt, als dies die heute vollständige Bewaldung nahelegt. Auf dem Hohenstoffeln waren im Mittelalter zwei Burgen und auf der Ostflanke hat im 19. und 20. Jahrhundert ein großer Steinbruch das Gebiet verändert. Hierdurch sind tiefgründigere Böden erodiert worden bzw. solche Böden auch von Lockergesteinsschutt überdeckt worden. Wir müssen also annehmen, daß die heutige Bodendecke sich erst später gebildet hat und nicht das Produkt einer Jahrtausende alten Entwicklung in der Nacheiszeit darstellt.

Hangab findet sich ein Bereich indem hauptsächlich Fließerden das Ausgangsmaterial der Bodenentwicklung sind. In ihnen ist basaltisches Material mit Basalttuff und tertiären Mergeln der Juranagelfluh vermischt worden. Diese Fließerden sind zum Teil sehr tiefgründig und tonig verwittert. Dabei entstanden Pelosol-Braunerden und Braunerde-Pelosole. Hangab, wohl vor allem durch eine stärkere Beimengung von Löß und Tertiärmaterial werden die Böden schluffiger, so daß zum Beispiel unterhalb des Sennhofs Braunerden und Pseudogley-Braunerden auftreten. Im Hang des Hohenstoffeln sind an

verschiedenen Stellen Basaltgänge bzw. ehemalige Basaltadventivkrater zu beobachten. Diese tragen auch flachgründige Böden, meist Ranker. Ab dem Mittelhang des Berges gibt es Quellen und um diese herum hangnasse Stellen. Diese Feuchtbereiche sind nahezu ausnahmslos randlich von Kolluvien überlagert, so daß wir Kolluvisol-Gleye und Gley-Kolluvisole finden.

Nahe der heutigen Waldgrenze treten auch vereinzelt bereits Normkolluvisole auf. Unterhalb der heutigen Waldgrenze schließt sich nach Nordwesten ein stärker erodierter Bereich an, in dem in Kuppenlage bereits Pararendzinen aus Juranagelfluhmergeln beobachtet werden können. Diese Pararendzinen gehen hangab in Pararendzina-Kolluvisole und zum Ort Weiterdingen zu in mächtige (Braunerde) Kolluvisole über. Nach Osten und Süden legt sich an den Bereich des Hohenstoffeln die äußere Jungendmoräne. Der Moränenzug ist unterbrochen vom Homboll, eingenommen von Pararendzinen. Hier hat also die Erosion bereits mehr als $15.000 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ Bodenmaterial hangab bewegt. Die flacheren Teile dieses Endmoränenzuges und Reste rißeiszeitlicher Moränen werden von erodierten Parabraunerden eingenommen. Zwischen diese Moränen und den Hohenstoffeln sind die beiden Senken der Rüte und der Heuwiesen zu erkennen. Hier sind aus lehmig-tonigen Substraten Kolluvisole und Gleye mit ihren Übergängen ausgeprägt.

Nach Osten und Süden fällt das Gelände zum Rohrbach und Mühlebach hin wellig aber stetig ab. Dieser Raum wird zum allergrößten Teil von Kolluvisolen eingenommen. Sie sind das Produkt der intensiven, mittelalterlichen und vor allem neuzeitlichen Bewirtschaftung. Konvexe Landschaftsformen zeichnen sich durch Pararendzina-Kolluvisole und auf den höchsten Erhebungen durch Pararendzinen aus. Dieses Muster ist unabhängig davon, ob sich die Bildungen auf Geschiebemergeln, auf Juranagelfluh oder auf Deckentuffen befinden. Lediglich im Waldbereich beim Herdle finden wir auf einem dünn mit Würmmoräne überlagerten Deckentuffrücken noch Parabraunerden und schwach erodierte Parabraunerden. Dies ist ein Zeichen, daß dieses Gebiet wohl vor allem in jüngerer Zeit nie intensiv landwirtschaftlich genutzt wurde, gleichwohl trägt es heute keinen naturnahen Wald.

Nördlich davon beim Erbsenbühl und bei der Lochmühle liegen zwei Beispiele für Einschaltungen von tertiärem Sinterkalk in die Deckentuff-Ablagerungen. Hier haben sich auf der Kuppe Rendzinen gebildet. Zwischen diesen Senken liegt eine große abflußlose Senke. Diese Senke Mark oder Härdtle, östlich des Heiliggrabes, ist als Toteissee anzusprechen. Dieser verlandete im Spätglazial und wurde durch den Versuch der Entwässerung und vielleicht sogar des zeitweiligen Aufstaus mehrfach verändert und ist durch einen Kranz von teilweise mehreren Metern mächtigen Kolluvien umgeben - vgl. Exkursionspunkt 9. Eine weitere noch bedeutendere Senke befindet sich zwischen Duchtlingen und Weiterdingen, das Weiterdinger Moor im Wiesental. Dieses Niedermoor ist intensiv landwirtschaftlich genutzt und stark vererdet. Aus dem Moorbereich erheben sich mehrere Höcker aus Deckentuff, die von würmzeitlichen Kies überlagert sind. Sie tragen Pararendzinen und haben einen Schürze von Kolluvien über das Moor geschüttet.

Versucht man die Bodengesellschaften, welche sich heute zeigen, mit potentiellen Bodenentwicklungen ohne menschliche Beeinflussung zu vergleichen, so muß man feststellen, daß zwischen 70 % bis 80 % der Böden heute so stark verändert sind, daß sie einem anderen Bodentyp häufig sogar einer anderen Bodenklasse angehören als dies unter natürlichen Bedingungen der Fall wäre. Besonders auffällig ist der hohe Anteil an Kolluvien. Da man in erster Näherung annehmen müßte, daß jedes Kolluvium einer vergleichbaren Fläche entsprechen müßte, die erodiert wurde, bleibt die Frage der Liefergebiete dieser weit verbreiteten Kolluvien. Die Abbildung versucht auf einfache Weise die große Verbreitung von Kolluvien zu erklären.

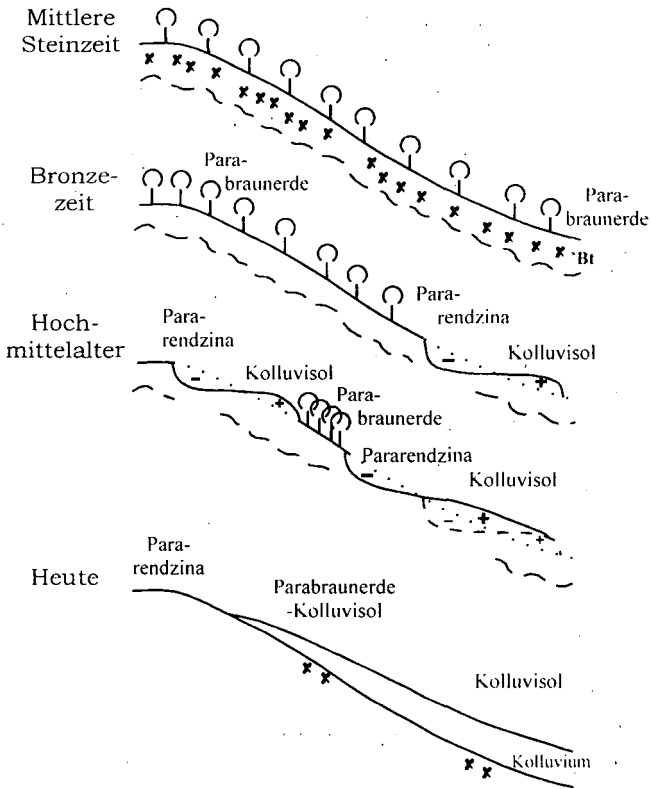


Abbildung 2: Schematische Übersicht über die Entwicklung eines hangbedeckenden Kolluvisols.



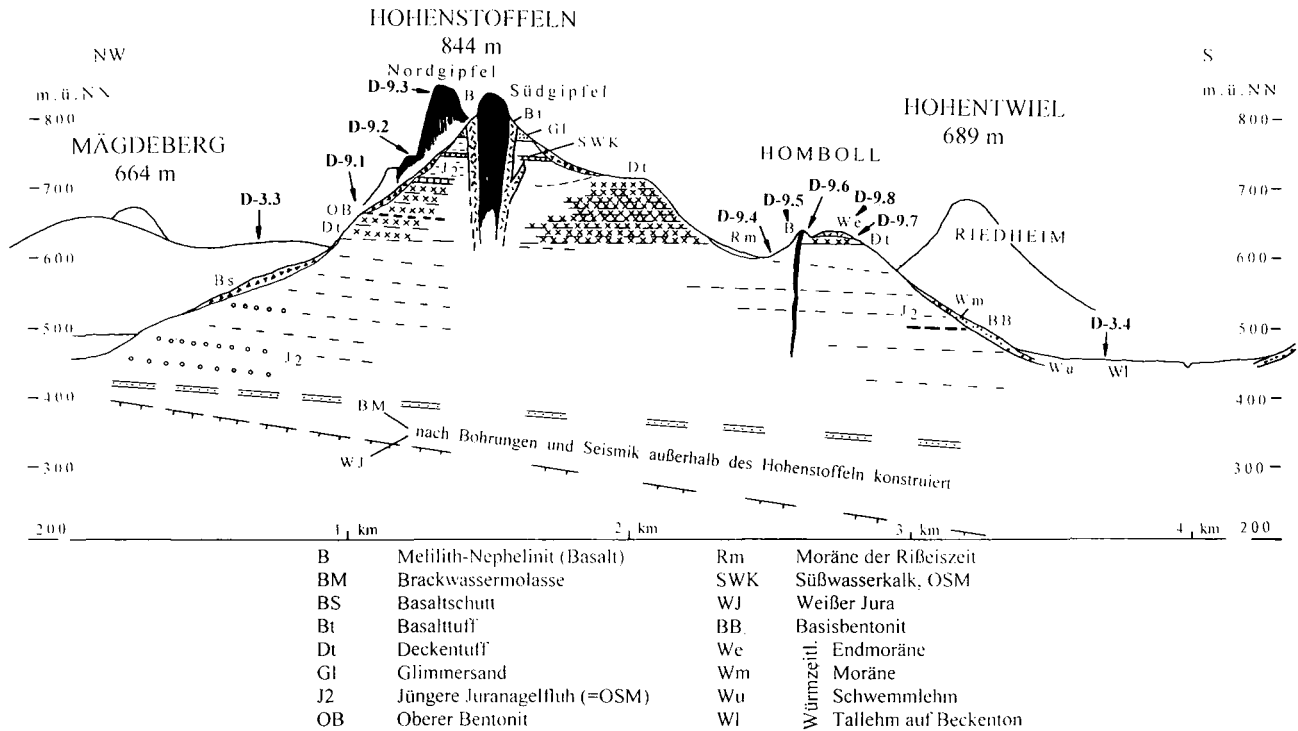


Abbildung 3: Geologischer Schnitt durch den Hohenstoffeln (2-fach überhöht, am Hohenstoffeln nach Süden geknickt).

Die Exkursionspunkte D-9.1 bis 9.8 sowie D-3.3 und 3.4 sind eingezeichnet (verändert aus Schreiner, 1984).

Profil D9-1 Braunerde-Pelosol Hohenstoffeln

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 3 km WNW Duchtlingen bei Singen
Top. Karte:	(1:25.000): Nr. 8218 Gottmadingen R: ³⁴ 815000 H: ⁵² 955000
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau
Höhe:	695 m ü. NN
Relief:	gestreckter Mittelhang
Vegetation:	Buche, Esche - Bärlauch
Nutzung:	Forst - Laubmischwald
Mittl. Jahrestemperatur:	7,5 °C
Mittl. Jahresniederschlag:	750 mm
Gestein:	Basalt-Fließerdien

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-10	10YR3/2, toniger Lehm, tL, feucht, krümelig, sehr stark durchwurzelt, ebene deutliche Grenze
BvAh	10-45	10YR4/3, toniger Lehm, tL, feucht, subpolyedrisch, eingeregelt Steinschicht, stark durchwurzelt, ebene deutliche Grenze
IIBvP	45-70	10YR4/6, lehmiger Ton, tL, frisch, polyedrisch, Humusüberzüge, mittel durchwurzelt, wellige deutliche Grenze
PCv	70-100	7,5YR4/4, sandig-toniger Lehm, stL, feucht, grobpolyedrisch, Mn- und Fe-Konkretionen, mittel durchwurzelt, ebene undeutliche Grenze
Cv	>100	7,5YR4/6, toniger Lehm, tL, feucht, kohärent, große Mn-Konkretionen, schwach durchwurzelt

Bodentyp	KA4: Braunerde-Pelosol FAO: Vertic Cambisol
Humusform:	KA4: Mull
Substrattyp:	KA4: Schuttelhm über Hangton

D-9.1, Braunerde-Pelosol - Hohenstoffeln

D-9.1 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Gew. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2811	Ah	10	1,9	2,3	11,2	15,1	28,6	34,7	36,7	n.b.	n.b.
2812	BvAh	45	2,9	3,1	11,0	14,7	28,8	36,2	35,4	n.b.	n.b.
2813	BvP	70	12,6	2,8	7,0	9,4	19,2	34,4	46,4	n.b.	n.b.
2814	PCv	100	6,4	4,1	11,5	12,8	28,4	29,3	42,3	n.b.	n.b.
2815	Cv	>100	9,0	2,1	8,0	11,5	21,6	36,2	42,2	n.b.	n.b.
2816	C?		n.b.	1,3	8,6	16,4	26,3	49,3	24,4	n.b.	n.b.

D-9.1 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o g/kg
				0.6	2,0	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2811	Ah	0,84	74,0	n.b.	32,0	n.b.	26,0	14,0	6,3	n.b.	0,45	2,1
2812	BvAh	1,01	67,0	n.b.	39,0	n.b.	25,0	17,1	7,6	n.b.	0,44	1,9
2813	BvP	1,26	69,5	n.b.	48,5	n.b.	30,5	11,9	3,3	n.b.	0,28	1,2
2814	PCv	1,15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	13,9	6,1	n.b.	0,44	1,7
2815	Cv	1,15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	12,0	5,5	n.b.	0,46	1,8

D-9.1 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P(CAL) mg/kg	K(CAL) mg/kg
2811	Ah	n.b.	5,5	0,0	5,7	4,1	13,9	86	380
2812	BvAh	n.b.	4,8	0,0	1,7	1,4	12,4	40	112
2813	BvP	n.b.	5,0	0,0	0,5	0,4	13,5	55	218
2814	PCv	n.b.	5,2	0,0	0,4	0,4	10,3	86	207
2815	Cv	n.b.	5,1	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	143	207
2816	C?	n.b.	n.b.	17,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

D-9.1 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff} mmol/kg	Austauschbare Kationen _{eff} in mmol/kg						BS %
				H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2811	Ah	632	445	3,1	n.b.	367	63	11,5	0,2	70
2812	BvAh	484	302	8,2	n.b.	239	51	3,5	0,3	61
2813	BvP	746	551	6,2	n.b.	451	87	5,9	0,5	73
2814	PCv	823	563	4,3	n.b.	471	81	5,6	0,7	68
2815	Cv	897	650	5,3	n.b.	550	88	5,6	0,9	72

D-9.1 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2811	Ah	5,0	8,0	4,8	2,7	2	0	3	7	80	0	0	3
2812	BvAh	3,4	8,1	4,5	2,7	2	0	5	8	82	0	0	3
2813	BvP	4,0	9,3	6,7	1,8	1	0	3	7	87	0	0	2
2814	PCv	5,5	12,2	6,8	4,0	1	0	3	5	90	0	0	1
2815	Cv	5,7	11,4	6,5	3,9	1	0	2	4	91	0	0	2
2816	C?		n.b.	n.b.	n.b.	2	0	3	4	90	0	0	2

D-9.1, Braunerde-Pelosol - Hohenstoffeln

D-9.1 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	<i>l</i>	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
2811	Ah			5,4	1,6	1,7	2,9	<0,1	3,6	11,0	3,5	461	23,8
2812	BvAh			5,5	1,3	1,8	3,1	<0,1	3,2	11,7	3,2	546	21,4
2813	BvP			5,6	1,6	2,3	2,6	<0,1	2,2	8,5	2,1	462	18,4
2814	PCv			6,6	1,9	2,5	2,3	<0,1	3,6	10,4	3,0	430	24,2
2815	Cv			6,0	2,1	2,5	2,0	<0,1	3,6	8,5	2,7	451	18,8
2816	C?			5,3	9,0	2,7	2,2	<0,1	3,5	6,8	3,0	448	15,2

Erläuterungen D-9.1. Braunerde-Pelosol, Hohenstoffeln

Das Bodenprofil ist aus geschichteten Basaltfließberden entstanden. Vom Mineralbestand her ist die erste und zweite Schicht nahezu identisch. Die Schichtgrenze verläuft in etwa 45 cm unterhalb einer steinigigen Lage, die anzeigt, daß der obere Teil des Profils weniger intensiv verwittert ist. Stresskutane und nicht mehr Hohlraum orientierte Tonbeläge im BvP- und PCv-Horizont deuten darauf hin, daß hier eventuell Relikte einer vorangegangenen Bodenbildung erhalten sind. Vergruste Basaltreste zeigen aber, daß auch im unteren Teil basaltisches Material beigemischt war. Die dritte Schicht beginnt unterhalb 1,20 m und war bei der Probenahme nur erbohrt worden. Hier sind Mergel der Juranagefluh beigemischt. Dies ist hauptsächlich an dem auftretenden Calcit und geringen Dolomitanteil zu erkennen. Der Tonmineralbestand zeichnet die Schichtgrenze nicht nach. In der oberen Schicht läßt sich aufgrund der Korngrößenanalyse und erhöhter Quarzanteile eine geringe Lößstaubeimengung erkennen. Inwieweit in der ersten und zweiten Schicht auch Molassemergel beigemischt sind, läßt sich nicht einwandfrei erkennen.

Der Boden ist bis mindestens 1,20 m kalkfrei bzw. entkalkt. Unterstellt man, daß das Ausgangsmaterial wie der Untergrund kalkhaltig war, ergebe sich ein Verlust von mindestens 180 kg Kalk/m². Darüberhinaus ist erkennbar, daß bei einer bisher nur recht mäßigen Versauerung durch die Verwitterung der primären Silicate und der dabei erfolgten Entbasung bereits etwa 4 kmol/m² Basen abgeführt wurden. Der größte Teil davon ist Kalzium, während Magnesium stabiler zu sein scheint. Die Verbraunung ist im Oberboden deutlich stärker als im Unterboden. Der Fe_d-Anteil am Gesamteisen beträgt im BvAh 30 % im PCv nur knapp 20 %. Die Neubildung an oxidischem Eisen umfaßt 16 kg/m². Die Tonmenge beträgt bis zur Unterkante des Cv-Horizontes 510 kg/m². Es muß unterstellt werden, daß die holozäne Bodenbildung bereits ein Substrat vorfand, das mindestens soweit vorverwittert war wie der C-Horizont der dritten Schicht. Dann ergäbe sich eine Tonneubildung von etwa 140 kg/m², die hauptsächlich im BvP und PCv stattgefunden hat.

Die relativ hohen Humusgehalte führen zu einem Humusvorrat von 20,5 kg/m², mit dem ein hoher Stickstoffvorrat von 9.300 kg/ha einhergeht. Die günstige Stickstoffversorgung steht in Einklang mit der nitrophilen Bodenvegetation. Die Struktur des Oberbodens zeigt eine intensive Bioturbation an. Tonverlagerung bzw. vertikale Eigenschaften lassen sich kaum quantifizieren, sind aber im dritten und vierten Horizont mikromorphologisch zu erkennen. Schwache Pseudovergleyung führte zur Bildung geringer redoximorpher Merkmale im Unterboden sowie zur Ausbildung von Mangan- und Eisenoxyd-Konkretionen.

Standortseigenschaften

Der Boden ist physiologisch tiefgründig und hat bis etwa 70 cm eine gute Durchlüftung. Die nutzbare Feldkapazität wird mit 130 l/m² angenommen und ist als Mittel zu bewerten. Insgesamt wird der Standort als mäßig frisch eingeschätzt. Die verwitterbaren Nährstoffvorräte werden generell als sehr hoch eingestuft. Ebenso die verfügbaren Phosphor-, Kalium- und Stickstoffmengen, so daß der Standort als sehr gut mit Nährstoffen versorgt gelten kann.

Oberhalb des Profils am Nordosthang findet sich zwischen grobem Blockschutt eine große Zahl anspruchsvoller Laubgehölze (Esche, Bergahorn, Winterlinde u. a. m.) Auf und zwischen den Felsen fällt der große Farnreichtum ins Auge (*Athyrium filix-femina*, *Dryopteris filix-mas*, *D. carthusiana*, *D. dilatata*, *Gymnocarpium robertianum*; auf Felsen *Polypodium vulgare*, in Ritzen *Asplenium*-Arten).

Erläuterungen zu D9-2 Steinbruch, Hohenstoffeln

Der Steinbruch auf der Nordseite des Hauptgipfels der beiden Stoffeln liegt im zentralen Teil des Olivin-Melilith-Basaltschlotes. Deshalb ist ein sehr reiner Basalt abgebaut worden und heute noch an den offenliegenden Steinbruchwänden zu erkennen. Sehr schön ist die prismatische Absonderung des Basalts mit ihrer deutlichen Ausrichtung zur abkühlenden Oberfläche entwirrt. Einzelne Nebengesteinseinschlüsse bishin zu Grundgebirgskomponenten sind zu finden, ebenso teilweise Ausscheidungen von Carbonat und Zeolithen in Hohlräumen. Auf der Ostseite des Steinbruchs ist stark verstürzt der Kontakt zu den Nagelfluhmergeln aufgeschlossen. Daran läßt sich erkennen, daß der Basalt während einer Zeit aufgedrungen ist, in der das Becken bereits weitgehend mit Molassegesteinen aufgefüllt war und auf jeden Fall nach der Zeit der Juranagelfluh (Obere Süßwassermolasse). Das Gestein hat generell eine Grundmasse aus Pyroxen, die etwa 50 % ausmacht, daneben gibt es Einsprenglinge von Olivin und Nephelin von je etwa 6 %. Der Magnetitanteil ist mit 7 % recht hoch. Melilith tritt in 3 % bis 4 % auf, Biotit, Perowskit sind nur Spuren. Das Gestein enthält ca. 40 % SiO₂ (KELLER 1984).

Die Vegetationsdecke ist durch die frühere Steinbruchtätigkeit stark gestört, hier und dort sind Pioniergehölze im Aufkommen. Auf der Sohle überwiegt kurzlebige und ausdauernde Ruderalvegetation. Auf Gesteinsgrus finden sich Pioniergesellschaften aus Bryophyten (Moosen, z. B. Grimmia, Tortula, Bryum-Arten etc.).

Erläuterungen D9-3 Hohenstoffeln Nordgipfel

Der Nordgipfel des Hohenstoffeln liegt direkt oberhalb des alten Steinbruchs. Dieser Steinbruch sollte in den 30er Jahren um den Gipfel erweitert werden. Dies konnte durch Aktivitäten des Naturschutzes verhindert werden. Auf dem Gipfel sind noch bescheidene Reste einer ehemaligen Burg erkennbar. Im oberen Teil des Gipfels findet man hauptsächlich Ranker. Diese Ranker sind aber wohl nicht natürlicher Entstehung, sondern bestehen aus einer anthropogen bedingten Deckschicht, die ein Gemisch aus Basaltzersatz, Kulturschutt und organischer Substanz darstellt. Vom Gipfel hat man eine sehr schöne Aussicht nach Norden über die Schmelzwasserrinnen von Engen nach Binningen, in der auch eine große Kiesgrube liegt, in der auf der Rückseite Juranagelfluh und rißzeitliches Moränenmaterial aufgeschlossen sind. Der sanfte Anstieg des Gegenhangs führt über die obere Süßwassermolasse auf die Hochfläche der Schwäbischen Alb. Nach Osten ist der gleichmäßige Kegel des Hohenhewen bei Engen zu erkennen.

Zur Zeit der Burg gab es auf dem Hohenstoffeln noch eine große Zahl typischer Vertreter der Felsenheiden, wie sie auf den übrigen Hegaubergen - insbesondere am Hohentwiel - noch reichlich vorkommen (s. auch BARTSCH 1925). Nur am Ausguck finden sich noch spärliche Reste der Pflanzen lichtliebender Formationen. Zu den Relikten der Burgpflanzen läßt sich das in größeren Flecken hier siedelnde Immergrün (*Vinca minor*) zählen; die nitrophilen Stauden hier können auch mit der Situation als Aussichtspunkt in Verbindung gebracht werden.

Profil D9-4 Pelosol-Gley (Auengley) Heuwiesen

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 2,8 km WSW Duchtlingen bei Singen
Top. Karte:	(1:25.000): Nr. 8218 Gottmadingen R: ³⁴ 817700 H: ⁵² 938000
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau
Höhe:	620 m ü. NN
Relief:	konkaver Tiefenbereich einer Hohlform
Vegetation:	Gras, Schilf, Brennessel
Nutzung:	Weide
Mittl. Jahrestemperatur:	7,5 °C
Mittl. Jahresniederschlag:	750 mm
Gestein:	Auenlehm

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-12	7,5YR3/2, lehmiger Ton, IT, feucht, krümelig bis subpolyedrisch, extrem stark durchwurzelt, ebene deutliche Grenze
GoAh	12-28	7,5YR4/3, lehmiger Ton, IT, feucht, polyedrisch, Reduktionszonen, Rostflecken, stark durchwurzelt, ebene undeutliche Grenze
PGo	28-44	5YR5/8; 10YR5/1, schluffiger Ton, uT, feucht, grob polyedrisch bis prismatisch, Mn- und Fe-Konkretionen, verrostete Wurzelbahnen, mittel durchwurzelt, ebene undeutliche Grenze
IIGor	44-100	7,5YR4/6; 10YR4/1, lehmiger Ton, IT, naß, polyedrisch bis prismatisch, Reduktionszonen, Rostflecken, schwach durchwurzelt

Bodentyp	KA4: Pelosol-Gley (Auengley) FAO: Eutric Gleysol
Humusform:	KA4: Feucht-Mull
Substrattyp:	KA4: Fluviton

D-9.4, Gley - Heuwiesen

D-9.4 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Gew. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2581	Ah	12	0	0,9	4,8	6,8	12,5	34,4	53,1	n.b.	n.b.
2582	GoAh	28	0	1,5	4,9	6,2	12,6	31,7	55,7	n.b.	n.b.
2583	PGo	44	0	1,1	6,4	6,2	13,7	35,1	51,2	n.b.	n.b.
2584	Gor	100	0	2,8	9,0	10,1	21,9	28,6	49,5	n.b.	n.b.

D-9.4 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o g/kg
				0.6	1.8	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2581	Ah	0,68	71	n.b.	52	n.b.	n.b.	26,5	11,3	n.b.	0,43	0,8
2582	GoAh	0,91	64	n.b.	58	n.b.	n.b.	30,8	10,4	n.b.	0,34	1,2
2583	PGo	0,94	64	n.b.	57	n.b.	n.b.	35,1	8,3	n.b.	0,24	1,8
2584	Gor	0,97	63	n.b.	56	n.b.	n.b.	24,7	3,7	n.b.	0,15	0,3

D-9.4 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P(CAL) mg/kg	K(CAL) mg/kg
2581	Ah	n.b.	6,0	0	7,4	7,2	10,3	26	66
2582	GoAh	n.b.	6,1	0	2,7	2,7	10,0	4	51
2583	PGo	n.b.	6,4	0	1,3	1,3	10,3	3	70
2584	Gor	n.b.	6,7	0	n.b.	n.b.	n.b.	5	75

D-9.4 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff} mmol/kg	Austauschbare Kationen _{eff} in mmol/kg						BS %
				H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2581	Ah	836	827	1	n.b.	793	28	1,3	3,2	99
2582	GoAh	800	775	0	n.b.	748	24	0,4	2,1	97
2583	PGo	787	787	0	n.b.	757	27	1,0	2,4	100
2584	Gor	560	560	0	n.b.	534	23	1,3	1,9	100

D-9.4 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2581	Ah	5,4	11,7	4,9	2,5	1	0	3	0	90	0	5	1
2582	GoAh	4,5	9,9	5,0	1,9	1	0	3	0	91	0	3	2
2583	PGo	4,4	11,6	5,6	1,8	1	0	2	0	90	0	2	5
2584	Gor	4,3	10,2	5,0	2,1	1	0	2	0	90	0	1	6

D-9.4 Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
2581	Ah			6,7	1,8	1,3	1,5	0,3	3,1	11,3	1,5	343	32,8
2582	GoAh			7,4	1,5	1,5	1,6	0,2	2,4	11,7	1,8	357	32,6
2583	PGo			7,7	1,4	1,5	1,5	0,3	2,3	12,6	1,6	364	34,5
2584	Gor			5,8	1,2	1,3	2,0	0,4	2,0	9,9	0,9	414	24,0

Erläuterungen D-9-4, Pelosol-Gley-Heuwiesen

Das Ausgangsmaterial des Bodenprofils ist ein toniger Auenlehm. Zweifellos war es ursprünglich feingeschichtet, ist aber zum großen Teil beim Aufwachsen bereits durch Bodenbildung homogenisiert worden. Lediglich der Gor-Horizont zeigt erhöhte Feinsandanteile. Die Schichtung an dieser Grenze läßt sich auch im Titan-Zirkon-Verhältnis erkennen. Der hohe Anteil an Smectit läßt vermuten, daß das Ausgangsmaterial hauptsächlich basaltbürtig ist, obwohl das Tal von einer dünnen Rißmoränendecke umgeben ist. Bei den eutrophen Verhältnissen ist der Smectit stabil.

Geht man davon aus, daß das Auensediment kalkfrei war, so ist keine Entkalkung aufgetreten. Auch Entbasung und Versauerung spielt keine Rolle. Dagegen kann von einer mäßigen P-Eutrophierung ausgegangen werden. Der Anteil dithionitlöslichen Eisens am Gesamteisen ist in allen Horizonten zwischen 42% und 45%. Eine starke Eisenakkumulation während der Vergleyung hat nicht stattgefunden. Wegen der Auendynamik muß davon ausgegangen werden, daß der ursprüngliche Tongehalt eher im Ah-Horizont, denn im Gor zu finden ist. Dies bedeutet, daß seit der Ablagerung faßt keine Tonminerale Neubildung stattgefunden hat. Stoffumlagerungen durch Vergleyung haben ein recht geringes Ausmaß. Fe_0 zeigt ein Maximum an der Bodenoberfläche. Die stabileren Eisenfraktionen und Mn_0 haben ihr Maximum im PG_0 -Horizont.

Der Humusvorrat ist mit etwa 25 kg/m² hoch. Der Stickstoffvorrat mit 12.400 kg/ha sehr hoch. Die Humusverteilung zeigt einen typischen Feuchtmull. Im Oberboden nähern sich die Bedingungen einem Anmoor. Das C/N-Verhältnis ist aber gleichmäßig niedrig mit 10.

Das Profil ist als sehr gut durchwurzelbar und mittelgründig einzustufen. Die an Feuchtstandorte angepaßte Vegetation kann den Boden, wie erkennbar ist, jedoch tiefer aufschließen. Die hohe nutzbare Feldkapazität mit 280 mm und der kapillare Aufstieg in den Wurzelraum machen den Standort feucht bis sehr feucht. Die Luftversorgung im Ah-Horizont ist als gut zu betrachten, solange das Grundwasser tiefer steht. In den übrigen Horizonten ist die Luftversorgung deutlich schlechter, zumal auch das Größtporenvolumen abnimmt. Der Gor-Horizont schränkt den Wurzelraum aufgrund Luftmangels vollständig ein. Gebunden an den Humus sind die Vorräte der Nährstoffe N und P als sehr hoch einzuschätzen. Auch die Basenversorgung ist sehr gut. Der Vorrat an Kalium ist dagegen nur hoch, auch der Anteil an verfügbarem Kalium ist niedriger einzuschätzen. Von den verfügbaren Nährstoffen ist Stickstoff am besten, Kalium am geringsten einzuschätzen. Die schlechte Nährstoffversorgung einer Streuwiese wird durch die periodische Überflutung zumindest teilweise ausgeglichen.

Die Gleye der Senke werden von Feucht- und Naßwiesen bedeckt. Durch die teils intensive Nutzung sind die typischen Arten der Hochstauden auf den Bachrand zurückgedrängt, das Grünland wird von *Alopecurus pratensis* (Wiesenfuchschwanz) dominiert. Am Bach finden sich *Cirsium palustre*, *C. oleraceum*, *Crepis paludosa*, *Geranium sylvaticum*, *Heracleum sphondylium*, *Filipendula ulmaria* und weitere.

Profil D9-5 Ranker Homboll

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort: ca. 2,2 km WSW Duchtlingen bei Singen, Hofgut Homboll
Top. Karte: (1:25.000): Nr. 8218 Gottmadingen R: ³⁴ 823200 H: ³²939800
Landschaft: Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau
Höhe: 660 m ü. NN
Relief: gestreckter Mittelhang
Vegetation: Grünland
Nutzung: Weide
Mittl. Jahrestemperatur: 7,5 °C
Mittl. Jahresniederschlag: 750 mm
Gestein: vulkanischer Bombentuff

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah 1	0-15	10YR3/3, toniger Lehm, tL, feucht, krümelig, extrem stark durchwurzelt bis Wurzelfilz, deutliche ebene Grenze
Ah 2	15-25	10YR3/3, toniger Lehm, tL, frisch, krümelig bis subpolyedrisch, Sekundärkalk, sehr stark durchwurzelt, abrupte ebene Grenze
mCn	->25	7,5YR4/3; 2,5YR2/1; 5Y5/1, sandiger Grus, sgr, frisch, kohärent bis dicht, Sekundärkalk, Basalteinschlüsse, sehr schwach durchwurzelt

Bodentyp: KA4: basenreicher Ranker
FAO: Eutric Leptosol
Humusform: KA4: Mull
Substrattyp: KA4: Schuttführender Lehm über Basaltuff

D-9.5, Ranker - Homboll

D-9.5 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Gew. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2611	Ah1	15	0,0	1,0	4,0	11,0	16,0	32,0	52,0	n.b.	n.b.
2612	Ah2	25	2,0	1,0	10,0	16,0	27,0	36,0	37,0	n.b.	n.b.
2613	mCn	>25	28,0	1,0	8,0	57,0	66,0	21,0	13,0	n.b.	n.b.

D-9.5 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o g/kg
				1,0	1,8	2,3	4,2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2611	Ah1	0,90	69	63	50	48	32	7,2	3,7	1,0	0,51	0,9
2612	Ah2	1,00	63	60	46	43	25	6,5	3,0	0,9	0,46	0,8
2613	mCn	1,29	55	44	38	36	11	3,9	1,5	0,6	0,40	0,8

D-9.5 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P(CAL) mg/kg	K _c (CAL) mg/kg
	1	23	24	25	26	27	28	29	30
2611	Ah1	n.b.	6,5	0,3	3,9	3,7	10,5	52	360
2612	Ah2	n.b.	6,8	0,6	1,6	1,8	8,9	59	222
2613	mCn	n.b.	7,2	0,7	n.b.	n.b.	n.b.	49	159

D-9.5 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _c /kg	KAK _{eff} mmol _c /kg	Austauschbare Kationen _{eff} in mmol _c /kg						BS %
				H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2611	Ah1	888	617	3,8	n.b.	440	157	15	1	69
2612	Ah2	963	623	2,2	n.b.	458	152	9	2	65
2613	mCn	713	n.b.	n.b.	n.b.	594	155	9	1	100

D-9.5 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2611	Ah1	10,0	60,0	3,4	1,6	0,5	0	3,5	0	96	0	0	0
2612	Ah2	8,3	58,3	5,8	1,3	0,5	0	2,5	0	97	0	0	0
2613	mCn	9,3	55,6	3,9	1,3	0,0	0	1,0	0	99	0	0	0

D-9.5 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
2611	Ah1			8,0	3,8	4,8	1,2	<0,1	3,7	15,6	1,5	241	60,6
2612	Ah2			7,8	3,9	4,6	1,2	<0,1	3,2	15,0	1,5	247	60,8
2613	mCn			8,7	4,0	6,6	0,6	<0,1	3,9	17,6	1,1	249	70,8

Erläuterungen D9-5, Ranker, Homboll

Das Bodenprofil befindet sich auf einem stark vergrusten, basaltischem Bombentuff. Trotz seiner flachgründigen Entwicklung, muß davon ausgegangen werden, daß der Ah1-Horizont eine stärkere Lößbeimengung enthält. Schluff und Sand der untersten Bereiche sind hauptsächlich bei der Verwitterung des anstehenden Gesteines entstanden. Der Oberboden ist ein Erosionsrelikt, das auch Reste aus der Zeit, in der auf dem Homboll eine Burg stand vorkommen. Der Südhang wurde sicherlich im Mittelalter intensiver gartenbaulich genutzt. Der Kalk rührt aus der Carbonatisierung des vulkanischen Gesteins. Neben Carbonat finden sich auf den Gesteinsklüften auch Zeolithe. Die Entkalkung hat bisher noch keinen Horizont vollständig erfaßt. Eine hypothetische Abnahme gegenüber dem Ausgangsmaterial würde etwa 3 kg/m^2 umfassen und wäre damit innerhalb eines Zeitraum von ca. 100 Jahren bereits zu erklären. Eine Entbasung hat praktisch noch nicht stattgefunden. Bei den Gesamtgehalten läßt sich aber erkennen, daß vor allem bei Magnesium bereits ein höherer Anteil in den beiden oberen Horizonten verloren gegangen ist, so daß bei der Verwitterung eine Wegfuhr von Basen angenommen werden muß. Der Tonmineralbestand ist dominiert von Smectiten. Auch hier zeigten die Spuren von Illit von Kaolinit im Oberboden die Beimengung von Fremdmaterial an. Der Anteil des dithionitlöslichen Eisen liegt bei knapp 10 % des Gesamteisens und zeigt einen sehr niedrigen Verwitterungsgrad an. Dagegen zeigen die relativ hohen Fe_0/Fe_d -Verhältnisse, daß die aktuelle Verwitterung z. Zt. recht aktiv ist. Geht man davon aus, daß auch im anstehenden Gestein bereits durch Tiefenverwitterung Ton neu gebildet wurde, so ist immer noch ein Anstieg im Oberboden auf rezente Tonneubildung zurückzuführen. Insgesamt beträgt diese Tonneubildung etwa 24 kg/m^2 .

Das Bodenprofil zeigt einen idealen Mullzustand mit einer hohen Bioturbation. Trotz der geringen Profiltiefe sind $13,7 \text{ kg/m}^2$ Humus akkumuliert. Der damit vergesellschaftete Stickstoffvorrat von 6.800 kg/ha liegt etwas unter dem Durchschnitt baden-württembergischer Böden und weit unter dem Durchschnitt von Grünlandstandorten. Der geringe Wert ist aber eher durch geringe Produktion und starke Mineralisation von Streu zu begründen, denn durch mangelnden Umsatz.

Der Standort ist mechanisch flachgründig nur einzelne Wurzeln können in Spalten des C-Horizonts eindringen. Der Oberboden ist sehr gut durchwurzelbar. Die Speichermenge an pflanzenverfügbaren Wassers beträgt 43 mm . Entsprechend ist der Standort als trocken einzustufen, dabei ist er sehr gut durchlüftet. Die Nährstoffvorräte bei Kalzium und Magnesium sind als sehr hoch zu betrachten. Stickstoff, Phosphor und Kalium liegen bei mäßig bis hoch. Stickstoff ist gut verfügbar. Auch der Anteil verfügbaren Kaliums ist sehr hoch, dagegen der an Phosphat nur gering. Eine Düngung findet auf der Fläche nicht statt. Hier haben sich auf flachgründigen Substraten noch eine große Zahl bemerkenswerter Trocken- und Halbtrockenrasenarten halten können.

Profil D9-6 Pseudogley-Pelosol Homboll

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort: ca. 2,1 km WSW Duchtlingen bei Singen, Sattel E Homboll
Top. Karte: (1:25.000): Nr. 8218 Gottmadingen R: ³⁴824000 H: ³²941200
Landschaft: Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau
Höhe: 660 m ü. NN
Relief: Sattel
Vegetation: Grünland
Nutzung: Weide
Mittl. Jahrestemperatur: 7,5 °C
Mittl. Jahresniederschlag: 750 mm
Gestein: Mergel (Haldenhofmergel) - Juranagelfuhmergel

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-18	10YR2/2, Ton, T, feucht, subpolyedrisch, Holzreste, Ziegelreste, sehr stark durchwurzelt, wellige deutliche Grenze
P 1	18-40	10YR5/4, Ton, T, feucht, polyedrisch, Mn- und Fe-Konkretionen, schwach durchwurzelt, irreguläre diffuse Grenze
P 2	40-60	10YR5/3, Ton, T, feucht, polyedrisch, Fe- und Mn-Konkretionen, sehr schwach durchwurzelt, sehr deutliche unterbrochene Grenze zu PSd und SdC
PSd	60-100	10YR6/3, Ton, T, feucht, polyedrisch, Fe- und Mn-Konkretionen, sehr schwach durchwurzelt, sehr deutliche unterbrochene Grenze zu SdC
SdC	60-100	7,5Y6/1, schluffiger Ton, uT, polyedrisch, Fe- und Mn-Konkretionen, sehr schwach durchwurzelt, sehr deutliche unterbrochene Grenze PSd

Bodentyp KA4: Pseudogley-Pelosol
FAO: Vertic Cambisol
Humusform: KA4: Mull
Substrattyp: KA4: Ton

D-9.6, Pseudogley-Pelosol - Homboll

D-9.6 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Gew. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2641	Ah	18	1	1,0	2,0	3,0	6,0	27,0	67,0	n.b.	n.b.
2642	P1	40	0	0,0	0,0	1,0	1,0	19,0	80,0	n.b.	n.b.
2643	P2	60	0	0,0	0,0	0,5	0,5	23,5	76,0	n.b.	n.b.
2644	PSd	100	0	0,0	0,0	0,5	0,5	26,5	73,0	n.b.	n.b.
2645	SdC	>100	0	0,0	0,0	1,0	1,0	42,0	57,0	n.b.	n.b.

D-9.6 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o g/kg
				0.6	1.8	2.3	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2641	Ah	0,92	63	n.b.	58	54	39	4,6	3,0	n.b.	0,66	0,4
2642	P1	1,48	50	n.b.	48	48	44	7,4	1,4	n.b.	0,19	0,2
2643	P2	1,62	44	n.b.	43	42	42	6,2	1,8	n.b.	0,29	0,2
2644	PSd	1,45	48	n.b.	47	46	41	7,0	1,5	n.b.	0,21	0,2
2645	SdC	1,86	35	n.b.	34	32	32	5,8	0,8	n.b.	0,14	0,2

D-9.6 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P(CAL) mg/kg	K(CAL) mg/kg
2641	Ah	n.b.	7,2	10,7	9,1	8,3	11,0	148	504
2642	P1	n.b.	7,6	20,5	0,6	1,1	5,3	2	340
2643	P2	n.b.	7,6	24,2	0,3	n.b.		1	299
2644	PSd	n.b.	7,7	20,3	n.b.	n.b.		2	177
2645	SdC	n.b.	7,7	39,1	n.b.	n.b.		9	159

D-9.6 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff} mmol/kg	Austauschbare Kationen _{eff} in mmol/kg						BS %
				H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2641	Ah	672	n.b.	n.b.	n.b.	582	62	1,9	2,0	96
2642	P1	219	n.b.	n.b.	n.b.	172	44	1,4	1,5	100
2643	P2	223	n.b.	n.b.	n.b.	174	46	2,2	1,2	100
2644	PSd	212	n.b.	n.b.	n.b.	146	64	1,2	1,0	100
2645	SdC	125	n.b.	n.b.	n.b.	87	35	0,8	1,7	100

D-9.6 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2641	Ah	33,9	13,5	11,5	1,7	13	0	19	30	30	0	7	1
2642	P1	54,9	14,1	17,5	0,5	13	0	26	37	0	0	16	1
2643	P2	62,7	15,1	15,4	0,5	20	0	25	36	0	0	16	2
2644	PSd	45,6	19,5	19,5	0,5	21	0	30	38	0	0	10	1
2645	SdC	94,6	23,9	10,2	0,4	21	0	30	36	0	0	11	1

D-9.6, Pseudogley-Pelosol - Homboll

D-9.6 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	<i>l</i>	<i>42a</i>	<i>42b</i>	<i>42c</i>	<i>42d</i>	<i>42e</i>	<i>42f</i>	<i>42g</i>	<i>42h</i>	<i>42i</i>	<i>42j</i>	<i>42k</i>	<i>42l</i>
2641	Ah			5,2	6,1	1,1	2,1	0,3	1,7	5,8	0,9	175	33,3
2642	P1			5,0	8,2	1,2	2,5	0,1	0,8	4,8	0,5	132	36,0
2643	P2			4,5	9,4	1,5	2,5	<0,1	0,8	4,5	0,6	131	34,7
2644	PSd			5,2	7,8	1,4	2,9	<0,1	0,9	5,0	0,5	139	36,1
2645	SdC			1,8	14,7	1,9	2,0	<0,1	0,7	3,8	0,7	155	24,4

Erläuterungen zu D9-6 Pseudogley-Pelosol, Homboll

Direkt neben dem Basaltschlot des Homboll liegt scheinbar durch das Eindringen des Basalts nicht veränderte mergelige Juranagelfluh. Das Gestein war bei seiner Ablagerung ein schichtiger Tonstein. Jüngere Schichtungen sind nicht zu erkennen. Lediglich der Ah-Horizont zeigt eine gewisse Vergrößerung, die durch Beimengungen vom Hang erklärt werden können. Der Tonmineralbestand weist bei einer Dominanz von Illit-Smectit-Wechselagerungen über die gesamte Profiltiefe gleiche Mengen an Illit, Kaolinit und chlorisiertem Smectit auf. Auch hier fällt der Ah-Horizont durch geringeren Chlorit- und relativ deutlichen Smectit-Anteil auf. Auch dies deutet auf eine Beimengung basaltischen Materials vom Hang. Die Tatsache, daß der Standort nicht entkalkt ist und auch Basensättigung noch bei 100 % ist, spricht für eine relativ junge, d. h. erodierte Landoberfläche. Die Entkalkung muß mit maximal 15 kg/m² angenommen werden. Der Anteil des dithionitlöslichen Eisens am Gesamteisen beträgt zwischen 10 % und 15 %. Er kann hier nicht als Verbraunung gedeutet werden, da ein bestimmter Anteil an Eisenoxiden bereits im Ausgangsgestein angenommen werden muß. Außerdem liegen die Fe_o/d Quotienten recht niedrig. Dies ist nur im Ah-Horizont anders.

Durch den sehr hohen Humusgehalt im A-Horizont treten insgesamt etwa 36 kg Humus/m² auf. Diese sind mit dem sehr hohen Stickstoffvorrat von 17.300 kg/ha verbunden bei sehr engen C/N-Verhältnissen, die auf hohe Bindung von Ammonium an den Tonmineralen deuten. Der Boden zeigt nur im Unterboden Erscheinungen der Pseudovergleyung. Die Pseudovergleyung ist durch die Reliefsituation nicht begünstigt. Mikromorphologisch ließen sich in den P-Horizonten und im PSd Eisen- und Mangan-Konkretionen feststellen. Die Pseudovergleyung wird aber nur als mäßig angesehen. Der Boden kann als mechanisch, wie physiologisch, mittelgründig eingestuft werden. Der erste Horizont ist gut durchwurzelbar, danach wird die Durchwurzelbarkeit nur noch als mittel bis schlecht eingestuft. Der Lufthaushalt ist als schlecht zu betrachten, da bereits im P1-Horizont nur ein sehr geringer Grobporenanteil auftritt. Der Wasserhaushalt ist sehr schwer einzuschätzen, da nicht sicher ist, ob die bestimmten pF-Kurven wirklich den im Felde vorhandenen Anteil nutzbaren Wassers wiedergeben. Lediglich im Ah-Horizont sind die Bedingungen günstig, so daß insgesamt nur mit 60 mm Wasservorrat gerechnet werden kann. Danach wäre der Standort als mäßig trocken, schwach wechselfeucht anzusprechen. Der Standort ist stark eutrophiert, dies hängt mit Nährstoffzufuhr vom Hang weniger zusammen, als mit einer regelmäßigen Düngung und der Tatsache, daß er vom weidenden Vieh als Lagerplatz genutzt wird. Alle Nährstoffvorräte sind als sehr hoch zu betrachten. Dies gilt auch für das pflanzenverfügbare Kalium und den Stickstoff, während das leicht verfügbare Phosphat nur als Mittel eingestuft wird.

Am Rand des kleinen Trockengehölzes auf der Kuppe des Hügels haben sich aufgrund der Weidenutzung mit verbundenem hohem Nährstoffeintrag ruderale Staudensäume und Gebüsche ausgebildet. Die Große Klette (*Arctium lappa*) ist wie die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) an kleinen Holundergebüschchen (*Sambucus nigra*) reich vertreten.

Profil D9-7 Pararendzina Gehren

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 3 km SW Duchtlingen bei Singen, 500 m W Weiler Pfaffwiesen
Top. Karte:	(1:25.000): Nr. 8218 Gottmadingen R: ³⁴ 820000 H: ⁵² 932700
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau
Höhe:	645 m ü. NN
Relief:	konkaver Unterhang
Vegetation:	Buche, Hainbuche, Binglekraut
Nutzung:	Hochwald
Mittl. Jahrestemperatur:	7,5 °C
Mittl. Jahresniederschlag:	750 mm
Gestein:	Würm-Geschiebemergel

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah 1	0-10	7,5YR2/2, sandig-toniger Lehm, stL, Steine, frisch, krümelig, sehr stark durchwurzelt, undeutliche Grenze
Ah 2	10-40	7,5YR3/2, sandig-toniger Lehm, stL, Steine, frisch, einzelkörnig bis krümelig, stark durchwurzelt, undeutliche Grenze
C 1	40-70	7,5YR4/4, sandiger Lehm bis sandig-toniger Lehm, sL-stL, Steine, frisch, einzelkörnig bis subpolyedrisch, graue und gelbliche Flecken, Sekundärkalk, mittel durchwurzelt, undeutliche Grenze
C 2	70-100	10YR5/6, sandiger Lehm bis sandig-toniger Lehm, sL-stL, Steine, frisch, einzelkörnig bis subpolyedrisch, graue und gelbliche Flecken, Lepidokrokit, Sekundärkalk, sehr schwach durchwurzelt

Bodentyp	KA4: typische Pararendzina FAO: Calcaric Phaeosem
Humusform:	KA4: Mull
Substrattyp:	KA4: Schuttführender Lehm über Moränenkies

D-9.7, Pararendzina - Gehren

D-9.7 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2561	Ah1	15	5	5,2	13,4	15,3	33,9	37,5	28,6	n.b.	n.b.
2562	Ah2	40	30	3,6	13,7	16,7	34,0	36,4	29,6	n.b.	n.b.
2563	C1	70	50	12,3	17,3	16,2	45,8	28,0	26,2	n.b.	n.b.
2564	C2	100	55	8,4	15,9	14,7	39,0	36,8	24,2	n.b.	n.b.

D-9.7 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o g/kg
				0.6	1.8	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2561	Ah1	0,77	67	n.b.	27	n.b.	n.b.	12,0	2,2	n.b.	0,18	0,7
2562	Ah2	1,01	58	n.b.	23	n.b.	n.b.	11,8	2,0	n.b.	0,17	0,7
2563	C1	1,26	51	n.b.	24	n.b.	n.b.	9,2	1,2	n.b.	0,13	0,4
2564	C2	1,33	50	n.b.	24	n.b.	n.b.	7,9	1,2	n.b.	0,15	0,2

D-9.7 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P _(CAL) mg/kg	K _(CAL) mg/kg
2561	Ah1	n.b.	7,0	3,1	7,8	6,5	12,1	37	158
2562	Ah2	n.b.	7,3	6,7	5,1	4,8	11,1	18	80
2563	C1	n.b.	7,7	24,5	1,7	1,6	10,4	29	38
2564	C2	n.b.	7,8	32,0	n.b.	n.b.	n.b.	24	34

D-9.7 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff}	Austauschbare Kationen _{eff} in mmol/kg						BS %
				H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2561	Ah1	541	n.b.	n.b.	n.b.	440	38	3,7	0,7	89
2562	Ah2	393	n.b.	n.b.	n.b.	349	23	2,0	0,7	95
2563	C1	202	n.b.	n.b.	n.b.	188	12	1,3	0,8	100
2564	C2	114	n.b.	n.b.	n.b.	105	7	1,4	0,7	100

D-9.7 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2561	Ah1	17,1	9,2	4,7	1,6	11	0	20	28	28	0	11	2
2562	Ah2	24,2	10,2	3,5	1,5	10	0	14	26	38	0	9	3
2563	C1	47,9	16,0	2,4	1,1	12	0	15	25	36	0	8	4
2564	C2	20,7	16,4	2,2	0,6	10	0	10	17	52	0	8	3

D-9.7 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
2561	Ah1			4,1	1,2	0,9	1,6	0,4	2,9	5,8	1,2	262	22,2
2562	Ah2			4,3	0,9	1,0	1,6	0,4	3,0	6,1	1,3	276	21,9
2563	C1			4,7	1,1	1,1	1,7	0,3	2,3	5,5	1,2	237	23,1
2564	C2			4,3	6,4	1,4	1,5	0,2	2,5	4,9	1,1	288	17,0

Erläuterungen zu D9-7, Pararendzina, Gehren

Der Boden hat sich auf kiesigem Material der äußersten Würmendmoräne entwickelt. In der Zeit als die Fläche landwirtschaftlich genutzt wurde, ist eine sicherlich früher vorhandene Parabraunerde erst erodiert worden. Lediglich in den Ah-Horizonten könnten noch Relikte dieses Bodens vorhanden sein, das bedeutet, einen Abtrag von mindestens $1,5 \text{ t/m}^2$ bzw. eine Bodenschicht von mindestens 1 m. Im Bereich des heutigen Bodens muß keine deutliche Schichtung angenommen werden, obwohl einige Eigenschaften an der Grenze vom Ah zum C1 sich deutlich ändern. Dies kann aber meist durch Bodenentwicklung bzw. Bewirtschaftungseinfluß begründet werden. Nimmt man an, daß die ehemalige Parabraunerde vollständig abgetragen wurde, so ist in der Pararendzina bereits von einer neuen Entkalkung auszugehen, die mindestens 50 kg/m^2 ausmachen würde. Dies legt nahe, daß bereits entkalktes Material im Ah-Horizont noch erhalten geblieben ist. Der Boden ist noch nicht versauert und entbast. Der Anteil an Fe_d steigt von etwa 20 % im C2 auf über 30 % im Ah1. Dies bedeutet eine Eisenoxyd-Neubildung von etwa 3 kg/m^2 . Diese mag auch aus der Parabraunerdezeit resultieren. Nimmt man an, daß im C2-Horizont der Tongehalt ursprünglich ist, so ergibt sich ein Tongewinn durch Neubildung von etwa 21 kg/m^2 . Der Tonmineralbestand mit einer Beteiligung von Kaolinit, Illit, Smectit und Chlorit zeigt deutlich das Gemisch des Geschiebemergels an. Wesentliche Veränderungen im Tonmineralbestand sind nicht abgelaufen.

Die Humusform ist ein stark bioturbater, humusreicher Mull. Dementsprechend sind auch die Humusvorräte mit $36,5 \text{ kg/m}^2$ als sehr hoch zu bezeichnen. Damit geht ebenfalls ein sehr hoher Stickstoffvorrat mit 18.200 kg/ha einher. Das enge C/N-Verhältnis ist im Einklang mit diesen Merkmalen. Die ungewöhnlich hohe Bioturbation führt zur FAO-Bezeichnung Phaeosem. Sie ist begünstigt durch die Waldrandnähe des Profils.

Standortseigenschaften: Die Gründigkeit des Profils reicht in die C-Horizonte, so daß es als mittel- bis tiefgründig angesehen werden muß. Der hohe Steingehalt bedingt im Unterboden nur mittlere Durchwurzelbarkeit. Aufgrund der günstigen Körnung und Lagerung der Feinerde tritt eine nutzbare Feldkapazität von etwa 100 mm auf. Da mit Zuschußwasser nicht gerechnet werden kann ist der Standort trotzdem als mäßig trocken einzustufen. Die Luftversorgung ist als sehr gut zu betrachten. Die verwitterbaren Nährstoffe sind generell als sehr hoch, bei Kalium dagegen nur als mittel anzusehen. Die verfügbaren Nährstoffe sind bei Stickstoff als sehr hoch, bei P und K dagegen nur als gering zu betrachten. Dies deutet darauf hin, daß ein Einfluß vom nahegelegenen Grünland durch Nährstoffeinträge kaum eine Rolle spielen dürfte. Der Boden hat in seiner heutigen Nutzung eine sehr hohe Erosionsstabilität.

Profil D9-8 Parabraunerde Gehren

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 3 km SW Duchtlingen bei Singen, 500 m W Weiler Pfaffwiesen
Top. Karte:	(1:25.000): Nr. 8218 Gottmadingen R: ³⁴ 820000 H: ⁵² 932200
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau
Höhe:	646 m ü. NN
Relief:	Unterhang
Vegetation:	Buche, Esche
Nutzung:	Hochwald
Mittl. Jahrestemperatur:	7,5 °C
Mittl. Jahresniederschlag:	750 mm
Gestein:	Würm-Geschiebemergel

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-8	10YR3/3, sandig-toniger Lehm, stL, frisch, krümelig, stark durchwurzelt, deutliche Grenze
Al	8-18	7,5YR4/4, schluffiger Lehm, uL, frisch, subpolyedrisch bis polyedrisch, mittel durchwurzelt, diffuse Grenze
Bt	18-60	7,5YR4/4, sandig-toniger Lehm, stL, frisch, polyedrisch, Regenwurmgänge, schwach durchwurzelt, diffuse Grenze
B(t)cCv	60-100	7,5YR4/4, sandig-toniger Lehm, stL, frisch, polyedrisch, schwach durchwurzelt

Bodentyp	KA4: typische Parabraunerde FAO: Haplic Luvisol
Humusform:	KA4: Mull
Substrattyp:	KA4: Lehm über sehr tiefem Moränenkies

D-9.8, Parabraunerde - Gehren

D-9.8 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol.%	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6.	7	8	9	10	11
2571	Ah	8	3	1,7	8,0	12,1	21,8	43,8	34,4	n.b.	n.b.
2572	Al	18	3	2,5	6,3	10,3	19,1	55,5	25,4	n.b.	n.b.
2573	Bt	60	5	2,7	6,2	5,2	14,1	54,1	31,8	n.b.	n.b.
2574	B(t)cCv	100	15	6,0	11,7	15,7	33,4	35,7	30,9	n.b.	n.b.

D-9.8 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o g/kg
				0.6	1.8	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2571	Ah	0,79	67	n.b.	30	n.b.	n.b.	15,4	4,1	n.b.	0,26	0,8
2572	Al	1,28	49	n.b.	35	n.b.	n.b.	17,3	4,4	n.b.	0,25	0,9
2573	Bt	1,41	46	n.b.	32	n.b.	n.b.	18,4	3,5	n.b.	0,19	1,0
2574	B(t)cCv	1,53	42	n.b.	35	n.b.	n.b.	11,4	1,9	n.b.	0,16	0,5

D-9.8 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P(CAL) mg/kg	K _t (CAL) mg/kg
2571	Ah	n.b.	5,0	0	3,9	4,2	13,8	93	154
2572	Al	n.b.	4,5	0	1,9	1,7	11,2	62	44
2573	Bt	n.b.	6,1	0	0,7	0,8	9,0	50	30
2574	B(t)cCv	n.b.	7,6	15	n.b.	n.b.	n.b.	16	32

D-9.8 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol _c /kg	KAK _{eff} mmol _c /kg	Austauschbare Kationen _{eff} in mmol _c /kg						BS %
				H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2571	Ah	470	239	4	n.b.	206	33	4,5	1,0	50
2572	Al	387	245	13	n.b.	205	25	1,3	1,1	60
2573	Bt	339	296	1	n.b.	265	28	1,0	0,9	87
2574	B(t)cCv	216	n.b.	n.b.	n.b.	198	17	0,1	0,9	100

D-9.8 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å°							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2571	Ah	4,0	7,3	6,2	2,4	15	0	14	33	22	0	16	1
2572	Al	3,5	8,2	6,0	2,5	11	0	7	27	25	0	28	2
2573	Bt	4,4	9,3	6,9	2,2	8	0	14	32	32	0	13	1
2574	B(t)cCv	58,4	14,4	4,7	2,2	9	0	12	22	43	0	11	3

D-9.8 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
2571	Ah			4,1	1,2	0,9	1,6	0,4	2,9	5,8	1,2	262	22,2
2572	Al			4,3	0,9	1,0	1,6	0,4	3,0	6,1	1,3	276	21,9
2573	Bt			4,7	1,1	1,1	1,7	0,3	2,3	5,5	1,2	237	23,1
2574	B(t)cCv			4,3	6,4	1,4	1,5	0,2	2,5	4,9	1,1	288	17,0

Erläuterungen zu D-9-8, Parabraunerde, Gehren

Unweit vom Profil Pararendzina ist auf einer wieder mit altem Wald bestandenen ehemaligen Ackerterrasse eine Parabraunerde erhalten. Dies zeigt, daß auf der Würmendmoräne das Relief wesentlich stärker ausgeprägt war als wir es heute vorfinden, und daß die anthropogene Erosion zumindest bis in die frühe Neuzeit hinein, kleinflächig sehr unterschiedlich war. Die Verhältnisse von mU/fS und von Ti/Zr legen nahe davon auszugehen, daß in etwa 60 cm Tiefe eine Schichtgrenze liegt. Dies dürfte eine Grenze bereits im Geschiebemergel oder die Tiefe der periglazialen Deckschicht des Spätgleistozäns sein.

Die Entkalkung hat auch bereits den untersten Horizont erfaßt, so daß insgesamt mindestens 180 kg/m^2 aus der heutigen Profiltiefe abgeführt wurden. Der Boden ist bereits deutlich versauert und auch oberflächlich entbast. Die Entbasung aus verwitterndem Gestein dagegen ist noch nicht nachweisbar, lediglich bei Magnesium ist auch hier eine deutlichere Abnahme zum Oberboden erkennbar. Die Eisenoxid-Neubildung ist durch einen Anstieg des Fe_d/Fe_t in den oberen drei Horizonten nachgewiesen. Geht man davon aus, daß der eigentliche C-Horizont ähnlich wie bei der Pararendzina beschaffen ist, so kann von einer Eisenoxidneubildung von etwa 10 kg/m^2 ausgegangen werden. Die Tonminerale Neubildung wird ähnlich bilanziert, dabei haben alle Horizonte einen Gewinn an Ton zu verzeichnen, der sich auf 85 kg/m^2 addiert. Bei der einfachen Annahme einer gleichmäßigen Tonminerale Neubildung in allen Horizonten, sind etwa 30 kg/m^2 Ton verlagert worden. Man muß aber davon ausgehen, daß der ehemalige Al-Bereich, durch schwache Erosion, etwa halbiert wurde.

Die Humusform ist hier ebenfalls Mull. Was in Anbetracht des ph -Wertes als noch recht günstige Umsetzung der organischen Substanz angesehen werden muß. Der mittlere Humusvorrat von $18,5 \text{ kg/m}^2$ ist durch gute Humusumsetzung bedingt. Der Stickstoffvorrat ist mit 9.300 kg/m^2 noch hoch. Das C/N -Verhältnis ist mit 14 im Ah-Horizont das weiteste im Gebiet.

Standortseigenschaften: Der Boden muß als mechanisch und physiologisch sehr tiefgründig angesehen werden, nur der Ah-Horizont hat eine sehr gute Durchwurzelbarkeit. Im übrigen Profil ist sie nur mäßig. Die nutzbare Speicherkapazität beträgt etwa 150 l/m^2 , damit ist das Profil als mäßig trocken bis mäßig frisch zu beurteilen. Die Durchlüftung im Oberboden ist sehr gut, nimmt allerdings besonders in den unteren Bt-Horizont hin deutlich ab. Auch hier sind die mineralischen Nährstoffe alle als sehr hoch bevorratet einzustufen, der Stickstoffvorrat lediglich ist nur hoch. Bei den verfügbaren Nährstoffen ist Stickstoff als hoch, Phosphor als mittel und Kalium noch als gering einzustufen.

Profil D9-9 Gley über Niedermoor Heiliggrab

Standorts- und Profilbeschreibung

Ort:	ca. 1,1 km WSW Duchtlingen bei Singen, 1 km S Weiterdingen
Top. Karte:	(1:25.000): Nr. 8218 Gottmadingen R: ³⁴ 933300 H: ⁵² 943600
Landschaft:	Voralpines Hügel- und Moorland, Hegau
Höhe:	539 m ü. NN
Relief:	eben, Tieflage
Vegetation:	Schilf
Nutzung:	Brache
Mittl. Jahrestemperatur:	8,0 °C
Mittl. Jahresniederschlag:	700 mm
Gestein:	Kolluvium über Torf über Mudde über Würm-Geschiebemergel

Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-10	10YR4/2, sandig-toniger Lehm, stL, naß, schwammig, extrem stark durchwurzelt, undeutliche ebene Grenze
wM	10-25	10YR3/3, sandig-toniger Lehm, stL, naß, subpolyedrisch, Ziegelreste, mittel bis stark durchwurzelt, deutliche wellige Grenze
wMGro	25-35	10YR4/6, sandig-toniger Lehm, stL, naß, subpolyedrisch, Ziegelreste, Rost, Mn-Konkretionen, mittel bis stark durchwurzelt, deutliche irreguläre Grenze
(II)nH(c)	35-48	7,5YR2/3, naß, Niedermoororf, H4, mittel zersetzt, sehr schwach durchwurzelt, deutliche wellige Grenze
(III)nH(c)	48-65	7,5YR3/3, naß, Niedermoororf, H5, mittel zersetzt, nicht durchwurzelt, deutliche wellige Grenze
(IV)nH(c)	->65	7,5YR3/2 - 2/2, naß, Niedermoororf, H3, gering zersetzt, nicht durchwurzelt

Bodentyp	KA4: Gley über Niedermoor FAO: Fibric Histosol
Humusform:	KA4: Mull
Substrattyp:	KA4: Lehm über Niedermoororf

D-9.9, Gley über Niedermoor - Heiliggrab

D-9.9 Nr.	Horizont	Tiefe cm	Steine Vol. %	Textur (% humus- u. carbonatfreie Feinerde)						kf cm/sec	kf cm/d
				gS	mS	fS	Σ S	U	T		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2591	Ah	10	1	1,8	7,1	10,8	19,7	41,2	39,1	n.b.	n.b.
2592	wM	25	5	3,2	8,4	12,8	24,4	43,7	31,9	n.b.	n.b.
2593	wMGro	35	5	4,3	8,1	13,9	26,3	39,9	33,8	n.b.	n.b.
2594	(II)nH(c)	98	0	1,3	5,9	11,8	19,0	41,5	39,5	n.b.	n.b.

D-9.9 Nr.	Horizont cm	Dichte g/cm ³	Poren- vol. %	Vol. % Wasser bei pF				Fe _d mg/g	Fe _o mg/g	Al _d mg/g	Fe _{o/d}	Mn _o g/kg
				0.6	1.8	2.5	4.2					
	1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2591	Ah	0,67	71	n.b.	35	n.b.	n.b.	30,5	7,3	n.b.	0,24	1,9
2592	wM	0,97	61	n.b.	50	n.b.	n.b.	33,9	8,8	n.b.	0,26	2,6
2593	wMGro	0,80	67	n.b.	51	n.b.	n.b.	40,5	11,5	n.b.	0,28	0,3
2594	(II)nH(c)	0,43	n.b.	n.b.	78	n.b.	n.b.	38,3	10,9	n.b.	0,28	0,9

D-9.9 Nr.	Horizont	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Carbonat %	Corg. %	N _t mg/g	C/N	P(CAL) mg/kg	K(CAL) mg/kg
2591	Ah	n.b.	7,6	13,4	8,4	7,2	11,7	91	390
2592	wM	n.b.	7,7	18,3	4,3	4,7	9,2	14	77
2593	wMGro	n.b.	7,7	19,1	4,3	4,6	9,3	5	56
2594	(II)nH(c)	n.b.	7,5	18,6	39,2	27,1	14,5	4	61

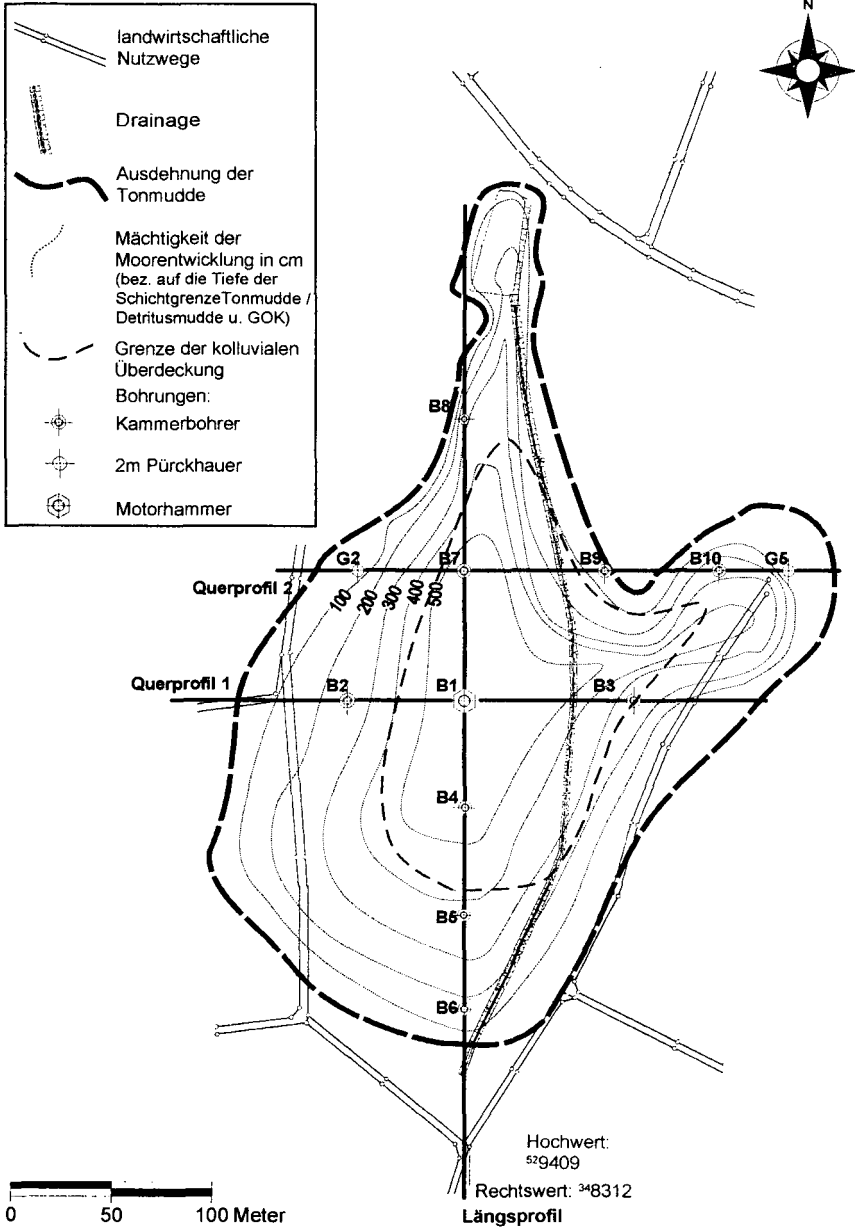
D-9.9 Nr.	Horizont	KAK _{pot} mmol/kg	KAK _{eff} mmol/kg	Austauschbare Kationen _{eff} in mmol/kg						BS %
				H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	
	1	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2591	Ah	593	n.b.	n.b.	n.b.	491	37	0,9	1,0	89
2592	wM	534	n.b.	n.b.	n.b.	401	23	1,9	1,0	80
2593	wMGro	520	n.b.	n.b.	n.b.	403	20	0,7	1,0	82
2594	(II)nH(c)	752	n.b.	n.b.	n.b.	598	27	0,5	1,4	83

D-9.9 Nr.	Horizont	Verwitterbares in mg/g				Schichtsilikate (<2µm) Å%							
		Ca _v	Mg _v	K _v	P _v	Ka	Ha	Illit	I/Sm	Sm	Ve	chl.S	Chl
	1	40a	40b	40c	40d	41a	41b	41c	41d	41e	41f	41g	41h
2591	Ah	59,4	8,7	4,5	2,5	4	0	7	14	66	0	0	4
2592	wM	68,9	8,8	3,7	2,2	4	0	6	9	75	0	0	5
2593	wMGro	73,1	8,8	3,0	2,0	4	0	7	10	72	0	0	6
2594	(II)nH(c)	83,4	6,5	2,3	1,7	4	0	6	11	70	0	0	7

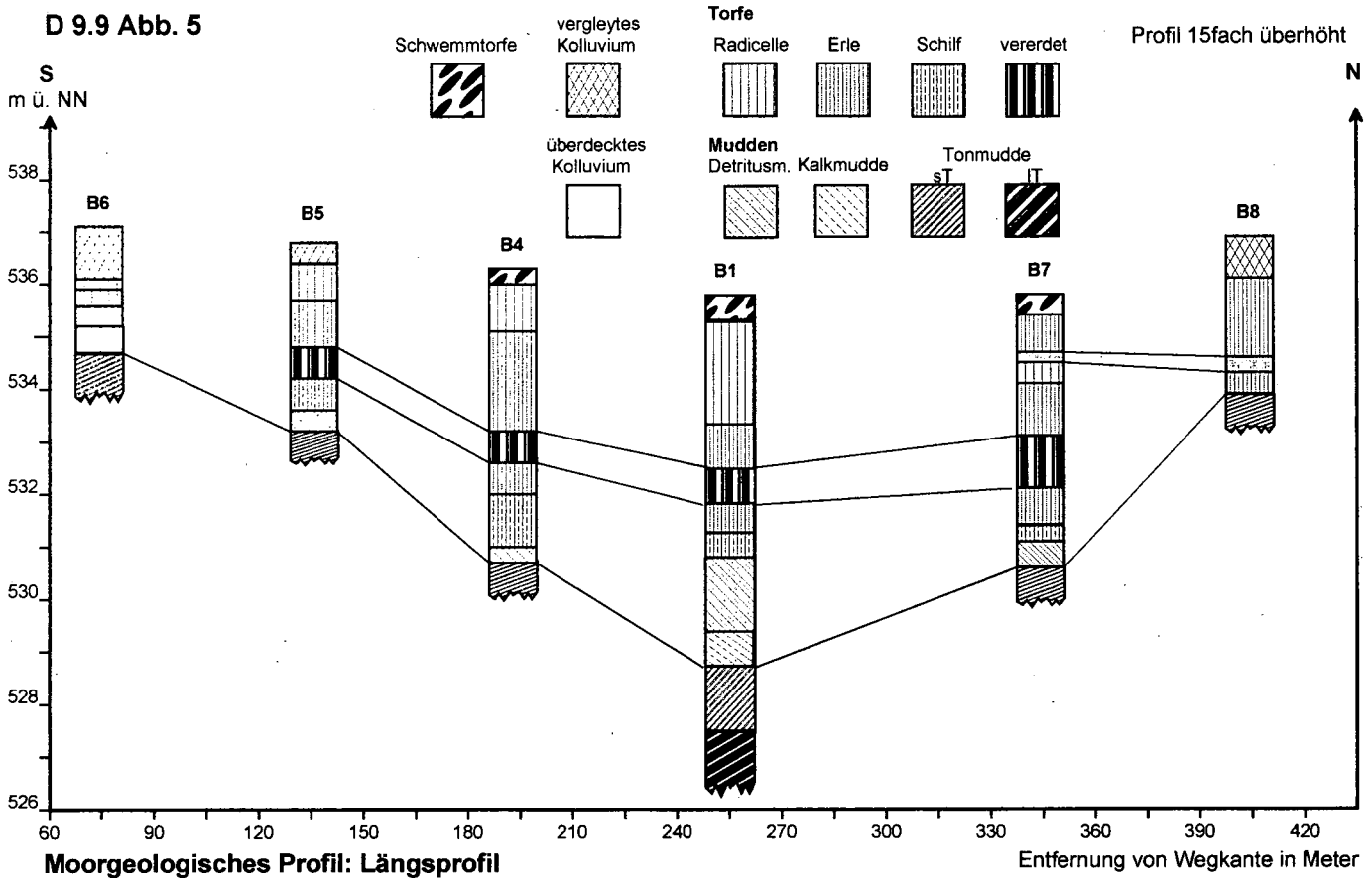
D-9.9 Proben Nr.	Horizont	Gesamtgehalte der Feinerde											
		Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	K _t %	Na _t %	P _t g/kg	Ti _t g/kg	Mn _t g/kg	Zr _t mg/kg	Ti/Zr
	1	42a	42b	42c	42d	42e	42f	42g	42h	42i	42j	42k	42l
2591	Ah			6,2	7,3	0,9	1,5	0,3	3,3	5,3	3,4	233	22,7
2592	wM			6,2	8,6	1,0	1,4	0,2	2,7	5,1	3,9	224	22,9
2593	wMGro			6,8	10,1	0,9	1,3	0,2	2,6	4,8	5,1	203	23,6
2594	(II)nH(c)			6,4	12,3	0,7	1,1	0,2	2,1	4,0	2,4	187	21,3

D 9.9 Abb.4: Detailkarte des Niedermooses bei Heiliggrab

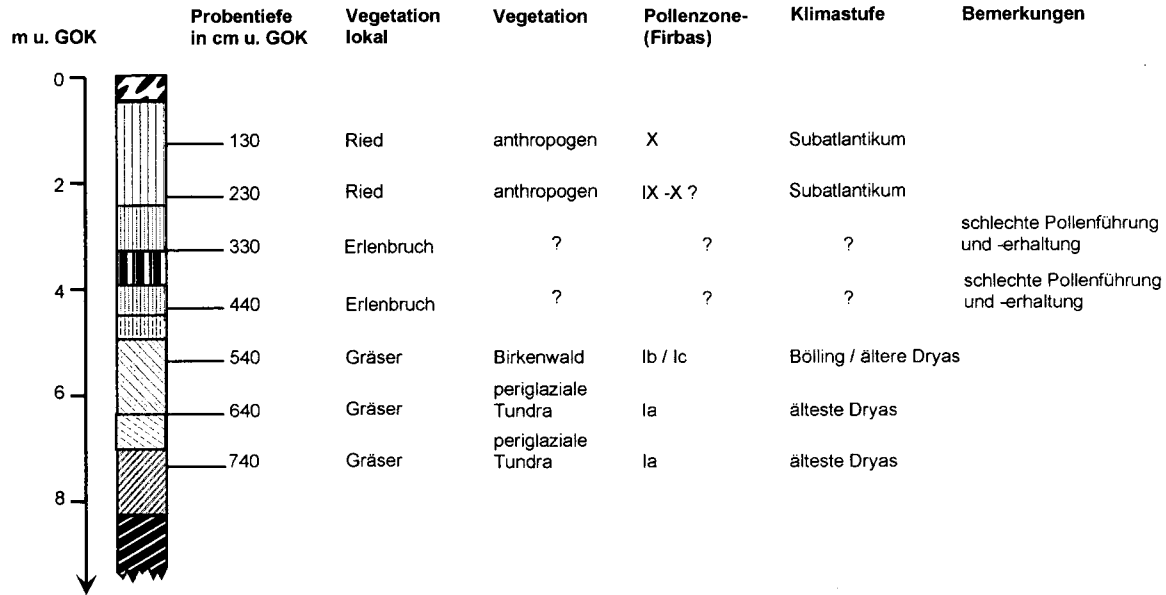
Ausdehnung der Tonmudde, Mächtigkeit der Moorentwicklung und Lage der Bohrtransekte



D 9.9 Abb. 5



D 9.9 Abb. 6



Vorläufige Ergebnisse der Pollenanalyse der Bohrung B1

Auszählungssumme ca. 200 Pollenkörner.

Erläuterungen D9-9 Gley über Niedermoor, Helliggrab

Das Ausgangsmaterial dieses Bodenprofils ist durch ein 35 cm mächtiges Kolluvium über Niedermoororf gekennzeichnet. Diese Situation ist sehr häufig in den Senken der Gegend anzutreffen. Die Karte zeigt die Überlagerung der Senke bzw. der Torfe und Mudden mit Kolluvium von allen Seiten. Durch tiefere Bohrungen ließ sich zeigen, daß das Hårdtje, wie diese Senke genannt wird, einen verlandeten See darstellt, der heute ein Niedermoor trägt, welches sich nach verschiedenen kolluvialen Phasen immer wieder regenerieren konnte. Die Senke muß im Glacial als Toteisloch entstanden sein. Sie war bereits früh von einem See eingenommen, wie die Pollenführung, die bereits im Spätglacial einsetzt eindeutig zeigt. Auffällig ist, daß die Torfe des Boreals und zum großen Teil auch des Atlantikums sehr stark abgebaut sind, so daß sie einer Pollenanalyse nur schlecht zugänglich sind. Dagegen sind die späteren Torfe des Subatlantikums wieder gut erhalten. Durch Klimawechsel oder durch menschliche Einflüsse muß es also im mittleren Holozän eine Phase gegeben haben, in der die Senke trockener war als heute. Auch in der jüngsten Vergangenheit hat es Phasen gegeben, in denen man versucht hat das Gebiet intensiver landwirtschaftlich zu nutzen. Davon zeugt ein Drainagegraben, der durch das Zentrum gezogen wurde. Die ungünstige Gefällesituation und die relative geringe Ausdehnung haben die Senke aber vor einer endgültigen Trockenlegung bewahrt.

Veränderungen durch Bodenbildung sind im Kolluvium schwer nachzuweisen, da man annehmen muß, daß dieses Kolluvium relativ jung ist. Wenn auch z. Zt. durch den Fahrweg jüngste Sedimentation abgeschirmt wird und sich an diesem Weg bereits eine metermächtige Ackerrandstufe ausgebildet hat. Im obersten Torfhorizont und auch im untersten Teil des Kolluviums wird Sekundärkalk festgestellt, der mit der Vergleyung in Beziehung steht. Entbasung und Versauerung spielen dementsprechend in diesem Boden keine Rolle. Dagegen müssen die Nährstoffeinträge, die vor allem hohe Anteile verfügbarer Nährstoffe im Oberboden zeigen als Eutrophierung betrachtet werden. Verbraunung und Verlehmung sind Prozesse, die z. Zt. wohl nur gedämpft ablaufen. Quantitative Auswirkungen sind bis heute nicht erkennbar. Die Gleydynamik des Profils äußert sich in Rostflecken im dritten Horizont. Entsprechend einer echten Gleydynamik waren die Rostflecken im Dünnschliff meist entlang alter Wurzelbahnen zu erkennen. Im untersten Mineralbodenhorizont treten auch die höchsten Anteile oxalatlöslichen Eisens auf. Die Anreicherung beträgt aber max. 0,3 %, entsprechend etwa 200 g/m². Dies zeigt die geringe Bedeutung dieses Prozesses. Dagegen ist die Kalkgleydynamik relativ stark. Die Anreicherung von Sekundärkarbonat beträgt etwa 60 kg/m². Der Tonmineralbestand des Profils zeigt enge Beziehungen zum Geschiebemergel. Es fällt allerdings der hohe Smectitanteil auf. Dieser zeigt, daß es wohl doch in der Senke durch eutrophe Verhältnisse zu einer Umbildung von Tonmineralen in Richtung Smectit gekommen ist.

Standortseigenschaften: Der Boden ist für normale Kulturpflanzen als flachgründig zu betrachten. Die am Standort etablierte Vegetation nutzt ihn bis in den mittelgründigen Bereich. Das Kolluvium ist sehr gut durchwurzelbar, weist trotzdem sicherlich jahreszeitlich Luftmangel auf. Der kolluviale Teil weist eine sehr hohe nutzbare Feldkapazität auf, so daß in dem flachen Wurzelraum etwa 70 l nutzbare Speicherkapazität beobachtet werden. Diese wird durch einen guten kapillaren Kontakt und damit eine unbegrenzte Wassernachlieferung von unten ergänzt. Der Standort muß als naß bezeichnet werden. Dagegen ist die Durchlüftung ungünstig, lediglich die oberen beiden Horizonte sollten fast das ganze Jahr hindurch gut durchlüftet sein. Bedingt durch mineralische Einträge und die Kalkgleydynamik sind die Vorräte an Basen, Phosphor und Stickstoff als sehr hoch zu betrachten, lediglich Kalium ist nur als mittel einzustufen. Die Verfügbarkeit der Nährstoffe ist bei den Basen und beim Stickstoff als sehr gut, bei Kalium und Phosphor dagegen nur als mittel einzustufen.

Die Niedermoorsenke ist infolge Drainage oberflächlich stark abgetrocknet, so daß sich neben den Niedermoorarten wie Sumpfsegge (*Carex acutiformis*) und Schilf (*Phragmites australis*) vor allem Nitrophyten infolge der Eutrophierung und Vererdung ausbreiten (GÖTTLICH 1975).

4. REGENWÜRMPOPULATIONEN IN BÖDEN DES ZENTRALEN HEGAU

An allen Bodenprofilen dieser Exkursion wurden die Regenwürmpopulationen untersucht. Zusätzlich wurden bei der Pararendzina aus Geschiebemergel im Wald zwei benachbarte Standorte mit gleichem Bodentyp, aber unterschiedlicher Nutzung (Acker, Wiese) beprobt.

Die Regenwürmfänge wurden mit einer Kombination der von THIELEMANN (1986) entwickelten Elektromethode (Probefläche: 1/8 m²) und nachfolgender Handauslese einer Teilfläche (1/30 m²) ausgeführt. An jedem Standort wurde diese Methodenkombination 6-mal wiederholt. Die Regenwürmfänge wurden im Frühjahr 1996 durchgeführt, jeder Standort wurde nur an einem Termin untersucht.

An allen im Hegau untersuchten Standorten wurden Regenwürmer gefunden. Jeder Standort wies mindestens 3 verschiedene Arten und mehr als 125 Individuen/m² auf (Tab. 1). Alle Standorte sind also für Regenwürmer geeignet. Ursache ist wahrscheinlich die Textur und Bodenreaktion der Standorte: die für Regenwürmer ungünstigen sandigen (HENDRIX et al. 1992) und sauren Böden (NORDSTRÖM & RUNDGREN 1974) fehlen im Hegau.

Zwischen den untersuchten Standorten gab es aber beträchtliche Unterschiede in den Regenwürmpopulationen. Differenzierend wirken vor allem die Bodennutzung und die Bodenfeuchte. Die Regenwürmbiomassen (Abb. 7) waren niedrig beim Ranker (flachgründig und daher häufig austrocknend), im Niedermoor (stehendes Wasser = Sauerstoffarmut) sowie bei der Pararendzina unter Ackernutzung (negative Auswirkungen der Bodenbearbeitung). Hohe Regenwürmbiomassen wies der Pelosol und die Pararendzina unter Grünland sowie die Parabraunerde im Wald auf.

Der Vergleich von verschiedenen Nutzungen bei gleichem Bodentyp (Pararendzina) ergab die folgende Reihenfolge bei den Regenwürmbiomassen: Acker < Wald < Grünland. Bei gleicher Nutzung (Wald) waren die Regenwürmbiomassen in der Parabraunerde deutlich höher als in der benachbarten Pararendzina.

Das Arteninventar war im Gley mit 9 verschiedenen Arten außergewöhnlich hoch. An keinem bisher in Baden-Württemberg untersuchten Standort (n = 58) wurden so viele verschiedene Arten gefunden. Ursache hierfür ist vermutlich die Lage in der Übergangszone zwischen Wiese und Bach. Dort kommen zusätzlich zu den anezischen und endogäischen Arten, die auch an anderen Standorten häufig sind, auch noch fünf epigäische Arten vor. Zwei davon (*E. tetraedra* und *D. platyura*) sind typisch für nasse Standorte (VOLZ 1962). Diese beiden Arten wurden im zentralen Hegau nur noch im Niedermoor gefunden.

An allen Standorten sind endogäische Arten vertreten. Anezische Arten sind in den flachgründigen Standorten Ranker (mechanische Flachgründigkeit) und Niedermoor (physiologische Flachgründigkeit wegen Sauerstoffmangel), sowie beim Braunerde - Pelosol im Wald nicht vertreten. Auffällig ist das Fehlen von epigäischen Arten bei den Pararendzinen und der Parabraunerde. Dies ist wahrscheinlich eine Folge der geringen bzw. nicht vorhandenen Streuauflage. Bei der Pararendzina und der Parabraunerde im Wald wird die Streu durch die anezischen Regenwürmer eingemischt, im Acker wird die Streu mechanisch eingearbeitet und bei der Wiese wird die Streu durch die Mahd weitgehend entfernt.

Tab. 1: Regenwurmarten im Hegau (Frühjahr 1996)

	Be. - Pelosol	Gley	Ranker	Pelosol	Para-rendzina	Para-rendzina bei D 9.7	Para-rendzina bei D 9.7	Para-braunerde	Niedermoor
Nr.	D 9.1	D 9.4	D 9.5	D 9.6	D 9.7	bei D 9.7	bei D 9.7	D 9.8	D 9.9
Nutzung	Wald	Wiese/ Ödland	Weide	Weide	Wald	Acker	Wiese	Wald	Ödland
epigäische									
Dendrobena octaedra	-	•	-	-	-	-	-	-	-
platyura	-	•	-	-	-	-	-	-	•
rubida	•	-	-	-	-	-	-	-	-
Eiseniella tetraedra	-	•	-	-	-	-	-	-	•
Lumbricus castaneus	•	•	-	•	-	-	-	-	-
rubellus	-	•	•	-	-	-	-	-	-
anezische									
Lumbricus terrestris	-	•	-	•	•	-	-	•	-
Aporrectodea longa	-	-	-	•	-	•	•	•	-
endogäische									
Aporrectodea caliginosa	•	•	-	•	-	•	•	-	-
rosea	•	•	•	•	•	-	•	•	•
Allolobophora chlorotica	-	-	-	•	-	-	-	-	-
handlirschi	•	-	-	-	-	-	-	-	•
Octolasion lacteum	•	•	•	-	•	•	-	•	•
Σ Arten	6	9	3	6	3	3	3	4	5
Abundanzen x [Indiv./m²]	239	296	129	698	162	191	394	420	237
s	114	103	60	364	96	47	116	157	129

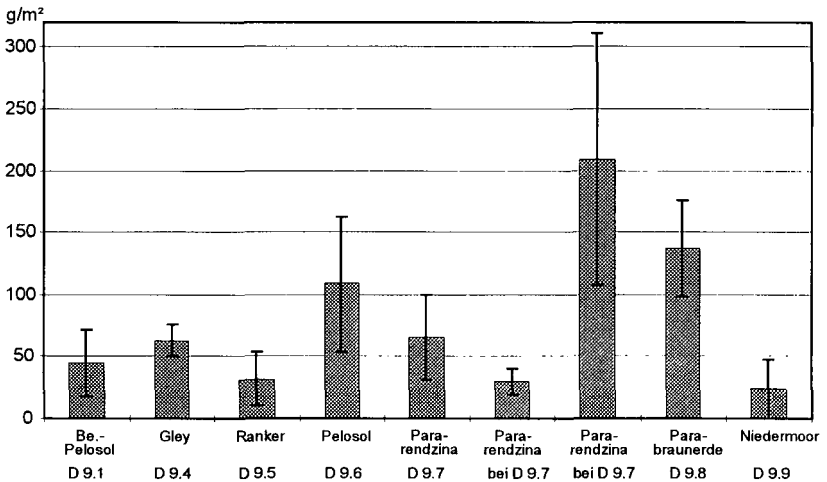


Abb. 7: Regenwurmbiomassen (Frischgewicht) im Hegau

Literatur zu Exkursion D9:

- BARTSCH, J. 1925: Die Pflanzenwelt im Hegau und nordwestlichen Bodensee-Gebiete.- Schr.Ver.Gesch.Bodensee und seiner Umgebung, Beih. 1:1-194.
- GÖTLICH, K. 1975: Erläuterungen zu Blatt Singen(Hohentwiel), L8318 der Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50000. - Stuttgart, 79S.
- HENDRIX, P.F.; MUELLER, B.R.; BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W. UND R.W. PARMELEE (1992): Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, USA. In: Kretschmar, A. (ed.): 4th International Symposium on Earthworm Ecology - Soil Biol. & Biochem. 24, 1357-1361.
- KELLER, J. (1984): Der jungtertiäre Vulkanismus Südwestdeutschlands: Exkursionen im Kaiserstuhl und Hegau. - Fortschritte der Mineralogie, 62, Beiheft 2, 2-35.
- NORDSTRÖM, S. UND S. RUNDGREN (1974): Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden. *Pedobiologia* 14, 1-27.
- SCHREINER, A. (1974 und 1994): Erläuterungen zur geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung 1:50 000, 286, Stuttgart.
- SIGMUND, D. (1997): Holozäne Bodenentwicklung im Hegau. - Diplomarbeit Geographie Stuttgart.
- STOFFLER, H.D. (1967): Über die wichtigsten natürlichen Waldgesellschaften des Hegaus. - Hegau 12, S. 161-194. Singen.
- THIELEMANN, U. (1986): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. *Pedobiologia* 29, 296-302.
- VOLZ, P. (1962): Beiträge zu einer pedozoologischen Standortslehre. *Pedobiologia* 1, 242-290.

Bei der Exkursion wird eine Florenliste und eine Vegetationskarte des Exkursionsgebietes verteilt werden.

Exkursion

H 1

LIMNOLOGIE IM BODENSEERAUM

Exkursionsleitung: K.-O. Rothhaupt¹

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer an der Exkursion H 1 treffen sich um 14.00 Uhr beim Hafen Egg, nahe der Universität. Der Treffpunkt kann von der Uni-Mensa aus zu Fuß erreicht werden. Es ist vorgesehen, mit dem Messungsschiff auf den See hinaus zu fahren, zur geographischen Situation und den limnologischen Gegebenheiten des Sees ausführlich zu referieren, Proben zu nehmen, gegebenenfalls Plankton zu mikroskopieren und technische Messsysteme vorzuführen.

¹ Universität Konstanz, Fakultät für Biologie, Mikrobielle Ökologie, Postfach 5560, 78434 Konstanz



Exkursion

H 2

Bodensee-Wasserversorgung

Die Bodensee-Wasserversorgung: das Rückgrat der Wasserversorgung in Baden-Württemberg

Exkursionsleitung: H. Mehlhorn¹ und Mitarbeiter

Inhalt

1. Angaben zur Bodensee-Wasserversorgung
2. Karte des Leitungssystems

¹ Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung, Hauptstraße 163, 70563 Stuttgart

Stand: November 1996



Die Bodensee-Wasserversorgung: das Rückgrat der Wasserversorgung in Baden-Württemberg

Am 25. Oktober 1954 gründeten 13 Städte und Gemeinden den Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (BWV), um den ständig steigenden Trinkwasserbedarf mit Zusatzwasser aus dem Bodensee zu decken. Heute beziehen von der BWV 174 Mitgliedsgemeinden und -verbände mit etwa 3,6 Millionen Einwohnern bestes Trinkwasser aus dem Bodensee in jederzeit ausreichender Menge.

Im Mittel werden aus dem Bodensee etwa 4.100 Liter in der Sekunde entnommen. Dies ist gerade einmal etwas mehr als ein Prozent des Wasserdurchflusses durch den Bodensee und weniger Wasser als der Bodensee durch Verdunstung an die Atmosphäre abgibt. Die Wasserentnahme aus dem Bodensee ist somit weder im Wasserstand spürbar noch am Ausfluß meßbar.

Das Wasser wird aus dem Überlinger See in etwa 60 m Tiefe dem Bodensee entnommen. In dieser Tiefe ist das Wasser gut geschützt und angenehm kühl. Mit einem jährlichen Energieaufwand von ca. 160 Millionen Kilowattstunden - dies entspricht dem Energiebedarf einer Stadt wie Konstanz - fördern sechs große Pumpen im Seepumpwerk Sipplingen das Wasser bis in die ca. 310 m höher gelegene Aufbereitungsanlage auf dem Sipplinger Berg. Dort wird das ohnehin schon gute Bodenseewasser mit Mikrosieb-, Ozon- und Filteranlagen zu einem Trinkwasser sehr hoher Qualität aufbereitet. Die Kapazität der Förder- und Aufbereitungsanlagen belaufen sich auf etwa 9.000 Liter in der Sekunde; an einem Tag dürfen maximal 670.000 Kubikmeter Wasser dem Bodensee entnommen werden.

Durch fast 1.600 Kilometer meist großkalibriger Rohrleitungen wird das Trinkwasser bis in den äußersten Norden des Landes geleitet. Diese Leitungen haben maximal 2.250 mm Rohrdurchmesser. Entlang des Leitungssystems wurden 29 Wasserbehälter mit einem Speichervermögen von 470.600 Kubikmetern erstellt. Durch diese Vorratshaltung können auch große Wasserbedarfsspitzen im Wochenausgleich befriedigt werden und bei der Wasserförderung der billigere Nachtstrom optimal ausgenutzt werden. 28 Pumpwerke sorgen auch im Leitungsnetz dafür, daß auch in Spitzenzeiten jede an die BWV angeschlossene Gemeinde ausreichend versorgt wird. Dagegen wird überall dort, wo dies möglich ist, mittels Turbinen überschüssiger Druck wieder in elektrische Energie zurückverwandelt.

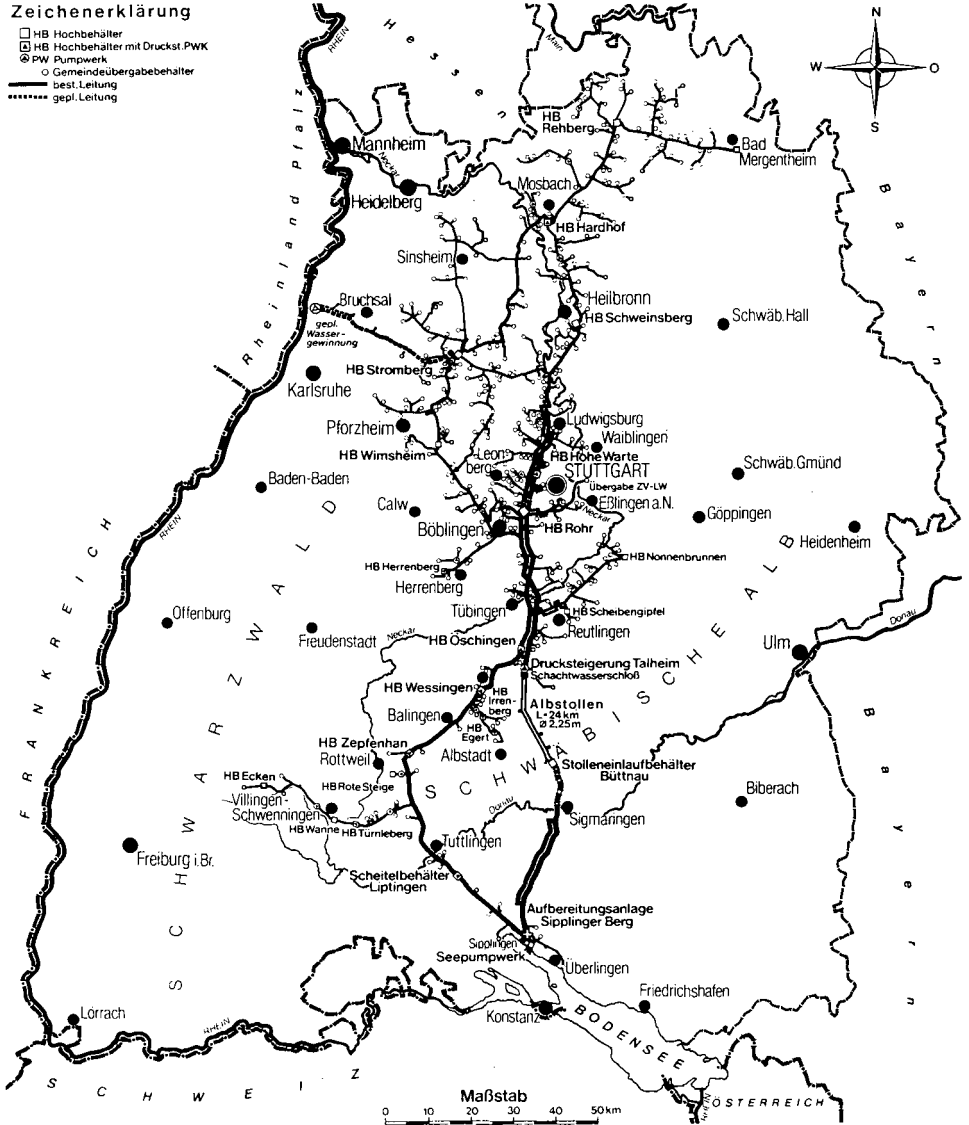
Heute gibt die Bodensee-Wasserversorgung an ihre Verbandsmitglieder etwa 130 Millionen Kubikmeter Trinkwasser im Jahr ab. Dadurch ist in den angeschlossenen Gemeinden die Trinkwasserversorgung auf ein zusätzliches starkes Standbein gestellt und damit auf lange Zeit gesichert.

Leitungssystem



Zeichenerklärung

- HB Hochbehälter
- ▣ HB Hochbehälter mit Druckst. PWK
- ⊗ PW Pumpwerk
- Gemeindeübergabehälter
- best. Leitung
- gepl. Leitung





Exkursion

H 3

Insel Reichenau

von

H.-P. Liebig¹ und W. Hiller²

Gemüsebau auf der Insel Reichenau

Exkursionsleitung: W. Hiller
unter Mitwirkung von G. Uricher

Inhalt	Seite
1. Exkursionsroute	482
2. Beschreibung des Exkursionsgebietes	483
3. Beschreibung der Bodenverhältnisse	483
4. Betriebsstrukturen	484
5. Düngung	485
6. Bewässerung	487
7. Interreg-Projekt	487

¹ Universität Hohenheim, Institut für Obst-, Gemüse- und Weinbau, 70593 Stuttgart

² Universität Hohenheim, Institut für Obst-, Gemüse- und Weinbau, Marktstraße 1,
78479 Insel Reichenau

1. Exkursionroute

Die Fahrstrecke führt von der Mainau Richtung Litzelstetten und zweigt vor der Ortschaft nach Konstanz ab. Dort ist der Weg zur Reichenau ausgeschildert. Vom Ortsteil Reichenau-Lindenbühl führt der Weg zur Bundesstraße, überquert diese und mündet in der Allee, der einzigen Zufahrtsstraße zur Insel Reichenau. Die Straße befindet sich auf einem Damm, der eigens für die Verbindung zwischen Festland und Insel in der Zeit 1838/39 aufgeschüttet wurde. Zuvor konnte die Insel nur per Schiff oder Boot erreicht werden.

Im Jahre 724 gründete der Wanderbischof Pirmin auf Anordnung und mit materieller Förderung Karl Martells, des Großvaters Karl des Großen, auf der Insel ein Benediktinerkloster. Vom 8. bis 11. Jahrhundert erlebte die Reichenau ihre Hochblüte und war eines der kulturellen Zentren des Abendlandes. Berühmt waren zu jener Zeit die Klosterschule, die Klosterbibliothek, die „Reichenauer Malerschule“ (Buchmalerei), die Wandmalereien und die Goldschmiedekunst. Drei Hauptkirchen sind aus dieser Zeit noch vorhanden: das Marienmünster in Mittelzell (724-1555), die St.-Georgs-Kirche in Oberzell (888-913), eine der ältesten noch erhaltenen romanischen Kirchenbauten in Deutschland, und die St.-Peter-und-Paul-Kirche in Niederzell (799-1134). Einer der berühmtesten Äbte, Walahfrid Strabo (838-849), schrieb sein Gedicht über den Garten in dem Büchlein „De cultura hortarum“, kurz „Hortoulus“ genannt. Vor 23 Jahren wurde sein Kräutergärtlein (insgesamt 23 Pflanzenarten) innerhalb der Klostermauern neu angelegt.

Eine Rundfahrt über die Insel zeigt den charakteristischen kleinparzellierten Gemüsebau, die für die Insel typische Gewächshauslandschaft und führt zu verschiedenen Standorten der Moränellandschaft. Im Betrieb Gerhard Uricher, Vorstandsvorsitzender der Reichenau Gemüse eG, besteht die Möglichkeit, im Gespräch mit dem Erzeuger, einen Einblick in die Praxis zu erhalten.

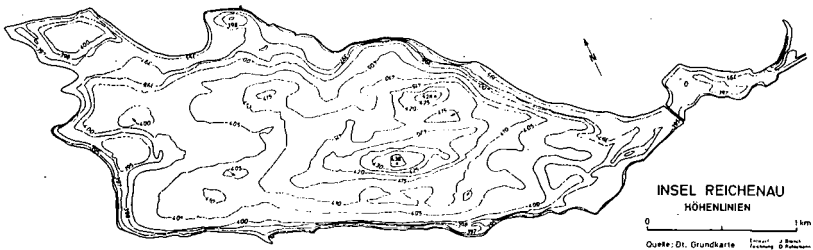


Abb.1: Insel Reichenau, Höhenlinien (Quelle: Blenck, J., 1971: Die Insel Reichenau)

2. Beschreibung des Exkursionsgebietes

Die Insel Reichenau liegt im Untersee des Bodensees, zwischen Gnadensee, Rheinsee und dem Zeller See. Die Insel ist etwa 5 km lang und 1,5 km breit. Sie umfaßt insgesamt 450 ha, wovon 233 ha landwirtschaftlich genutzt werden. Die genutzte Fläche teilt sich auf in 167 ha Gemüseanbau (davon 42 ha Unterglasanbau), 49 ha Grünfläche, 12 ha Rebfläche, 4 ha Zierpflanzen Unterglas und 1,5 ha Obstanbau. Über Jahrhunderte hinweg war der Weinbau die dominierende aller landwirtschaftlichen Kulturen. Durch Hagelschlag, Fröste und zunehmende Absatzschwierigkeiten erlitt der Rebbau schon im 19. Jahrhundert verheerende Rückschläge. Als in dem äußerst kalten Winter 1928/29 alle Rebstöcke erfroren, bedeutete dies das endgültige Aus für den Weinbau. Da eine Flächenausdehnung nicht möglich war, wandten sich die Betriebe rasch den Sonderkulturen Obst und Gemüse zu. Mit der Intensivierung des Gemüsebaus in den 30er Jahren wurde der Obstbau mehr und mehr verdrängt.³ Heute prägen kleine Parzellen im Freiland und ein intensiver Unterglasanbau die Insellandschaft.

3. Beschreibung der Bodenverhältnisse

Auf der Insel Reichenau sind durch die lange gartenbauliche Tradition auf einem Flächenanteil von 90 % tiefgründige humose und kalkführende Böden (Hortisole) entstanden. Sie sind durchsetzt von kleinflächigen, häufig tief entwickelten Parabraunerdevorkommen und vereinzelt auftretenden vererdeten Moorgebieten. Die Hortisole und Parabraunerderücken bestehen aus der Grundmoräne der Würmeiszeit und Schmelzwassersedimenten des Rheingletschers. Charakteristisch sind die schwach bis stark kiesigen sandigen Lehmvorkommen, unterlagert von schwach bis stark kiesigem und schwach tonigem bzw. sandig-tonigem Lehm.

Die stellenweise karbonathaltigen Böden sind mäßig tief- bis tiefgründig mit einem stark humosen Oberboden (4-8 %), einem schwach humosen Unterboden (1-2 %) in 3-6 dm sowie einem humusfreien Unterboden in 6-10 dm Tiefe. Die potentielle Kationenaustauschkapazität der Hortisole liegt im Oberboden im mittleren (60-90 val/m²) bis hohen (90-120 val/m²) und im Gesamtprofil im mittleren bis sehr hohen Bereich. Die Parabraunerden zeigen dagegen im Oberboden eine geringe (30-60 val/m²) bis mittlere und im Gesamtprofil eine mittlere bis hohe Kationenaustauschkapazität. Das Grobporenvolumen bzw. die Luftkapazität läßt sich in 0-3 dm Tiefe als mittel (7-12 Vol.-%), in 3-6 dm als gering (3-7 Vol.-%) bis mittel und in 6-10 dm als gering und teilweise hoch (12-18 Vol.-%) einordnen. Die Böden zeichnen sich durch eine geringe (130-260 mm) und mittlere (260-390 mm) Feldkapazität sowie eine mittlere (90-140 mm) bis sehr hohe (>200 mm) nutzbare Feldkapazität

³ Glöckler, H., 1991: Vom Weinbau zum Gemüsebau auf der Reichenau

aus. In 0-3 dm ist die Wasserdurchlässigkeit der Böden sehr hoch (100-300 cm/d), in 3-6 dm liegt sie bei 10-40 cm/d (mittel) und 40-100 cm/d (hoch). Im Unterboden in 6-10 dm wird eine mittlere bis äußerst hohe (>300 cm/d) Wasserdurchlässigkeit erreicht. Die Verschlammungsneigung des Oberbodens der Hortisole ist sehr gering bis gering, die der Parabraunerden mittel bis hoch, teilweise gering.⁴

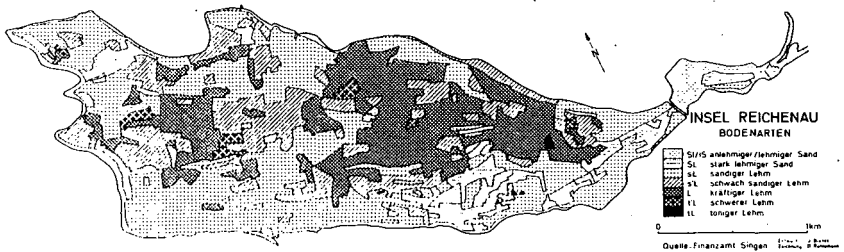


Abb.2: Insel Reichenau, Bodenarten (Quelle: Blenck, J., 1971: Die Insel Reichenau)

4. Betriebsstrukturen, Gemüsehauptkulturen und Besonderheiten

Die Insellage läßt keine Flächenausdehnung zu und auch keinen Anbau von Gemüsekulturen, die, um wirtschaftlich lohnenswert zu sein, große Flächen und einen hohen maschinellen Einsatz erfordern (z.B. Möhren, Erbsen, Bohnen). Aus diesem Grund ist der Gemüsebau von kleinen und mittleren Familienbetrieben geprägt, die insgesamt 110 Vollerwerbsbetriebe und ca. 80 Zu- und Nebenerwerbsbetriebe zählen. Die Betriebsgröße der Vollerwerbsbetriebe liegt zwischen 0,7 und 4 ha. Das bedeutet, daß in der Regel keine ständigen Fremdarbeitskräfte, sondern nur Saisonarbeitskräfte während der Sommermonate beschäftigt werden. Die Zahl schwankt zwischen einer bis drei zusätzlichen Arbeitskräften je Betrieb. Das gesamte erzeugte Gemüse wird als Frischware zentral über die Genossenschaft Reichenau Gemüse eG vermarktet.

Da eine Ausdehnung im Freiland nicht möglich ist, wird der Schwerpunkt in den Betrieben auf intensiven Unterglas-Gemüsebau gelegt. Jährlich wird im Durchschnitt 1 ha überbaut.

Die wichtigsten Gemüsearten im Freiland sind:

Blattsalate; Tomaten, Kohlrabi, Blumenkohl, Fenchel, Sellerie, Lauch, Schnittlauch, Weißkohl

⁴ Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br., 1995: Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg, Baden-württembergischer Teil der Blätter CC 7926 Augsburg, CC 8718 Konstanz, CC 8726 Kempten, Karte und Tabellarische Erläuterung

Die wichtigsten Gemüsearten Unterglas sind:

Schlangengurken, Feldsalat, Kopfsalat, Tomaten, weitere Blattsalate,
Rettich, Radies

Grundsätzlich wird nach den „Richtlinien für den Integrierten Anbau von Gemüse in der Bundesrepublik Deutschland“ produziert, d.h. es wird eine umweltschonende Gemüseerzeugung angestrebt mit einem reduzierten Einsatz von mineralischen Düngemitteln und chemischen Pflanzenschutzmitteln. Die Richtlinien schreiben u.a. Betriebskontrollen, zusätzliche Kontrollen von Produkt und Boden, die Dokumentation der Anbaumaßnahmen, regelmäßigen Bodenuntersuchungen und die jährliche Überprüfung der Feldspitze vor.

Begünstigt durch das milde Klima und abgedeckt mit Vlies und/oder Folie bringen frühe Kopfsalat- und Kohlrabisätze (Pflanztermin Anfang bis Mitte März) gute erste Freilandserträge. Beispielhafte Fruchtfolgen im Freiland sind:

Brache - Kopfsalat - Blumenkohl - Zwischenfrucht
Brache - Blumenkohl - Kopfsalat - Lauch
Zwischenfrucht - Tomaten

Im Sommer werden die Freilandflächen teilweise mit Gründüngung eingesät, da die Umsätze der Gewächshauskulturen häufig höher sind und alle Arbeitskräfte im Gewächshaus eingesetzt werden. Die Gewächshausflächen werden das ganze Jahr genutzt, im Winter werden sie allerdings nur frostfrei gehalten. Beispielhafte Fruchtfolgen im Gewächshaus sind:

Kopfsalat - Gurke/Tomate - Feldsalat
Kopfsalat - Gurke
Rettich/Radies - Gurke - Feldsalat
Rettich/Radies - Tomate - Kopfsalat

Die biologische Schädlingsbekämpfung im Unterglasanbau als Alternative zum Einsatz von Insektiziden ist auf der Insel als hervorragend zu bezeichnen. Das geschlossene Anbaugelände und eine flächendeckende intensive Beratung ermöglichen erfolgreiche Bekämpfungsstrategien. Im Jahr 1996 wurden auf 76 % der gemüsebaulich genutzten Gewächshausfläche Nützlinge eingesetzt.

5. Düngung

Für eine optimale Nährstoffversorgung der Pflanzen und um die Nitratauswaschung zu minimieren, wird bedarfsgerecht und in Teilgaben gedüngt. Um der Nitratproblematik erfolgreicher zu begegnen, wurde im Jahr 1985 von der Reichenau Gemüse eG ein Nitratlabor eingerichtet. Es wurde im Jahr 1986 im Rahmen des Forschungsprojektes „Nitrat im intensiven Gemüsebau“ - Teilprojekt „Reichenau“ erweitert. Durch das Projekt konnte die wichtige Verbindung zwischen Analytik und Beratung, d.h. die Umsetzung in der Praxis hergestellt werden. Die Düngeberatung wurde mittler-

weile vom Beratungsdienst Reichenau übernommen. Das Bodenuntersuchungslabor besteht weiterhin. Die jährlichen Steigerungen der untersuchten Bodenproben drücken sich in den 1500 Stickstoffuntersuchungen pro Jahr aus.

Düngung im Freiland:

Nach den Ergebnissen der Bodengrunduntersuchung (Phosphor, Kalium, Magnesium, pH) wird vor dem Pflanzen eine Grunddüngung in Form von

- Kalimagnesia + Kalkstickstoff + Kalkammon (nach Bedarf) oder
- einem Volldünger (z.B. Nitrophoska perfekt, Nitroka-Plus) ausgebracht.

Stickstoff wird nach Bedarf gedüngt, bei hohen Gaben wird gesplittet und bei hohen Niederschlägen wird evtl. nachgedüngt. Bei Folienanbau im Frühjahr wird die N-Gabe aufgeteilt auf 50 % zur Grunddüngung und 50 % zur Kopfdüngung. Beim Frühjahrsanbau ohne Folie werden zur Grunddüngung 30 % der N-Gabe und zur Kopfdüngung 70 % ausgebracht.

Düngung im Gewächshaus:

Im Gewächshaus lassen sich folgende Unterschiede zum Freiland feststellen⁵:

- mehr Nährstoffmengen werden umgesetzt,
- oft wird flüssig gedüngt,
- die Humusgehalte sind höher,
- Ernterückstände, die in der Regel abgefahren werden, müssen nicht berücksichtigt werden.

Pro Kulturperiode werden 3-4 Untersuchungen empfohlen. Für die langen Sommerkulturen Gurke, Tomate, Stangenbohnen und Paprika werden in größeren Zeitabständen die Nährstoffgehalte durch Bodengrunduntersuchungen (Phosphor, Kalium, Magnesium, pH, Salz-Gehalt) ermittelt. Die laufende flüssige Stickstoffdüngung über die Beregnung machen regelmäßige Stickstoffuntersuchungen des Bodens notwendig.

Düngungsart und -zeitpunkt hängen direkt mit der Beregnung zusammen: Bei Unter- und Oberberegnung wird zum Grunddüngungszeitpunkt nach Entzug auf die Sollwerte aufgedüngt. Bei Tropfbewässerung wird nur der Nährstoff, den die Pflanzen benötigen, eingesetzt. In der folgenden Herbstkultur wird Stickstoff nach Bedarf nachgedüngt. Problematisch sind N_{\min} -Verlagerungen bzw. -Schwankungen in Folge von zu starkem Beregnen oder Beregnen in zu geringen Abständen.

⁵ Geier, Hermann, 1990: Forschungsprojekt 25-86.1 „Nitrat im intensiven Gemüsebau“, Teilprojekt „Reichenau“

6. Bewässerung

Die Gemüsekulturen werden mit Seewasser aus dem Gnadensee und dem Rheinsee bewässert. Jährlich werden 1 Mio m³ Seewasser von vier Seepumpwerken über 55 km Rohrleitungen auf die Insel gepumpt. Die Zuleitungen zu den Pumpwerken sind mit Grobfilter (Saugkörben) versehen. Es findet keine Aufbereitung statt. Regelmäßige Wasseruntersuchungen von der Landesanstalt für Umweltschutz, Stelle Langenargen und dem Gesundheitsamt garantieren für ein Beregnungswasser, dessen Qualität für die Bewässerung geeignet ist.

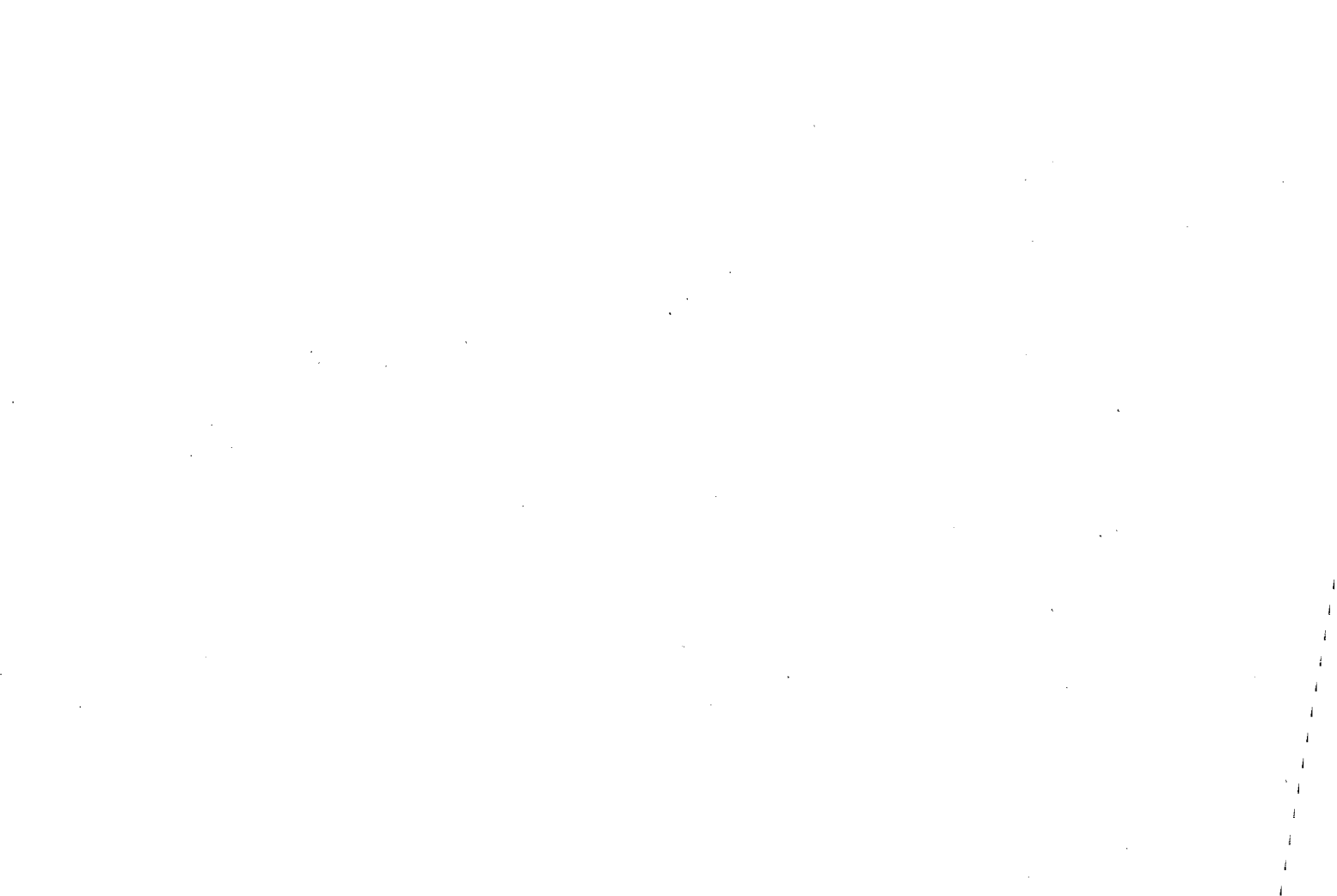
Im Freiland wird mit Kreisregnern bewässert. In den Herbst- und Winterkulturen im Gewächshaus werden Oberberegnungen, in den Sommerkulturen Unter- und Tropfbewässerung eingesetzt.

7. Interreg - Projekt

Im Rahmen des Interreg-Programms „Bodensee-Hochrhein“ lautet ein Projekt „Umweltschonende Anbauverfahren von Gemüse und Obst“. Interreg ist eine Gemeinschaftsinitiative der EU für Grenzgebiete der EU. Demgemäß umfaßt dieses Projekt die Schweizer Bodenseeregion (Kanton Thurgau) und die baden-württembergischen Landkreise Konstanz, Bodenseekreis und Ravensburg. Fachlich wird das Projekt von der Universität Hohenheim in Stuttgart und der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich betreut. Das Projekt besteht aus den Teilbereichen Gemüsebau, Obstbau und Wirtschaftlichkeit und Vermarktung. Mit den Untersuchungen werden folgende Ziele angestrebt:

- Grenzübergreifende Zusammenarbeit und Erhaltung einer leistungsfähigen Landwirtschaft
- Einführung und Weiterentwicklung umweltschonender Anbauverfahren in den Betrieben
- Vermehrte Zusammenarbeit auf der Handelsseite
- Absatzchancen der Bodenseeregion nutzen und fördern
- Untersuchung der Konkurrenzfähigkeit des Bodenseeraums innerhalb Europas
- Bewertung von Anbauverfahren auf der Basis ihrer Stoff- und Energieflüsse
- Entwicklung und Förderung eines nachhaltigen Gemüse- und Obstanbaus

Neben dem Austausch mit wissenschaftlichen Einrichtungen und Versuchsanstalten wird die Zusammenarbeit mit der Praxis in Form von 2 Arbeitsgruppen (Gemüsebau, Obstbau), die aus je 8 deutschen und schweizerischen Betriebsleitern bestehen, angestrebt.



Exkursion

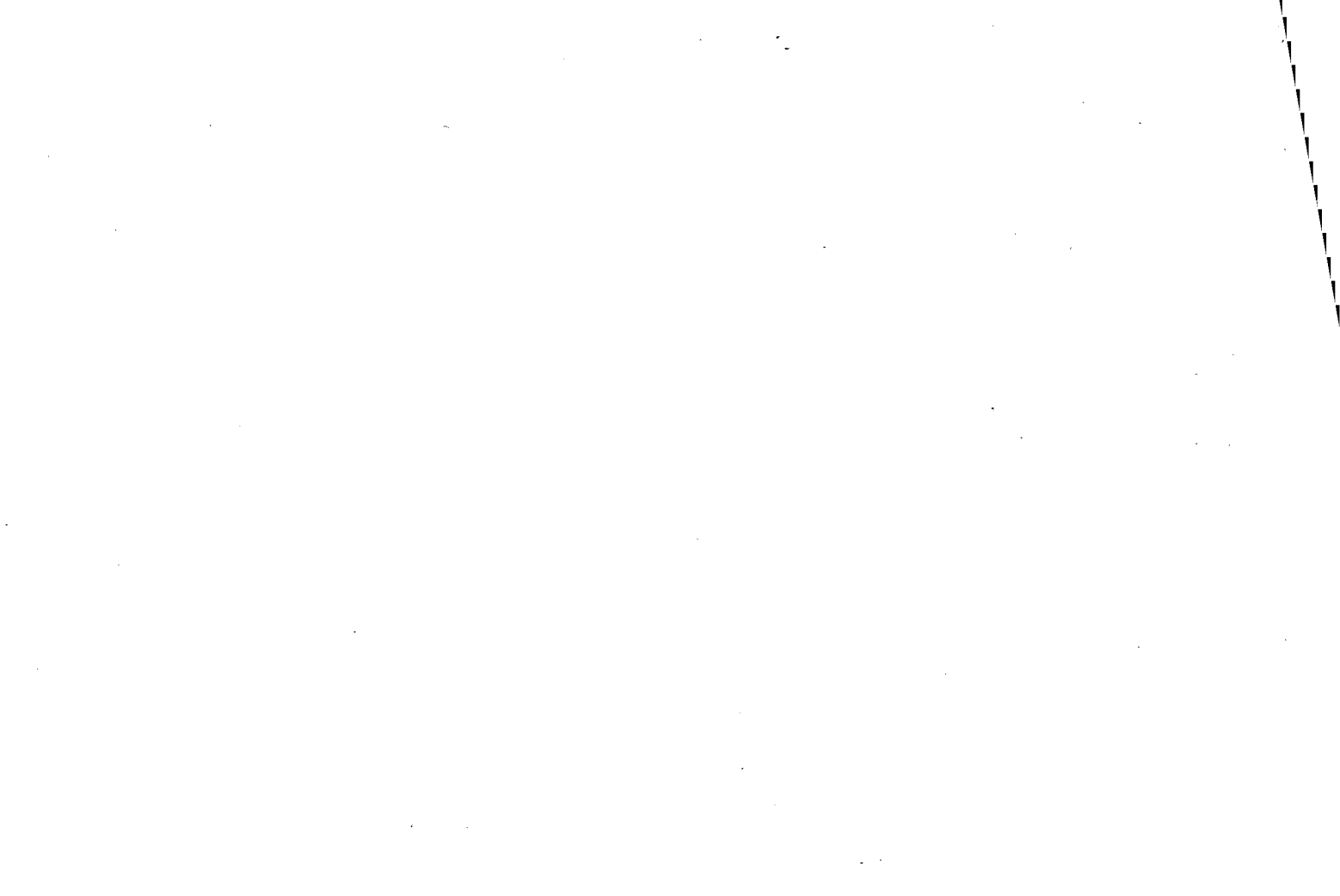
H 4

(SUBTROPISCHE) VEGETATION AUF DER INSEL MAINAU

Exkursionsleitung: V. Leutenegger¹ und Mitarbeiter

Treffpunkt: 14.00 Uhr, Eingang zur Insel Mainau (Brücke). Die Insel Mainau ist von der Universität aus in ca. 20 Minuten zu Fuß zu erreichen.

¹ Blumeninsel Mainau GmbH. 78465 Insel Mainau



Exkursion

H 5

Mindelsee

von R. Böcker¹

Moore und ihre Vegetation am Mindelsee

Exkursionsleitung: R. Böcker und U. Schuckert

Inhalt	Seite
1. Exkursionsroute	492
2. Das Exkursionsgebiet	492
2.1 Geologie	492
2.2 Klimatische Verhältnisse	493
3. Die Moore und ihre Vegetation	493
3.1 Moor nordwestlich des Hombergs	494
3.2 Winterried	494
3.3 Bündlisried	494
3.4 Mindelseemoor	495
3.5 Moor bei Kaltbrunn (Fischweiherried)	495
4. Besonderheiten der Flora	495
5. Moorzerstörung und Moorschutz	500
6. Literatur	501

¹ Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie (320), 70593 Stuttgart

Exkursionspunkte: Moor nordwestlich des Hombergs, Winterried, Bündlisried, Mindelseemoor, Moor bei Kaltbrunn (Fischweierried)

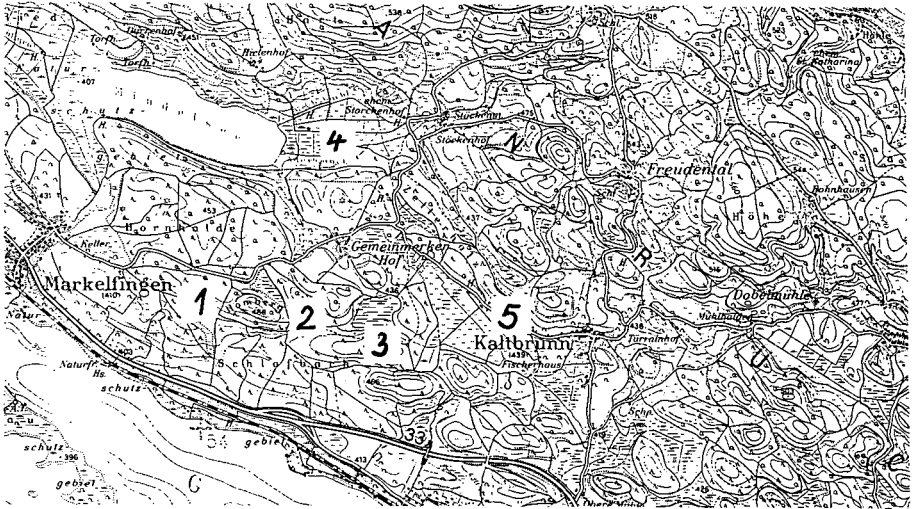


Abb.1: Karte der Exkursionsroute (Ausschnitt aus: Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, Blatt Konstanz, GÖTLICH, K. 1975)

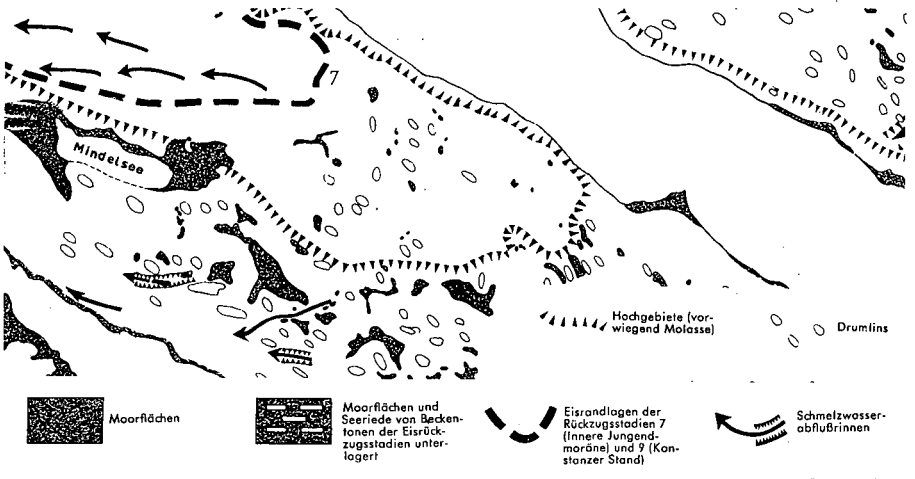


Abb. 2: Ausschnitt aus Geol. Übersichtskarte. (WERNER 1964)

2.1 Geologie

Im Exkursionsgebiet finden sich ausschließlich terriäre und quartäre Sedimentgesteine und Ablagerungen. Auf dem Bodanrück steht unter altpleistozänen Ablagerungen die Molasse an.

Südlich des Mindelsees sind Drumlins auf die Geschiebemergel-Grundmoränen der Würmzeit gesetzt. Das Rinnensystem zum Mindelsee ist von Schwemmlehmen ausgefüllt, der hier wie in den Toteislöchern auf den Möränen die Moorbildung nach Verlandungsvorgängen förderten.

2.2 Klimatische Verhältnisse

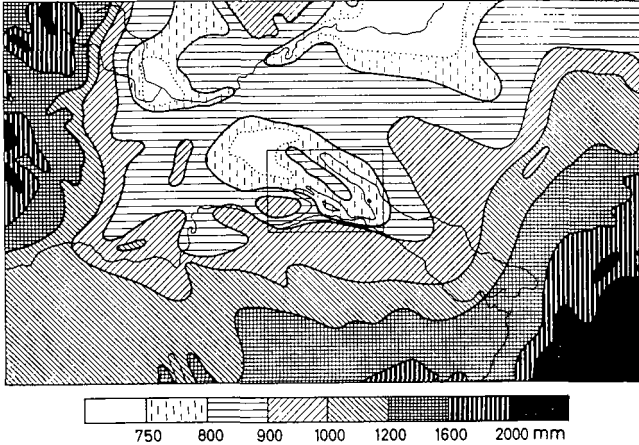


Abb. 3: Mittlere jährliche Niederschlagsmengen im Bodenseegebiet und dessen Umgebung. (aus LANG 1967)

Die folgende Karte macht den Gradienten der jährlichen Niederschlagsmengen von Singen mit ca. 750mm in Richtung Alpen östlich Bregenz mit mehr als 2000 sehr deutlich. Die Verteilung hat hier ein Sommermaximum. Die Jahresdurchschnittstemperaturen sind am Bodensee aufgrund der thermisch puffernden Wirkung des großen Wasserkörpers gegenüber seinen Randhöhen deutlich höher (Abb. 4)

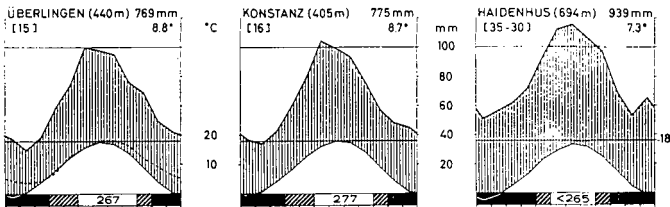


Abb. 4: Klimadiagramme von zwei Stationen in Seenähe im Vergleich mit einer Station auf dem Thurgauer Seerücken. (aus LANG 1967)

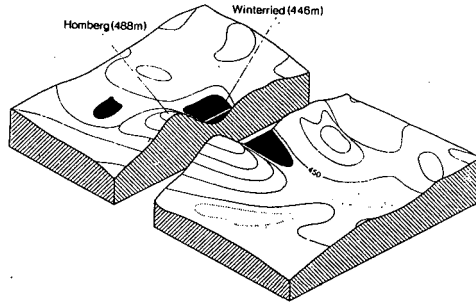
3 Die Moore und ihre Vegetation

Ein wesentliches landschaftsbestimmendes Element der Jungmoränen-Voralpenlandschaft sind Seen und Moore. Im Exkursionsgebiet liegen rund 50 Moore, nur noch 4 beinhalten natürliche biher nicht vollständig verlandete Seen. Die Verteilung ist unregelmäßig, der größte

Teil liegt jedoch in der drumlinreichen Bodanrück-Landschaft. Die Exkursionsziele liegen ausschließlich hier konzentriert, da alle Beispiele von intakten bis zerstörten Moorkörpern in kleinem Raum vorgeführt werden können.

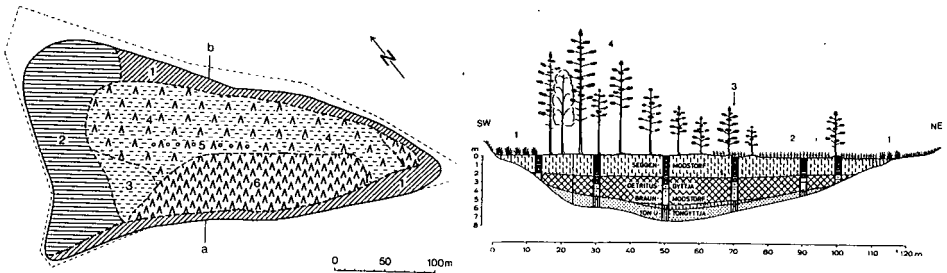
3.1 Moor nordwestlich des Hombergs

Vom Wald umgeben sind kleinere verlandete und versumpfte Toteisensenken westlich und nördlich des 488m hohen Hombergs. Das kleine Moor am Fuß des Westhanges weist ein Fadenseggenried (*Caricetum lasiocarpae*) auf



3.2 Winterried

Das noch relativ unberührt erhalten gebliebene Winterries nördlich des Hombergs weist noch eine typische Zonierung von meso- bis in die oligotrophen Moorkomplexe auf. Der Schnitt und die Karte (Abb. 6) illustrieren die Verhältnisse dieses schutzwürdigen und unter Naturschutz stehenden Kleinstmoores.



Vegetationskarte des Winterrieds. 1:Wunderseggenried, 2:Fadenseggenmoor, 3:Schnabelbinsenmoor, 4:Mosaik-Schnabelbinsen-Waldkiefer-Moor, 5:Schlammseggen-Schlenke, 6:Waldkiefern-Moorwald (aus Lang 1973).

3.3 Bündlisried

Das seit langem durch Torfabbau veränderte und zerstörte Moor weist in den Sedimenten noch Reste von Arten der oligo- und mesotrophenten Gewässerverlandungs- und Moorvegetation auf. Hervorzuheben sind hier beispielhaft Schneideried (*Cladium mariscus*) und die Moose *Drepanocladus sendtneri* sowie *Meesia triquetra* (s. Abb. 11).

3.4 Mindelseemoor

Der größte und botanisch reichhaltigste See ist der eutrophe Mindelsee. Mit 2 km und 0,5 km Breite hat er ca. 1 km² Fläche. Die größte Tiefe beträgt 13,5 m. Die Hauptfläche des Seebodens ist frei von wurzelnden Wasserpflanzen. Die Makrophyten reichen nur bis in 2 m Tiefe, eine Folge der geringen Transparenz des Wassers bedingt durch Eutrophierung. Das Südufer zeigt nur spärlichen Bewuchs, während am West-, Nord- und Ostufer eine deutliche Zonierung festzustellen ist. Im Wasser sind Gürtel von Teichrosen und Seerosen, unter denen u.a. das Nixkraut (*Najas marina*) vorkommt. Landwärts schließen lückige Röhrichte aus Schilfrohr (*Phragmites communis*, *Typha angustifolia*, *Scirpus lacustris*) und weiter zum Ufer hin das Schneideried (*Cladium mariscus*) an. Am Südwestufer findet sich noch das Zyperseggenröhricht (*Carex pseudocyperus*), an einer Reihe von Stellen am Nord- und Ostufer schließt an das Schneideried unmittelbar das Mehlprimel-Kopfbinsenried (*Primulo-Schoeneteum*) an, so daß man hier den Eindruck einer Verlandungsgesellschaft gewinnen könnte, was aber hier nicht zutrifft. Das Kopfbinsenried wächst auf Quellstellen auf Mineralboden. Die Vegetation der ausgedehnten Moorflächen im Osten und Westen des Sees ist durch früheren Torfabbau sehr stark gestört. Wir finden hier das Fadenseggenmoor (*Caricetum lasiocarpae*) und die Enzian-Pfeifengraswiese (*Gentiano-Molinietum*), im Westteil auf entwässertem Gelände auch die Kohldistelwiese (*Angelico-Cirsietum*).

Mindelsee und -moore (s. Abb. 7 u. 8 Pollen und Sporendiagramm vom Westufer des Mindelsees (aus LANG 1973))

3.5 Moor bei Kaltbrunn (Fischweiherried)

Die ausgedehnte Moorsenke bei Kaltbrunn ist durch intensive Torfausbeutung schon seit Ende des letzten Jahrhunderts zerstört. Nur in den Sedimenten konnten viele Reste, Diasporen und Pollen mesotraphenter Moorpflanzen nachgewiesen werden (STARK 1928).

Folgende Seiten:

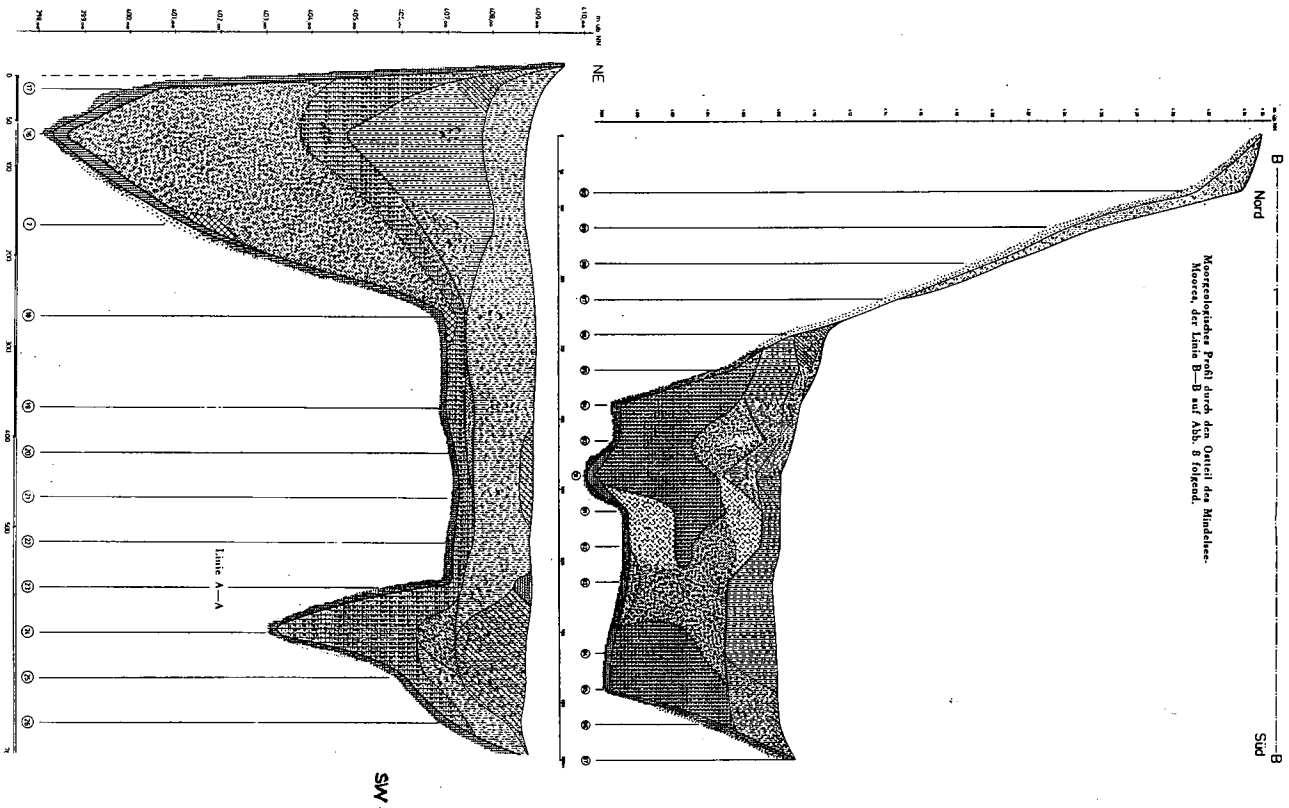
Abb.: 7 und 8

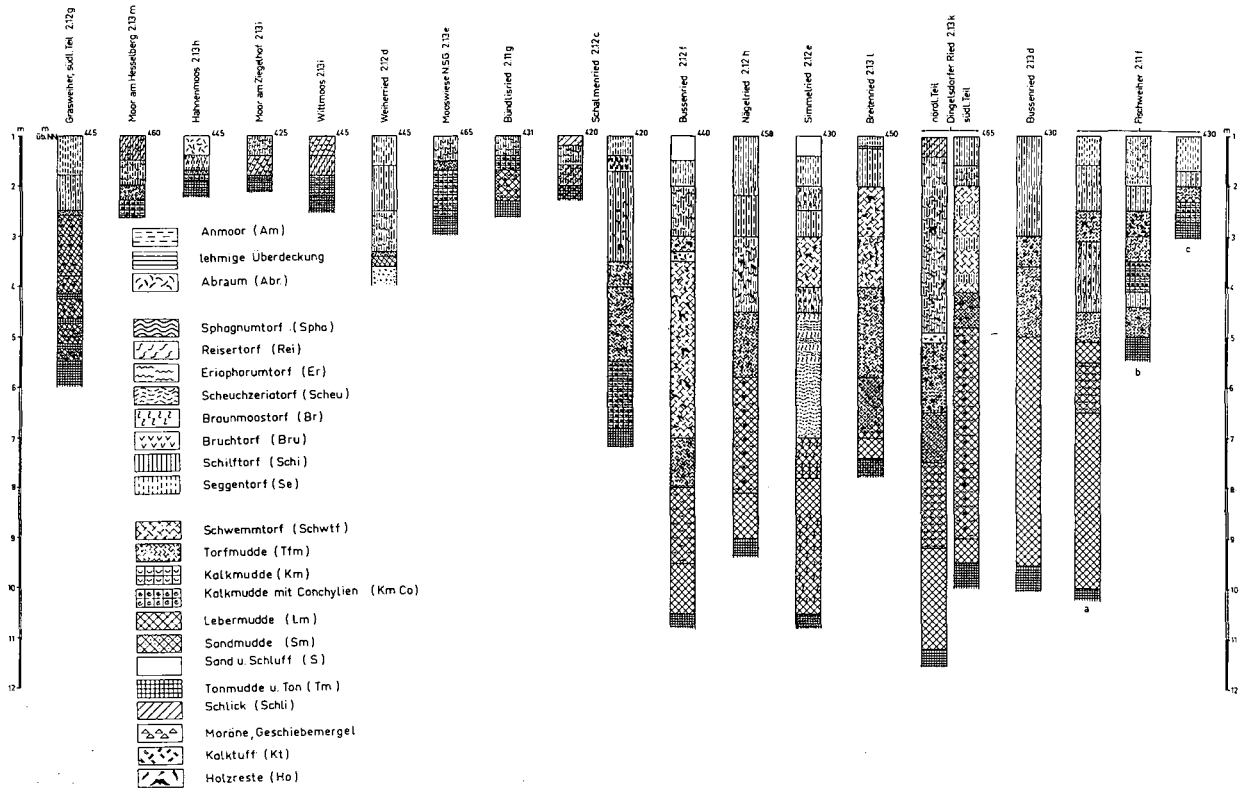
Abb: 9 und 10 ; 9: Moorgeologische Profile durch das Mindelseemoor (aus GÖTTLICH 1972).

10: Moorprofile in Kleinmooren des Bodanrück (aus GÖTTLICH 1972).

4 Besonderheiten der Moorflora

Der Kultureinfluß auf die Moore, insbesondere in den kleinen Senken im Grünland, ist seit der Zeit der Dorfgründungen auf dem Bodanrück zunehmend gewesen. Die Auswirkungen sind im Verlust seltener Moorpflanzen besonders deutlich dokumentiert, zum einen durch die vorliegenden alten Gebietsflora zum anderen durch die Pollen- und Großrestanalysen aus den Torfen. Früher dokumentierte Hochmoor- und Zwischenmoorarten sind stark zurückgegangen und mit ihnen sind auch die Gebiete mit oligotrophem Charakter nahezu verschwunden. Dennoch sind beispielsweise die Schlammsegge (*Carex limosa*), und das Weiße Schnabelried (*Rhynchospora alba*) als Hoch- und Zwischenmoorschlenkenarten noch vorhanden. Der sehr selten gewordene Moorbärlapp (*Lycopodiella inundata*) ließ sich nicht mehr nachweisen. Die Fadensegge (*Carex lasiocarpa*) ist noch immer an einigen Stellen unter anderen auch im Winterried in baumfreien Zwischenmoorgesellschaften zu bewundern.





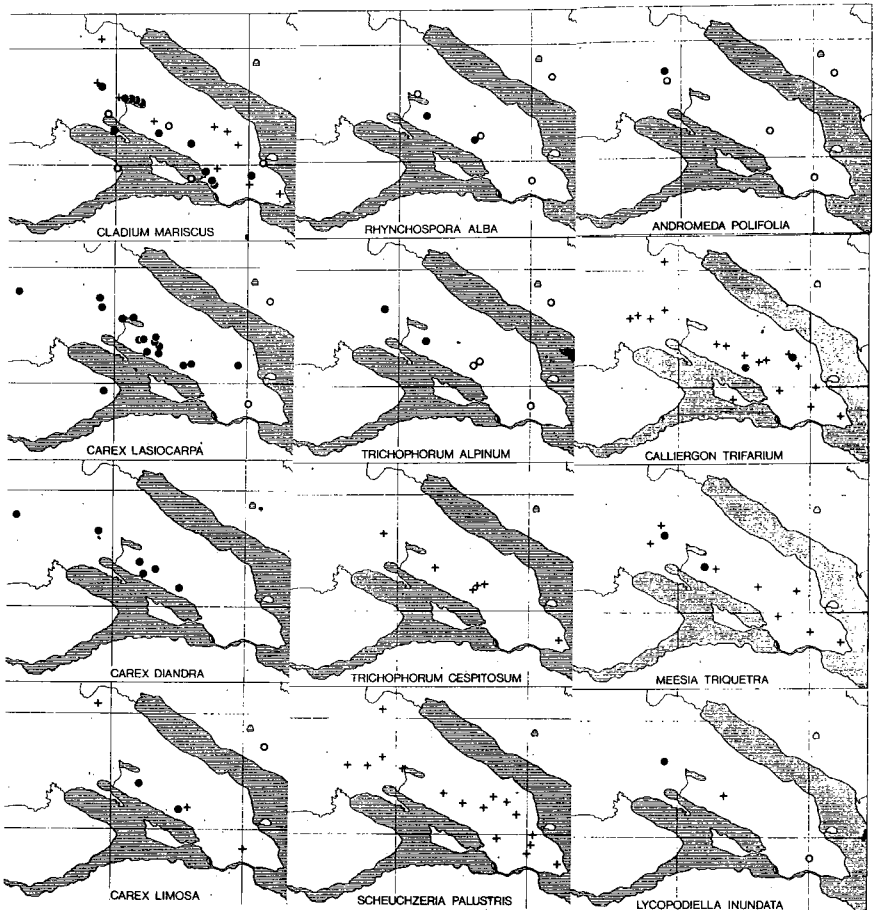


Abb. 7: Bemerkenswerte Moorpflanzen; • aktuelle Fundstellen, ° seit ca 1850 erloschene Fundstellen, + spät- und postglaziale Fossilfunde. (aus LANG 1973)

5 Moorzerstörung und Moorschutz

Etwa 30 Moore im Exkursionsgebiet sind seit langem durch Torfabbau zerstört, viele wohl schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, wie aus den Torfstich-Signaturen in alten Karten hervorgeht. Entsprechend ist der Rückgang empfindlicher Moorpflanzen seit dieser Zeit auch besonders groß. Über einige erst in jüngerer Zeit vernichtete Moore liegen Angaben über deren Zustand noch von BARTSCH (1925) vor GRÜTTNER (1990) teilt den Zerstörungsgrad der Moore in 3 Gruppen der Zerstörungsintensität.

Gruppe 1: In diesen Mooren wurde der Torf abgebaut, danach blieben die Moore und Stiche sich selbst überlassen. Hier findet sich ein reichhaltiges Mosaik von Wasserpflanzen-Moor-Gesellschaften, die infolge der künstlich geschaffenen Standortunterschiede ein vielfältiges Mosaik bilden. In einem Teil der vorkommenden Moorarten kann angenommen werden, daß sie Überbleibsel der primären Pflanzendecke sind.

Gruppe 2: Hier ist von den Mooren infolge der Zerstörung der Torflager nur ein kleiner Rest vorhanden. Die Flächen sind eingeebnet und für andere Nutzungen vorbereitet worden. In der Regel findet sich hier gedüngtes Grünland, v.a. Kohldistelwiesen, selten auch Hackkulturen (Maisanbau, beispielsweise).

Gruppe 3: Diese Moore sind völlig vernichtet durch Ausräumung der holozänen Sedimente, Überschüttung oder Überbauung.

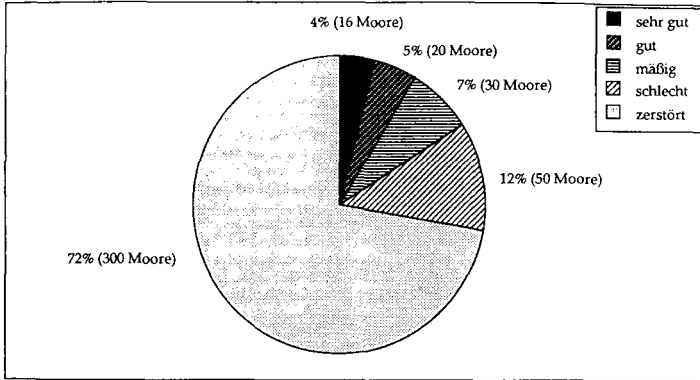


Abb. 12: Zustand der Moore im westlichen Bodenseegebiet. (aus GRÜTTNER 1990, S. 303)

Wie GRÜTTNER 1990 nachweist, sind nur noch 4 % der Moore im westlichen Bodenseegebiet in gutem Zustand, drei Viertel sind völlig zerstört. BUCHWALD 1980 gibt für den Bodanrück einen Überblick über den Anteil verschiedener Ursachen an der Zerstörung von Moorfläche: Danach wird der Hauptanteil von 70,5 % heute intensiv landwirtschaftlich genutzt, 11,2 % wurden für Müll und Schuttablagerungen genutzt, 8,5 % zu forstwirtschaftlichen Zwecken. Der Rest wurde durch Siedlungen oder Sportanlagen überbaut (3 % jeweils), in Gärten umgewandelt 2,6 % oder als Schieß- und Truppenübungsplatz genutzt (1,3 %). Entsprechende Größenordnungen lassen sich nach GRÜTTNER 1990 auf die von ihr untersuchten 416 Moore im westlichen Bodensee-Gebiet übertragen.

6 Literatur:

AUFDERMAUER, J., H. BERNER, W. BERNHAUER, N. FRHR.V.U.Z. BODMAN, R. BRETTHAUER, R. BUCHWALD, K. EIDEL, U. EINSLE, C. GACK, K. GÖTTLICH, K. HENN, F. KIEFER, J. KLESS, D. KLIMETZEK, A. KOBEL-VOSS, G. LANG, W. LUKAS, H. MATTERN, S. MÜLLER, T.K. PETROVSKI, F. REISS, G. SCHMID, H. SCHMITT, A. SCHREINER, S. SCHUSTER, J. SCHWOERBEL, H. SONNABEND, G. THIELCKE, W. TOBIAS, K.D. ZINNERT, 1983: Der Mindelsee bei Radolfzell. - Monographie eines Naturschutzgebietes auf dem Bodanrück. Natur- und Landschaftsschutzgebiete Bad.-Württ. 11:797S.

BARTSCH, J. 1925: Die Pflanzenwelt im Hegau und nordwestlichen Bodensee-gebiete. - Schrift. Ver. Gesch. Bodensees, 194S.

GÖTTLICH, K. 1972: Erläuterungen zu Blatt Konstanz, L8320 der Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50000. - Stuttgart, 79S.

GRÜTTNER, A. 1990: Die Pflanzengesellschaften und Vegetationskomplexe der Moore des westlichen Bodenseegebietes. - Diss. Bot. 157, Cramer, Berlin.

- LANG, G. 1967: Die Ufervegetation des westlichen Bodensees. - Arch. Hydrobiol./Suppl. 32:437-574.
- LANG, G. 1973: Die Vegetation des westlichen Bodenseegebietes. - Pflanzensoziologie 17:451S.
- PIER, A. & K. SCHMIEDER 1997: Zustand der seewärtigen Schilffront am Bodensee-Untersee 1994 im Vergleich zu 1981-1983. - Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ.Hohenheim 6: (im Druck).
- SCHMIEDER, K. , A. KOHLER, R. BÖCKER 1996: Seeumfassende Bestandsaufnahme der submersen Makrophytenvegetation der Litoralzone des Bodensees 1993. - Ms. Inst. Landschafts- u.Pflanzenökologie Univ.Hohenheim, i.A. IKGB, 117S.
- WERNER, J. 1964: Grundzüge einer regionalen Bodenkunde des südwestdeutschen Alpenvorlandes. - Schrft.Landesforstverw. Ba-Wü 17:1-91.

Exkursion

H 6

Archäologisches Museum und Stadt Konstanz

R. Röber¹

Zur Archäologie der Stadt Konstanz

Exkursionsleitung: J. Heiligmann und R. Röber

¹ Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg, Außenstelle Konstanz,
Benediktinerplatz 5, 78467 Konstanz

Da Konstanz von den Bomben des Zweiten Weltkriegs und auch den Bausünden der Nachkriegszeit weitgehend verschont geblieben ist, weist die Stadt auch heute noch einen großen Bestand an mittelalterlichen Bauten auf. Das reicht vom prächtigen bischöflichen Münster bis hin zu den Häusern der einfachen Bürger. Aber auch in der Erde ist vieles erhalten geblieben, das von der Geschichte der alten Bischofsstadt kündigt. Besonders die Anfänge der Stadt und ihre Entwicklung zum größten Bistum im Heiligen Römischen Reich Deutscher Nation sind heute nur noch auf archäologischem Wege in Erfahrung zu bringen. Daher wird die Stadt im Rahmen eines Schwerpunktprogramms des Landesdenkmalamts Baden-Württemberg seit 1983 intensiv betreut. Die Anfänge der Konstanzer Stadtarchäologie liegen allerdings bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert, als der Apotheker Ludwig Leiner (1830-1901) "wie eine Krähe die Saatkörner" bei Bauarbeiten zutage getretene römische und mittelalterliche Altertümer aufblas.

Die ältesten Besiedlungsspuren auf Konstanzer Boden stammen aus dem ausgehenden 2. Jahrhundert v. Chr., sind also etwas mehr als 2.000 Jahren alt. Sie lassen sich den Kelten zuordnen. Diese haben die naturräumlichen Gegebenheiten, die heute durch mannigfache Veränderungen der topographischen Situation nur noch zu erahnen sind, geschickt ausgenutzt. Ihre Siedlung lag auf dem höchsten Bereich eines N-S verlaufenden Moränenrückens, dem Münsterhügel und dem in Richtung Rhein angrenzenden Stadtteil Niederburg. Im Westen befanden sich morastige Feuchtplächen, östlich grenzte die Flachwasserzone des Bodensees an. Diese Lage bot Schutz vor Überflutungen und Feinden, die verkehrsgünstige Nähe zu Bodensee und Rhein war in einer Zeit, in der Straßen noch nicht so gut ausgebaut waren wie heute, sicher ebenfalls von großer Bedeutung. Von der Siedlung kennen wir bislang nur die Reste einiger Holzhäuser, Abfall in Form von Knochen und zerbrochenem Keramikgeschirr und etliche Münzen. Einige Scherben von aus Italien importiertem hochwertigem Tafelgeschirr zeigen, daß wir hier keine von der Welt abgeschnittene Einzelsiedlung vor uns haben, sondern zeugen von weitreichenden Handelskontakten. Um die Mitte des 1. Jahrhunderts v. Chr. bricht die Siedlungstätigkeit ab, ohne daß wir etwas von den Gründen erfahren. Hängt dies etwa mit dem von Cäsar überlieferten Auszug der Helvetier zusammen, der im Jahre 58 v. Chr. den Gallischen Krieg auslöste?

Etwa ein halbes Jahrhundert später, im 2./3. Jahrhundert n. Chr. mit der Ausdehnung des römischen Reiches über die Alpen bekommt der Platz am Ausfluß des Rheins aus dem Bodensee strategische Bedeutung. Wiederum auf dem Münsterhügel entsteht

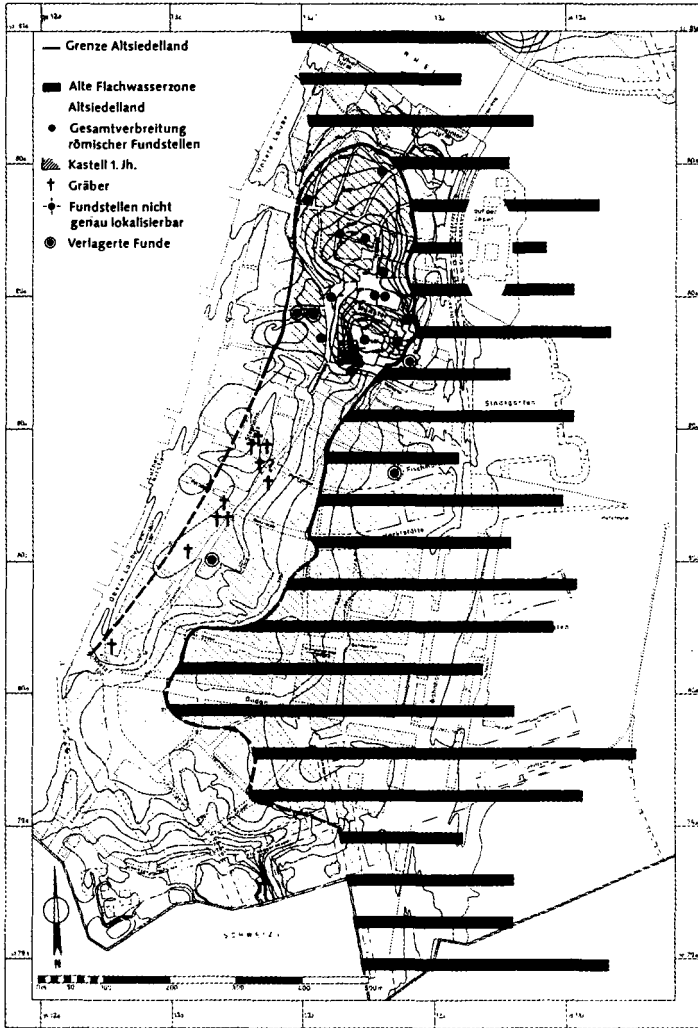


Fig.1 Die römische Besiedlung von Konstanz mit dem Kastell auf dem Münsterhügel und dem Vicus in der sich nördlich anschließenden Niederburg (nach Stadlflut, Hirsebri und Bettelmönch, S.55)

ein befestigter militärischer Stützpunkt, von der allerdings nur die Umfassungsgräben erfaßt wurden. Das Kastell hat nicht lange Bestand gehabt. Mit der Verlagerung der römischen Grenze nach Norden wird es im Lauf des 1. Jahrhunderts wieder aufgegeben, die Gräben zugeschüttet. Parallel zur militärischen Anlage existiert eine kleine Zivilsiedlung, die sich nördlich davon erstreckte. Diese war nicht von militärischer Kargheit oder Nüchternheit gekennzeichnet, Teile der Häuser waren luxuriös ausgestattet: Bemalter Wandputz und die Säule eines Porticus haben sich als letzte Zeugnisse erhalten. Einen Hafen dürfen wir aufgrund der allgemeinen Gegebenheiten ebenfalls voraussetzen, auch wenn seine Lage noch nicht lokalisiert werden konnte. Kastell und Siedlung gehören in ein Umfeld, das in dieser Zeit bereits weitgehend römisch erschlossen ist. Auch nach dem Abzug der römischen Truppen blieb der vicus bestehen. Er hatte seine erste Blütezeit nach Ausweis der zahlreich gefundenen Münzen um die Mitte des zweiten Jahrhunderts n. Chr. Nach der Krise des 3. Jahrhunderts führt die veränderte politische Lage in der Spätantike und die Situation als Grenzort gegen den germanischen Stamm der Alamannen möglicherweise zur Anlage einer neuen Militäranlage, eines burgus. Bislang fehlen für einen gesicherten Nachweis allerdings noch die archäologischen Belege. Aus dieser Zeit sind etliche römische Gräber bekannt, die sich an der damaligen Nord-Süd-Wegeverbindung, der heutigen Wessenbergstraße orientieren. Ein Grab des 4. Jahrhunderts enthält eine Zwiebelknopffibel und weist damit den Verstorbenen als römischen Offizier aus. Von nun ab kennen wir auch den Namen der Siedlung, die als "Constantia" erstmals in Quellen des 5. oder frühen 6. Jahrhunderts überliefert ist. Namensgeber war entweder ein Kaiser Constanz oder Constantius, d. h. die Namensgebung muß zu Lebzeiten dieser Kaiser zwischen 293 und 361 n. Chr. erfolgt sein.

Auch nach dem Zusammenbruch des römischen Weltreichs blieb die Siedlung wahrscheinlich bestehen. Die Bevölkerung, trotz der Lage inmitten des alamannischen Herrschaftsgebietes, bestand zumindestens in Teilen noch aus Romanen. Wie sonst wäre es zu erklären, daß eine Predigt des alemannisch sprechenden Heiligen Gallus (612/613 oder 615) übersetzt werden mußte. In dieser Zeit wurde Konstanz Bischofssitz. Er sollte die Verbindung des schon christianisierten südlichen Gebietes mit dem wohl noch weitgehend heidnischen

alamannischen Gebiet nördlich des Bodensees sein. Damit war der Grundstein für die Entwicklung dieser bedeutenden mittelalterlichen Stadt gelegt. Unter dem Bischof Salomo III. (890-917) bis hin zu Bischof Gebhard II. (979-995) erlebt Konstanz eine Blütezeit und wird zu einer "Roma secunda", einem zweiten Rom ausgebaut. Mehrere Kirchen werden genau nach der Topographie des Vorbilds über die Stadt verteilt und zur Verdeutlichung nach den römischen Gotteshäusern benannt. Zahlreiche Kaiser und Könige suchten seit Karl dem Großen in diesen Jahrhunderten die Stadt auf: Sie beten im Münster und übernachteten in der winklig an das Münster angebauten Bischofspfalz. Von archäologischer Seite muß Konstanz in dieser Zeit allerdings weitgehend unbeschrieben bleiben. Mit Ausnahme einiger alamannischer Gräber nördlich des Münsters und einiger Einzelfunde liegen kaum Erkenntnisse vor.

Erst eine weitere, in diesem Fall wirtschaftliche Konjunkturphase ist archäologisch gut zu fassen. Im 12. und 13. Jahrhundert erlebt die Stadt ein explosionsartiges Wachstum, das den Raum auf dem beengten hochwasserfreien Moränenrücken knapp werden ließ. Um dringend benötigtes Bauland zu gewinnen, wurde begonnen die Flachwasserzone des Bodensees aufzuschütten: Zunächst nur parallel zum Ufer, später mit mächtigen, bis zu 50 m breiten und bis zu 70 m weit in den See vorspringenden Baublöcken. Man nutzte das Niedrigwasser des Sees im Winter, um zunächst eine ungemörtelte Umfassungsmauer, eine Art Spundwand, zu errichten. Diese wurde anschließend mit Kies hinterschüttet, der von großen Schiffen beigebracht wurde. Nach dem Erreichen einer gewissen Höhe über dem Seehöchststand wurde das Terrain planiert und zur Bebauung verteilt. Der unsichere Baugrund war den Bauleuten bekannt, die Hausfundamente wurden deshalb vielfach mit Holzschwellen oder tief in den Boden eingerammten Pfosten unterfangen. Konstanz muß in dieser Zeit, vor allem im 13. Jahrhundert, einer Großbaustelle geglichen haben. Diese gewaltigen Baumaßnahmen auf der Seeseite der Stadt hatten auch die Verlegung von Infrastruktur zur Folge. Der alte ottonische Hafen, der sich noch nahe des bischöflichen Machtzentrums, östlich des Markts bei der ältesten Pfarrkirche der Stadt St. Stephan befunden hatte, mußte aufgegeben werden und wurde an die Marktstätte verlegt. In dem Straßennamen, dem "Marktgestade", spiegelt sich diese Situation heute noch wieder. Aber auch in den

Bereichen zwischen den aufgefüllten Baublöcken stand das Wasser, sie wurden ebenfalls zum Anlanden von Wasserfahrzeugen genutzt. Im Laufe des 14. und frühen 15. Jahrhunderts wurde die Stadt erneut umstrukturiert. Der Hafen wurde mit dem Bau eines großen Kaufhauses zur Lagerung von Waren im Jahre 1388 vor die Stadt verlegt. Die wasserführenden Bereiche innerhalb der Stadtmauer waren als Transportwege damit nicht mehr notwendig, sie wurden als städtische Mülldeponie freigegeben. Als die Müllablagerungen eine gewisse Höhe erreicht hatten, konnten die gewonnenen Freiflächen als Straßen oder Bauland genutzt werden. Der Raum innerhalb des Mauerberings war jetzt dicht besiedelt. Sogar in dem erst zuletzt erschlossenen Südteil der Stadt wohnten jetzt so viele Menschen, daß die Gerber, ein luft- und wasserverschmutzendes Gewerbe, hier nicht mehr geduldet wurden und in die Vorstadt Stadelhofen umziehen mußten.

Auch die private und städtische Infrastruktur erschließt sich bei archäologischen Untersuchungen. So ließen sich auf zahlreichen Grundstücken hinter den Häusern in den Boden eingetiefe Gruben nachweisen, die von einem kleinen Holzverschlag überdeckt als Latrinen oder Abtritte genutzt wurden. Die Hausbewohner kippten auch unbrauchbares Hausinventar und Speiseabfälle in diese Grube, diese Reste geben heute wertvolles Zeugnis über die Ernährung der mittelalterlichen Menschen und die städtische Alltagskultur. In den Teilen der Stadt, in denen die Liegenschaften wenig Raum boten, wurden die menschlichen Fäkalien auf anderem Weg entsorgt. An der Rückseite der Häuser waren hier Latrinenerker angebaut. Unter ihnen verliefen die sogenannten Eh-Gräben, von den Zeitgenossen wegen ihres Zustands auch "wuoste" Gräben genannt. Ein leichtes Gefälle ließ die Fäkalien in den See laufen, bei ungünstigen Witterungsbedingungen oder größeren Verschmutzungen mußten die Totengräber der Stadt reinigend eingreifen. Diese Gräben sind nicht zufällig entstanden, sie wurden gezielt im Vorfeld der baulichen Erschließung angelegt. Wir haben in diesem Fall bereits im Mittelalter eine kommunale Planung vor der privaten Bebauung.



Fig.2 Der Eh-Graben zum Helffandt mit den beidseitig angebrachten Latrinenerkern, Aufnahme Mitte des 19.Jahrhunderts (Stadtluft, Hirsebrey und Bettelmönch, S.371).

Nach über zehn Jahren einer intensiven archäologischen Betreuung der Stadt Konstanz beginnen wir allmählich zu verstehen, wie aus einer kleinen keltischen Siedlung eine so bedeutende mittelalterliche Stadt geworden ist. Greifbar wird auch das Leben der Menschen abseits bedeutender Persönlichkeiten und die Weltgeschichte bewegender Ereignisse.

Literatur:

H.Maurer, Konstanz im Mittelalter. Von den Anfängen bis zum Konzil. Geschichte der Stadt Konstanz Bd.1 (Konstanz 1989); D.Planck (Hrsg.), Archäologie in Baden-Württemberg (Stuttgart 1994); Stadtluft, Hirsebrey und Bettelmönch, Stadt um 1300. Ausstellungskatalog (Stuttgart 1992); R.Röber, Konstanz "Am Gries" und die mittelalterlichen Hafenanlagen der Stadt. In: Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 1996.

Exkursion

H 7

Institut und Versuchsstation für Obstbau Bavensdorf

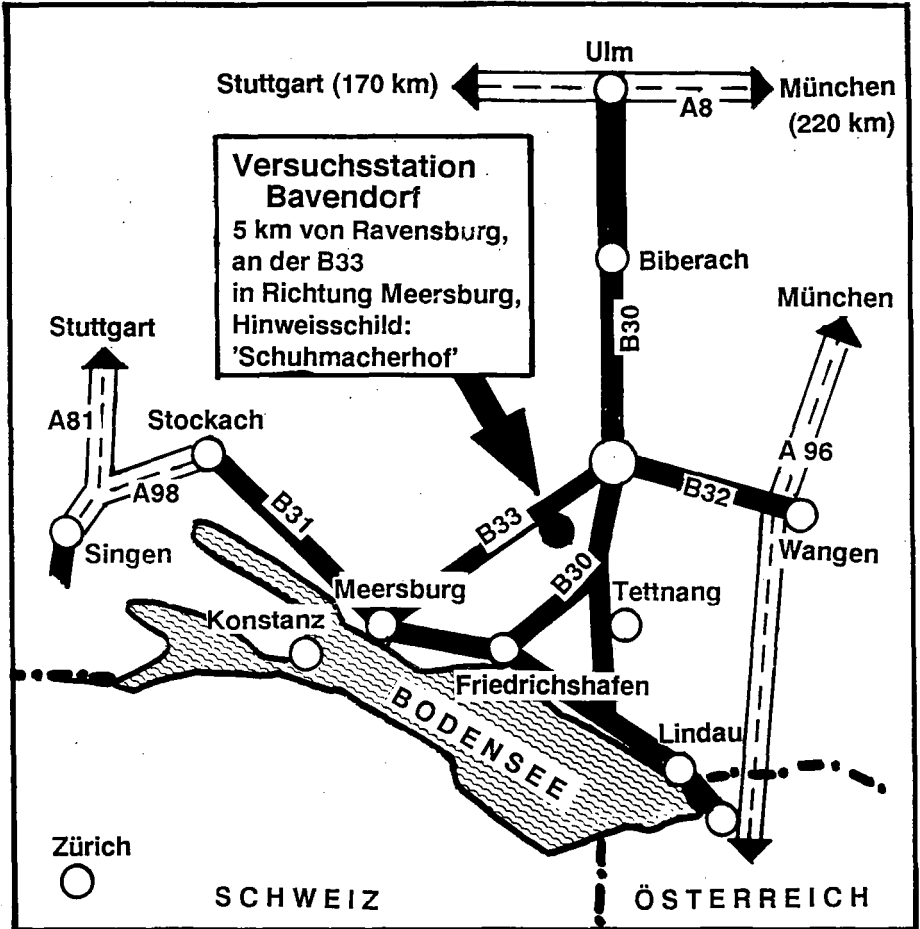
G. Noga¹, H. Link¹, R. Silbereisen¹, und J. Streif¹

Versuchsfeld, Versuchslager und Institut mit Labors

Inhalt	Seite
Lage der Versuchsstation	512
Allgemeine Angaben	513
Plan der Versuchsstation	514
Teil 1: Das Versuchsfeld	516
Teil 2: Das Versuchslager	519
Teil 3: Das Institut mit Labors - Ausgewählte Projekte im Rahmen der Grundlagenforschung	521
Literatur	526

¹ Universität Hohenheim, Institut und Versuchsstation für Obstbau, 88213 Ravensburg-Bavensdorf

Lage der Versuchsstation



Exkursion M7

Das Versuchsfeld und die Versuchslager der Versuchsstation für Obstbau (VS) sowie das Institut für Obstbau (IfO), beide in Ravensburg-Bavendorf *

von

G.Noga*, H.Link*, R.Silbereisen* und J.Streif*

Allgemeine Angaben

Die Versuchsstation für Obstbau wie auch das Institut für Obstbau sind Einrichtungen der Universität Hohenheim in Stuttgart. Ihre Aufgaben sind angewandte Grundlagenforschung im Bereich des Obstbaues. Ihre Lage im wichtigsten Obstanbaugebiet Deutschlands, der Obstregion Bodensee e.V.**, fördert die Kontakte zur Praxis; zugleich sichert die Zugehörigkeit zur Universität Hohenheim den Zugang zu den dortigen Forschungsdisziplinen verwandter Art.

Die Versuchsstation wurde 1959 auf dem vom Land Baden-Württemberg erworbenen Schuhmacherhof errichtet; der Bau des Institutsgebäudes erfolgte 1961 bis 1964.

Für Freilandversuche sind 23ha vorhanden, die vorrangig für die Gattung Apfel (*Malus*) mit einem Flächenanteil von etwa 75% als der im Bodenseegebiet marktbestimmenden Frucht verfügbar sind, während für Untersuchungen an Birnen, Kirschen, Zwetschen und Pflaumen, Beeren und Nüssen kleinere Flächen genutzt werden..

Politisch gehören die Versuchsstation und das Institut für Obstbau zum Ortsteil Bavendorf; sie sind damit Teil der Stadt Ravensburg, die als ehemalige Freie Reichsstadt zusammen mit der im Mittelalter bis in den Mittelmeerraum tätigen „Großen Ravensburger Handelsgesellschaft“ eine wohlhabende Vergangenheit aufzuweisen hat. Zahlreiche prächtige und zugleich geräumige Kaufmannshäuser in der Altstadt von Ravensburg geben heute noch Zeugnis davon.

Im Institutsgebäude sind Labors, Büroräume, Bibliothek und Seminarraum untergebracht. Das Wirtschaftsgebäude der VS umfaßt unterschiedlich große Obstbauversuchslager mit einer Kapazität von 100t als Kühl- und 80t als CA-Lager einschließlich Sortierhalle, Büros, Maschinenräume und Werkstätten.

Das Versuchsfeld ist mit Erläuterungen beschildert und steht allen Interessenten nach Anmeldung offen. Führungen sind nur nach Voranmeldung möglich.

a) Natürliche Standortverhältnisse und Plan der Versuchsstation

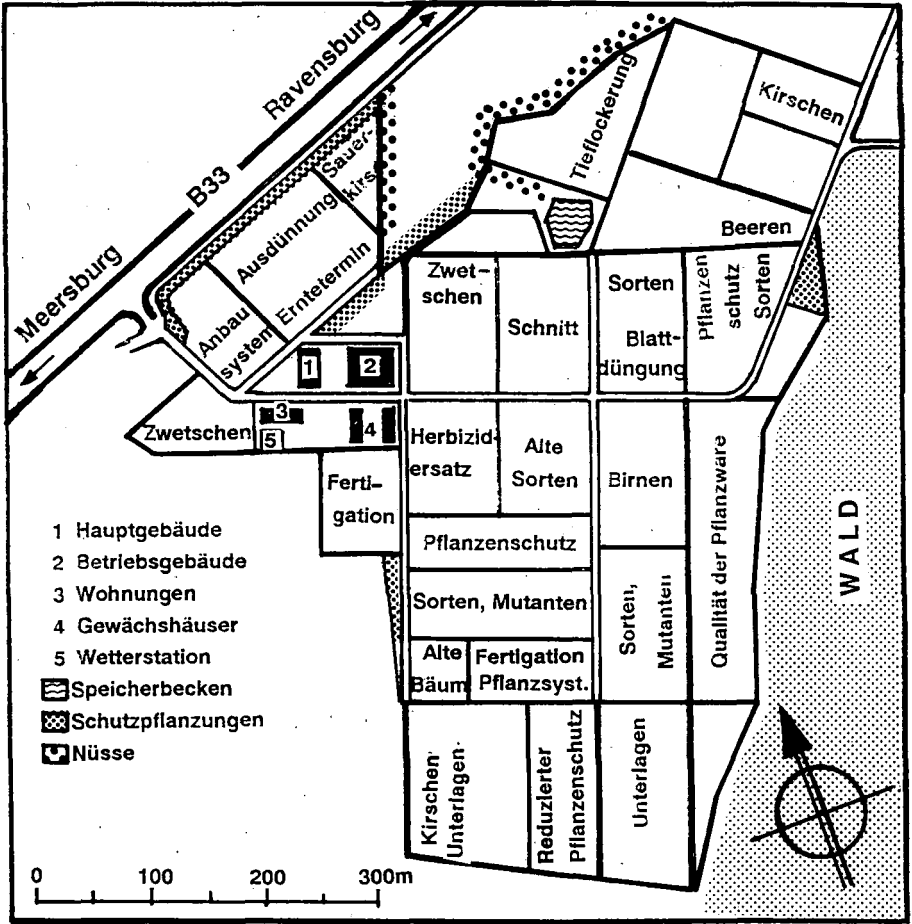
Die VS Bavendorf liegt in der oberschwäbischen Jungmoränen-Landschaft in 470 - 500m Höhe über NN an einem leicht geneigten Osthang des dort weiträumigen Schussentales. Meist vorkommender Bodentyp ist eine Pseudogley-Parabraunerde von geringer Entkalkungstiefe, hervorgegangen aus tonig-lehmiger Würm-Grundmoräne. Dementsprechend sind vorherrschende Zeigerpflanzen im Grünland: die Rasenschmiele (*Deschampsia caespitosa*), das Gänsefingerkraut (*Potentilla anserina*) und der Scharfe Hahnenfuß (*Ranunculus acer*). Die Bodenzahl schwankt zwischen 50 und 60. Am tiefer liegenden östlichen Teil des Versuchsgeländes, vor dem Hochwald, treten Bändertone auf, welche die obstbauliche Eignung mäßig beeinträchtigen. Dort besteht auch wegen der Stauwirkung des Waldes ein erhöhtes Spätfrostisiko.

Nach der „Ökologischen Standorteignungskarte für den Erwerbsobstbau in Baden-Württemberg 1: 250 000“ (WELLER, F., SILBEREISEN, R. et al., 1978) ist die Versuchsfläche Teil der Großlandschaft VII-ALPENVORLAND, Teillandschaft VII b-ÖSTLICHES BODENGEBIET, Standortkomplex VII b1-BAVENDORF-AILINGER FLACHHÜGELLAND. Für diesen Standortkomplex typisch ist folgende obstbau-ökologische Beschreibung:

* Versuchsstation (VS) und Institut für Obstbau (IfO) Bavendorf der Universität Hohenheim, D-88213 Ravensburg

** Verbandspolitische Vereinigung der baden-württembergischen Landkreise Konstanz, Bodenseekreis und Ravensburg sowie des bayerischen Landkreises Lindau

Plan der Versuchsstation

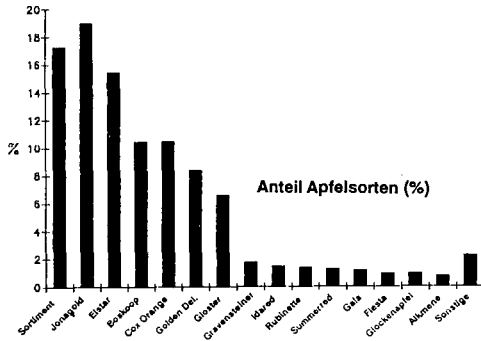


Frischer, teils mäßig wechselfeuchter, schwach toniger, schwach kiesiger und kalkhaltiger Lehmboden von mittelmäßiger bis guter Fruchtbarkeit in mäßig warmem Klima und in wenig spätfrostgefährdeter, schwach geneigter Hanglage. Die obstbauliche Leistung begrenzende Standortfaktoren sind verbreitet mangelhafte Bodendurchlüftung und Spätfrost; als weitere leistungsschwächende Faktoren kommen vereinzelt geringe Wärme, Trockenheit und hoher Kalkgehalt sowie die betriebswirtschaftlich nachteilige Hanglage vor.

b) Obstbauliche Eignung der natürlichen Standortverhältnisse

Für den Anbau der meisten **Marktapfelsorten** sind die **natürlichen Bedingungen** in diesem Standortkomplex **größtenteils sehr gut bis gut**, ebenso für die in der Region weniger bedeutsame erwerbliche Nutzung von Sauerkirschen, Pflaumen und Zwetschen, Erdbeeren und Strauchbeeren-allgemein; weniger geeignet dagegen ist der Bavendorfer Standort für den Anbau von Süßkirschen, Pfirsichen und Walnüssen; eine mittelmäßige Eignung liegt für Marktäpfelbimen vor.

Anteil Apfelsorten in %



c) Klimadaten

An der Bavendorfer Wetterstation wurden seit 1961 und bis 1993 folgende Werte gemessen:

TEMPERATUR

- Jahresmittel = + 7,8° C
- Vegetationszeit = +12,8° C (April bis Oktober)
- absol. Maximum = +38,0° C am 27.7.1983
- absol. Minimum = - 24,6° C am 12.1.1987

NIEDERSCHLAG

- Jahresmittel = 940mm mit ausgeprägtem Maximum (> 100mm) in den Monaten Mai, Juni und Juli

SONNENSCHEN

- Jahresmittel = 1650 Stunden.

d) Forschungsschwerpunkte

Die Schwerpunkte der Forschung sind:

- Ertragsphysiologie und Anbau

Grundlagen: Blütenbildung und Alternanz, Assimilateproduktion und -transport, Mineralstoffversorgung und Parameter der Fruchtqualität

Maßnahmen: Chemische Ausdünnung, Bodenpflege, Düngung und Wachstumsregler

- Phytopathologie und Pflanzenschutz

Grundlagen: Optimierung der Mittelformulierung, biologische Wirksamkeit derselben, Minimierung der Phytotoxizität, Abwehrmechanismen der Pflanze gegen Pathogene

Maßnahmen: Apfelschorfbekämpfung, Verbesserung von Frühwarnsystemen, Erkennen der Resistenzentwicklung

- Inhaltsstoff- und Rückstandsanalytik

Grundlagen: Minderung des Eintrages von Pflanzenschutzmitteln in die Umwelt, Abbauverhalten dieser Mittel, Funktion von Vitaminen in der Pflanze

Maßnahmen: Optimierung der Applikationstechnik, exogene Applikation von Vitaminpräparaten bei Pflanzen.

- Nacherntphysiologie und Lagerung

Grundlagen: Bestimmung des optimalen Erntetermins, Prognose der Lagereignung, Verbesserung der Lagertechnik, Verfahren zur Kontrolle der Fruchtalterung.

Maßnahmen: Vorernteuntersuchungen, Anwendung moderner Analyseverfahren zur Erhaltung wertgebender Inhaltsstoffe und Ermittlung der Abbauraten von Rückständen.

Diese Schwerpunkte sind auf eine ökologisch und biologisch integrierte Produktion sowie auf die Erhaltung hoher Fruchtqualitäten ausgerichtet einschließlich der marktwirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit der Obstbaubetriebe in der Region.

Teil 1: Das Versuchsfeld

Aus dem umfangreichen Versuchsfeld und -programm werden 3, für die bodenkundliche Jahrestagung themenverwandte Beispiele aus dem Obstbau vorgestellt:

1.1 Umweltschonende Bodenpflege

1.1.1 Alternativen zu Herbiziden

Frage: Eignung und technische Realisierbarkeit verschiedener Verfahren zur Baumstreifenbehandlung bei zwei Apfelsorten (vgl. Tab 1).

Der Einsatz von Herbiziden wirft über Resistenzbildungen bei Gräsern und Unkräutern pflanzenbauliche und ökologische Fragen auf. Ein Ersatz durch geeignete alternative Maßnahmen ist deshalb vordringlich. Bei Konkurrenz zwischen natürlichem Bewuchs und den Obstbäumen im Baumstreifen fruchten Jungbäume spät und der Wuchs ist mangelhaft.

Die Ergebnisse nach 4/5 Jahren zeigen, daß es eine durchschlagende Alternative zur Anwendung von Herbiziden derzeit nicht gibt. Die verschiedenen Varianten (9) bewirkten auf dem unkrautwüchsigen Standort entweder eine unzureichende Unkrautbekämpfung oder sie sind sehr aufwendig an Material und Kosten. Die Infrarottechnik oder dauerhaft haltbare synthetische Bedeckungsmaterialien kommen deshalb nicht in Frage. Beste Möglichkeiten bietet die mechanische Bearbeitung mit dem Rotorkrümler.

Tabelle 1: Durchschnittsertrag im 3.(1992) und 4.Standjahr in kg/Baum bei unterschiedlicher Bodenpflege

Bodenpflege	Pflanzsystem: 3,4 x 1,4m		Pflanzsystem: 2,7 x 0,7m	
	Cox Orange	Jonagold	Cox Orange	Jonagold
Unterschneidergerät	1,9 (95)*	4,5 (105)	2,2 (96)	2,4 (126)
Rotorkrümler	2,3 (115)	3,8 (88)	2,2 (96)	2,3 (121)
Rotorkrümler + Einsaat	2,7 (135)	4,1 (95)	1,7 (74)	2,4 (126)
Infrarot	2,2 (110)	4,1 (95)	1,8 (78)	1,7 (89)
Gewebefolie	2,6 (130)	3,3 (77)	2,6 (113)	2,3 (121)
Mulchfolie	3,8 (190)	4,1 (95)	2,7 (117)	3,3 (174)
Rindenmulch	2,1 (105)	3,5 (81)	2,0 (87)	1,6 (84)
Schälrindenmulch	1,8 (90)	3,3 (77)	1,9 (83)	1,9 (100)
Stroh	2,3 (115)	4,3 (100)	3,1 (135)	2,2 (116)
Herbizid	2,0 (100)	4,3 (100)	2,3 (100)	1,9 (100)
GD. 0,5	ns	ns	ns	0,7

* Werte in Prozent zu den Herbizidparzellen (gerundet)

1.2 Umweltschonende Düngung
1.2.1 Fertigation* im Apfelanbau

Als Vorteile der Fertigation (=düngende Tropfbewässerung) werden häufig optimales Wachstum der Bäume, frühe Blütenbildung, hoher Ertrag und günstige Fruchtqualität angeführt.

Ein im Jahre 1990 angelegter Versuch dient der Prüfung des Fertigungsverfahrens unter den örtlichen Boden- und Klimabedingungen. Es werden folgende Versuchsglieder miteinander verglichen: Kontrolle (Ko, 15 bzw. 7,5 g N/Baum am Anfang der Vegetationsperiode auf den 0,8m breiten Baumstreifen gestreut, ohne Zusatzbewässerung), Tropfbewässerung (TB, 15 g N/Baum wie bei Ko + Wasser) und die 4 Fertigungsbehandlungen: 1N bzw. 1/2 N in Form von Mehrnährstoffdünger), 15 g N/Baum als Kalksalpeter (Ca) und eine variable (Mix) Erfahrungsvariante. Die Fertigungsdünger sind in Wasser gelöst. Zwischen Ende April/Ende Juli wird täglich 1x Düngelösung und bis zu 3x Wasser gegeben, außer in Nässeperioden. Alle Versuchsglieder sind in 6 vollständigen Blocks mit Herbizidbehandlung oder Graswuchs unter den Bäumen vertreten. Die Grasteilstücke erhalten die 2-3fache N-Menge der mit Herbizid behandelten Flächen.

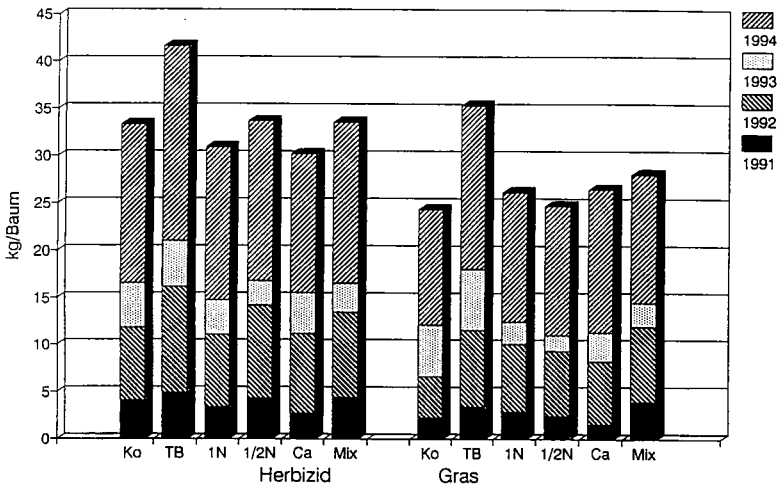
Deutliche Wachstumsdepressionen zeigten sich vor allem in den ersten Versuchsjahren bei Grasunterwuchs. Der Wuchs der Bäume in den Herbizid- bzw. Grasparzellen hat sich mittlerweile einander angeglichen.

Eine Verbesserung der Blütenbildung konnte durch Fertigation nicht erreicht werden. Hinsichtlich des Ertrags unterschieden sich die fertigierte Bäume nicht von den Kontrollbäumen. Tropfbewässerung erbrachte insbesondere bei Elstar die höchsten Erträge, weil die Bäume in diesem Versuchsglied die größten waren. Die Grasparzellen blieben ertragsmäßig hinter den herbizidbehandelten deutlich zurück.

Hinsichtlich Fruchtgröße, Fruchtfarbe, Fruchtfleischfestigkeit, Lagereignung der Früchte sowie dem Mineralstoffgehalt der Früchte ergaben sich keine auffälligen Unterschiede durch die Düngevarianten; dieselbe Feststellung gilt für die beiden Bodenpflegesysteme "Grasunterwuchs" bzw. "Herbizidbehandlung". Dafür dürfte hauptsächlich die vorgenommene Fruchtausdünnung verantwortlich sein.

Fazit: Unter den örtlichen Boden- und Klimabedingungen erscheint der Einsatz von Fertigation beim Abwägen ihrer pflanzenbaulichen Möglichkeiten gegen die Investitionskosten nicht gerechtfertigt.

Abbildung 1: Kumulative Erträge 1991-1994 bei der Sorte 'Elstar'



* ein Kompositum aus *Fertilization* (Düngung) und *Irrigation* (Beregnung)

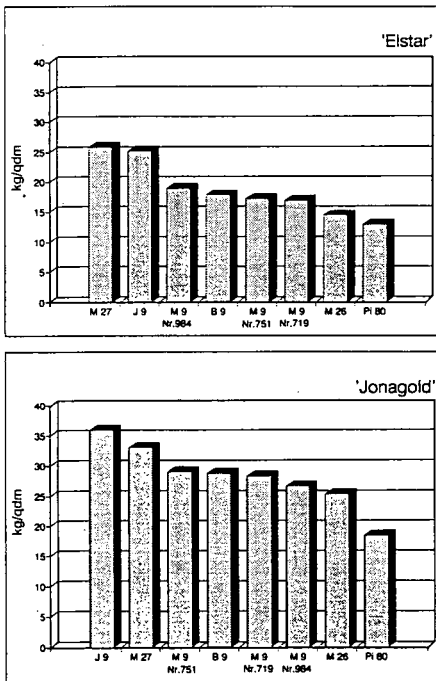
1.3 Sortenprüfung

1.3.1 Anbauvergleich mit schwachwachsenden Apfel-Unterlagen

Die Suche nach der "idealen" schwachwachsenden Unterlage für den intensiven Apfelanbau hält weltweit an. Mit der verbreitet genutzten Unterlage 'M9', selektiert aus dem Angebot an zufälligen, wildartigen Sämlingen in Europa, ist man diesem Ziel ziemlich nahegekommen. 'M9' zeigt jedoch Mängel in Mitteleuropa wie nicht ausreichende Härte von Sproß und Wurzel gegenüber extremen Winterfrösten oder eine für hochintensive Dichtpflanzungen (6000 bis 8000 Bäume pro ha), insbesondere bei Veredlung mit starkwüchsigen, meist triploiden Sorten, zu geringe Schwächung des vegetativen Wachstums.

Wichtiges Merkmal einer verbesserten Unterlage ist u.a. ihre auf einen vegetativen Parameter bezogene Ertragsleistung. Abbildung 2 gibt einen Überblick zu dieser Frage für 9 verschiedene, relativ schwachwachsende Unterlagen am Beispiel von 2 marktwichtigen Apfelsorten:

Abbildung 2 : Ertrag pro Stammquerschnittsfläche (kg/qdm) bei 'Elstar' und 'Jonagold'; Mittelwerte 1987 - 1994 (3. - 10.Standjahr)



- Einteilung dieser Unterlagen
- Neuzüchtungen: B9, J9, M26, M27 und Pi80
 - Mutanten von 'M9': Nr. 751, 719 und 984 (nach BURGMER)

Teil 2: Die Versuchslager

Ein Forschungsschwerpunkt an der Versuchsstation bildet der Bereich Nacherntephysiologie und Lagerung. Es sind verschiedene Lagerräume vorhanden, in denen Versuche in unterschiedlicher Größe und unter sehr verschiedenen Lagerbedingungen durchgeführt werden. Zudem ermöglicht eine spezielle Lagereinrichtung, bestehend aus 48 kleineren Lagerbehältern, in denen nahezu alle Lagerfaktoren beliebig verändert und kontrolliert werden können, mehr grundlegende Untersuchungen zur Frucht- und Nacherntephysiologie.

Das Ziel der Obstlagerung ist die möglichst verlustarme Qualitäts- und Mengenerhaltung der Lagerware. Beeren- und Steinobst lassen sich wegen ihrer hohen Stoffwechselaktivität und der damit bedingten geringen Haltbarkeit nach der Ernte nur kurze Zeit zwischenlagern, während bei einigen Apfel- und Birnensorten eine erfolgreiche Lagerung bis zu 8-10 Monaten möglich ist. Die Lagerdauer wird dabei von den biologischen Gegebenheiten (Sorte, Reife, Fruchtbehang) zusammen mit den technischen Möglichkeiten (Kühlagerung, CA-Lagerung) bestimmt. Auch nach der Auslagerung müssen die Äpfel noch über eine Haltbarkeitsreserve verfügen, um die Vermarktung bis zum Verbraucher bei guter Qualität zu überstehen.

Bei den heute üblichen Lagermethoden für Äpfel kommen zur Reduzierung von Lagerverlusten folgende Lagerverfahren zur Anwendung:

- Kühlung: Absenkung der Lagertemperatur und Erhöhung der relativen Luftfeuchte
- CA-Lagerung (CA = Controlled Atmosphere): Kühlung mit Änderung der Gaszusammensetzung der Lagerluft.

Wie alle lebenden Organe nehmen auch Äpfel bei der Atmung ständig Sauerstoff (O_2) auf und geben etwa die gleiche Menge Kohlendioxid (CO_2) ab. Wird die Konzentration dieser am Atmungsstoffwechsel beteiligten Gase stärker geändert, kann die Höhe der Fruchtatmung nachhaltig beeinflusst werden. Bei gleichzeitiger Anwendung niedriger Temperaturen und CA-Bedingungen im Lager lässt sich die Lagerdauer der meisten Apfelsorten im Vergleich zur herkömmlichen Kühlung etwa verdoppeln. Eine besonders wirksame Variante der CA-Lagerung ist die sog. ULO-Lagerung (ULO = Ultra Low Oxygen), wobei mit tiefstmöglichen Sauerstoffkonzentrationen um 1 % gearbeitet wird, die die Fruchtatmung sehr wirksam reduzieren ohne bereits zu Gärungserscheinungen zu führen.

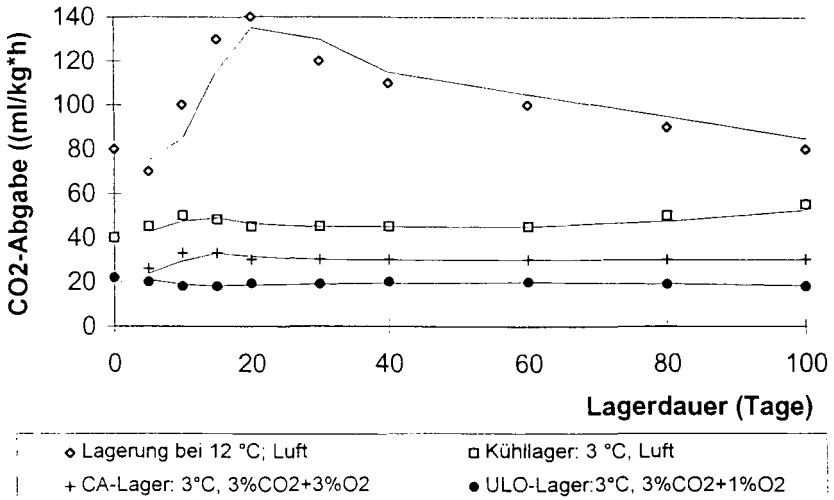


Abbildung: 1 Atmung von Äpfeln unter verschiedenen Lagerbedingungen

Werden Früchte in einem gasdichten Raum eingeschlossen, vermindert sich die O₂- und steigt die CO₂-Konzentration infolge der Fruchtatmung. Allerdings muß in diesen Prozeß regulierend eingegriffen werden, da bei zu hohen CO₂-Konzentrationen (über 3-8%, je nach Sorte) und bei zu niedrigen O₂-Konzentrationen (unter 2-1%, je nach Sorte) Schäden an den Früchten auftreten können. Die Höhe der CO₂-Anreicherung kann durch Bindung an CO₂ adsorbierende Mittel (Aktivkohle, Laugen, Hydratkalk u.a.) begrenzt werden. In der vorangegangenen Abbildung ist in einem Modellfall dargestellt, wie sich die Lagerfaktoren Temperatur, Kohlendioxid und Sauerstoff, einzeln oder in Kombination eingesetzt, auf den Verlauf der Fruchtatmung im Lager auswirken.

Die Wirkung von CO₂ und O₂ auf den Reifeverlauf hat verschiedene Ursachen. Sauerstoff in genügend hoher Konzentration ist bei der Atmung notwendig. Geringe O₂-Konzentrationen wirken daher verlangsamt auf die Atmung und den weiteren Reifeverlauf. Erhöhte CO₂-Gehalte in der Lagerluft können wichtige Enzyme im Atmungsstoffwechsel hemmen. Außerdem werden Entstehung und Wirksamkeit von Ethylen beeinflusst. Ethylen wird im Verlauf der Fruchtreife verstärkt von den Früchten gebildet und spielt als Reifungshormon eine entscheidende Rolle. Sowohl die Bildung wie die reifefördernde Wirkung von Ethylen kann durch viel CO₂ und wenig O₂ unterdrückt werden.

CA-Lagerbedingungen wirken sich vor allem auf den Erhalt der Fruchtfleischfestigkeit, der Grünfärbung und hoher Säurewerte aus. Besonders wirksam sind dabei CO₂-Konzentrationen über 3% und/oder sehr niedrige O₂-Konzentrationen (ULO) zwischen 1-2%. Diese Sauerstoffwerte liegen nur knapp über dem für die Atmung kritischen Wert und müssen, um Fruchtschäden zu verhindern, mit einer zuverlässig arbeitenden Meß- und Steuereinrichtung überwacht werden. Außerdem kann die extreme Reifehemmung unter diesen CA-Bedingungen auch zu einer Verminderung der Aromabildung führen, wodurch die Äpfel nach einer solchen Langzeitlagerung zwar sehr fest, knackig und saftig sind, aber oftmals nicht mehr das typische Sortenaroma aufweisen.

Bei anderen Methoden der CA-Lagerung versucht man heute den Ethylengehalt im Lager auf besonders niedrige Werte abzusenken, um dadurch einen zusätzlichen Hemmeffekt auf die Reife und das Auftreten spezieller Lagerkrankheiten zu bekommen.

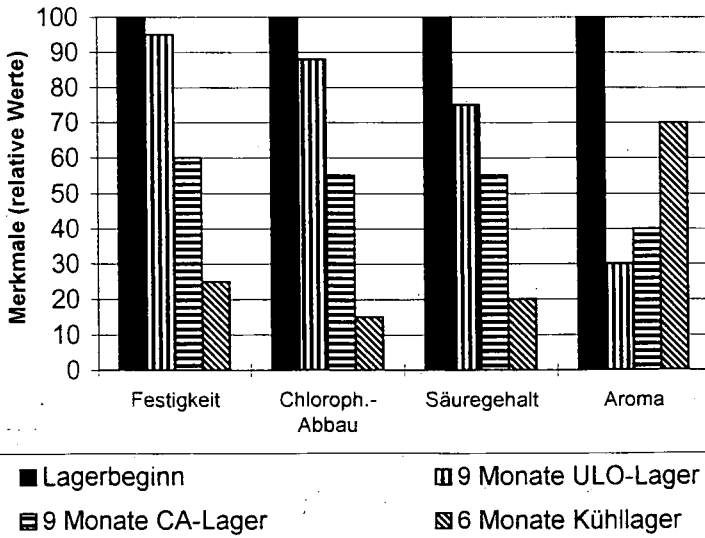


Abbildung: 2 Wirkung verschiedener Lagerverfahren auf wichtige Qualitätsmerkmale bei 'Golden Delicious'

Teil 3: Ausgewählte Projekte im Rahmen der Grundlagenforschung des Instituts

Die Versuchsanlage wird nach den Richtlinien der Integrierten Produktion bewirtschaftet. Ziel der Integrierten Obstproduktion sind langfristig ausgeglichene Ernten mit guter innerer und äußerer Fruchtqualität. Durch Ausnutzen spezifischer Sorteneigenschaften, natürlicher Abwehrmechanismen und anbautechnischer Maßnahmen soll die Verwendung von Hilfsstoffen vermindert werden. Mit dieser Art der Bewirtschaftung soll langfristig eine Förderung der Bodenfruchtbarkeit und eine geringere Belastung der Umwelt erreicht werden. Diese Bestrebungen werden durch grundlegende Untersuchungen im Labor und Gewächshaus begleitet. Die Voraussetzungen hierfür bietet das Fachgebiet Obstbau in Bavendorf, das neben dem Versuchsbetrieb als Teil des Instituts für Obst-, Gemüse- und Weinbau der Universität Hohenheim in Bavendorf etabliert ist und über moderne Labors mit leistungsfähigen Meßapparaturen und nachweisempfindlichen Analysengeräten verfügt.

Der Apfelschorf, Bekämpfungs- und Resistenzmeidungsstrategien

Die ökonomisch bedeutendste Pilzkrankheit bei Apfelbäumen in gemäßigten Klimaten stellt der Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) dar. Die meisten der in der Praxis angebauten Apfelsorten sind gegen diesen Erreger anfällig. Eine akzeptable Bekämpfung kann nur durch Ausbringen von Fungiziden erreicht werden. In Deutschland sind auch im integrierten Pflanzenschutz, der unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen eine Beschränkung der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das absolut notwendige Maß vorsieht, in befallsreichen Jahren bis zu 20 Spritzungen im Jahr erforderlich, um eine ausreichende Bekämpfung sicherzustellen. Dabei werden im Bodenseeraum, wo auf Grund der relativ hohen Niederschläge von bis zu 1.000 mm pro Jahr der Schorf-Infektionsdruck besonders hoch ist, vorwiegend protektive Mittel ausgebracht, da die Gefahr der Resistenzbildung im Gegensatz zu kurativen Präparaten weitaus geringer ist. Wünschenswert im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes wäre allerdings ein Verzicht auf Spritzungen, die der Infektionsvorsorge dienen, was einen häufigeren Einsatz von kurativ wirkenden Mitteln, z.B. Sterol-Biosynthese-Inhibitoren (SBI-Fungizide), zur Folge hätte. Wenn diese Hemmstoffe der Bildung von Ergosterol, einem wichtigen Baustein der pilzlichen Membran, häufiger eingesetzt werden sollen, sind Untersuchungen zur besseren Abschätzung des Resistenzrisikos notwendig. Ferner haben entsprechende Studien gezeigt, daß die von verschiedenen Apfelsorten gewonnenen *Venturia inaequalis*-Einsporisolate unterschiedlich empfindlich auf SBI-Fungizide reagieren (Abb. 1). Diese Resultate können zur Optimierung bzw. Minderung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln herangezogen werden. So könnten anfälligere Apfelschorfrassen mit niedrigeren Fungizid-Aufwandmengen bekämpft oder unanfälligere Rassen mit Wirkstoffmischungen oder besser geeigneten Präparaten in ihrem Wachstum effektiver gehemmt werden. Für die Untersuchung der Pilzkeimung bzw. -entwicklung stehen im Institut in Bavendorf leistungsfähige moderne Mikroskope zur Verfügung, die mit einem interaktiven Bildanalyse-System gekoppelt werden können.

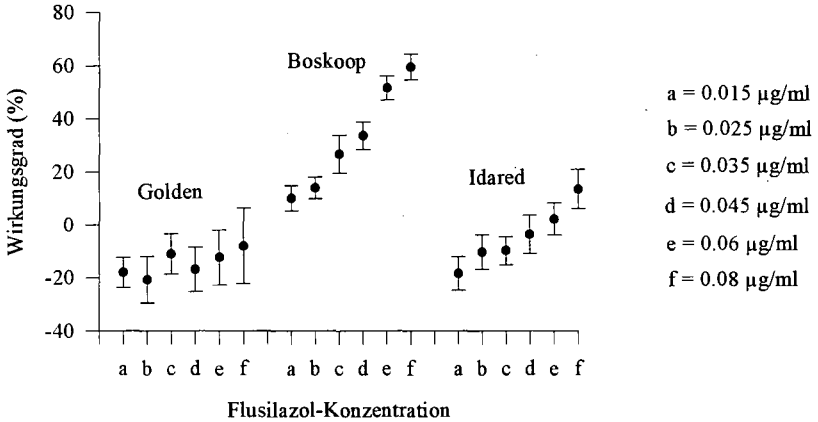


Abb. 1: Sensitivität von *V. inaequalis* Isolaten der Sorten Golden Delicious, Boskoop und Idared gegenüber dem fungiziden Wirkstoff Flusilazol. Aufgetragen sind die Mittelwerte der Wirkungsgrade von je 10 Isolaten unter Angabe der Standardfehler.

Effektiverer Einsatz von Pflanzenschutzmitteln durch Optimierung der Applikationstechnik

Weitere Möglichkeiten einer Reduzierung des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes ergeben sich aus der Optimierung der Applikationstechnik. Bei den praxisüblichen Sprühverfahren erreichen je nach Applikationsgerät im Durchschnitt nur 30-50 % der ausgebrachten Spritzlösung den Baum; der Rest belastet Boden, Grundwasser und Umwelt. Im Intensivobstbau ist bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln ein zunehmender Trend zur Reduzierung der Wasseraufwandmenge festzustellen (200-400 l/ha). Eine Verringerung der Wasservolumina kann jedoch aufgrund der Ausbildung kleinerer Spritztropfen zu einer höheren Abtrift, einer ungleichmäßigeren Spritzbelagsdichte auf den Pflanzenoberflächen und zu Beeinträchtigungen der biologischen Wirksamkeit des ausgebrachten Präparates führen. Bei systemischen Pflanzenschutzmitteln, deren biologische Wirkung eine Cuticulapassage voraussetzt, stellen zudem Aufnahme und Verteilung des Wirkstoffes im pflanzlichen Gewebe kritische Parameter dar. Am Beispiel des Schorf-Fungizides Benicap (Wirkstoff Flusilazol) wurde nachgewiesen, daß die höchste Wirkstoffaufnahme bei Apfelblättern und -früchten bei einer Wasseraufwandmenge von 500 l/ha zu erzielen war (Abb. 2). Eine Erhöhung des Wasservolumens auf 1.000 l/ha oder Verminderung auf 200 l/ha resultierte in einer niedrigeren Flusilazol-Aufnahme. Dies wurde durch Analysen sowohl der in die Blätter und Früchte aufgenommenen Wirkstoff-Fraktion als auch durch quantitative Bestimmung der auf den Pflanzenoberflächen verbliebenen Wirkstoffreste dokumentiert.

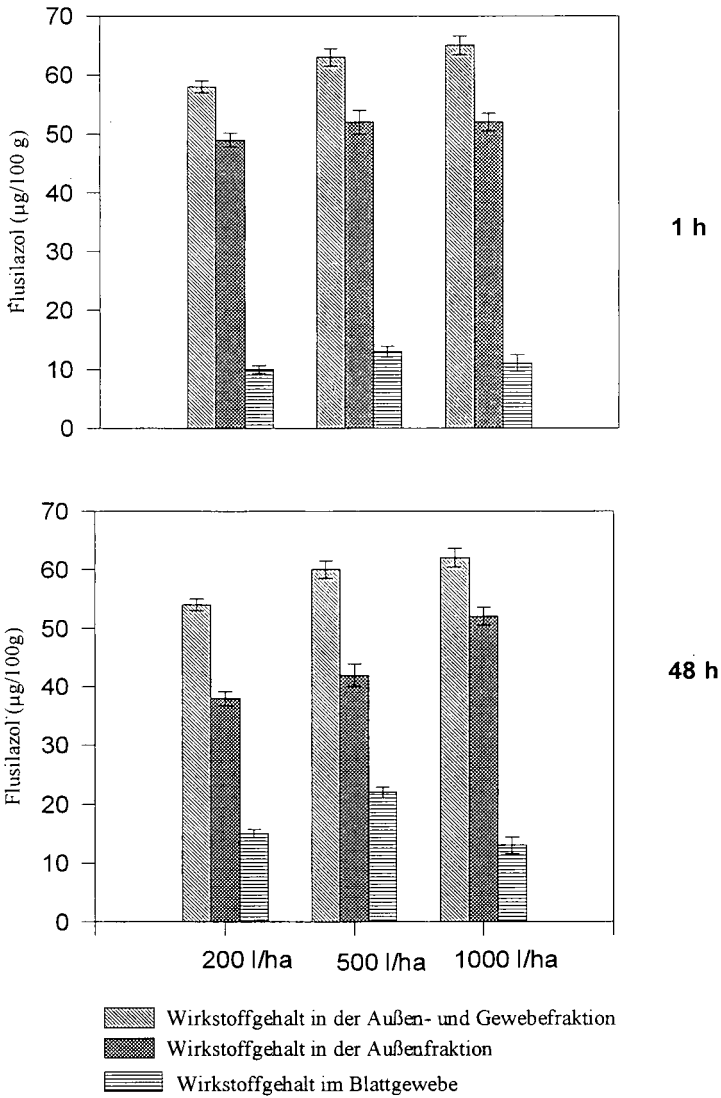


Abb. 2: Wirkstoffaufnahme von Flusilazol in das Blattgewebe 1 h und 48 h nach Applikation des Fungizids Benocap mit 1000 l/ha, 500 l/ha und 200 l/ha Wasser an Apfelbäumen der Sorte 'Jonagold'.

Ursachen der Rußfleckenkrankheit und Möglichkeiten der Bekämpfung

Eine Minderung des Einsatzes von Fungiziden im Rahmen der integrierten Produktion sowie der Anbau schorfresistenter Apfelsorten haben wesentlich zur Zunahme der Rußfleckenkrankheit beigetragen. In vielen gemäßigten Regionen der Welt stellt diese Schalenstörung eine der

häufigsten Pilzkrankheiten beim Apfel dar. Im Südosten der USA verursacht sie in manchen Jahren einen Verlust von bis zu 25 % der gesamten Apfelernte. Auch am Bodensee, einem der wichtigsten Apfelanbaugebiete Deutschlands, hat sie in den letzten Jahren vor allem im biologischen Obstbau an Bedeutung sehr stark zugenommen. Für die Bekämpfung stehen hier nur wenige und zum Teil unzureichend wirksame Präparate zur Verfügung. Jüngste Untersuchungen aus den USA weisen darauf hin, daß es sich bei dem Erreger nicht, wie seit 1832 angenommen, um *Gloeodes pomigena* handelt, sondern daß offensichtlich mehrere, zum Teil noch nicht näher charakterisierte Pilze diese Krankheit verursachen. Welche pilzlichen Erreger in Deutschland diesen wirtschaftlich bedeutenden Schaden hervorrufen, der sich in Form grünlich-schwarzer, verwaschener Flecke unterschiedlicher Größe auf der Fruchtoberfläche manifestiert, ist nicht bekannt und wird derzeit am Institut in Bavendorf eingehend erforscht. Eine Identifizierung und genaue Charakterisierung sowie die Kenntnis der Wachstums-, Entwicklungs- und Infektionsbedingungen der beteiligten Pathogene ist Voraussetzung für eine wirkungsvolle, gezielte Bekämpfung.

Modellsystem zur quantitativen Bestimmung der cuticulären Wirkstoffpenetration

Viele der heute in der landwirtschaftlichen Pflanzenschutz-Praxis ausgebrachten systemischen Wirkstoffe, bei denen eine Aufnahme in das pflanzliche Gewebe Voraussetzung für die Entfaltung der gewünschten biologischen Wirkung ist, werden nur zu einem geringen Teil in die Pflanze aufgenommen, häufig nur in der Größenordnung von 1-5 % der auf die Pflanze aufgebrauchten Menge. Hauptursache hierfür ist die Cuticula mit den ein- und aufgelagerten Wachsen, die die erste und größte Barriere für den Durchtritt von exogen applizierten Substanzen darstellt. Eine Verbesserung der cuticulären Wirkstoffaufnahme ist vielfach durch den Zusatz von Hilfsstoffen, wie Lösungsmitteln, Tensiden und Adjuvantien, zu erzielen, die im Rahmen des industriellen Formulierungsprozesses dem Wirkstoff zugesetzt werden. Da die Mechanismen der cuticulären Wirkstoffpassage immer noch weitgehend ungeklärt sind, basiert die Formulierung von Substanzen in der Regel auf dem „trial and error“-Prinzip. Nicht selten sind daher, auch bei schon auf dem Markt etablierten Pflanzenschutzmittel-Präparaten, noch signifikante Steigerungen der Wirkstoffaufnahme um den Faktor 5-10 möglich. Allein eine Verdoppelung der Penetration der Aktivsubstanz durch Zusatz wirkungsvollerer Hilfsstoffe würde, die gleiche biologische Wirkung vorausgesetzt, eine Halbierung des Wirkstoffeinsatzes pro Hektar erlauben und die Umweltbelastung um denselben Betrag reduzieren. Derartige Optimierungen werden im Institut in Bavendorf unter besonderer Berücksichtigung der Interaktionen zwischen Pflanze, Wirksubstanz und Formulierungshilfsstoffen vorgenommen. Für diese Zwecke sind auch spezielle Modellsysteme entwickelt worden, die ein besseres Studium der komplexen Vorgänge auf cuticulärer Ebene erlauben.

Die cuticuläre Penetration gelöster Substanzen wird als Diffusionsprozeß betrachtet (NORRIS und BUKOVAC, 1969). Dabei ist das unterschiedliche Konzentrationsgefälle zwischen der Außen- und Innenseite der Cuticula die treibende Kraft. Neben der Cuticuladicke stellt die Molekülgröße und eventuelle Ladung der Wirksubstanzen einen Faktor dar, der die Schnelligkeit und das Ausmaß der Penetration bestimmt. Dies trifft auch für Calcium zu. Calcium-Voremspritzungen werden im Apfelanbau regelmäßig zur Verbesserung der Haltbarkeit der Früchte und Minderung physiologischer Lagerkrankheiten ausgebracht. Trotz Mehrfachapplikation und Einsatz vergleichsweise hoher Konzentrationen findet jedoch nur eine begrenzte Ca-Aufnahme in das Blatt- und Fruchtgewebe statt. Es wurde daher ein Modellsystem entwickelt, das bei ausreichend hoher Nachweissensitivität für Ca^{2+} das Studium der Penetrationsvorgänge und der kritischen Einflußfaktoren im Kompartiment Cuticula ermöglicht (OHKOUCHI et al., 1997). In diesem Modell werden speziell angefertigte Diffusionsküvetten definierten Volumens verwendet, auf die enzymatisch isolierte Pflanzen-cuticeln aufgespannt werden. Auf die physiologische Cuticula-Außenseite werden anschließend 1 μl - CaCl_2 -Tropfen appliziert. Die Ca^{2+} -Konzentration in der mit der Cuticula-Innenseite in direktem Kontakt stehenden 'Receiver'-Lösung erfolgt mittels einer Ca^{2+} -sensitiven Mikroelektrode.

Einsatz von Vitaminen bei Obstgehölzen zur Förderung der pflanzeigenen Streßabwehr

Zahlreiche Streßfaktoren, wie z.B. Hitze, Kälte, UV-Strahlung oder Umweltschadgase, können in den pflanzlichen Zellen zur Bildung von Sauerstoffradikalen führen. Sauerstoffradikale sind besonders aggressive Substanzen, die in einer Schädigung der Pflanzen resultieren können. Es zeichnet sich in neueren Untersuchungen ab, daß einigen Vitaminen, wie dem Vitamin C (Ascorbinsäure) und Vitamin E (Tocopherol), eine bedeutende Funktion beim Schutz der Pflanze vor Streß zukommt. Man nimmt an, daß diese Vitamine in der Lage sind, Radikale zu inaktivieren, die sonst zu einer Schädigung der Pflanze führen würden.

Alle Formen von Streß beeinflussen direkt oder indirekt die Leistungsfähigkeit der Pflanze und somit die Verfügbarkeit von Stoffen, die auch für das Wachstum und die Entwicklung der Früchte sowie für die Synthese wertgebender Inhaltsstoffe, wie z.B. Farbstoffe oder Vitamin C, benötigt werden. Eine verminderte Beeinträchtigung des Stoffwechsels durch Streß dürfte demzufolge in einer Förderung der Fruchtqualität resultieren.

Im Rahmen eines Forschungsschwerpunktes konnte der Nachweis geführt werden, daß die Applikation eines formulierten Vitamin E-Präparates (Flentge Pflanzenstärkungsmittel, Lage) im wöchentlichen bzw. 14-tägigen Abstand im Zeitraum von der Blüte bis ca. 6 Wochen vor der Ernte in einem signifikant verminderten Schorfbefall der Bäume, einer Förderung der Ausfärbung der Früchte (SCHMITZ und NOGA, 1997) sowie in einer Erhöhung des Vitamin C-Gehaltes resultierte, der im Fruchtsaft analysiert wurde (OBAID, 1996). Deutlich niedrigere Vitamin C-Gehalte wurden in der Kontroll- und in der Leerformulierungsvariante (Präparat ohne Tocopherolzusatz) nachgewiesen (Abb.3). Diese Resultate dokumentieren, welches bislang noch nicht ausgeschöpfte Potential die Erforschung und konsequente Ausnutzung pflanzeneigener Abwehrmechanismen bietet.

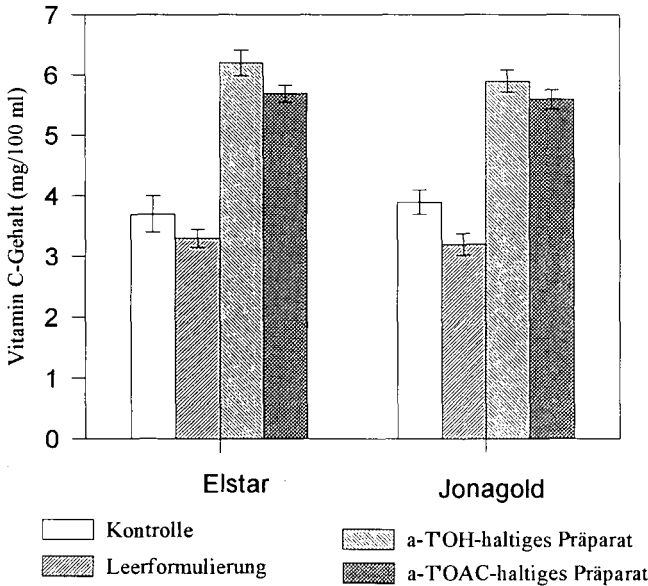


Abb. 3: Vitamin C-Gehalte im Saft von Apfelfrüchten der Sorten 'Elstar' und 'Jonagold' zum Zeitpunkt der Ernte nach regelmäßigen Behandlungen der Bäume mit Tocopherol, Tocopherolacetat bzw. der entsprechenden Leerformulierung. Mittelwerte \pm Standardfehler.

Literatur

- DOLEGA, E., 1995: Einfluß der Fertigation auf das Ertragsverhalten und auf die Fruchtqualität zweier Apfelsorten. 32. DGG-Jahrestagung, Weihenstephan, S.78.
- HIMMELSBACH, J., 1995: Untersuchungen zur Bodenpflege im Apfelanbau. Diss. Universität Hohenheim, 180 S., Verlag Grauer, Stuttgart.
- NORRIS, A. and M.J.BUKOVAC, 1969: Some physical-kinetic considerations in penetration of naphthalenicaceticamide through isolated pear leaf cuticle. *Physiol. Plant.* **22**, 701 - 712.
- OBAID, H., 1996: Auswirkungen und Bedeutung einer exogenen Applikation von alpha-Tocopherol und alpha-Tocopherolacetat bei Apfelbäumen für die Abwehr oxidativen Stresses bei Blättern und Früchten unter besonderer Berücksichtigung des Ertrages sowie der Qualität und Lagerfähigkeit der Früchte. Diss. Universität Bonn.
- OHKOUCI, T., M. J. BUKOVAC and G.NOGA, 1997: Improving calcium penetration measurement an factors affecting cuticular penetration. *Acta Hort.* (in press).
- SCHMITZ, M. and G. NOGA, 1997: alpha-Tocopherol reduces environmental stress and improves fruit quality. *Acta Hort.* (in press).
- SILBEREISEN, R. und F.SCHERR, 1996: Anbauvergleich mit schwachwachsenden Unterlagen. *Erwerbsobstbau* **38**, 98-106.
- STREIF, J., 1995: Optimierung der CA- und ULO-Lagerung. *Besseres Obst (Österreich)*, **40**, 18-20.
- WELLER, F., R.SILBEREISEN, K.-F.SCHREIBER und F.WINTER, 1978: Ökologische Standorteignungskarte für den Erwerbsobstbau in Baden-Württemberg 1: 25 000. Hrsg.: Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg, Stuttgart 1978, 67 S. und 2 Karten.

Exkursion

H 8

Hofgut Rengoldshausen

von

E. von Wistinghausen, W. Sorms und G. Neyrinck¹

Biologisch-dynamisch bewirtschafteter Land- und Gartenbaubetrieb mit Ausbildung

Exkursionsleitung: E. von Wistinghausen

Inhalt	Seite
1. Anfahrtsroute: Konstanz - Meersburg - Rengoldshausen	528
2. Exkursionsverlauf	530
3. Hofbeschreibung: Gut Rengoldshausen	530
4. Biologisch-dynamische Bewirtschaftung	533
5. Ausbildung: Landwirtschaftliches Grundjahr	535

¹ Betriebsgemeinschaft Hofgut Rengoldshausen, 88662 Überlingen-Rengoldshausen

1. ANFAHRTSROUTE

Insel Mainau - Egg - Konstanz-Staad - Fähre

Meersburg Kaiserburg, Karl d. Große, im 7. Jahrhundert erbaut, 16. Jahrhundert umgebaut. 1526-1803 Bischofssitz, Neues Schloß.
Von der Fähre aus, Stadtanlage, Burg und Bischofssitz, sehr schön zu sehen

Unteruhldingen Rekonstruktion von Pfahlbauten aus der Bronzezeit - Museum.

B 31 - Birnau Klosterkirche, 1222 zum 1. Mal genannt, 1740 verlegt, 1747 jetzige Barockkirche erbaut.
Bei klarem Wetter schönster Blick auf die Schweizer Alpenkette mit dem Hausberg Säntis, 2505 m, Kreide - "Hat der Säntis einen Degen, gibt es übermorgen Regen, hat der Säntis einen Hut, wird das Wetter gut".

Abfahrt Nußdorf, Vorort von Überlingen.

Überlingen Ehemalige Freie Reichsstadt mit Wehrtürmen, Stadtmauer, Münster und historischem Rathaus, sehr schöne alte Innenstadt.
Geologisch interessant ist ein tief in die Molasse eingeschnittener Erosionsgraben und im Westen die Gletschermühle in der Molasse mit ca. 30 m Durchmesser.

Im Ort Nußdorf rechts Richtung Salem, ca. 3,5 km nordwärts, kurz vor der Kreuzung rechts, Einfahrt **Hofgut Rengoldshausen**.

Hinter der Kreuzung Freie Walddorfschule am Bodensee mit geschwungenem roten Dach - der Landschaft angepaßt. Gründung 1973. Sehr schönes Foyer in Holzkonstruktion.

E
35 15 300

N
52 91 000

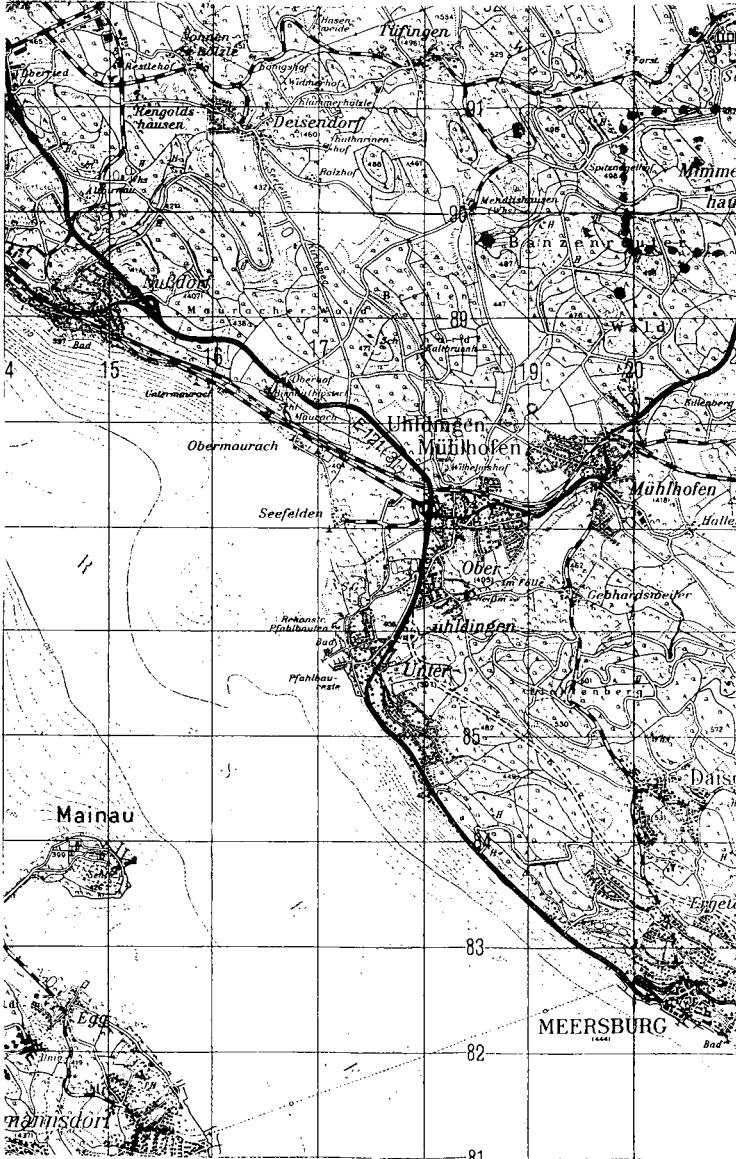


Abb. 1: Anfahrtsroute und Standort Rengoldshausen
Ausschnitt aus Meßtischblatt Konstanz, 1:50000, L 8320

2. EXKURSIONSVORLAUF

Diese kurze Skizze über das Hofgut Rengoldshausen als Vollerwerbs- und Ausbildungsbetrieb kann nur aphoristisch sein. Es mag aber Anregung sein, zwischen rein fach-pädagogischen Vorträgen und Exkursionen Einblick in einen ökologisch orientierten Betrieb zu nehmen.

Die Böden sind und bleiben die Grundlage aller Lebensvorgänge und somit auch Grundlage der Produktion von Lebensmitteln. Rengoldshausen zeigt sich mit seinen Pflanzen, Tieren und Menschen, mit seinen wirtschaftlichen und sozialen Problemen, wie jeder andere landwirtschaftliche Betrieb in seiner Überlebensstrategie.

Der Exkursionsverlauf kann etwa so aussehen:

- 14.00 Uhr Abfahrt Mainau (Fahrtroute w. o. beschrieben);
- 14.30 Uhr Abholung durch Lotsen an der Fähre Meersburg;
- 14.45 Uhr Ankunft Rengoldshausen
Begrüßung durch E. von Wistinghausen mit Einführung in die Betriebsverhältnisse;
- 15.00 Uhr Alternativ Hof- und Feldrundgang - W. Sorms;
oder Gärtnerei mit Gewächshäusern und Gemüse-ABO - G. Neyrinck;
- 16.30 Uhr Kaffee, mit Vorstellung der Ausbildung und anschließender Diskussion;
- 18.00 Uhr Abfahrt (Fahrtroute wie Hinfahrt)

3. HOFBESCHREIBUNG: Gut Rengoldshausen

Das Hofgut Rengoldshausen liegt im Jungmoränen-Hügelland der Bodenseelandschaft, die mit dem schönen Namen "Herrgottsgärten" benannt wird. Einst war hier tiefster Urwald, als in Griechenland und Rom die Kultur blühte. Mönche, zuerst wohl irisch-schottische um Columban, später Zisterzienser, brachten das Christentum und mit dieser Kultur. Aus dem wilden Wald entstand eine Kulturlandschaft, die durch den Menschen in Ackerland, Wiesen, Waldsaum und Wald vielfältig und einzigartig schön und fruchtbar wurde. 1220 wird Rengoldshausen zum erstenmal genannt, ab 1269 war es im Besitz von Franziskanerinnen, später des Spitals Überlingen und wurde als Schupflehen vergeben. Das älteste Gebäude, jetzt renoviert, stammt aus dem 17. Jahrhundert. 1855 ging der Hof in Bauernbesitz über und wurde 1932 von

der Familie Voith, Heidenheim, erworben. Seit dieser Zeit bis heute wurde die Landwirtschaft und die später gegründete Gärtnerei, zunächst von Verwaltern und später von Pächtern, biologisch-dynamisch bewirtschaftet.

Heute, nachdem sich 1985 das Pachtverhältnis der Landwirtschaft und 1987 das der Gärtnerei löste, hat sich eine neue Generation eingefunden.

Betriebsübersicht

- Eigentümer:** Miteigentümergeinschaft
- Pächter ab 1985:** Gesellschaft zur Förderung der Jugend durch die Landwirtschaft, gemn. e. V.
- Bewirtschafter:** Betriebsgemeinschaft: Walter und Suse Sorms (Hof), Anne und Geert Neyrinck und Karl-Heinz Amann (Gärtnerei), Brigitte und Eckard von Wistinghausen (Landwirtschaftliches Grundjahr, Samenbau).
- Ziele:** Biologisch-dynamische Bewirtschaftung. Versorgung von Menschen mit Demeter-Produkten. Vermehrung von Saatgut (Gemüse). Grundausbildung und Ausbildung von jungen Menschen, als Vorbereitung für die Landwirtschaft, Gärtnerei und Hauswirtschaft.
- Verkehrsverbindungen:** 5 km nördlich Überlingen (Bahnhof, Schlachthof, Einkauf).
10 km Neufrach (Raiffeisengenossenschaft).
20 km Stockach (Autobahn).
5 km Lippertsreute (Demeter-Großhandel).
- Standort:** Eiszeitlicher Geschiebelehm (Würm), z. T. sehr steinig und tonig im Untergrund, über Süßwassermolasse flach hügelig.
Höhe über NN 450 m, Niederschlag \varnothing 950 mm, mittlere Jahrestemperatur 9,5° C.
- Böden:** Parabraunerden und erod. Parabraunerden aus Geschiebelehm, Pararendzinen aus sandigen Molassemergeln, in den Senken Kolluvisole, Gleye, Anmoore bis Niedermoore.

- Betriebsgröße:** 102 ha Landwirtschaft, 10 ha Gärtnerei.
- Anbauverhältnisse:** Landwirtschaft: 36 ha Grünland, z. T mit Streuobst, 23 ha Klee gras, 16 ha Getreide, 6 ha Kartoffeln, 8 ha Feldgemüse, 0,5 ha Feuchtgebiet, 2,5 ha Hof und Wege.
Gärtnerei: 10 ha Gemüsebau, 3000 m² Gewächshäuser.
- Fruchtfolge:**
- | | |
|---------------|--|
| Klee gras | So geplant, nicht immer ganz durchführbar. |
| Klee gras | |
| Kartoffeln | |
| Winter-Weizen | |
| Winter-Roggen | Einsaat von Klee- und |
| Luzerne gras | Luzerne gras als Blanksaat. |
| Luzerne gras | |
| Winter-Weizen | Zwischenfrüchte: |
| Feld-Gemüse | Hafer - Erbse - Wicke - |
| Hafer | Wickroggen. |
- Vieh:** 36 Kühe, 1 Zuchtbulle, ca. 30 Stück Jungvieh, 10 Kälber, 6 Schweine pro Jahr, 20 Bienenvölker, 8 Gänse, 6 Enten, Hühner, Spatzen, Mäuse, Regenwürmer etc.
(Zusätzlich Pferdemist aus dem angeschlossenen, aber selbständigen Reitstall).
- Gebäude:** Stall 120 Jahre alt, 1986 renoviert, Anbindestall für 36 Kühe, 1 Bulle. Darüber Heuscheune mit Hocheinfahrt, Heubelüftung, Raum für 125 t Heu. (1987), Tandemmelkstand, 5 Stände 1996. Jungviehstall 1973, neu eingerichtet 1987. Hofscheune ca. 120 Jahre alt, 1986 renoviert, mit Strohlager, Gemüse Wasch- und Sortieranlage, Getreidelager, Trockenboden. Schweinestall (Schweine, Hühner). Feldscheune 1982, als Gemüselager eingerichtet; Metallwerkstatt 1987. 2 Fahrsilos à 150 m³. 2 Jauchegruben à 200 m³, Mistkompostplatz 900 m². 4 Wohnhäuser.
- Maschinen und Geräte:** 4 John Deere-Schlepper 100, 75, 75, 50 PS, Frontlader, Frontbalkenmäherwerk, Trommelmäherwerk, 1 Ladewagen, 2-Achskipper, 1-Achskipper, Miststreuer, Jauchepumpenfaß mit

Exaktverteiler, 5-Scharvoll Dreh-Pflug, Kreiselegge mit Drillmaschine, Abele-Striegel, Hackmaschine, Präparatespritze, Kreiselheuer, Kreiselschwader u. a. (Mähdrusch und Strohpresse im Lohnverfahren).

Verarbeitung der Produkte:

Milchabtütung - Vorzugsmilch, Getreidereinigung, Brotbäckerei für Eigenbedarf, Gemüse sortieren und portionieren von Hand, Abo-Kisten.

Vermarktung:

Vorzugsmilch ab Hof, Hofladen, Gemüse- und Vorzugsmilchabo, Marktstand - Überlingen, Klein- und Großhandel.

Arbeitskräfte:

Hof: 1 Meister (LW), 4 Lehrlinge.
Haus: 1 Meisterin (HW), 1 Lehrling.
Gärtnerei: 2 Meister, 1 Gehilfe, 4 Lehrlinge und Praktikanten, 2 Haushalt.
Samenbau: 1 LTA
Grundjahr: 1 Dipl.-Ing. agr., 10 Schüler (Mitarbeit in Betrieben), 1 Hauswirtschaft.

Besonderheiten:

Einrichtung einer Grundausbildung in Landwirtschaft, Gärtnerei und Hauswirtschaft: "Landwirtschaftliches Grundjahr Rengoldshausen" z. Zt. 10 Schüler.

4. BIOLOGISCH-DYNAMISCHE-BEWIRTSCHAFTUNG

Es werden in der EU-Landwirtschaft heute ca. 80 % der Agrarerzeugnisse von ca. 20 % der Agrarunternehmer erzeugt. Das geht mit einer hochtechnisierten und chemieorientierten, arbeitskräftensparenden Landwirtschaft einher. Dies kann nicht das Ziel einer ökologischen Wirtschaftsweise sein. Aber auch ein vielfältiger Betrieb, wie das Hofgut Rengoldshausen, kann sich dem Strukturwandel nicht entziehen und muß sich weiterentwickeln. Im Bodenseekreis schließen jährlich ca. 40 Betriebe durch Generationswechsel, durch Unwirtschaftlichkeit der kleinen Einheiten, aus finanziellen Gründen, durch Überbauung etc..

Rengoldshausen wurde 1985 von der Pächtergruppe mit 45 ha LN übernommen. 1987 kam die Gärtnerei mit 1,5 ha Freiland und 1.400 m² Gewächshaus hinzu. Der Hof wurde vorher als Viehbetrieb mit ca. 30 Kühen, ca. 90 % Grünland, z. T. mit Streuobst und 10 % Ackerland bewirtschaftet. Die Vorzugsmilch war schon eingerichtet. 1996 hat der Hof 89 ha LN, 36 ha Grünland und 53 ha Ackerland, 35 Kühe und Nachzucht (71 GV). Die Gärtnerei ist von 1,5 auf 10 ha + 3000 m² Gewächshaus gewachsen. Intensiviert wurde vorwiegend durch Feldgemüsebau und Erschließung neuer Marktwege.

Vergrößerung und Intensivierung erfordert, vor allem bei einem Gemischtbetrieb, auch einen höheren Maschinenbesatz.

Biologisch-dynamisch bewirtschaftet wird dieser Hof seit 1932. Diese Wirtschaftsweise entstand 1924, also nur 8 Jahre vorher, durch eine Vortragsreihe von Rudolf Steiner auf dem Gut Koberwitz bei Breslau. Ökologische Grundgedanken wurden geäußert in dem Begriff "Landwirtschaftlicher Organismus", der im kosmisch-terrestrischen Zusammenhang steht. Der Organismus regeneriert sich weitgehend durch seine Organe Boden, Pflanzen, Tier und Mensch und produziert Überschüsse - die Nahrung für die Menschen.

In unserem Betrieb werden die Tiere aus eigenem Anbau, Grünland, Ackerfutterbau, aussortiertem Gemüse und Getreide, gefüttert. Der Mist reicht für die zu düngenden Flächen aus, ausgenommen für die Gärtnerei. Die Stallmistrotte geschieht auf einer von uns entwickelten Rotteplatte mit Rasengitterstein als durchlässige Tragfläche und Untergrundabdichtung mit Ton (Bentonit), um Verluste zu vermeiden und Gewässerverunreinigung zu verhindern (Wasserschutzzone). Es werden biologisch-dynamische Präparate eingesetzt. Eine schonende Bodenbearbeitung (On-Land-Rautenpflug, Kreiselegge) zeitgerecht eingesetzt und Zwischenfruchtbau, sind Voraussetzung für eine optimale Bodenfruchtbarkeit. Die für Rengoldshausen charakteristischen Hecken schützen vor Immission. In den Gewächshäusern werden Nützlinge eingesetzt.

Die biologisch-dynamisch bewirtschafteten Betriebe sind der AGÖL (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Landbau) angeschlossen, werden nach EG-Verordnung kontrolliert und sind nach Demeter-Richtlinien anerkannt. Die Produkte gehen unter dem Namen Demeter in den Handel.

5. AUSBILDUNG

Die Gründung der Gesellschaft zur Förderung der Jugend durch die Landwirtschaft (GJL) und die Pacht des Hofes 1985 erfolgten zu dem Zwecke, diesen Betrieb zu einem Ausbildungsbetrieb zu machen.

Vorher, 1977 wurde die Freie Landbauschule Bodensee begründet, die heute ein Zusammenschluß von 20 Betrieben - Landwirtschaft, Gärtnerei und Hauswirtschaft ist. Die Auszubildenden machen die Lehre mit Ausbildungsvertrag in den Betrieben und besuchen im Winter-Halbjahr in jedem Monat 1 Woche Kurs. Diese Kurse finden auf einem der Höfe statt. Die Landbauschule ist eine Schule ohne festes Schulhaus.

Die Auszubildenden des Hofgutes und der Gärtnerei Rengoldshausen besuchen z. T. die Kurse der Landbauschule, die u. a. auch in Rengoldshausen stattfinden.

1987 begann der Modellversuch "Landwirtschaftliches Grundjahr Rengoldshausen", eine Grundbildungseinrichtung für landwirtschaftliche Berufe in freier Trägerschaft. Es wird hier der Versuch gemacht, praktische Ausbildung im landwirtschaftlichen und Gartenbaubetrieb mit grundlegenden Fachkursen, Kunst und Erkenntnistheorie zu verbinden. Das Grundjahr liegt vor der Ausbildung mit Lehrvertrag, ist weit gefächert und dient der Entscheidungshilfe, einen landwirtschaftlichen Beruf zu ergreifen. 8-10 Schüler im Alter von 19-26 (37) Jahren lernen, arbeiten und wohnen vom 1. März bis Ende Dezember auf dem Hof.

Eine Umfrage (1996) an ehemalige Grundjahrschüler hat gezeigt, wie effektiv der Lernprozeß in der Kombination von praktischer theoretischer Ausbildung sein kann. 78 % der Grundjahrschüler haben nach dem Kurs eine landwirtschaftliche Ausbildung begonnen oder darin weitergearbeitet.

Exkursion

H 9

Ellighausen, Kanton Thurgau (Schweiz)

Marianne Bodenmann und K. Peyer¹

Aufgaben und Tätigkeit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz (FAL)

Exkursionsleitung: Marianne Bodenmann

Inhalt	Seite
1. Aufgaben und Organisation der FAL	538
2. Hauptsitz Zürich Reckenholz: Standortangaben	538
3. Ausgewählte Agrarökologieprojekte am Hauptsitz Zürich-Reckenholz	539
4. Aussenstation Ellighausen: Standortsangaben	540
5. Ausgewählte Forschungsprojekte in Ellighausen	540

¹ Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Reckenholzstrasse 191, Postfach, CH-8046 Zürich

1. Aufgaben und Organisation der FAL

Aufgaben

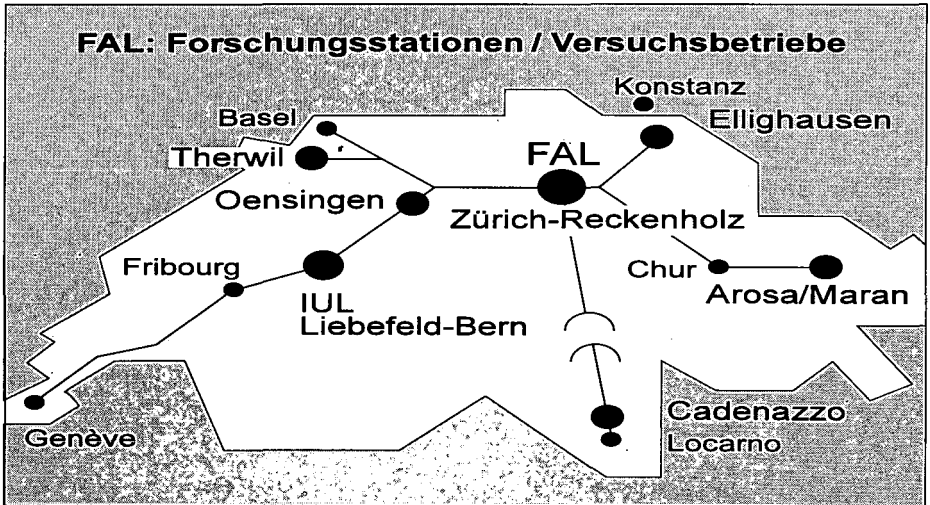
Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) ist eine von sechs landwirtschaftlichen Forschungsanstalten des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW).

Die FAL unterstützt mit ihrer Forschung die Landwirtschaft, damit Nahrungsmittel naturnah und preiswert erzeugt werden. Sie entwickelt umweltschonende Produktionstechniken und Anbausysteme, die den Boden fruchtbar erhalten, Wasser und Luft wenig belasten sowie eine grosse Artenvielfalt und eine abwechslungsreiche Kulturlandschaft ermöglichen.

Organisation

Am der FAL arbeiten über 180 Personen. Ein Drittel davon sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler; zwei Drittel der Mitarbeitenden sind im technischen und administrativen Bereich tätig.

Die FAL ist in acht Sektionen aufgeteilt, wovon drei am Standort Liebefeld (Bern) das Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) bilden. Weiter gehören die Unterstation in Cadénazzo sowie die Aussenbetriebe in Ellighausen und Oensingen zur FAL (Lage der verschiedenen Standorte siehe untenstehende Karte).



2. Hauptsitz Zürich-Reckenholz: Standortangaben

Am Hauptsitz in Zürich-Reckenholz wird vorwiegend agrarökologische Forschung im Acker- und Wiesenbau betrieben.

Zum Beispiel:

- pflanzengerechte und umweltschonende Düngung
- Verfahren zur standortangepassten Bodennutzung
- Züchten und Auslesen von resistenten und qualitativ hochwertigen Sorten
- sanfte Methoden der Krankheits-, Schädlings- und Unkrautbekämpfung
- schonendes Bewirtschaften von Wiesen und Weiden
- Schaffen und Erhalten vielfältiger Lebensräume

<p>Lage</p> <p>Am Nordrand von Zürich, 440 m über Meer, im Schweizerischen Mittelland</p>	<p>Land</p> <p>80 ha Kulturland Verschiedenartige Böden (zum Teil Re-kultivierungen); am häufigsten grund- und staufeuchte lehmige Braunerden.</p>								
<p>Niederschläge</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;">Jahresdurchschnitt</td> <td style="text-align: right;">1010 mm</td> </tr> <tr> <td>Sommerhalbjahr</td> <td style="text-align: right;">627 mm</td> </tr> </table>	Jahresdurchschnitt	1010 mm	Sommerhalbjahr	627 mm	<p>Temperatur</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;">Jahresdurchschnitt</td> <td style="text-align: right;">7,8°C</td> </tr> <tr> <td>Sommerhalbjahr</td> <td style="text-align: right;">13,5°C</td> </tr> </table>	Jahresdurchschnitt	7,8°C	Sommerhalbjahr	13,5°C
Jahresdurchschnitt	1010 mm								
Sommerhalbjahr	627 mm								
Jahresdurchschnitt	7,8°C								
Sommerhalbjahr	13,5°C								

3. Ausgewählte Agrarökologieprojekte am Hauptsitz Zürich-Reckenholz

Bodenbedecker in Mais

Im mehrjährigen Maisanbau sollen verschiedene Pflanzen als permanente Bodenbedecker geprüft werden. Ziel ist eine Begrünung während der Brache vor und nach Mais und ein lebender Mulch in Mais. Die Verminderung der Nitratauswaschung, Bodenerosion und Bodenverdichtung sowie die Reduktion von Herbizidbelastungen der Grund- und Oberflächengewässer wird angestrebt. Geprüft werden Kleearten, Kronwicke und Gräser, alle in pfluglosem Anbau mit Streifenfrässaat.

Pflugloser Anbau von Mais in grüne Pflanzenbestände

In Versuchen mit Herbst-Vorsaat von Zwischenfrüchten zur pfluglosen Saat von Mais werden verschiedene winterharte Zwischenfrüchte (insbesondere Leguminosen) angesät. Die Streifenfrässaat mit vorgängigem Mulchschnitt von Zwischenfrüchten ist die bestgeeignete Anbautechnik zur Verhinderung von Erosion und Auswaschung. Die Unkrautbekämpfung hat sich an neue Anbaumethoden anzupassen. Verschiedene Behandlungsverfahren kommen zur Anwendung: Mulchschnitt, Roundup oder Basta im Vor- oder Nachauflauf, Roundup und Schnitt sowie Sulfonylharnstoffe im Nachauflauf. Die Höhe der Stickstoff-Düngung soll sich nach der Art der Zwischenfrüchte richten. Im Herbst gesäte Kleearten sind für den Mais eine weniger grosse Stickstoffkonkurrenz, bringen viel organisches Material aufs Feld und hemmen die Erosion.

"Maiswiese"; Streifenfrässaaten von Mais in Wiesenbestände mit Zwischenreihenschnitt

Bei Streifenfrässaaten von Mais — als Extremvariante in eine Wiese nach einem Siloschnitt — bleibt die Wurzelmasse intakt und garantiert einen vollen Erosionsschutz. Für die Herbolgie stellt sich die Aufgabe, Methoden zu entwickeln, mit welchen die Funktion der Grünbedeckung erhalten bleibt ohne dass der Maisertrag gefährdet wird.

Buntbrache-Mischungen

Die Anlage von Buntbrachen wird vom Bund durch finanzielle Anreize gefördert. Bruntbrachen sollen auf stillgelegten Ackerflächen zur ökologischen Aufwertung von Landschaften und zur Verminderung von Überschüssen beitragen. In einem dreijährigen Anbauversuch werden 18 Samenmischungen geprüft. Versuchsvariable sind: Saatzeitpunkt (Frühling, Herbst), Schnitthäufigkeit, Dauer der Anlage (ein- oder mehrjährig) und Eignung für streifige oder flächige Anlage. Das Ziel besteht darin, das Verhalten der verschiedenen Mischungen zu untersuchen und Richtlinien für deren Anbau und Pflege aufzustellen.

Aufbau einer Weizen- oder Dinkelsorte

Die konventionelle Züchtung einer neuen Getreidesorte gliedert sich in drei Phasen. Mit der Kreuzung wird eine Vielfalt geschaffen, die in der folgenden Selektionsphase mit verschiedenen

Hilfsmitteln (künstliche Infektion mit Pilzkrankheiten, Qualitätsanalysen) auf die gewünschten Typen eingeengt wird. Diese werden in einer dritten Phase auf ihre Anbaueignung geprüft und entweder als neue Sorte oder neue Kreuzungspartner genutzt.

Saatgutenerkennung

In der Schweiz wird Saatgut von Weizen, Gerste, Roggen, Hafer, Triticale und Mais produziert. Die Saatgutproduktion erfolgt unter offizieller Kontrolle der Forschungsanstalten. Im Rahmen der Saatgutenerkennung werden die zur Vermehrung verteilten Saatgutposten im Nachkontrollanbau angebaut und in bezug auf Krankheitsbefall, Sortenechtheit und Sortenreinheit untersucht. Dies ermöglicht eine ständige Überwachung des inländischen und des importierten Ausgangssaatgutes. Die Nachkontrollparzellen dienen im weiteren zur Aus- und Weiterbildung von Feldbesichtigungs-experten und Saatgutvermehrern.

Beim Saatmais findet in der Schweiz die Hybridproduktion statt. Die Nachkontrollparzellen ermöglichen es, das im Vorjahr produzierte Saatgut auf Sortenechtheit zu überprüfen. Meistens ist das kontrollierte Saatgut bereits verkauft, wenn die Kontrollergebnisse bekannt werden. Unsere Untersuchungsergebnisse erwiesen sich aber bereits öfters als wichtige Beweismittel bei Reklamationen oder Rekursen.

4. Aussenbetrieb Ellighausen TG: Standortangaben

Der Landwirtschaftsbetrieb in Ellighausen (Kanton Thurgau) dient hauptsächlich der Züchtung und der Sortenprüfung sowie Pflanzenschutz-Düngungsversuchen für einen umweltschonenden Landbau.

Lage 515 m über Meer, im Kanton Thurgau	Land 34 ha Kulturland Vorwiegend schwach wasserstauende, sandig- lehmige Moräneböden, vor allem Braunerden
Niederschläge Jahresdurchschnitt 960 mm Sommerhalbjahr 589 mm	Temperatur Jahresdurchschnitt 7,9°C Sommerhalbjahr 13,7°C

5. Ausgewählte Forschungsprojekte in Ellighausen

Futterpflanzenzüchtung

Bearbeitet werden die folgenden Arten, meist auf diploider und tetraploider Stufe:

Rotklee, Italienisches Raigras, Englisches Raigras, Bastard-Raigras in geringerem Umfang
Wiesenfuchsschwanz und Weissklee.

Die Zuchtziele sind:

- gute Ausdauer für Anlagen von 2- bis 3jähriger Dauer
- anhaltende Wuchskraft über jährlich 4 Schnitte beim Rotklee und 5 bis 6 Schnitte bei den Raigräsern
- gute Resistenz gegen wichtige Krankheiten (künstliche Infektionen):
bei Rotklee : Kleekrebs und Stengelälchen
bei Gräsern: Rost, Bakterienwelke und Schneeschimmel.

Im Zuchtgarten werden Einzelpflanzen beobachtet und selektiert. Ausgelesene Pflanzen werden zu Paarkreuzungen verwendet (Rotklee) oder zu einem Polycross verklont. Wenn von einer Neuzüchtung genügend Saatgut produziert ist, werden damit Parzellenversuche angelegt. Geprüft werden Krankheitsbefall, Winterfestigkeit, Ausdauer, Ertrag und Futterqualität. Nach diesen Versuchen erfolgt eine weitere Selektion und, gestützt darauf, eine Vorvermehrung für eine neue Zuchtsorte. Erst wenn die neue Zuchtsorte die offiziellen Sortenprüfungen bestanden hat, erfolgt ihre weitere Vermehrung zu anerkanntem Saatgut, das vom Landwirt erworben werden kann. Saatgut von Gräserarten wird aus preislichen Gründen fast ausschliesslich im Ausland produziert und zu einem wesentlichen Teil auch im Ausland abgesetzt (Turilo, Axis, Lipo, Fedo, Ellire, Cervus, Gazella, Arion, Dorcas, Cavia).

Die Züchtung einer Klee- oder Grassorte benötigt von den ersten Beobachtungen im Zuchtgarten bis zum ersten Sack Saatgut, der vom Bauern gekauft werden kann, 18 bis 27 Jahre!

Brotgetreidezüchtung

An der FAL werden Winter- und Sommerweizen sowie Dinkel züchterisch bearbeitet. Bei dieser Tätigkeit gilt es neue, verbesserte Sorten mit guter Qualität und guter Krankheitsresistenz für den integrierten und biologischen Anbau zu entwickeln, die Produzent und Konsument befriedigen. Bei den Resistenzen werden Gelbrost, Braunrost, Mehltau, Spelzenbräune, Fusarien und Fusskrankheiten berücksichtigt. Daneben stehen eine gute Mahl- und Backqualität und optimale agronomische Eigenschaften (Standfestigkeit, Frühreife, Auswuchsfestigkeit, Ertragsstabilität) im Vordergrund.

Beim Dinkel werden Sorten mit typischen Dinkleigenschaften (guter Spelzenschluss, Spindelbruch und längliche Körner) und mit spezifischer Qualität entwickelt. Auch hier spielen Resistenz-Eigenschaften eine grosse Rolle.

Die Züchtung neuer Sorten ist ein langfristiger Prozess, dauert es doch von der Kreuzung bis zur fertigen Sorte rund 15 Jahre. Die verschiedenen Stufen des Werdeganges einer Sorte können im Aufbau einer Weizensorte besichtigt werden.

Sortenprüfung bei Brot- und Futtergetreide

In den Sortenprüfungen stehen pro Getreideart je 25 Sorten inländischer und ausländischer Herkunft. Neben den etablierten Sorten werden die neueren Linien mit bekannten Standardsorten verglichen. Gleichzeitig wird das gesamte Sortiment des Sortenkataloges der Schweiz angebaut. Beurteilt werden die Standfestigkeit, Frühreife, Krankheitsanfälligkeit (Mehltau, Gelb-, Braunrost, Septoria und Fusarien) sowie die Ertragsleistung. Am Erntegut wird bei Brotgetreide die Mahl- und Backqualität geprüft; bei Futtergetreide beschränken sich die Qualitätsanalysen auf den Gehalt an Protein.

Prüfung Klee-Gras-Mischungen

In der Schweiz werden seit Jahren verschiedene Klee-Gras-Gemenge verwendet. Unter Mischungsprüfung verstehen wir die Verbesserung bestehender Standardmischungen, die Entwicklung neuer Klee-Gras-Mischungen und Abklärungen von Fragen der Bestandeslenkung, Ausdauer, usw.

Um qualitativ gutes Futter zu erhalten sind ausgewogene Mischungen notwendig. In zahlreichen Versuchen werden verschiedene Varianten geprüft.

Es gilt jeweils, geeignete Saatmethoden und Bewirtschaftungsmassnahmen (wie Düngung und Nutzung) zu finden, und die Standortansprüche sowie den Verwendungszweck der verschiedenen Klee-Gras-Mischungen abzuklären. Bestehende Standardmischungen müssen überprüft und angepasst werden, wenn neue Zuchtsorten mit veränderten Eigenschaften das Gleichgewicht der einzelnen Arten stören.

Mischungen für höhere Lagen sind schwierig zu erarbeiten, da die Anforderungen an Pflanzen mit zunehmender Höhe strenger werden und die meisten Zuchtsorten im Flachland, unter milden Bedingungen, selektioniert werden.

Seit ein paar Jahren steht auch die Entwicklung von Samenmischungen für eine wenig intensive Nutzung im Versuchsprogramm. Die FAL fördert und kontrolliert die Vermehrung von einheimischem Wiesensaatgut.

Alle diese Arbeiten können nur dank einer guten Zusammenarbeit zwischen Forschungsanstalten, landwirtschaftlichen Schulen und dem Samenhandel durchgeführt werden.

Das Programm umfasst zur Zeit folgende Projekte:

- Entwicklung neuer Mischungen für wenig intensive Bewirtschaftung (Fromental-Goldhaferwiesen)
- Erarbeiten neuer Mischungsrezepte für Luzerne-Gras-Mischungen
- Prüfung von Standard- und Versuchsmischungen unter Weidebedingungen
- Einsatz von frühreifem Englischem Raigras in Gras-Weissklee-Mischungen
- Streifenversuche mit verschiedenen Schnitthöhen
- Einfluss von Schnitthäufigkeit, Düngermenge und Düngerart auf den Ertrag, die botanische Zusammensetzung und die Futterqualität.

Phosphat, Kali, Magnesium- und Kalkdüngung im Acker- und Futterbau

Die Untersuchungen sollen Aufschluss geben über die geeignetste Bodenuntersuchungsmethode zur Optimierung der Phosphat-, Kali-, Magnesium- und Kalkdüngung. Da die Bemessung der Phosphat-Kali- und Magnesiumdüngung auf Ergebnissen aus dem Zeitraum von 1950 bis 1970 beruht, ist es nötig, die Interpretation von Bodenuntersuchungen unter den heute vorherrschenden Anbauverhältnissen zu überprüfen.