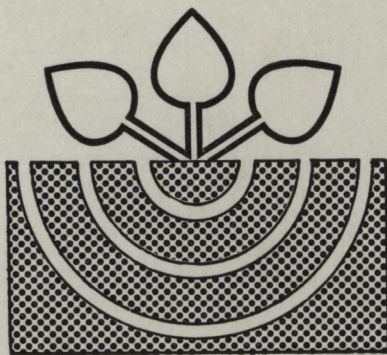


**Z81/42**

# **MITTEILUNGEN**

der

**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN  
GESELLSCHAFT**



Band 42

1985

**I S S N - 0343-107X**

Schriftleitung: P. Hugenroth, Göttingen

MITTEILUNGEN  
DER  
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN  
GESELLSCHAFT

EXKURSIONS - FÜHRER

zur

Jahrestagung 1985

in

Göttingen

Band 42

1985

<b>Exkursion SOLLING</b>	Inventur, Stoffhaushalt und Saisonalität des Bodenchemismus in Buchen- und Fichtenökosystemen mit Podsoligen Braunerden über Buntsandstein mit Auswirkungen von Düngungsmaßnahmen	5
<b>Exkursion LANGE BRAMKE</b>	Wasser- und Stoffhaushalt (Messungen seit 1948) eines Fichtenökosystems im Oberharz mit 40-jähriger Bestandesgeschichte vom Kahlschlag bis zur Ausbreitung von Waldschäden. Einzugsgebiet der Langen Bramke mit Säuren und Podsoligen Braunerden (Schiefer-, Grauwacken-Schutt)	53
<b>Exkursion HILS</b>	Interdisziplinäre Untersuchung von Fichtenökosystemen unterschiedlichen Alters und verschieden starker Schädigung auf Podsolen und Säuren Braunerden aus Sandsteinen der Unterkreide. - Düngerversuche	97
<b>Exkursion GÖTTINGER WALD</b>	Inventur und Stoffhaushalt eines Buchenwaldökosystems mit der Bodengesellschaft Rendsina-Terra fusca auf unterem Muschelkalk	143
<b>Exkursion HOLZERODE</b>	Wasserdynamik in Bodengesellschaften auf mittlerem Buntsandstein mit Lößüberdeckung unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogley-Problematik	219
<b>Exkursion NEUENKIRCHEN</b>	Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich intensiv genutzter Einzugsgebiete auf Löß über Kreidemergel unter besonderer Berücksichtigung von Substrataufbau, Relief und Nutzungsform	245
<b>Exkursion REINSHOF</b>	Feldversuche zur Bodenbearbeitung und der Dauer-Nutzungssystem-Versuch auf dem Versuchsgut Reinshof. Lößdecke mit Parabraunerde über Keuperpelit und Böden der Leineau	313
<b>Exkursion DRAKENBERG</b>	Wasser- und Stoffhaushalt von Acker-, Wiesen- und Sukzessionsflora-Ökosystemen (Fläche mit Sozialbrache-Vergangenheit, Nutzungssysteme mit reduzierter Bodenbearbeitung) auf Böden der Rendsina-Terra fusca-Gesellschaft (Gegenstück zu Objekt Göttinger Wald) auf oberem Muschelkalk. - Löß-Ackerparabraunerden mit Säureschäden landwirtschaftlicher Kulturen im Unterereichsfeld.	321
<b>Exkursion LÖßBÖDEN</b>	Demonstration der Bodenentwicklungssequenz Gley-Schwarzerde-Parabraunerde mit Schwarzerde-Vergangenheit-Pseudogley mit Zeitmarken und Verbreitungsbedingungen in der Leinetal-Börde. Hydrologisch-agrarökologisches Kartiergebiet Rosdorf	359
<b>Exkursion MUSCHELKALKBÖDEN</b>	Demonstration der Bodenentwicklungssequenz Rendsina-Terra fusca mit Zeitmarken und Verbreitungsbedingungen im Göttinger Wald mit Bezug auf die Ökosystem-Meßflächen Göttinger Wald und Drakenberg	435

Exkursion

S O L T I N G

von

Beese, F., E. Matzner, D. Murach, B. Ulrich u. J. Schauermann



Stoffhaushalt von Waldökosystemen

I N H A L T:

1. Allgemeines
  - 1.1 Versuchsbestände
  - 1.2 Böden
  - 1.3 Hydrologische Verhältnisse
  - 1.4 Luftchemische Situation
  - 1.5 Meßansatz zur Erfassung des Elementhaushalts
  
2. Deposition von Luftverunreinigungen
  - 2.1 Nicht-Spurenstoffe
  - 2.2 Schwermetalle
    - 2.2.1 Flüssebilanzen der Solling-Bestände
    - 2.2.2 Schwermetallgehalte in der Biomasse
    - 2.2.3 Schwermetallgehalte im Boden
  
3. Auswirkungen des Säureeintrags im Boden
  - 3.1 Ergebnisse der Flüssebilanz
  - 3.2 Ergebnisse der Bodeninventuren
  - 3.3 Veränderungen der Sickerwasserqualität
  
4. Klimatisch bedingte Versauerungsschübe im Boden
  
5. Auswirkung von Düngung und Kalkung auf den Elementumsatz und die Elementverteilung in Waldökosystemen

## 1. Allgemeine Angaben

### 1.1 Versuchsbestände

Die hier aufgeführten Ergebnisse stammen zum größten Teil aus Untersuchungen in einem Buchenaltbestand (B 1, ca. 135 a, Forstamt Neuhaus Abt. 51) und einem Fichtenaltbestand (F 1, ca. 100 a, Forstamt Dassel, Abt. 28). Eine detaillierte Beschreibung der Bestände findet sich bei ELLENBERG (1971) sowie bei SEIBT (1981).

Die Versuchsflächen gehören dem "Hochsolling" an, einer weiträumigen, knapp 40 km (Luftlinie) nordwestlich von Göttingen gelegenen Hochfläche des aus Schichten des mittleren Buntsandsteins aufgebauten Sollinggewölbes, das vom Ausräumungstal des oberen Buntsandsteins (Röt) umgeben wird und sich daher morphologisch mit einer deutlichen, 200-300 m mächtigen Schichtstufe aus dem Umland emporhebt. Die Versuchsflächen liegen als Verebnungsareale im zentralen, höchsten Teil in etwa 500 m Seehöhe. Geologisch gehört der Bereich der Sollingfolge des mittleren Buntsandsteins an und hier wiederum lt. Geologischer Karte von Niedersachsen, Bl. 4223 Sievershausen (HERRMANN, 1974) tonig-schluffigen Zwischenschichten, bestehend aus rotbraunen, wechselnd tonigen Schluffsteinen, die im Basisbereich der Folge von gröberkörnigen Gesteinsschichten unterlagert werden.

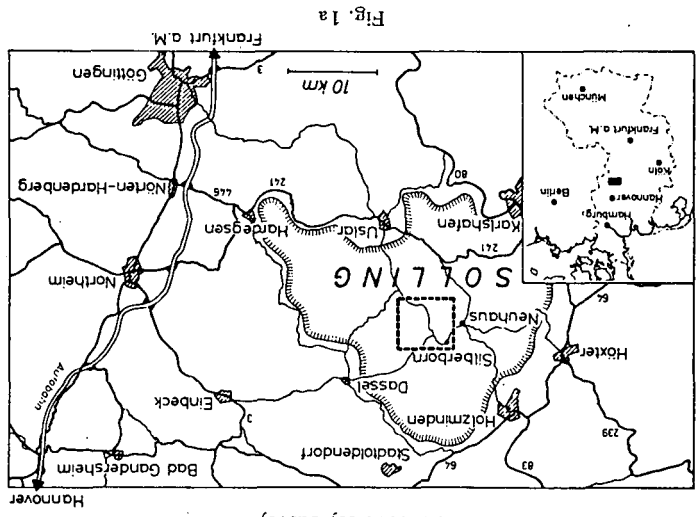
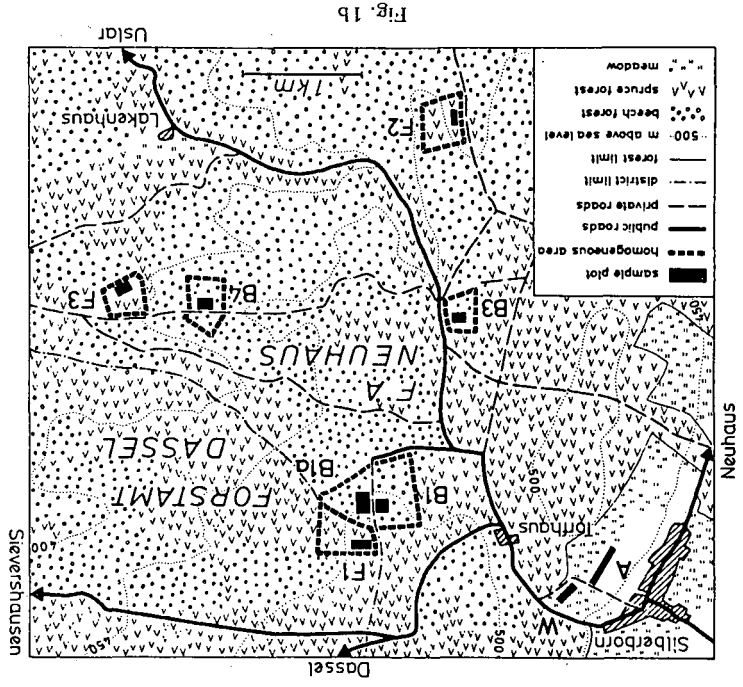
Die geographische Lage der Versuchsflächen geht aus der folgenden Abbildung hervor.

### 1.2 Böden

Die oben erwähnten Schluffsteine im Bereich der Untersuchungsflächen stehen heute, beginnend mit einer feinplattigen, kleinstückigen Zersatzzone, ab etwa 1,5 m Tiefe an und werden von zwei deutlich unterscheidbaren Fließerden überlagert, die in etwa 0,6-0,7 m Tiefe durch einen m.o.w. ausgebildeten Übergangshorizont voneinander getrennt sind.

Die untere, mächtigere Fließerde ist eine aus dem "Anstehenden" hervorgegangene periglaziale Umlagerungsbildung, die durch hohe Lagerungsdichte (Kompaktheit) gekennzeichnet ist, während die obere Fließerde hauptsächlich aus umgelagertem Löß besteht und sich durch relativ geringe Lagerungsdichte auszeichnet.

Fig. 1. Situation of the research area and of the experimental plots on the Solling plateau, 55 km NW of Göttingen. B beech (*Fagus sylvatica*) forests, deciduous: B 1 and B 1a old, B 3 younger, B 4 youngest stand, F spruce (German "Fichte", *Picea abies*) forest, evergreen: F 2 old, F 1 younger, F 3 youngest stand. W meadow (German "Wiese", *Trisetum flavescens*, *Festuca rubra* facies), a mown grassland. A arable field (with *Zea mays* and *Lolium multiflorum* resp.)



Die nachstehende Profilbeschreibung charakterisiert ein Profil auf der Buchenfläche (B 1). Das Bodenprofil unter dem Fichtenbestand unterscheidet sich von dem des Buchenbestandes i.a. kaum, jedoch deutlich im Auflagehumus, der unter Fichte zwischen 5 und 10 cm mächtig ist und sich vor allem durch eine schärfere Abgrenzung der Lagen und einen größeren Anteil der H-Lage abhebt.

Horizont	Mächtigkeit cm	Material z.B. Fi-Streu, Grauwurzelfilz	Gefüge					Durchwurzelung			Humusform: typ. Mull (Kryptomull) Sandmull euliant, Moder typ. Moder rohhumusart, Moder feinhum. Rohh., typ. Rohh., feinhum. Rohh., Aneger Feuchtmull Feuchtmoder Humhart, Feuchtröhhumus Dy Gytill Sapropel Moder					
			krümelig	locker	schichtig	dicht	brüchbar	kantig bröckl.	fehlh.	a. sche.	schwach	mittel	stark	Wurzel- filz	Niederwertorf	Hochwertorf
L	1	Bu-Streu	X					X								
F	2	Bu-Streu	X						X							
H	1	Bu-Streu	X						X							

Horizont-Symbol	Tiefe cm	Farbe	Humus %	Material-Herkunft (geolog.)	Bodenart	Skelettraum	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Silikatgehalt	Sonstiges z.B. Mar- morierung Konkret.	Nutzbar- keit: Luft- Wasser- kapazi- tät: Pflanz- klassen
Aeh	0-7		5%		l <sup>u</sup>	< 5%	I	K0/SP0	w			
Bv <sub>1</sub>	7-40		1-2%		l U	< 5%	II	K0/SP0	w			
(Sw)Bv	40-70		<1%		l U	< 5%	II	SP0	w'			
(Sd)Cv	70-100		-		F L	≈ 30%	III	SP0	w''			

**Ausgangsgestein:** (geol. Schichtenfolge) Löss mit Buntsandsteinverwitterungsmaterial

Bodenbildungsprozesse	Verbräunung	Humusbildg.	Tonverfärbg.	Podsolng.	Podsoligkeit	Pseudovergl.	Vergleyg.	Gefügebildg.	Entkalk.	Ver- torf
schwach						X			X	
mäßig		X								
stark	X				X					

Durchwurzelung: Intensivwurzelschicht, ... cm Extensivwurzelschicht, ... cm Gründigkeit: <15 15-30 30-60 60-100 >100

Bodentyp: podsolige, schwach pseudovergleyte Braunerde Ausprägungsgrad: gering mittel stark sehr stark  
 Entwicklungstiefe: gering mittel ~~stark~~ sehr groß

Auf die chemischen Eigenschaften der Böden wird im Ergebnisteil noch genauer eingegangen.

Die mineralische Zusammensetzung der Böden unter Buche und Fichte geht aus der folgenden Tabelle hervor.

Probe	Tiefe (cm)	Fraktion	Mineralbestand (Infrarotspektroskopie) in Gew. %					
			Quarz	Albit	Orthoklas	Feldspat	Glimmer, Illit	Kaolit
Solling F 1	7 - 20	Gesamt	50	3	10	12	23	2
- " -	7 - 20	< 2 $\mu$	11			Spuren	83	6
Solling B 1	7 - 20	Gesamt	54		10	10	22	4
- " -	7 - 20	< 2 $\mu$	3			Spuren	82	14
- " -	70-100	Gesamt	33			1	60	6
- " -	70-100	< 2 $\mu$	3				82	15
- " -	> 110	Gesamt	63			2	31	4
- " -	> 110	< 2 $\mu$	4			Spuren	83	13

### 1.3 Hydrologische Verhältnisse

Der Wasserhaushalt der hier betrachteten Waldbestände ist seit 1968 Gegenstand intensiver Untersuchungen, deren Ergebnisse für die Jahre 1968-1975 bei BENECKE (1984) sowie für die Jahre 1976-1981 bei SALIH (1984) dokumentiert sind.

Im Untersuchungszeitraum von 1968-1981 war 1975 das vom Bodenwasserhaushalt her trockenste Jahr. Die Saugspannungen in 10 cm Tiefe unter Fichte überschritten nie  $pF$  3.0 und in 40 cm Tiefe  $pF$  2.8.

Dies zeigt, daß in Regionen mit mehr als 1000 mm Jahresniederschlag der permanente Welkepunkt ( $pF$  4.2) unter den angetroffenen Bodenverhältnissen wohl nur sehr selten oder nie erreicht wird. Daher sind bei gesunden Wurzelsystemen auch keine reinen Trockenschäden an den Beständen zu erwarten. Treten dennoch Trockenschäden auf, so deutet dies auf vorausgehende Wurzelschädigungen hin.

### 1.4 Luftchemische Situation

1983 wurden von der INHAK GmbH, Bückeberg, im Auftrag des Niedersächsischen Ministers für Bundesangelegenheiten, Messungen zur Luftqualität im Solling diskontinuierlich durchgeführt.

Zahl der Meßpunkte: 13 (2 x 2 km)  
Zahl der Messungen  
je Punkt und 13  
Jahr:

Ergebnisse: (jeweils aus 1/2. Std.-Mittel)

SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

		Gesamtmittel	Westwind	Ostwind	Sommer	Winter
I1		28	14	28	23	32
I2	95%	95	39	82	118	90
I2	98%	112	45	96	142	105
NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
I1		13				
I2	95%	28				
I2	98%	32				
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
Zahl der Meßpunkte 1			I1: 101			
Zahl der Messungen 13			Spannweite: 60 - 183			
Zeitraum 21.01.83- 26.07.83						

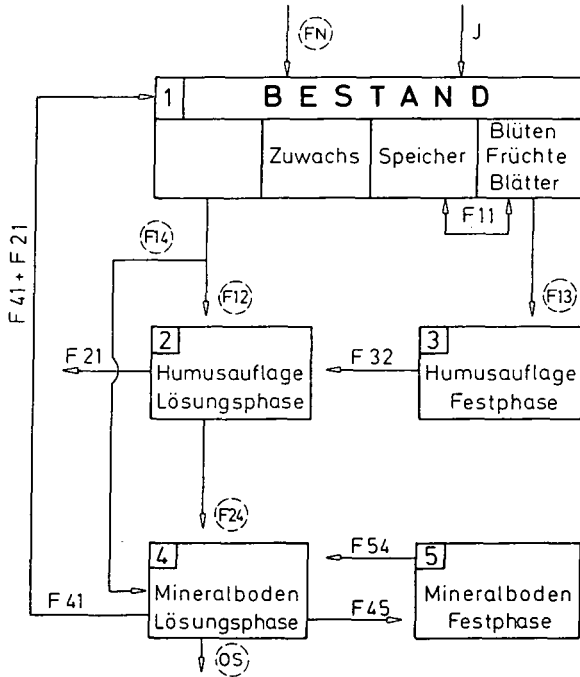
LITERATUR zu Kapitel 1

- Ellenberg, H. (ed.) (1971): Integrated experimental ecology, methods and results of ecosystem research in the German Solling Project. Ecological studies 2, Springer Verlag
- Seibt, G. (1981): Die Buchen- und Fichtenbestände der Probestellen des Sollingprojektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Schriften d.Forstl.Fak. d.Univ.Göttingen, Bd. 72, 1-109
- Hermann, A. (1974): Geologische Karte Niedersachsen, Sievershausen, Nr. 4223 (mit Erläuterungen) Hannover, Nds. Landesamt für Bodenforschung
- Benecke, P. (1984): Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwald-ökosystems im Hochsolling. Schriften d.Forstl.Fak.d.Univ.Göttingen, Bd. 77, 1-158
- Saliki, O.A. (1984): Potentielle Verdunstung eines Buchen- und eines Fichtenwaldes auf der Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes als Parameter der aktuellen Evapotranspiration. Diss.Univ.Göttingen, 1-92



1.5 Meßansatz zur Erfassung des Elementhaushalts

Die folgende Abbildung zeigt ein Kompartimentmodell zur Beschreibung des Elementtransports in Waldökosystemen.



Es bedeuten:

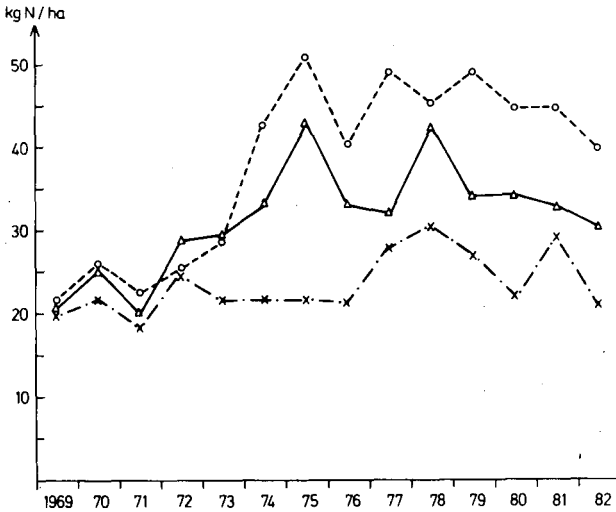
- FN = Elementeintrag mit den Freiflächenniederschlägen (Niederschlagsdeposition)
- ID = Interceptionsdeposition
- F 11 = Translokation im Baum
- F 13 = Streufall
- F 14 = Stammablauf
- F 12 = Kronentraufe
- F 24 = Input in den Mineralboden
- F 32 = Netto-Mineralisation
- F 54 = Kationenaustausch, Desorption, Auflösung
- F 45 = Adsorption, Kationenaustausch, Desorption, Ausfällung
- OS = Output mit dem Sickerwasser
- F 41 = Ionenaufnahme aus dem Mineralboden
- F 21 = Ionenaufnahme aus dem Auflagehumus

## 2. Deposition von Luftverunreinigungen

### 2.1 Nicht-Spurenstoffe

Der Modus zur Berechnung der Raten der trockenen Deposition aus den Elementflüssen FN und F12 + F14 ist bei MEIWES et al. (1984), ULRICH (1983) beschrieben. Bei MEIWES et al. (1984) finden sich auch Angaben über die verwendete Meßmethodik. Die folgenden Tabellen stammen aus MATZNER et al. (1984).

Wegen der möglichen N-Umsätze im Kronenraum wurde auf die Berechnung von Gesamt-Depositionsraten für N verzichtet. Lediglich die Gesamt-N-Flüsse mit den Bestandesniederschlägen sollen hier betrachtet werden, da sie, im Vergleich zu den anderen Elementen, einen Trend zeigen, der sich in einem Anstieg der N-Flüsse in den Jahren 1973-77 niederschlägt.



- x - - - x Niederschlagsdeposition
- o - - - o Bestandesniederschlag Fichte
- triangle - - - Bestandesniederschlag Buche

Tab. 1: Jährliche Raten der Niederschlagsdeposition im Solling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )

	H <sub>2</sub> O (mm)	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	SO <sub>4</sub> -S	PO <sub>4</sub> -P	Cl	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub> -N	N <sub>ges</sub>
$\bar{x}$	1017	0.79	7.9	3.7	10.0	1.8	0.8	0.4	1.1	23.4	0.4	16.8	11.6	8.4	4.5	24.3
Extrem- werte	688- 1544	0.61- 1.10	4.9- 12.1	2.4- 4.6	6.5- 21.8	1.3- 3.9	0.2- 1.1	0.1- 0.9	0.6- 2.1	19.6- 27.2	0.1- 0.8	10.5- 25.5	9.0- 15.6	6.1- 11.0	1.8- 7.5	18.9- 31.3

Tab. 3: Jährliche Raten der Gesamt-Deposition B u c h e ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , Solling)  
(Niederschlagsdeposition + Interceptionsdeposition)

	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	SO <sub>4</sub> -S	Cl
$\bar{x}$	1.90	14.2	6.7	17.5	3.0	1.5	0.7	2.0	50.3	32.7
Extrem- werte	1.13- 2.62	9.5- 18.2	4.9- 9.9	11.4- 32.0	2.1- 3.8	0.3- 2.4	0.2- 1.4	0.9- 3.2	39.1- 66.0	27.1- 40.9

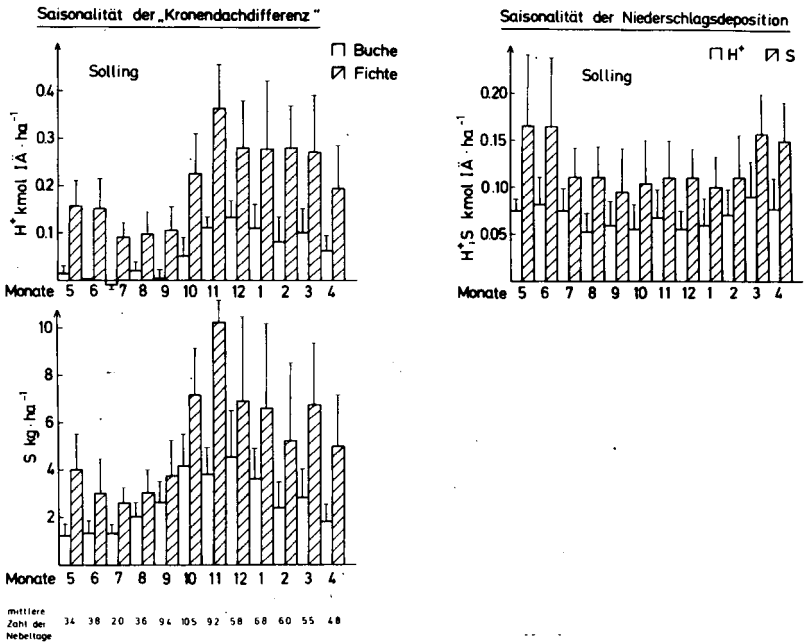
Tab. 5: Jährliche Raten der Gesamtdeposition F i c h t e ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , Solling)  
(Niederschlagsdeposition + Interceptionsdeposition)

	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	SO <sub>4</sub> -S	Cl
$\bar{x}$	3.81	17.4	8.1	21.1	4.2	1.8	0.9	2.5	85.3	39.4
Extrem- werte	2.68- 5.26	9.0- 26.4	5.7- 11.9	13.2- 37.9	2.4- 6.3	0.4- 3.1	0.2- 1.8	1.0- 4.5	68.8- 107.6	27.5- 57.1

Die Raten der Deposition sind im Solling unter den Beständen höher als im Freiland. Dies geht auf die Deposition von Gasen, Aerosolen und Tröpfchen im Kronenraum der Bestände zurück (Interceptions-Deposition).

Besondere Aufmerksamkeit verdienen die hohen Raten der  $H^+$ -Gesamt-Deposition, die zwischen 2.8 und 5.3 kmol IA unter Fichte und zwischen 1.6 und 2.6 kmol IA  $\cdot$  ha $^{-1}$   $\cdot$  a $^{-1}$  unter Buche variieren. Die Spannweite unterstreicht die Bedeutung langjähriger Messungen zur Erfassung repräsentativer Depositionsdaten.

Der Prozeß der Interceptionsdeposition zeigt eine ausgesprochene Saisonalität, die aus der folgenden Abbildung hervorgeht. Die sogenannte "Kronendachdifferenz" ist berechnet als Differenz der Elementflüsse mit den Freilandniederschlägen und den Bestandesniederschlägen.



Besonders hohe Raten der Interceptionsdeposition treten in den Wintermonaten auf. Dies geht vermutlich mit der Interception von Wolken- und Nebeltröpfchen einher, wie der Vergleich mit der Nebelhäufigkeit zeigt.

## 2.2 Schwermetalle (R. M a y e r u n d R. S c h u l t z)

### 2.2.1 Flüssebilanzen der Solling-Bestände

Seit 1974 bis heute werden der Eintrag von Schwermetallen aus der Atmosphäre (Niederschlagsdeposition und Interception), der Austrag mit dem Sickerwasser und einige Ökosystem-interne Flüsse auf der Buchenfläche B1 und auf der Fichtenfläche F1 kontinuierlich erfaßt. Die Meßergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (vgl. Tab. 1,2):

- Bei einigen Swermetallen wird der Umsatz im Waldökosystem durch anthropogene Luftverunreinigungen bestimmt, sei es durch Zufuhr des Metallelements selbst aus der Atmosphäre (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb), sei es durch Einfluß der Säure-Deposition und Mobilisierung von Bodenvorräten (Mn, Co, Cu, Zn, Cd).
- Ähnlich wie bei anderen Luftverunreinigungen (z.B.  $SO_4$ -S) liegen auch bei einigen Schwermetallen (Cu, Zn, Cd, Pb) die Depositionsraten in den Solling-Waldökosystemen ebenso hoch oder höher, als sie an stadt- oder industrie-nahen Meßplätzen ermittelt wurden.
- Bei Cr, Ni, Cu und Pb spielt die Trockene Deposition/Interception eine wichtige Rolle. Dies drückt sich in einer Erhöhung der Flußrate in den Bestandes-Niederschlägen und/oder in einer Festlegung der Metallelemente in der Biomasse und im Streufall aus.
- Die Depositionsraten von Cu, Zn und Pb zeigen eine ausgeprägte Saisonalität mit erhöhten Werten während der Wintermonate.
- Über längere Zeiträume gemessen zeigen Cr, Fe, Ni, Cu und Pb eine positive Bilanz, d.h. der Eintrag in das Waldökosystem aus der Atmosphäre ist wesentlich höher als der Austrag mit dem Sickerwasser. Dies führt zu einer Anreicherung der betreffenden Elemente im Boden, vorzugsweise im humushaltigen Oberboden (vgl. auch Tab. 4).  
Die Gesamt-Bilanzen für Zn und Cd sind annähernd ausgeglichen, dagegen sind sie für Mn und Co ausgeprägt negativ (Eintrag < Austrag). Letzteres drückt sich in einer Abnahme der Boden-Vorräte aus.
- Innerhalb des Meßzeitraums von mehr als 10 Jahren (1974-1984) sind die Depositionsraten, teilweise auch die Raten des Sickerwasser-Austrags, deutlich zurückgegangen:

- Pb: Rückgang der Deposition auf etwa 50% des Anfangswertes
- Zn: Rückgang der Deposition auf 40%
- Cd: Rückgang der Deposition auf 15%, des Austrags auf 50%
- Cu: Rückgang der Deposition auf 10%

Es ist zu vermuten, daß dieser Rückgang auf einer Verringerung der Belastung der Atmosphäre durch die betreffenden Metallelemente aus überregionalen (Pb, Zn) und aus lokalen (Cu, Cd, Zn) Quellen zurückzuführen ist. Methodische Ursachen für den Rückgang (d.h. systematische Meßfehler) sind für Pb, Zn und Cu weitgehend, bei Cd nicht völlig auszuschließen. Methodisch abgesichert ist die heutige Input/Output-Bilanz für Cd, die deutlich negativ ist. Dies legt den Schluß nahe, daß der Rückgang der Cd-Deposition ein Vorgang ist, der tatsächlich erst in jüngster Zeit eingetreten ist.

Tabelle 1: Flüssebilanzen für Schwermetalle in zwei Waldökosystemen im Solling, Mittelwerte für 1974-1979. Alle Werte in  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

(a) Buchenbestand B1 (Fagus sylvatica, ca. 130-jährig)									
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
- Gesamt-Deposition aus der Atmosphäre	14.9	175	177	1.6	12.3	47	163	1.6	44
- Niederschlags-Deposition	1.4	26	88	1.4	2.7	24	138	1.6	29
- Bestandes-Niederschlag	1.6	384	140	0.77	3.3	16	217	1.3	30
- Streufall	4.5	710	210	0.34	4.1	7.5	26	0.26	12
- Austrag mit dem Sickerwasser	0.7	590	21	6.4	2.1	10.6	113	1.7	2.4
(b) Fichtenbestand F1 (Picea abies, ca. 90-jährig)									
- Gesamt-Deposition aus der Atmosphäre	16.5	515	212	2.0	14	66	173	2.0	73
- Niederschlags-Deposition	1.4	26	88	1.4	2.7	24	138	1.6	29
- Bestandes-Niederschlag	2.3	519	219	1.2	3.9	23	212	2.0	47
- Streufall	7.7	580	860	0.4	6.6	24	25	0.23	26
- Austrag mit dem Sickerwasser	0.6	1110	16	42	6.6	11	236	2.6	1.3

Tabelle 2: Raten der Niederschlagsdeposition und des Transports im Bestandes-Niederschlag im Meßzeitraum Mai 1983-April 1984 auf den Solling-Versuchsflächen

Werte in  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (in Klammern: Minimal- und Maximalwerte der räumlichen Parallelen)

	Cu	Zn	Cd	Pb
- Niederschlags- Deposition	2.4 (2.3-2.5)	41 (41-42)	0.24 (0.22-0.26)	13.1 (13.1-13.1)
- Kronentraufe Buche B1 (ohne Stammablauf)	4.2 (4.1-4.3)	57 (56-57)	0.31 (0.24-0.38)	16.3 (15.7-16.8)
- Kronentraufe Fichte F1	4.7 (4.6-4.8)	57 (54-62)	0.40 (0.35-0.44)	20.6 (16.7-24.5)

### 2.2.2 Schwermetall-Gehalte in der Biomasse

Tabelle 3 zeigt die Schwermetall-Gehalte in den verschiedenen Kompartimenten der Biomasse. Folgende charakteristischen Merkmale sind hervorzuheben:

- Verglichen mit Literaturdaten liegen die Gehalte an Cu und Pb im Solling relativ hoch, für Cr, Co und Ni liegen kaum Vergleichswerte vor. Immerhin steht dieser Befund im Einklang mit den bereits erwähnten hohen Depositionsraten
- In den oberirdischen Pflanzenorganen (Blätter, Rinde) zeigen sich deutlich erhöhte Gehalte an Pb, ein deutlicher Hinweis auf die atmosphärische Herkunft von Pb
- Hohe Gehalte von Zn, Cd und Pb in den Wurzeln lassen auf relativ hohe Mobilität im durchwurzelten Boden und gehemmter Aufnahme in den Sproß schließen.

---

Heinrichs, H. and R. Mayer (1977): Distribution and cycling of major and trace elements in two Central European forest ecosystems. J. Environ. Qual. 6, 402-407

Mayer, R. (1981): Natürliche und anthropogene Komponenten des Schwermetallhaushalts von Waldökosystemen. Göttinger Bodenkdl.Ber. 70, 1-292

Schultz, R. (1984): Schwermetalleinträge und ihre Kronenpassage in verschiedenen Waldökosystemen in Norddeutschland. Verh.Tag.Dt.Ges.f. Ökologie, Hohenheim 1984 (im Druck)



Tabelle 3: Elementgehalte in der Biomasse des Buchenbestandes B1 und des Fichtenbestandes F1 (1967/68; Streu: 1973-1977)

Alle Werte in mg/kg Trockenmasse

Buche B1	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
- Derbholz	11	400	330	0.6	11	41	11	0.19	3.0
- Derbholz-Rinde	12	910	230	0.7	11	32	41	0.06	35
- Astholz	10	470	70	0.7	12	30	9.7	0.15	3.3
- Astholz-Rinde	11	1800	460	0.6	13	41	94	0.17	73
- Grüne Blätter (1974)	8.5	1800	210	0.5	8	24	46	0.66	20
- Blattstreu	12	1700	320	0.6	11	20	69	0.70	33
- Wurzeln 1-2 mm Ø	1.3	310	2900	0.1	4.1	10	104	0.3	66
- Wurzeln 1 mm Ø	2.2	160	610	0.9	6.8	22	150	1.8	106
Fichte F1									
- Derbholz	9.3	160	180	0.6	11	46	21	0.36	7.0
- Derbholz-Rinde	14	355	230	0.6	15	32	178	1.4	19
- Äste	12	510	370	0.8	16	38	86	0.91	47
- Nadeln	12	1200	210	0.7	10	35	45	0.31	11
- Nadelstreu	20	1600	2450	1.0	16	61	55	0.47	65
- Wurzeln 1-2 mm Ø	0.7	660	400	1.3	1.6	6.9	192	3.5	386
- Wurzeln 1 mm Ø	3.7	320	1550	1.9	8.4	20	139	5.5	270

### 2.2.3 Schwermetall-Gehalte im Boden

Tabelle 4 gibt die Schwermetall-Gehalte im Boden an. Bemerkenswert hierbei sind folgende Befunde:

- Die Gesamtgehalte in den einzelnen Gewichten der Humusauflage steigt bei allen Schwermetallen mit Ausnahme von Mn von den grünen Blättern/Nadeln über die Streu zur L- und F-Schicht an.
- Im Mineralboden zeigen die Elemente Mn, Co, Ni, Zn und Cd (nur unter Buche) eine Verarmung im Oberboden, Folge der Mobilisierung und Auswaschung infolge externer Säurezufuhr und interner Säureproduktion.

- Das wesentlich weniger mobile Pb zeigt eine starke Anreicherung in den oberen Mineralboden-Horizonten. Dasselbe gilt auch für Hg, Bi und Tl. Hierin drückt sich die vorherrschende atmosphärische Herkunft dieser Elemente und die stabile Bindung an Tonminerale und Humussubstanz, auch noch unter stark sauren Bedingungen, aus.

Tabelle 4: Gesamtgehalte im Boden des Buchenbestandes B1 und des Fichtenbestandes des F1 (Solling)

Probenahme: 1974

Alle Werte in mg/kg Trockenmasse

	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Sb	V	Bi	Hg	Tl
B u c h e n b e s t a n d B1													
- Humusauf- lage (L-Schicht)	37	830	3.9	15	80	220	1.7	340					
- Humusauf- lage (F+H-Schicht)	45	310	7.1	22	64	190	1.4	410					
- Mineralboden													
0-10cm Tiefe	52	330	7	6	24	38	0.0056	61	0.5	55	0.25	0.12	0.53
10-20cm Tiefe	59	700	11	7	18	50	0.0060	21	0.6	62	0.12	0.084	0.32
30-40cm Tiefe	56	730	12	13	23	55	0.074	12	0.4	62	0.072	0.050	0.19
40-50cm Tiefe	51	740	13	14	17	49	0.096	12	0.7	63	0.077	0.018	0.23
F i c h t e n b e s t a n d F1													
- Humusauf- lage (L-Schicht)	29	350	3.3	12	59	138	0.66	300					
- Humusauf- lage (F-Schicht)	49	260	5.6	23	74	177	0.87	450					
- Humusauf- lage (H-Schicht)	45	230	6.8	22	90	173	0.93	465					
- Mineralboden													
0-10cm Tiefe	52	320	8	11	27	32	0.074	81					
10-20cm Tiefe	57	670	18	16	36	36	0.066	43					
20-30cm Tiefe	58	730	19	18	36	46	0.069	32					
30-40cm Tiefe	53	700	20	22	28	57	0.072	25					
40-50cm Tiefe	46	780	23	27	25	53	0.061	22					

### 3. Auswirkungen des Säureeintrags im Boden

Um die Auswirkungen des Säureeintrags auf die chemischen Bodeneigenschaften abzuschätzen, wurden im Solling zwei Methoden angewendet:

1. Die Flüssebilanz für das Kompartiment "Mineralboden-Festphase" (s.o.), bestehend aus den Elementflüssen: F 24, F 41 und OS.
2. Inventurstudien wurden 1966/68, 1973, 1979 und 1983 durchgeführt, wobei die Vorräte der Elemente H, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, C, N und P im Auflagehumus und im Mineralboden bestimmt werden.

#### 3.1 Ergebnisse der Flüssebilanz

Die Ergebnisse der Berechnungen der Flüssebilanz gehen aus der folgenden Aufstellung hervor.

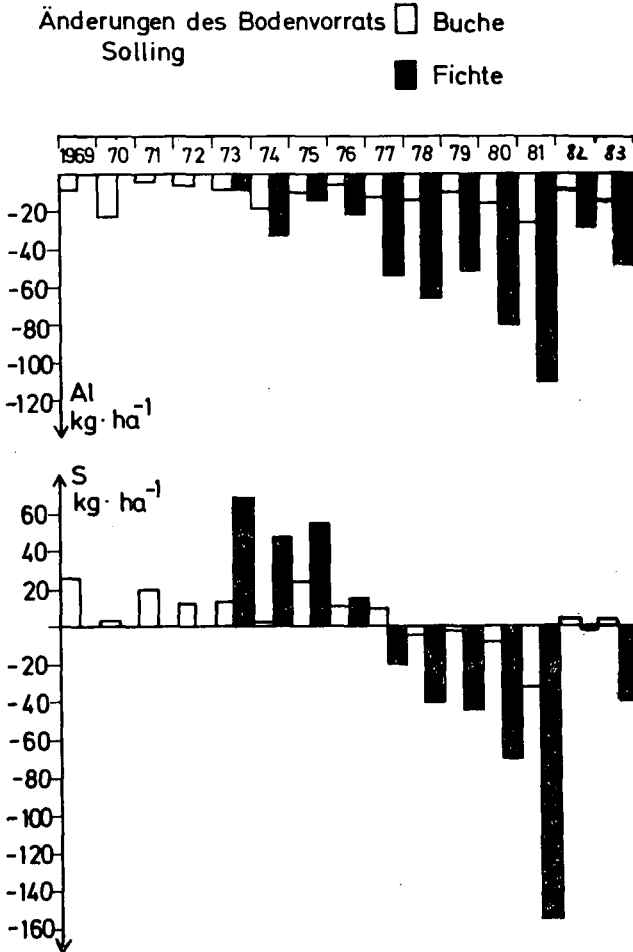
#### Vorratsänderungen im Mineralboden (kg/ha)

	B u c h e		F i c h t e	
	$\Sigma$ 1969-1983	$\bar{x}$ je Jahr	$\Sigma$ 1973-1983	$\bar{x}$ je Jahr
Na	- 2.5	- 0.2	- 50.9	- 4.6
K	-105	- 7.5	- 26.4	- 2.4
Ca	-165	-11.8	-205	-21.0
Mg	- 22.6	- 1.6	- 37.8	- 3.4
Fe	-	-	-	-
Mn	-137	- 9.8	-145	-13.2
Al	-186	-13.3	-597	-52.6
S	+ 80	+ 5.7	-188	-17.1
P	- 30	- 2.1	- 21.6	- 2.0
Cl	+ 0.0	-	- 8.6	- 0.8

Bei allen Kationen ergibt sich eine Quellfunktion des Mineralbodens, die vor allem für die Nährelemente K, Ca und Mg von Bedeutung ist (Erschöpfung der Nährstoffvorräte (s.o.).

Ferner birgt die Quellfunktion für saure Kationen wie Al und Mn das Risiko für Säuretoxizität für Pflanzenwurzeln (JUNGA 1984, ROST-SIEBERT 1985) und das Risiko der Quell- und Grundwasserkontamination bzw. -versauerung.

Eine interessante zeitliche Entwicklung der Bodenvorräte zeigte sich beim Schwefel.



Hier folgt insbesondere unter Fichte der Phase der S-Aufspeicherung im Boden eine Phase der S-Freisetzung. Dieser Befund geht vermutlich auf die Speicherung von S als  $\text{AlOHSO}_4$  zurück, welches sich bei fortschreitender Versauerung unter  $\text{H}^+$ -Verbrauch zu  $\text{Al}^{3+} + \text{SO}_4^{2-}$  auflösen kann (PRENZEL 1983). (Vgl. dazu Konzentrationsverlauf von Al + S im Sickerwasser, s.u.)

### 3.2 Ergebnisse der Bodeninventuren

In den beiden folgenden Tabellen ist die Entwicklung der Elementvorräte und des pH-Wertes seit 1966/68 für die Bodentiefe 0-50 cm zusammengestellt.

Die pH-Werte der Bodenschicht 0-10 cm haben bei Fichte zwischen 1969 und 1983 deutlich abgenommen, während in den tieferen Schichten kaum Veränderungen feststellbar sind. Gleiches gilt für den Buchenbestand. Die zunehmende Bodenversauerung macht sich in diesen bereits stark versauerten Boden in einer Erhöhung des Anteils an austauschbarem  $H^+$  bemerkbar.

Bei K und besonders bei Ca zeigen sich starke Verluste an austauschbaren Vorräten im Beobachtungszeitraum. Dies deckt sich gut mit den Befunden aus der Flüssebilanz (s.o.). Der austauschbare Mg-Vorrat bleibt hingegen konstant, trotz der in der Flüssebilanz ausgewiesenen Mg-Verluste. Letztere müssen daher vornehmlich aus der Silikatverwitterung gespeist werden.

Die Ergebnisse der Inventur des Auflagehumus zeigen einen deutlichen Anstieg des Humusvorrats, der nur über eine drastische Verschlechterung der Zersetzungsbedingungen erklärt werden kann. Die Ursache mag in den hohen Schwermetallgehalten der Humusaufgabe liegen (s.o.).

### 3.3 Veränderungen der Sickerwasserqualität

Sickerwasser wurde in beiden Beständen mit keramischen Platten in einer Tiefe von ca. 90 cm entnommen. Der zeitliche Verlauf der Konzentrationen von  $H^+$ , Al, Ca und  $SO_4$  geht aus den folgenden Abbildungen hervor.

Besonders auffällig ist der starke Anstieg der Al- und  $SO_4$ -Konzentrationen unter Fichte, der durch den Prozeß der  $Al(OH)SO_4$  Ausfällung mit anschließender Auflösung (siehe 4.1) ausgelöst wurde.

Die pH-Werte des Sickerwassers liegen i.d.R. zwischen 4.0 und 4.5 und zeigen, daß die Bodenversauerung bereits bis in den  $C_v$ -Horizont fortgeschritten ist.

Ferner zeigt sich eine deutliche Abnahme der Ca-Konzentrationen unter Buche.

Tab. 14: B u c h e: Elementvorräte im Mineralboden (Solling)

Tiefe cm		Mg/ha		pH(CaCl <sub>2</sub> )	austauschbare Kationen (kmol IÄ · ha <sup>-1</sup> )								
		C	N		H *	Na	K	1/2 Ca	1/2 Mg	1/2 Fe	1/2 Mn	1/3 Al	AKe
0-10	1966	42.4	2.5	3.4	0.0	0.2	2.2	5.4	0.8	2.4	3.2	78	92
	1973	45	2.5	3.1	12.0	1.8	3.3	5.5	1.4	2.6	3.1	73	103
	1979	48.3	2.7	3.3	15.2	0.6	2.1	4.7	1.3	1.3	1.7	90	116
	1983	36.5	2.1	3.2	18.0	1.1	1.6	3.1	1.3	4.4	6.2	86	124
10-20	1966	24.2	1.4	3.7	0.0	0.1	1.8	2.5	0.4	0.4	2.5	80	88
	1973	22.3	1.4	3.4	2.9	1.6	2.1	2.5	0.8	0.4	3.8	75	90
	1974	28.8	1.7	3.6	5.7	0.6	1.8	2.7	1.0	0.4	1.6	91	104
	1983	18.9	1.1	3.7	2.8	1.0	1.5	1.4	0.6	0.6	6.1	74	88
20-30	1966	20.0	1.3	3.9	0.0	0.2	1.7	2.4	0.5	0.4	2.1	78	86
	1973	17.2	1.3	3.6	0.3	1.6	2.0	2.2	0.6	0.2	1.7	68	77
	1979	23.5	1.6	3.9	2.3	0.5	1.7	2.1	0.8	0.2	1.1	84	93
	1983	13.2	1.0	4.0	0.1	1.1	1.2	0.8	0.4	0.3	2.2	67	74
30-40	1966	14.8	1.2	4.1	0.0	0.2	1.7	2.2	0.5	0.3	1.6	62	69
	1973	12.8	1.1	3.8	0.0	1.8	1.6	2.5	0.7	0.1	1.4	67	75
	1979	27.4	1.7	4.0	1.0	0.6	1.7	2.2	1.0	0.2	1.0	93	101
	1983	11.8	1.0	4.1	0.0	1.4	1.4	0.4	0.3	0.2	1.3	62	68
40-50	1966	9.0	0.8	4.1	0.0	0.2	1.7	1.8	0.4	0.3	1.0	60	65
	1973	8.0	0.9	3.8	0.0	1.7	1.5	2.0	0.5	0.1	0.7	61	67
	1979	15.2	1.1	4.2	0.2	0.6	1.2	2.0	0.7	0.2	2.0	68	75
	1983	8.9	0.8	4.2	0.0	1.2	1.4	0.2	0.3	0.0	0.8	58	62
Σ 0-50	1966	110	7.2		0.0	1.0	9.1	14.3	2.6	3.8	10.4	359	401
	1973	105	7.4		15.2	8.6	10.6	14.7	4.0	3.4	10.8	344	413
	1979	143	8.8		24.4	2.9	8.5	13.7	4.8	2.3	7.4	426	489
	1983	89	6.0		20.9 *	5.8	7.1	5.9	2.9	5.5	16.6	347	416

\* Aufgrund Veränderungen im Rechenprogramm sind Abweichungen zu den Daten von ULRICH et al. (1979) Tab. 30 und 31 für austauschbare H<sup>+</sup> möglich.

Tab. 15.: Fichte: Elementvorräte im Mineralboden (Solling) (kmol TA · ha<sup>-1</sup>)

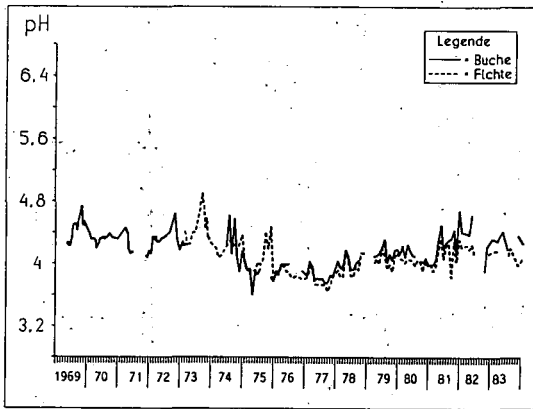
Tiefe cm	Jahr	Mg/ha		pH(CaCl <sub>2</sub> )	austauschbare Kationen								
		C	N		H <sup>+</sup> *	Na	K	1/2 Ca	1/2 Mg	1/2 Fe	1/2 Mn	1/3 Al	Ake
0-10	1968	45.1	2.4	3.3	0.0	1.4	2.6	5.0	0.9	2.9	2.4	86	102
	1973	36.2	1.8	3.0	9.5	1.2	1.8	4.5	1.0	2.9	4.3	57	83
	1979	35.6	2.1	3.1	15.6	0.7	1.3	2.7	0.9	2.4	2.1	77	102
	1983	43.1	2.2	2.9	19.7	0.9	1.3	2.8	1.7	11.0	3.6	76	123
10-20	1968	26.1	1.5	3.8	0.0	1.4	2.4	2.5	0.5	0.3	2.3	85	95
	1973	19.7	1.2	3.5	1.2	1.7	1.8	3.8	0.8	1.0	4.6	62	77
	1979	27.6	1.8	3.5	3.8	0.7	1.2	2.0	0.8	0.6	2.4	84	96
	1983	22.3	1.2	3.6	0.6	0.9	1.3	0.7	0.6	0.5	5.6	79	90
20-30	1968	14.9	1.0	4.1	0.0	1.3	2.2	1.7	0.4	0.2	1.9	60	67
	1973	12.1	1.0	3.8	0.0	1.3	1.3	2.6	0.5	0.1	0.9	52	59
	1979	21.4	1.4	3.8	0.0	0.8	1.1	1.6	0.8	0.3	1.0	69	76
	1983	12.4	0.7	3.9	0.0	0.7	1.4	0.6	0.3	0.0	2.4	64	69
30-40	1968	10.3	0.8	4.1	0.0	1.2	2.3	1.7	0.5	0.2	0.9	54	61
	1973	7.2	0.8	3.9	0.0	1.2	1.7	2.5	0.4	0.1	0.7	48	55
	1979	15.3	1.2	4.0	0.0	0.7	1.1	1.4	0.7	0.2	0.5	60	65
	1983	8.9	0.6	4.0	0.0	0.8	1.6	0.4	0.2	0.0	1.6	58	63
40-50	1968	8.1	0.8	4.1	0.0	1.5	3.0	2.2	0.4	0.2	0.9	66	74
	1973	5.7	0.7	3.8	0.0	1.1	1.8	2.7	0.4	0.1	0.6	55	62
	1979	11.0	1.0	4.1	0.0	0.8	1.3	1.3	0.7	0.2	0.9	61	67
	1983	6.8	0.7	3.9	0.0	1.0	2.3	0.4	0.3	0.0	2.1	72	78
Σ 0-50	1968	104	6.6		0.0	6.8	12.5	13.1	2.5	3.7	7.5	351	400
	1973	80.1	5.5		10.7	6.6	8.5	16.1	3.2	4.2	11.1	276	337
	1979	111	7.5		19.4	3.8	6.0	9.0	3.9	3.7	6.8	352	406
	1983	93	5.4		20.3*	4.3	7.9	4.9	3.1	11.5	15.3	349	423

\* Aufgrund Veränderungen im Rechenprogramm sind Abweichungen zu den Daten von ÜLRICH et al. (1979) Tab. 30 und 31 für austauschbare H<sup>+</sup> möglich.

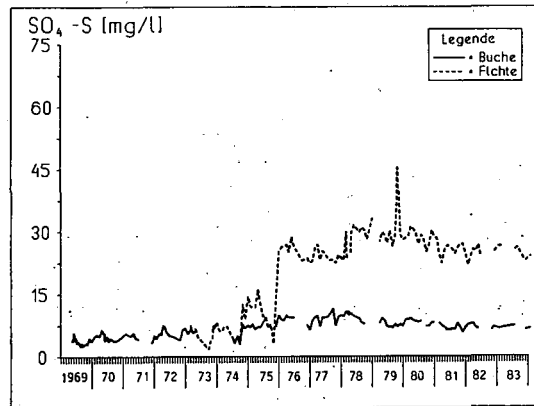


Elementvorräte in der Humusauflage B 1 kg/ha

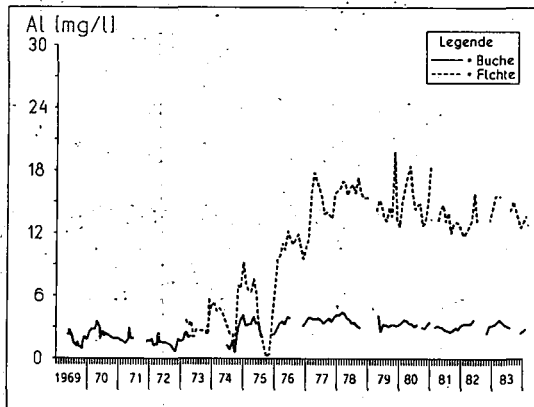
B u c h e										
	N	P	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	org. TM
1966	809	52	14	83	96	34	22	435	340	29.600
1973	953	60	7	67	117	24	23	385	259	41.800
1979	1010	60	5.5	71	116	29	25	472	287	44.600
1983	1269	71	8.2	79	113	58	28	541	281	48.100
F i c h t e F 1										
1968	960	53	19	41	83	20	14	305	196	49.000
1973	1130	60	7	51	88	20	15	378	210	56.400
1979	1250	79	7	89	114	34	21	650	269	64.600
1983	2034	101	9	85	153	35	25	753	369	96.300



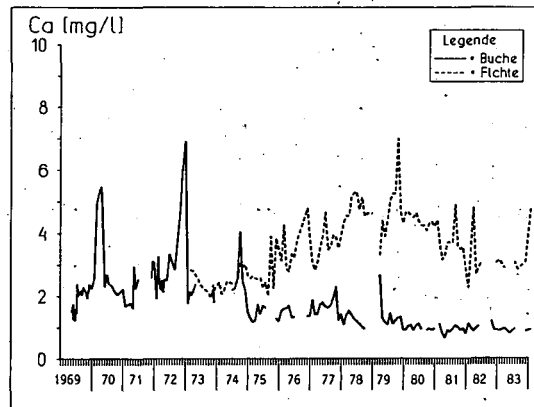
Versickerungs-Output



Versickerungs-Output



Versickerungs-Output



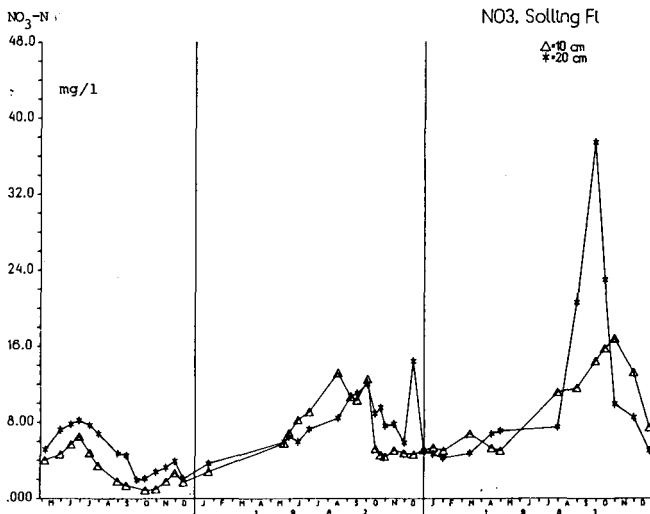
Versickerungs-Output

#### 4. Klimatisch bedingte Versauerungsschübe im Boden

Der Ionenkreislauf in einem Waldökosystem kann auf die beiden Zentralprozesse "Mineralisation" und "Ionenaufnahme" zurückgeführt werden. Beide Prozesse können mit Protonenumsätzen verbunden sein. Übersteigt die Rate des einen Prozesses räumlich oder zeitlich die des anderen, kann es zur Netto-Produktion bzw. Nettokonsumention von Protonen im Boden kommen. Eine Protonenproduktion resultiert insbesondere aus der vollständigen Mineralisation des Stickstoffs, d.h. aus der Bildung von  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Übersteigt die Rate der Nitrifikation (Salpetersäurebildung) die Rate der Nitratenaufnahme, werden Protonen im Boden produziert und ein Versauerungsschub resultiert. Die Rate der Nitrifikation wird, wie alle mikrobiellen Prozesse, von der Temperatur beeinflusst. Daher ist eine verstärkte Nitrifikation in warmen Jahren zu erwarten. Von der Dauer der Entkopplung des Ionenkreislaufs wird es abhängen, ob es sich um einen saisonalen oder um einen länger anhaltenden Versauerungsschub handelt.

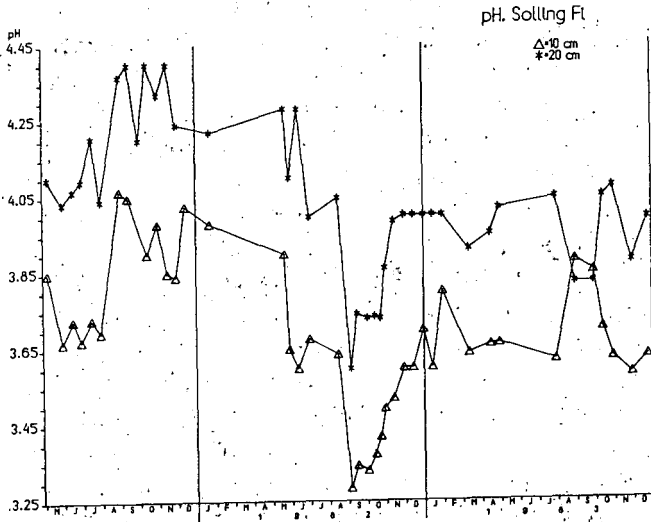
Die Auswirkungen eines Versauerungsschubes auf die Pflanze hängen stark von den im Boden vorhandenen Puffermöglichkeiten ab. Hier schließt sich wieder der Kreis zum Einfluß der sauren Depositionen auf den Boden und die Pflanzen, da die Puffermöglichkeiten des Bodens zunehmend durch die sauren Depositionen verbraucht werden. Ein gut gepufferter Boden kann einen Versauerungsschub abpuffern, ohne daß es zu einem Auftreten potentiell giftiger Ionen ( $\text{H}^+$ , Al, Mn, Fe, Schwermetalle) in der Bodenlösung kommt. Ist die Pufferkapazität des Bodens durch den Eintrag von Säure aus der Luft verbraucht, werden Versauerungsschübe in immer stärkerem Maß ökotoxikologisch wirksam.

Abb. 1 zeigt den Verlauf der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration in der Bodenlösung des F 1-Bestandes (Lysimeterlösungen) in 10 und 20 cm Tiefe von 1981-83.



In Abb. 2 sind zunächst die pH-Werte der Bodenlösung im F 1-Bestand in 10 und 20 cm Tiefe dargestellt.

Abb. 2: Verlauf der pH-Werte in der Bodenlösung



Wie aus Abb. 2 hervorgeht, hat der Verlauf der  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen in der Bodenlösung in 1981 und 1982 entsprechende Schwankungen der  $\text{H}^+$ -Konzentration zur Folge. Zu Beginn der Meßperiode ergibt sich im Jahre 1981 ein Abfall des pH-Wertes in 10 cm Bodentiefe, der auf den Anstieg der  $\text{NO}_3^-$ -N-Gehalte in dieser Periode zurückzuführen ist. Mit der Abnahme der  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen im Herbst 1981 steigt auch der pH-Wert der Bodenlösung merklich an.

Die Entwicklung der pH-Werte der Bodenlösung in 10 cm Tiefe im Jahre 1982 ist gekennzeichnet durch zwei starke Einbrüche. Zunächst fällt der pH-Wert, vergleichbar dem Ergebnis des Vorjahres, im Mai ab. Ende August kommt es aber im Zuge der starken Zunahme der  $\text{NO}_3^-$ -N-Konzentrationen zu einem weiteren sehr starken pH-Abfall bis zu einem Mittelwert von 3.28. Diese Entwicklung hat im Vorjahr nicht stattgefunden und stellt eine dramatische Veränderung der Bodenreaktion dar, da der pH-Wert innerhalb weniger Monate um ca. 0.7 Einheiten abfällt. Dies bedeutet eine Erhöhung der  $\text{H}^+$ -Konzentrationen in der Bodenlösung um den Faktor 5 auf  $0.52 \text{ mmol H}^+/\text{l}$ .

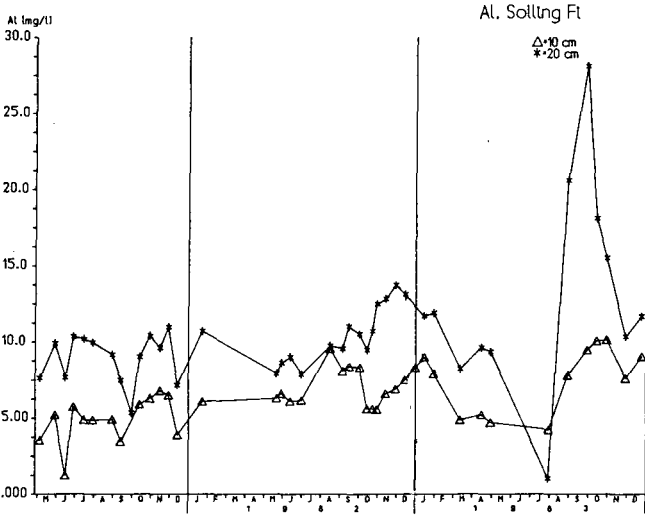
Dieser starke Versauerungsschub findet sich auch in größerer Bodentiefe wieder. So verlaufen die pH-Werte in 20 cm Bodentiefe etwa parallel zu denen in 10 cm Tiefe und erreichen ebenfalls Anfang September 1982 den niedrigsten Wert. Der pH-Abfall setzt sich auch noch in 40 und 80 cm Bodentiefe fort.

Eine Absenkung des pH-Wertes der Bodenlösung, wie sie im Oberboden des Fich-

tenbestandes im Solling 1982 gefunden wurde, stellt mit Sicherheit einen erheblichen Streß für die Feinwurzeln der Bäume dar. Nach ROST-SIEBERT (1985) erleiden Fichten- und Buchenkeimpflanzen (in Hydrokultur) Wurzelschäden durch direkte Säureeinwirkung bei pH-Werten um 3.5.

Der Zusammenhang zwischen  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen und pH-Wert in den Meßjahren 1981 und 1982 zeigt, daß der Boden des F 1-Bestandes über keine kurzfristig vorhandenen Puffermöglichkeiten verfügte. Solche liegen z.B. im Kationenaustausch oder in der Freisetzung von Al aus Al-Hydroxo-Verbindungen unter  $\text{H}^+$ -Konsumtion. Ein etwas anderes Bild ergibt sich für 1983. Trotz hoher  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen bleibt der pH-Wert nahezu konstant bei ca. 3.6. Eine Erklärung für diese Beobachtung geben die Al-Konzentrationen, die in Abb. 4 dargestellt sind.

Während die Al-Konzentrationen 1981 und 1982 nur wenig auf die steigenden Nitratkonzentrationen reagieren, zeigt sich 1983, daß der Versauerungsschub 1983 über die Freisetzung von Al sowohl in 10 als auch in 20 cm Tiefe ohne größere Änderungen des pH-Wertes abgepuffert werden kann. Dieser Befund, die fehlende Abpufferung 1982 bei Al-Freisetzung 1983, ist beim gegenwärtigen Stand der Datenauswertung hypothetisch mit einer möglichen starken Al-Freisetzung aus den Tonmineralen als Folge des pH-Abfalls 1982 zu erklären.



LITERATUR zu Kapitel 3 und 4

Junga, U. (1984): Sterilkultur als Modellsystem zur Untersuchung des Mechanismus der Aluminium-Toxizität bei Fichtenkeimlingen (*Picea abies* Karst.). Ber. d. Forschungszentr. Waldökosyst., Bd. 5, 1-175

Rost-Siebert, K. (1985): Al-Toxizität an Keimpflanzen von Buche und Fichte. Ber. d. Forsch. zentr. Waldökosyst., Bd. 13, im Druck

Prenzel, J. (1983): A mechanism for storage and retrieval of acid in acid soils. In: B. Ulrich and J. Pankrath (eds.): Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems, 157-170. D. Reidel Publ. Comp.

Ulrich, B. (1981): Eine ökosystemare Hypothese über die Ursachen des Tannensterbens. Forstw. Cbl. 100, 228-236

Tab. 2: Vergleich der Elementkonzentrationen in der Bodenlösung unter Fichte im Solling ( $\text{mmol IÄ} \cdot \text{l}^{-1}$ ) (10 cm Tiefe)

	Januar 82	September 82	$\Delta 82$	März 83	Oktober 83	$\Delta 83$
H	0.12	0.51	+0.47	0.23	0.25	+0.02
Na	0.10	0.17	+0.07	0.10	0.18	+0.08
K	0.12	0.05	-0.07	0.03	0.02	-0.01
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.00	0.01	+0.01	0.01	0.00	-0.01
1/2 Ca	0.12	0.30	+0.18	0.22	0.37	+0.15
1/2 Mg	0.07	0.13	+0.06	0.09	0.16	+0.07
1/3 Fe	0.01	0.02	+0.01	0.01	0.02	+0.01
1/2 Mn	0.04	0.06	+0.02	0.05	0.10	+0.05
1/3 Al	0.68	0.90	+0.22	0.54	1.12	+0.58
1/2 $\text{SO}_4\text{-S}$	0.65	0.78	+0.13	0.54	0.60	+0.06
1/2 $\text{PO}_4\text{-P}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.18	0.27	+0.09	0.21	0.30	+0.09
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.20	0.76	+0.56	0.48	1.21	+0.73
org. Anionen	0.12	0.41	+0.29	0.05	0.11	+0.06

Die Auswirkungen des Versauerungsschubs 1982/83 auf die Lösungschemie lassen sich, ebenso wie die vorherrschenden Pufferreaktionen, durch einen Vergleich der Gehalte aller gemessenen Kationen und Anionen weiter verdeutlichen. Exemplarisch werden daher die Gehalte der Bodenlösung in 10 cm Tiefe für die F 1-Fläche an 4 Terminen unterschiedlichen  $\text{NO}_3$ -Gehaltes (im Januar 1982, September 1982, März 1983, Oktober 1983) in Tab. 2 dargestellt.

Aus den angegebenen Differenzen lassen sich die für die einzelnen Meßjahre typischen Veränderungen in der Chemie der Bodenlösung ablesen. 1982 folgte der Erhöhung der  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen um 0.56  $\text{mmol IÄ/l}$  ein nahezu äquivalenter Anstieg der  $\text{H}^+$ -Ionen-Konzentration (0.73  $\text{mmol IÄ/l}$ ) hauptsächlich über Al-Freisetzung abgepuffert wird.

### Folgerungen

Die hier dargelegten Daten über die Dynamik bodenchemischer Elemente verdeutlichen, daß die aktuelle Zusammensetzung der Bodenlösung nicht nur von lang-

fristig wirkenden Prozessen, wie z.B. der sauren Deposition, bestimmt wird, sondern starken saisonalen Schwankungen unterworfen sein kann.

Die Existenz von saisonalen Versauerungsschüben und Entsauerungsphasen im Boden, wie sie von ULRICH (1981) postuliert wurde, kann somit als gesichert angesehen werden. Die Ergebnisse der verschiedenen untersuchten Standorte zeigen ferner, wie unterschiedlich Versauerungsschübe in verschiedenen Böden abgepuffert werden können, wobei selbst in einem Boden in verschiedenen Jahren unterschiedliche Reaktionen auftreten können. Aus ökotoxikologischer Sicht spielt die Ca- und Mg-Sättigung der austauschbaren Kationen als schnell reagierender Puffer eine große Rolle. Je höher die Sättigung von Ca und Mg ist, desto leichter kann der Boden einen saisonalen Versauerungsschub für die pflanzlichen Wurzeln unbemerkt durch den Austausch von basischen Kationen abpuffern. Ein Streß für das Feinwurzelsystem entsteht immer dann, wenn dieser Puffer aufgebraucht ist und der Versauerungsschub zum Anstieg der Konzentrationen von Kationsäuren und/oder zu extrem niedrigen pH-Werten in der Bodenlösung führt.

Die Erhöhung der Ca- und Mg-Sättigung des Bodens (z.B. durch eine Kalkung) würde also die Reaktionsfähigkeit des Bodens auf einen Versauerungsschub wesentlich verbessern und damit die möglichen negativen Auswirkungen auf die Wurzelentwicklung vermindern. Umgekehrt ist aber auch klar, daß saure Depositionen und die durch sie ausgelöste Bodenversauerung einerseits zum Auftreten toxischer Ionen in der Bodenlösung führen, andererseits die Effekte von saisonalen Versauerungsschüben in immer stärkerem Maß hervortreten lassen und so zur Destabilisierung der Wälder führen.

##### 5. Auswirkungen von Düngung und Kalkung auf den Elementumsatz und die Elementverteilung in Waldökosystemen

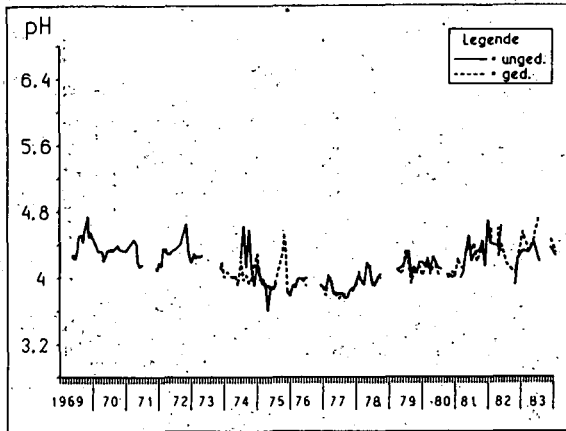
In beiden Beständen (B 1, F 1) wurden Unterflächen gedüngt (BD, FD). Zeitpunkt, Art und Menge des ausgebrachten Düngers gehen aus Tabelle 1 hervor.

Tab. 1: Menge, Art und Zeitpunkt der Düngungen ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )

Zeit	Art	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	Ca	Mg	K	Na	Mn	Cl
Juli 1973	Kalkamon-Salpeter 50-iger Kall	166	150	115	4	170	24	-	186
Okt. 1975	Hütten-Kalk	-	-	1188	360	30	12	16	-
Dez. 1980	Dolomitischer Kalk	-	-	772	456	5	2	1	-

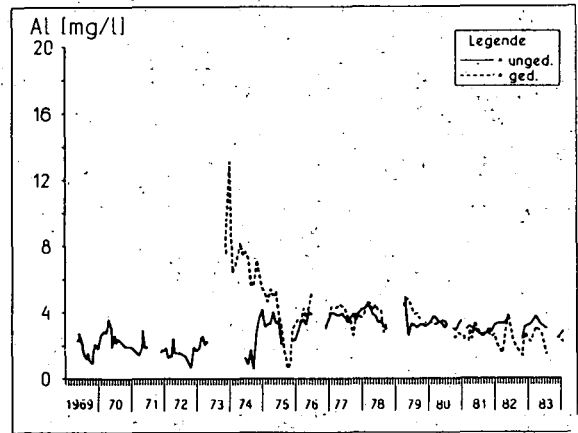


Abb. 1 a

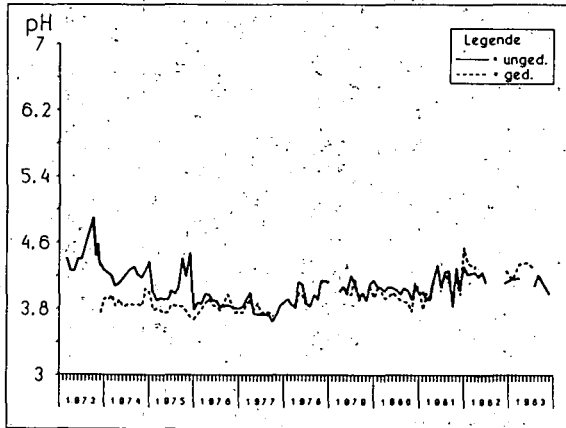


Versickerungs-Output ( Buche )

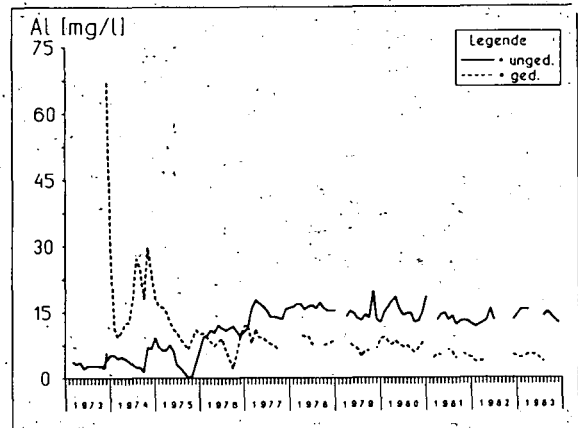
Abb. 1, b



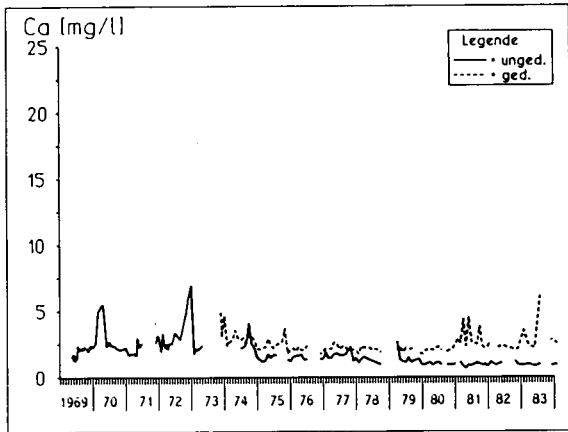
Versickerungs-Output ( Buche )



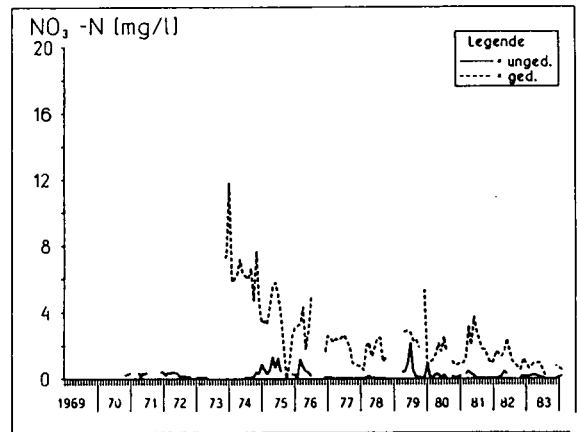
Versickerungs-Output ( Fichte )



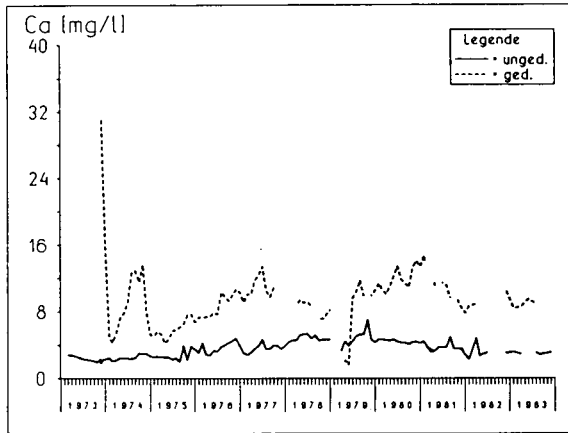
Versickerungs-Output ( Fichte )



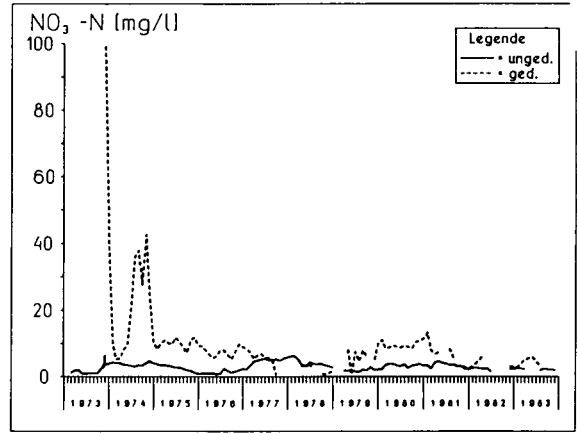
Versickerungs-Output ( Buche )



Versickerungs-Output ( Buche )



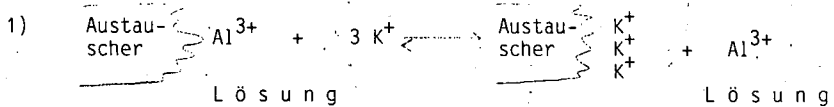
Versickerungs-Output ( Fichte )



Versickerungs-Output ( Fichte )

Nach der Mineraldüngung von 1973 liegen die pH-Werte (Abb. 1a) im Sickerwasser der gedüngten Flächen deutlich unter denen der ungedüngten. Ab 1975 (Buche) bzw. 1976 (Fichte) zeigen sich keine Unterschiede des pH-Werts zwischen den Flächen. Die Erklärung für die niedrigen pH-Werte in 1973 und 1974 liefern die Al-Konzentrationen (Abb. 1b), die als Folge der Düngungsmaßnahme weit über die Werte der ungedüngten Flächen ansteigen, um dann 1975/76 zunächst auf das Niveau der ungedüngten Flächen zurückzusinken. Die Al-Konzentrationen des ungedüngten Fichtenbestandes erhöhen sich in der Zeit von 1974/75 bis 1976/77 drastisch. Der Anstieg ist vermutlich bedingt durch die Auflösung von  $\text{Al}(\text{OH})_3$  als Folge fortschreitender Bodenversauerung (PRENZEL 1983). Die Kalkung in 1975 hat diesen Anstieg der Al-Konzentrationen verhindert. Auf der gekalkten Fichtenfläche zeigt sich ferner eine langsame Abnahme der Al-Konzentrationen.

Die Düngung leicht löslicher stark selektiv gebundener Kationen wie  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{K}^+$  dürfte zu folgender Reaktionskette geführt haben: (Die Reaktion ist exemplarisch für  $\text{K}^+$  dargestellt, gilt aber auch für  $\text{NH}_4^+$ )



Auf den in Gleichung 1 und 2 dargestellten Reaktionswegen können die Befunde in Abb. 1a und b zurückgeführt werden.

Die in Abb. 1c dargestellten Ca-Konzentrationen im Sickerwasser der gedüngten Flächen zeigen einen - im Vergleich zu den ausgebrachten Ca-Mengen - erstaunlich geringen Anstieg. Dies ist auf die geringe Löslichkeit der ausgebrachten Kalke und auf die hohe Sorptionskraft des Auflagehumus (s.u.) zurückzuführen. Bemerkenswert erscheint noch der auf der ungedüngten Buchenfläche deutlich ausgeprägte Abfall der Ca-Konzentrationen von 1969-1983, der vermutlich auf eine Erschöpfung der austauschbaren Ca-Vorräte zurückzuführen ist. Die zeitliche Entwicklung der austauschbaren Ca-Vorräte von 1966 bis 1983 zeigte dies deutlich (MATZNER, unveröffentlicht).

Die mögliche Mobilisierung von N nach Kalkungen und die sich daraus ergebenden negativen Folgen (N-Verluste des Bodens, Belastung der Hydrosphäre) stellt ein häufiges Argument gegen Kalkungen dar. Der Verlauf der  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen im Sickerwasser der gedüngten Bestände ist zunächst geprägt durch sehr hohe  $\text{NO}_3^-$ -Gehalte nach der N-Düngung 1973. Dies gilt insbesondere für die Fichtenfläche, auf der Konzentrationen von bis zu  $40 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$  auftraten und die ausgebrachte  $\text{NO}_3^-$ -Düngeremenge quantitativ ausgewaschen wurde. Die  $\text{NO}_3^-$ -N-Konzentrationen gehen 1975 bereits stark zurück und stabilisieren sich, liegen allerdings sowohl auf der Buchenfläche, als auch auf der Fichtenfläche über den Werten der ungedüngten Varianten. Dies kann auf den Einfluß der Kalkung zurückgeführt werden, wobei allerdings berücksichtigt werden sollte, daß die  $\text{NO}_3^-$ -N-Konzentrationen nach der Kalkung möglicherweise in den Beständen besonders hoch liegen, da 2 Jahre zuvor eine N-Düngung ausgebracht wurde. Zur Bewertung der  $\text{NO}_3^-$ -Gehalte im Sickerwasser muß allerdings ferner auf den äußerst geringen Anstieg unter Buche hingewiesen werden (ca.  $3 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$ ), der als unbedenklich bezeichnet werden kann. Unter Fichte liegen die  $\text{NO}_3^-$ -Gehalte generell höher als unter Buche. Dementsprechend erreichen die  $\text{NO}_3^-$ -N-Gehalte nach der Kalkung auch höhere Werte, die bei maximal  $10 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$  liegen und damit den neuen Grenzwert für Trinkwasser ( $12 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$ ) nie überschreiten.

Die N-Verluste mit dem Sickerwasser liegen im Mittel von 1975 bis 1983 für die Flächen B 1, B D, F 1, F D bei  $3, 14, 15, 30 \text{ kg NO}_3\text{-N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Der durch Kalkung ausgelöste N-Verlust erreicht somit bei Fichte maximal  $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  und bleibt damit immer noch unter den jährlich durch Deposition in das System gelangenden N-Mengen.

Die neueren Untersuchungen zur Frage der Al-Toxizität zeigten, daß weniger die absolute Al-Konzentration als vielmehr das Ca/Al-Verhältnis der Bodenlösung für die Schädigung des Wurzelsystems verantwortlich ist (ROST-SIEBERT 1983, JUNGA 1984). Abb. 2 zeigt daher die Entwicklung der Ca/Al-Verhältnisse im Sickerwasser der Versuchsbestände.

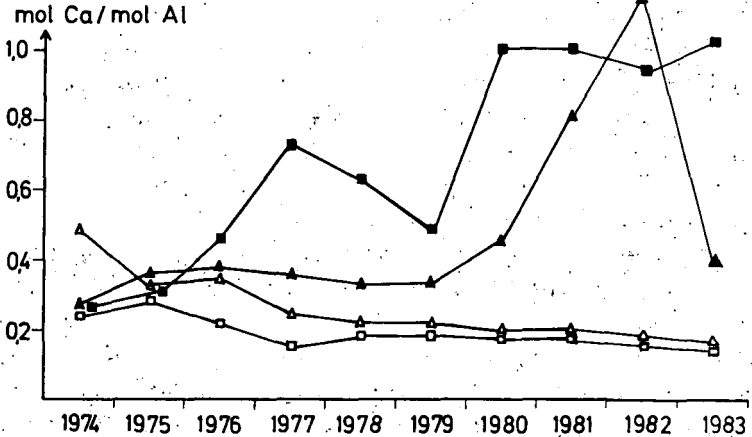
---

Rost-Siebert, K. (1983): Aluminium Toxizität und -Toleranz an Keimpflanzen von Fichte und Buche. AFZ 25/26, 686-689

Junga, U. (1984): Sterilkultur als Modellsystem zur Untersuchung des Mechanismus der Aluminium-Toxizität bei Fichtenkeimlingen (*Picea abies* Karst.). Ber.d.Forschungszentr.Waldökosyst., Bd. 5, 1-175

Abb. 2:

▲ = Buche ungedüngt    □ = Fichte ungedüngt  
 ▲ = Buche gedüngt      ■ = Fichte gedüngt



Die Kalkung 1975 hat zu einer deutlichen Erhöhung des Ca/Al-Verhältnisses im Sickerwasser der gedüngten Bestände geführt, wobei der Anstieg unter dem Fichtenbestand schneller erfolgt als unter Buche. Dies mag mit der größeren Säurebelastung des Fichtenbestandes und der damit verbundenen erhöhten Lösungsrate zusammenhängen. Als weitere Gründe lassen sich die unterschiedlichen Benetzungsverhältnisse im Auflagehumus anführen, da bei Buche durch die plattig aufliegenden Blätter ein geringerer Teil des Kalkes mit dem Perkolationswasser interagiert. Letztlich mag auch der hohe Anteil von saurem, durch Düngungen wenig zu beeinflussende Stammablauf am Sickerwasser von Bedeutung sein.

Zur Beurteilung der Frage der Säurebelastung tieferer Bodenschichten und des Grundwassers stellt der Gesamtsäure-Anstieg ein geeignetes Maß dar. Der Säuretransport in sauren Böden findet zum größten Teil in Form von Kationen-Säuren statt. Als solche kann man die durch Abpufferung von Protonen freigesetzte Ionen der Elemente Al, Mn und Fe bezeichnen. In der hier untersuchten Tiefe von 90 cm spielen allerdings nur Al und Mn, neben den freien Protonen, eine Rolle. Daher sind in Abb. 3a und b die jährlichen Raten des Gesamtsäure-Austrags unter den 4 beobachteten Beständen dargestellt. Übersteigt der Säure-Austrag der ungedüngten Bestände denjenigen der gedüngten, so ist die Differenz zusätzlich als negativer Wert eingezeichnet.

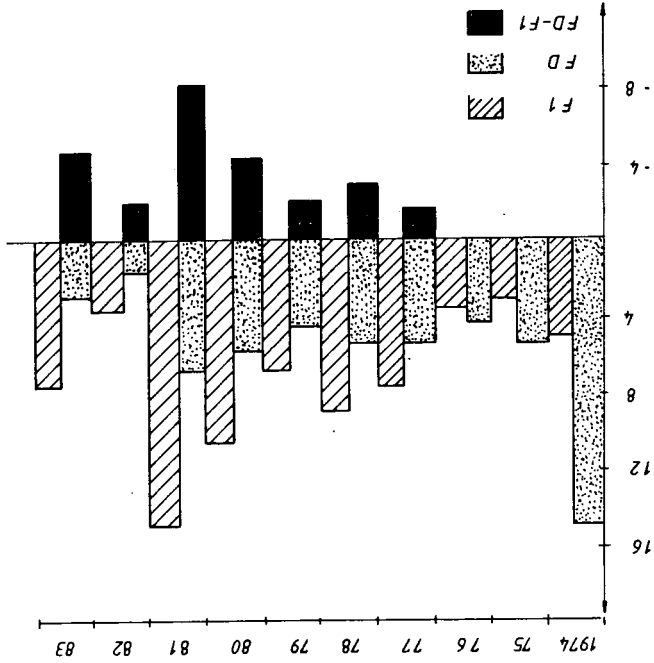


Abb. 3b:

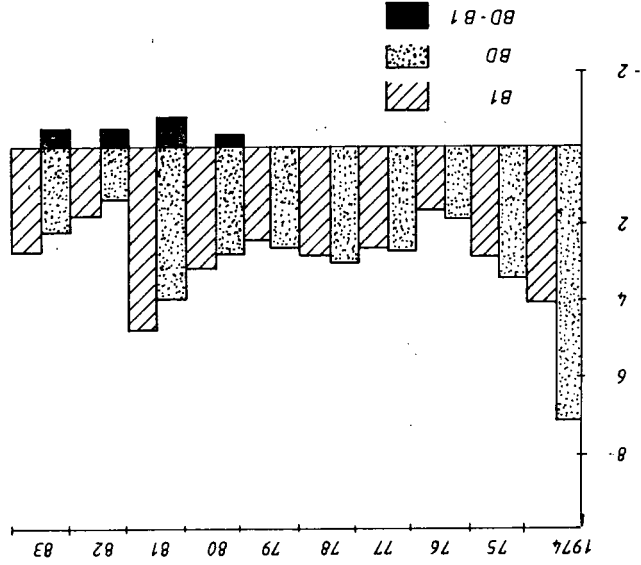


Abb. 3a:

Die Mineraldüngung 1973 hat über die Freisetzung austauschbarer Al-Ionen sowohl unter Fichte als auch unter Buche zu extrem hohen Raten des Gesamtsäure-Austrags geführt. Daher sind in den ersten Beobachtungsjahren die Säureausträge unter den gedüngten Flächen höher als die der ungedüngten. Als Folge der Kalkungsmaßnahme kehren sich die Verhältnisse jedoch um, die Säureausträge unter den gedüngten Flächen werden geringer als in den Vergleichsbeständen. Diese Entwicklung hat unter der Fichtenfläche schneller eingesetzt als unter Buche. Bei Fichte konnte der auf der ungedüngten Fläche auftretende starke Anstieg der Al-Konzentrationen im Sickerwasser durch die Kalkung offensichtlich verhindert werden. Die Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten sind unter Fichte wesentlich deutlicher ausgeprägt als unter Buche. Unter der gedüngten Fichtenfläche werden bis zu 8 kmol IÄ Säure weniger ausgetragen als unter der ungekalkten Parzelle. Insgesamt sind die jährlichen Raten des Säureaustrags stark von der Sickerwassermenge abhängig, was sich besonders in den Jahren 1981 (extrem regenreich) und 1982/83 (regenarm) zeigt.

Die Ergebnisse der Inventur des Mineralbodens sind in Tabelle 2 dargestellt.

In beiden Beständen hat die Kalkung das pH nur im Oberboden (0 - 10 cm) beeinflusst. Der Anstieg ist nicht sehr stark ausgeprägt und reicht von pH 3.2 zu 3.4 bei Buche und von 2.9 zu 3.2 bei Fichte.

Die bedeutsamsten Veränderungen im Vorrat und der Verteilung der austauschbaren Kationen finden sich erwartungsgemäß bei den Elementen K, Ca und Mg.

Die Ausbringung von insgesamt ca. 205 kg K/ha (Tabelle 1) hat den Vorrat austauschbaren Kaliums im Mineralboden des Buchenbestandes um ca. 88 kg/ha erhöht, bei Fichte um ca. 64 kg/ha. Die Tiefenverteilung der Vorratsänderungen zeigt dabei, daß der K-Vorrat hauptsächlich im Unterboden erhöht wurde. Dies gilt insbesondere für Buche (20 - 50 cm), aber auch für Fichte (10 - 50 cm).

Im Gegensatz zu K findet sich die durch die Kalkung ausgelöste Änderung der Vorräte an austauschbarem Ca und Mg zum größten Teil im Oberboden (0 - 10 cm). Allerdings werden, bei großen vertikalen Gradienten die Ca- und Mg-Vorräte im Unterboden auch durch die Kalkung erhöht. 1983 war der gesamte austauschbare Ca- und Mg-Vorrat im Mineralboden der gedüngten Flächen etwa 4-5 mal so groß als auf den ungedüngten. Zieht man die ausgebrachte Ca- und Mg-Menge in Betracht ( $2075, 820 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), so findet sich nur ein

Tabelle 2: Elementvorräte im Mineralboden in gedüngten und ungedüngten Flächen (+ 95% Vertr. Intervall)

Table 2: Element storage in the mineral soil of the fertilized and unfertilized stands (+ 95% confidence intervall)

B u c h e ungedüngt

Tiefe (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Mg/ha		austauschbare Kationen (kg · ha <sup>-1</sup> )								A <sub>1</sub> (kmol <sub>+</sub> IK ha <sup>-1</sup> )	TSP g/cm <sup>3</sup>
		C	N	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al		
0 - 10	3.2	36.5	2.1	18.0	25.4	64.1	62.9	16.2	122	172	775	124	1.15
10 - 20	3.7	18.9	1.1	2.8	23.3	57.3	28.8	7.4	14.9	167	664	88	1.19
20 - 30	4.0	13.2	1.0	0.1	26.6	48.2	16.9	4.7	8.4	61.2	606	74	1.30
30 - 40	4.1	11.8	1.0	0.0	31.5	53.4	8.0	3.8	4.4	37.3	564	68	1.48
40 - 50	4.2	8.9	0.8	0.0	26.9	53.9	3.3	3.5	0.0	23.1	524	62	1.48
Σ 0-50		89.3	6.0	20.9	134	277	120	35.6	150	461	3133	416	
		+ 5.8	+ 0.6	+ 1.8	+ 7.6	+ 22	+ 22	+ 3.5	+ 22	+ 54	+ 196	+ 24	

B u c h e gedüngt

0 - 10	3.4	52.5	2.6	15.4	11.9	70.1	278	110	93.7	100	712	129	1.15
10 - 20	3.7	23.5	1.5	3.1	19.0	64.1	50.3	22.7	13.7	94.0	725	95	1.19
20 - 30	4.0	17.0	1.2	0.0	28.2	63.7	31.0	15.1	1.6	42.6	633	78	1.30
30 - 40	4.1	12.2	0.9	0.0	30.0	77.5	26.8	12.1	3.0	25.2	666	81	1.48
40 - 50	4.0	9.0	0.7	0.0	31.1	90.1	21.3	12.4	5.9	24.8	678	82	1.48
Σ 0-50		114	6.9	18.5	120	365	407	172	118	287	3414	465	
		+ 15.5	+ 0.7	+ 2.7	+ 17	+ 27	+ 132	+ 41	+ 28	+ 40	+ 189	+ 21	



F i c h t e ungedüngt

Tiefe (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Mg/ha		austauschbare Kationen (kg · ha <sup>-1</sup> )								Ake kmol IA ha <sup>-1</sup>	TRD g/cm <sup>3</sup>
		C	N	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al		
0 - 10	2.9	43.1	2.2	19.7	21.7	51.0	57.1	20.6	307	101	688	123	0.93
10 - 20	3.6	22.3	1.2	0.6	20.7	50.4	14.7	7.0	13.7	153	715	90	1.14
20 - 30	3.9	12.4	0.7	0.0	16.4	53.5	11.4	4.1	1.1	67.2	573	69	1.14
30 - 40	4.0	8.9	0.6	0.0	17.8	62.4	8.7	3.0	1.1	45.5	522	63	1.14
40 - 50	3.9	6.8	0.7	0.0	22.7	90.2	8.6	4.2	0.0	47.0	652	78	1.39
Σ 0-50		93.5 ± 4.7	5.4 ± 0.3	20.3 ± 6.0	99.3 ± 8.0	307 ± 39	100 ± 13	38.9 ± 2.4	323 ± 35	414 ± 70	3150 ± 180	423 ± 23	

F i c h t e gedüngt

0 - 10	3.2	35.9	1.8	15.8	24.9	49.3	296	131	156	143	643	129	0.93
10 - 20	3.7	17.0	0.9	1.7	32.1	68.6	60.3	28.8	8	139	641	87	1.14
20 - 30	3.9	8.5	0.5	0.0	26.2	70.0	29.3	16.5	0	62.7	449	58	1.14
30 - 40	4.0	5.4	0.4	0.0	33.8	77.0	28.0	13.2	3.4	47.2	458	59	1.14
40 - 50	3.9	4.6	0.3	0.0	30.6	106	39.8	18.6	8.3	47.7	709	89	1.39
Σ 0-50		71 ± 6.1	3.9 ± 0.3	17.5 ± 5.0	148 ± 11	371 ± 45	453 ± 75	208 ± 20	176 ± 50	440 ± 50	2900 ± 260	422 ± 36	

relativ kleiner Prozentsatz von 15-20% im Mineralboden. Dieser reicht aber aus, um die Basensättigung (% Ca, Mg, K an der  $AK_e$ ) in 0 - 10 cm Tiefe von ca. 5% auf ca. 20%, und in 10 - 30 cm von 3-4% auf 5-8% zu erhöhen.

Austauschbare Protonen werden nur im Oberboden angetroffen. Ihr Vorrat wird nur geringfügig durch Kalkung reduziert, entsprechend dem nur geringen Anstieg der pH-Werte im Oberboden. Gleiches gilt für die austauschbaren Fe-Vorräte.

Die Ergebnisse der Inventur des Auflagehumus finden sich in Tabelle 3.

Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied in den C, N- und P-Vorräten zwischen den gedüngten und ungedüngten Parzellen. Die gefundenen Differenzen liegen innerhalb der 95% Vertrauens-Intervalle und sind zudem für Buche und Fichte unterschiedlich. N- und C-Verluste bei Fichte stehen N- und C-Gewinne bei Buche gegenüber.

Die Ergebnisse für die anderen Elemente sind bei Buche und Fichte hingegen konsistent. Hier zeigen sich die größten Effekte für Ca, Mg, Mn und Al. Die Differenzen verdeutlichen, daß der größte Teil des ausgebrachten Ca und Mg immer noch in der Humusaufgabe gespeichert ist. Die Bestimmung des Carbonat-Gehaltes der Auflagehumusproben erbrachte einen carbonatischen Anteil am Gesamt-Ca und -Mg von ca. 20% bei Fichte und 50% bei Buche, obwohl die letzte Kalkung bereits 3 Jahre zuvor erfolgte.

Bei Buche ist die Differenz des Ca- und Mg-Vorrats im Auflagehumus zwischen gedüngter und ungedüngter Fläche größer als die gesamte Ca- und Mg-Gabe (vgl. Tabelle 1). Dieser Befund muß mit einer ungleichmäßigen Ausbringung des Kalkes erklärt werden, die sich auch in sehr großen Streuungen der Ca- und Mg-Vorräte äußert.

Die Erhöhung des Al-, Mn- und Fe-Vorrats im Auflagehumus der gedüngten Bestände kann auf 2 Prozesse zurückgeführt werden: Der ausgebrachte Kalk hatte einen mineralischen Rückstand von ca. 8%, dessen Gehalt an Al, Mn und Fe bei der Aschenanalyse zumindest teilweise erfaßt wird. Weiterhin kann eine höhere biologische Aktivität im Auflagehumus eine erhöhte Bioturbation und damit den verstärkten Eintrag von mineralischen Bodenteilen in den Auflagehumus zur Folge haben.

Tabelle 3: Elementvorräte im Auflagehumus ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$   $\pm$  95% Vertr. Intervall)

Table 3: Elementstorage of the humus layer ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$   $\pm$  95% confidence intervall)

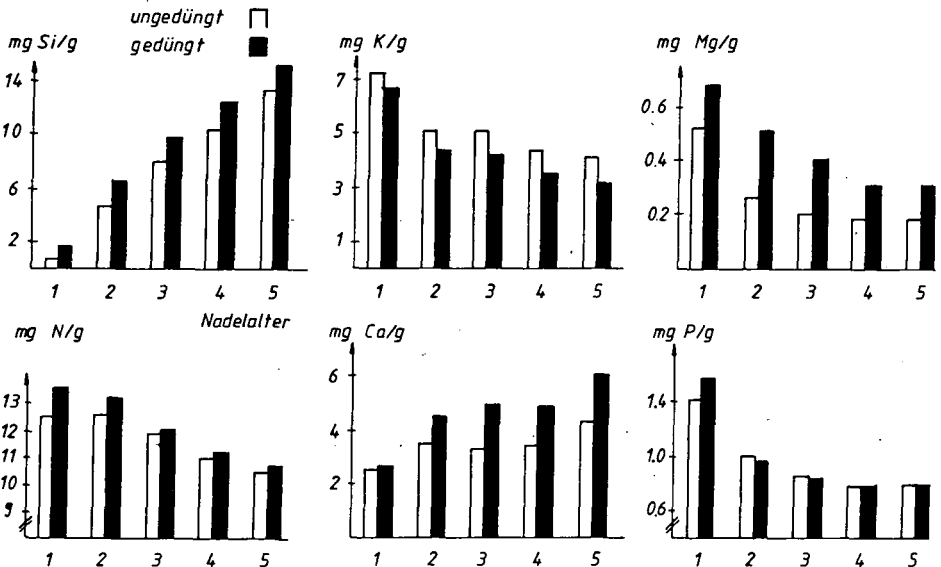
	C	N	P	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
Fichte un- gedüngt	48.400	2030	101	9.4	85.5	153	35.3	24.9	753	369
	$\pm$ 4.900	$\pm$ 220	$\pm$ 9.6	$\pm$ 0.8	$\pm$ 8.6	$\pm$ 18.6	$\pm$ 4.0	$\pm$ 4.0	$\pm$ 9.0	$\pm$ 56
Fichte gedüngt	41.300	1840	107	12.9	100	1593	586	105	929	723
	$\pm$ 5.300	$\pm$ 190	$\pm$ 15	$\pm$ 2.0	$\pm$ 15	$\pm$ 240	$\pm$ 220	$\pm$ 23	$\pm$ 120	$\pm$ 84
Buche ungedüngt	24.000	1270	71.2	8.2	78.7	113	29.3	27.8	541	281
	$\pm$ 2.300	$\pm$ 132	$\pm$ 6.0	$\pm$ 0.8	$\pm$ 9.6	$\pm$ 22.0	$\pm$ 3.0	$\pm$ 6.4	$\pm$ 58	$\pm$ 38
Buche gedüngt	28.400	1540	85.3	23.2	117	2800	1080	118	718	816
	$\pm$ 4.600	$\pm$ 230	$\pm$ 12	$\pm$ 12	$\pm$ 30	$\pm$ 1100	$\pm$ 540	$\pm$ 29	$\pm$ 132	$\pm$ 290

Der nadelanalytische Vergleich zwischen den Flächen F D und F 1 geht aus Abb. 4 hervor.

Neben einer leichten Erhöhung der N- und Si-Gehalte der Nadeln auf der gedüngten Fläche, zeigen sich deutliche Unterschiede bei Ca und Mg, wo die Gehalte der gedüngten Flächen deutlich über denen der ungedüngten liegen. Bei Betrachtung der frisch geernteten Zweige fiel auf, daß die auf der F 1-Fläche entnommenen Nadeln vom 3. (z.T. vom 2.) Jahrgang an Gelbverfärbungen zeigten, die an den Nadeln aus der F D-Fläche nicht gefunden wurden.

Die K-Gehalte der Nadeln liegen auf der F D-Fläche leicht unter denen der ungedüngten F 1-Fläche, ohne allerdings in den akuten K-Mangelbereich zu gelangen, obwohl die F D-Fläche mit K gedüngt wurde und obwohl die austauschbaren K-Gehalte im Boden über denen der F 1-Fläche liegen. Hier deutet sich eine Gefahr von Kalkungen an, da über dem Ca/K-Antagonismus die K-Versorgung des Bestandes auf K-armen Böden ins Minimum geraten könnte.

### Elementgehalte Fichte: Nadeln



J. Schaueremann

Zur Fauna der Solling - Wälder und - Wiesen

Die Tiergesellschaften eines Hainsimsen - Buchenwaldes, eines Siebenstern - Fichtenforstes und einer Goldhaferwiese des Solling wurden als deutscher Beitrag des Internationalen Biologischen Programms durch die Abteilung Ökologie des II. Zoologischen Instituts untersucht. Die Arbeiten wurden bis heute fortgesetzt. Zur Zeit laufen Untersuchungen über die Auswirkungen der Luftschadstoffbelastungen auf die Tiere im Rahmen der integrierten Untersuchungsvorhaben des Forschungszentrums Waldökosysteme / Waldsterben der Universität Göttingen. Dieser Beitrag wurde aus dem Buch: Ökosystemforschung im Solling (Ellenberg, H., J. Schaueremann, R. Mayer) - im Druck - und der Arbeit: Zur Reaktion von Bodentieren nach Düngung von Hainsimsen - Buchenwäldern und Siebenstern - Fichtenforsten im Solling, J. Schaueremann, AFZ - im Druck - zusammengestellt. Das Schwergewicht der Arbeiten lag jeweils bei der Untersuchung von Bionomie und Energieumsatz der dominanten Arten.

Die Tiergesellschaften der Moderböden von Buche und Fichte im Solling ist gekennzeichnet durch das weitgehende Fehlen von kalkschalentragenden Asseln, Doppelfüßern, Schnecken und den meisten Regenwurmarten. Im Mullboden der Goldhaferwiese existiert dagegen eine reiche Lumbricidengesellschaft mit außergewöhnlicher Bioturbationsleistung. Die Böden weisen sehr hohe Siedlungsdichten und Umsatzleistungen der Mikro - und Mesofaunagruppen in der organischen Auflage auf.

1. Artenspektrum, Siedlungsdichte, Biomasse

Viele Tiergruppen erreichen eine hohe Artenzahl; dieses gilt besonders für Hymenopteren und Dipteren. Kennzeichnend für Wälder und Wiesen ist eine hohe, die Untersuchung erschwerende, Artenzahl. Fast jede Gruppe enthält nur wenige dominante Schlüsselarten. In den Düngungsversuchen der Buche und Fichte werden diese Schlüsselarten z.T. durch vorher seltene Arten ersetzt. Die Gesamtartenzusammensetzung scheint sich in den Düngungsversuchen nicht zu ändern.

Die höchsten Siedlungsdichten erreichen Thekamöben, Fadenwürmer, Enchyträen, Milben und Springschwänze in allen Ökosystemen. Auch bei der Biomasse dominieren diese Gruppen in den Wäldern. Auf der Goldhaferwiese haben die Regenwürmer die höchste Biomasse. Unter diesen dominiert der Regenwurm Lumbricus terrestris. In den Düngungsversuchen

der Wälder erhöht sich die Biomasse und Siedlungsdichte der streulebenden Regenwürmer *Dendrobaena octaedra*, *D. rubida* und *Lumbricus rubellus* sehr stark. Die o.g. Mesofaunagruppen haben niedrigere Dichten und Biomassen, ähnlich den Verhältnissen des Göttinger Kalkbuchenwaldes.

Einige dominante Arten im Buchenwald sind:

Enchytraeidae - *Mesenchytraeus glandulosus*, Lumbricidae - *Dendrobaena octaedra*,  
Diptera - *Fannia polychaeta*, Elateridae - *Athous subfuscus*, Dermaptera - *Chelidurella  
acanthopygia*, Araneida - *Coelotes terrestris*, Drapedisca socialis, *Tapinocyba pallens*,  
Pseudoscorpionida - *Neobisium carcinoides*, Staphylinidae - *Othius punctulatus*, *Othius  
myrmecophilus*, *Oxygaster annularis*, *Liogluta wüsthoffi*, *Liogluta granigera*, *Atheta livida*,  
*Sipalia circellaris*, Chilopoda - *Lithobius curtipes*, *Lithobius mutabilis*, Carabidae -  
*Pterostichus oblongopunctatus*, *Pt. metallicus*, Curculionidae - *Rhynchaenus fagi*, *Phyllo-  
bius argentatus*, *Strophosomus melanogrammus*, Lepidoptera - *Chimabacche fagella*,  
*Lithocolletis faginella*, Aphidina - *Phyllaphis fagi*, Auchenorrhyncha - *Typhlocyba cruenta*,  
Pseudococcidae - *Cryptococcus fagi*, Aves-Buchfink - *Fringilla coelebs*, Soricidae -  
Wald- und Zwergspitzmaus - *Sorex araneus*, *S. minutus*.

## 2. Räumliche Verteilung der Tiere

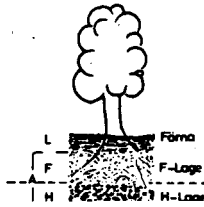
### Horizontale Verteilung

Die horizontale Verteilung der Tiere ist in den Wäldern sehr viel einheitlicher als im Göttinger Kalkbuchenwald. Zersetzendes Holz bietet Siedlungsmöglichkeiten für bestimmte Arten, die sich wie o.g. Regenwürmer und der Doppelfüßer *Mycogona germanicum* von dort in den Düngungsversuchen ausbreiten können.

### Vertikale Verteilung

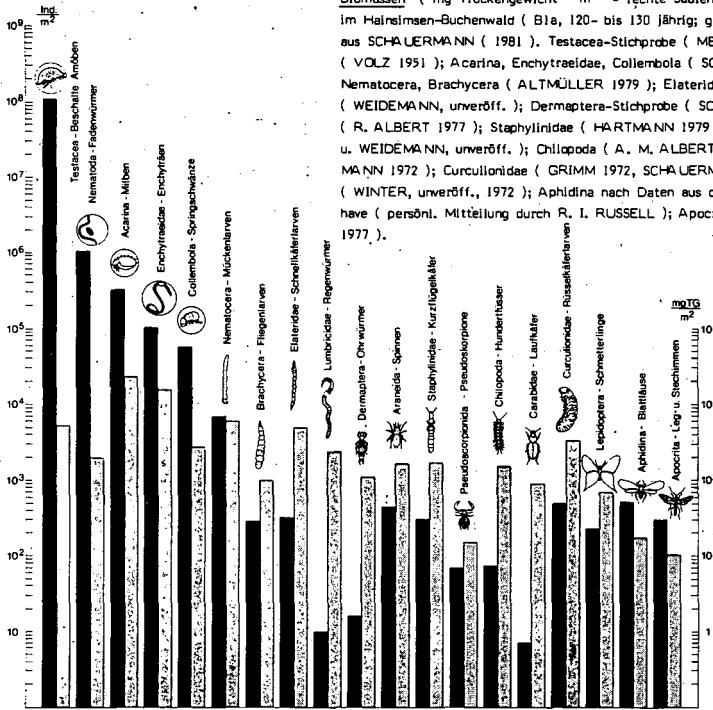
Der Fermentationshorizont im Moderboden bildet ganzjährig das Siedlungszentrum der Tiere auch auf der Goldhaferwiese. Dieses Verteilungsmuster ändert sich nur geringfügig unter Einfluß niedriger Temperaturen im Winter und unter Sommertrockenheit. Jugendstadien sind oft im kleineren Lückensystem des Bodens zu finden. In der Tiefe der Mineralbodenschichten der Wälder leben nur spezielle Lebensformtypen wie wurzelfressende Rüsselkäferlarven, räuberische Fliegenlarven u.a. Im Boden der Goldhaferwiese wird dazu das Gangsystem der tiefgrabenden Regenwurmarten ( Drilosphäre ) von anderen Tiergruppen mit besiedelt. Maulwürfe sind auf der Goldhaferwiese häufig.

Die Vegetationsschicht in den Wäldern wird nur in der Vegetationsperiode durch Pflanzenfresser und deren Räuber und Parasiten intensiver besiedelt.

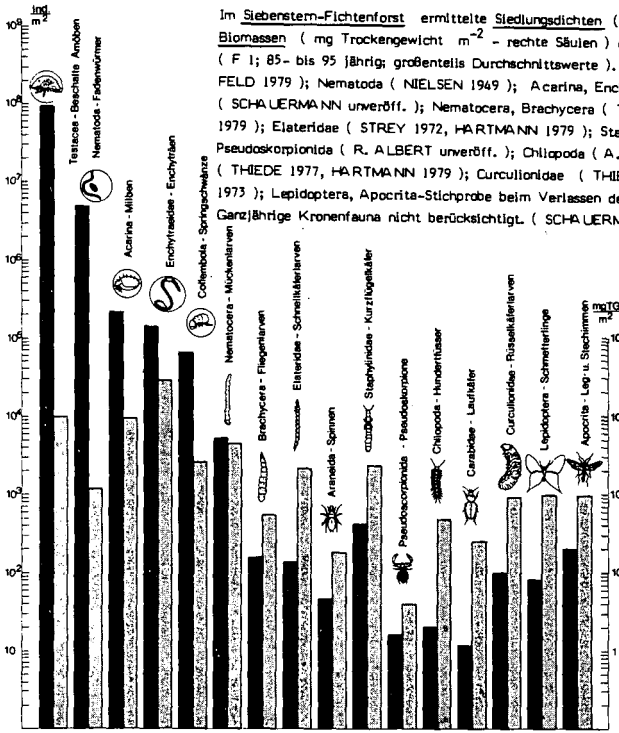
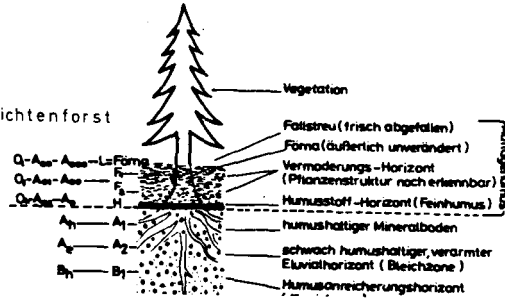


Hainsimsen - Buchenwald

Im Hainsimsen-Buchenforst ermittelte Siedlungsdichten ( Ind. · m<sup>-2</sup>-linke Säulen) und Biomassen ( mg Trockengewicht · m<sup>-2</sup> - rechte Säulen) der dominanten Tiergruppen im Hainsimsen-Buchenwald ( Blä, 120- bis 130e Jährig; großenteils Durchschnittswerte ); aus SCHA UERMANN ( 1981 ). Testacea-Stichprobe ( MEISTERFELD 1979 ); Nematoda ( VOLZ 1951 ); Acarina, Enchytraeidae, Collembola ( SCHA UERMANN unveröff. ); Nematocera, Brachycera ( ALTMÜLLER 1979 ); Elateridae ( STREY 1972 ); Lumbricidae ( WEIDEMANN, unveröff. ); Dermaptera-Stichprobe ( SCHA UERMANN 1977 ); Araneida ( R. ALBERT 1977 ); Staphylinidae ( HARTMANN 1979 ); Pseudoskorpionida ( R. ALBERT u. WEIDEMANN, unveröff. ); Chilopoda ( A. M. ALBERT 1982 ); Carabidae ( WEIDEMANN 1972 ); Curculionidae ( GRIMM 1972, SCHA UERMANN 1972 ); Lepidoptera ( WINTER, unveröff., 1972 ); Aphidina nach Daten aus dem dänischen IBP-Projekt Hestehave ( persönl. Mitteilung durch R. I. RUSSELL ); Apocrita-Stichprobe ( SCHA UERMANN 1977 ).

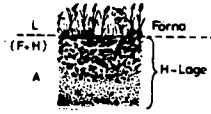


Siebenstern - Fichtenforst

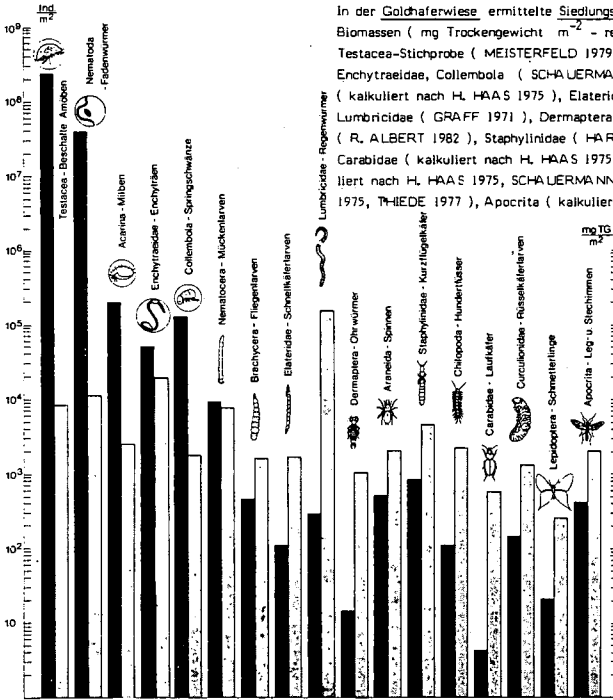


Im Siebenstern-Fichtenforst ermittelte Siedlungsdichten ( Ind. m<sup>-2</sup> - linke Säulen) und Biomassen ( mg Trockengewicht m<sup>-2</sup> - rechte Säulen) der dominanten Tiergruppen ( F 1; 85- bis 95 jährig; größtenteils Durchschnittswerte ). Testacea-Stichprobe ( MEISTER-FELD 1979 ); Nematoda ( NIELSEN 1949 ); Acarina, Enchytraeidae, Collembola ( SCHAUERMANN unveröff. ); Nematocera, Brachycera ( THIEDE 1977, ALTMÜLLER 1979 ); Euleroidea ( STREY 1972, HARTMANN 1979 ); Staphylinidae ( HARTMANN 1979 ); Pseudoskorpionide ( R. ALBERT unveröff. ); Chilopoda ( A. ALBERT 1982 ); Carabidae ( THIEDE 1977, HARTMANN 1979 ); Curculionidae ( THIEDE 1977, SCHAUERMANN 1973 ); Lepidoptera, Apocrite-Stichprobe beim Verlassen des Bodens ( THIEDE 1977 ). Ganzjährige Kronenfauna nicht berücksichtigt ( SCHAUERMANN 1977 ).



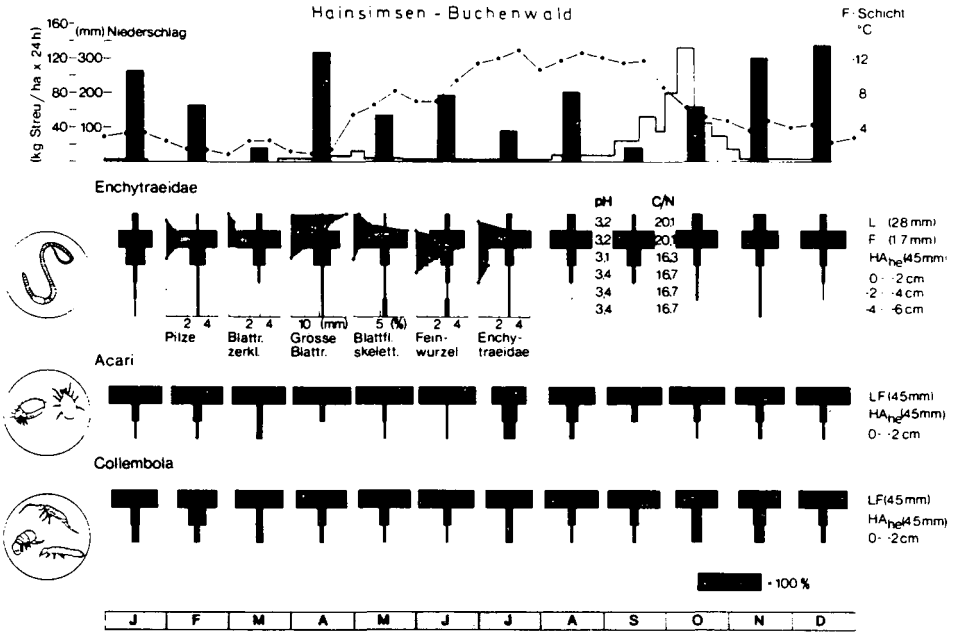


Goldhaferwiese



In der Goldhaferwiese ermittelte Siedlungsdichten ( Ind. m<sup>-2</sup> - linke Säulen) und Biomassen ( mg Trockengewicht m<sup>-2</sup> - rechte Säulen) der dominanten Tiergruppen. Testacea-Stichprobe ( MEISTERFELD 1979 ), Nematoda ( STÖCKLI 1952 ), Acarina, Enchytraeidae, Collembola ( SCHÄLDERMANN, unveröff. ), Nematocera, Brachycera ( kalkuliert nach H. HAAS 1975 ), Elateridae ( STREY 1972, HARTMANN 1979 ), Lumbricidae ( GRAFF 1971 ), Dermoptera ( kalkuliert nach H. HAAS 1975 ), Araneida ( R. ALBERT 1982 ), Staphylinidae ( HARTMANN 1979 ), Chilopoda ( A. ALBERT 1979 ), Carabidae ( kalkuliert nach H. HAAS 1975, WEIDEMANN 1972 ), Curculionidae ( kalkuliert nach H. HAAS 1975, SCHÄLDERMANN 1973 ), Lepidoptera ( kalkuliert nach H. HAAS 1975, THIEDE 1977 ), Apocrita ( kalkuliert nach H. HAAS 1975, THIEDE 1977 ).

Vertikalverteilung der dominanten Gruppen der Mesofauna im Jahreslauf in den obersten Bodenschichten des Hainsimsen-Buchenbestandes, (Anteil pro Horizont in % des Gesamtflanges, SCHÄJERMANN unveröff.); oben Niederschlagsmenge zwischen zwei Probenahme-Zeitpunkten, Blattstreu-Anfall (HELLER unveröff.), Temperatur im F-Horizont (WILMERS unveröff.). Einem Teil der Diagramme überlagert sind Darstellungen der Vertikalabfolge der Faktoren: Anteile Pilzmyzelien, Grad der Blattrest-Zerkleinerung, Größe der Blattreste, Grad der Blattflächen-Skelettierung, Anteil Feinwurzeln und Anteil Enchytraeiden-Lösung (für Mai, BABEL 1972), pH und C/N (MÄTZNER et al. 1982).





Exkursion

L A N G E B R A M K E

von

Benecke, P. u. M. Hauhs

Forsthydrologische und Stoffhaushaltsmessungen im  
Einzugsgebiet der "Langen Bramke" im Oberharz

P. Benecke<sup>+</sup> und M. Hauhs<sup>++</sup>

	Inhaltsübersicht	Seite
1.	Einleitung, Ziele	2
2.	Der Standort	5
3.	Meßeinrichtungen, Methoden	7
3.1	Niederschläge	7
3.2	Abflüsse	8
3.3	Bodenfeuchte (Matrixpotentiale)	8
3.4	Bodenphysikalische Parameter	8
3.5	Depositionen	9
3.6	Bodenlösungen, Grund- und Bachwasser	10
3.7	Bodenchemischer Zustand	10
4.	Untersuchungsergebnisse 1949 - 1976	10
5.	Das Einzugsgebiet der "Langen Bramke" als Gegenstand einer Ökosystemstudie (1977-83)	16
5.1	Zum Wasserhaushaltsmodell	16
5.1.1	Infiltration	17
5.1.2	Schnee	17
5.1.3	Evapotranspiration	18
5.1.4	Bodenfeuchte	19
5.2	Diskussion	25
5.3	Ionenbilanzen	30
5.4	Waldschäden	32
5.5	Erklärungshypothese der Waldschäden im Einzugsgebiet der "Langen Bramke"	36
6.	Literatur	41

---

<sup>+</sup>Institut für Bodenkunde und Waldernährung der  
Universität Göttingen

<sup>++</sup> z.Z. im Norsk institutt for vannforskning (NIVA),  
Oslo, Norwegen

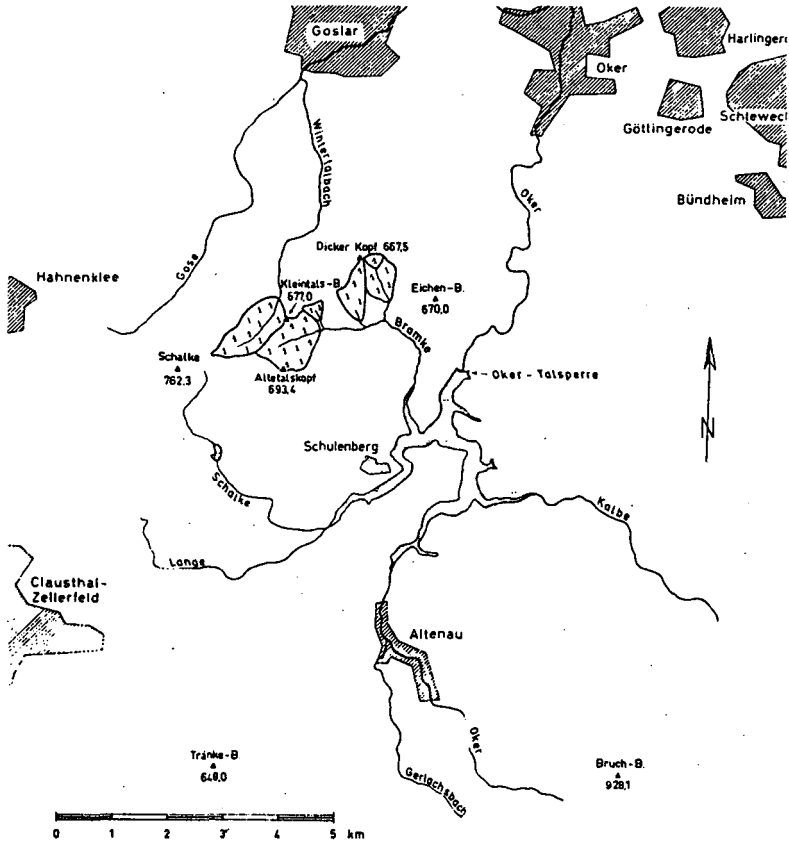
## 1. Einleitung, Ziele

Die forsthydrologischen Messungen in der "Langen Bramke" wurden 1948 aufgenommen, und zwar um den "Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag" zu untersuchen, so der Titel der 1958 in der Reihe "Aus dem Walde" erschienenen ersten Veröffentlichung (DELFS u.a., 1958). Anlaß war der 1947 durchgeführte Kahlhieb des damals 130 jährigen Fichtenbestandes.

Neben dem kahlgeschlagenen Einzugsgebiet der "Langen Bramke" ( $0,76 \text{ km}^2$ , 535-700 m NN) wurde das nordwestlich anschließende, voll bewaldete Einzugsgebiet "Wintertal" ( $0,77 \text{ km}^2$ , 510-740 m NN) in die Untersuchungen einbezogen. Dazu kamen später noch 2 kleinere Einzugsgebiete ( $0,32$  und  $0,38 \text{ km}^2$ ) sowie 2 weitere 8 und 6 ha große Einzugsgebiete in 585 bzw. 605 m Höhe liegender Quellen. Die geographische Lage der Gebiete ergibt sich aus Abb. 1, während morphometrische Angaben sowie Art und Position der Meßgeräte in Abb. 2 zu finden sind. Gemessen wurden im wesentlichen jeweils die Abflüsse, die Niederschläge sowie Lufttemperaturen, relative Luftfeuchte, Schneehöhen und Wassergehalt des Schnees.

Das Gebiet der "Langen Bramke" wurde 1949/50 mit Fichte wieder aufgeforstet. Besonders auf dem Nordhang waren bis 1960 Nachbesserungen erforderlich. Der Bestand ist heute 8-12 m hoch und wurde bisher einmal durchforstet.

Ein den Ablauf der Untersuchungen stark beeinflussendes Ereignis war der Bau des 1970 fertiggestellten Verbindungstunnels zwischen dem Oker- und dem Grauestausee (in Abb. 2 in der NW-Ecke eingezeichnet), der in etwa 400 m NN verläuft. Er verhinderte vor allem die Verwendung der beiden kleineren Einzugsgebiete "Steile Bramke" und "Dicke Bramke" als Referenzgebiete, die erforderlich wurden, weil die Bestockungssituation in den beiden Hauptgebieten sich fortlaufend änderte und sich deswegen keine Eichmöglichkeit bot. Die voll mit angehendem Fichtenbaumholz bestockten Referenzgebiete sollten diese Aufgabe übernehmen. Um die Veränderungen des Bodenvasservorrates verfolgen zu können und darüberhinaus sich auf



**Abb. 1:** Übersichtskarte der Oberharzener Versuchsgebiete

eine gebietsunabhängige Methode zur Bestimmung der Komponenten des Wasserhaushaltes stützen zu können, wurden vom Jahre 1974 an Bodenfeuchtemessungen mit Tensiometern aufgenommen. Hierzu wurden zunächst 6 Tensiometerfelder mit je 45 Tensiometern angelegt, deren Lage ebenfalls in Abb. 2 verzeichnet ist. Eine Auswertung der ersten 3 Meßjahre hat VAN DER PLOEG, 1978, in seiner Habilitationsschrift vorgelegt, deren Ziel die Entwicklung eines zweidimensionalen Modells für den Wasserumsatz im Boden hängiger Fichtenstandorte des Harzes war.

Alarmiert durch die aus dem Solling stammenden Befunde über die Veränderungen des bodenchemischen Zustandes im Gefolge der

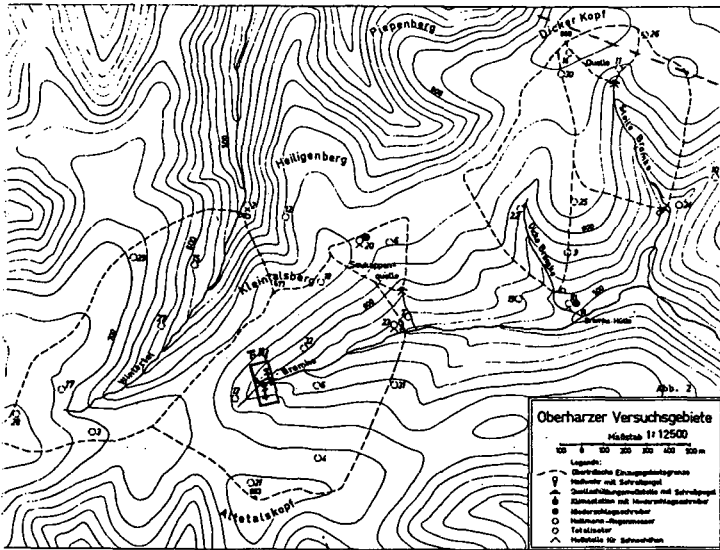


Abb. 2: Oberharzer Versuchsbereiche. In dem mit "F.T." bezeichneten Gebiet liegen die Tensiometerfelder.

sauren Depositionen wurden 1977 neben den Tensiometerfeldern Saugkerzenfelder eingerichtet. Die Saugkerzen wurden im Bereich der Bodenprofilbasis in 80 cm Tiefe installiert, so daß die Austräge aus dem Boden bzw. die Einträge in den Untergrund erfaßt werden. Erfasst werden 14 Elemente<sup>1)</sup>.

Seit 1981 werden Depositionsmessungen durchgeführt, die sich auf die gleichen 14 Elemente erstrecken.

Bei den Tensiometermessungen wurde 1980 eine Umstellung vorgenommen. Aufgrund der Korrelation der Werte jedes einzelnen Tensiometers mit dem entsprechenden Feldermittel wurden bestimmte Tensiometerpositionen mit Druckgebortensiometern ausgestattet, die eine ganzjährige Meßperiode erlauben. Nach einer erneuten Eichperiode wurden die konventionellen Quecksilbertensiometer außer Betrieb genommen.

Grundsätzlich dienen die Tensiometerwerte als Kontrollwerte für ein Simulationsmodell, das die kontinuierlichen Saugspannungs- und Bodenfeuchteganglinien produziert. Das vorliegende Modell

<sup>1)</sup> H, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, SO<sub>4</sub>-S, Cl, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, N<sub>org</sub>-N, N<sub>t</sub>



wurde von HAUHS, 1984, mit Hilfe der Methode Finiter Elemente entwickelt. Die vorliegenden Auswertungen erstrecken sich auf die Jahre 1977 - 1981. Chemische Daten liegen bis zum Jahr 1983 vor.

Meß- und Auswertungskonzept sind so aufeinander abgestimmt, daß an den prinzipiellen Meßebenen (oberhalb Bestand - Bodenoberfläche - Bodenprofilbasis - Vorfluter) Wasser- und Stoffflüsse erfaßt werden. Dem Auswertungskonzept liegt die Forderung nach Bilanzierbarkeit der Stoffe zugrunde, die als unabdingbar für die Erkennung von Zustandsveränderungen angesehen wird, die wiederum einer Abschätzung der weiteren Entwicklung, namentlich der Versauerung, zugrunde gelegt werden. Diese Untersuchungen werden begleitet von dem Bemühen, die den Zustandsveränderungen zugrunde liegenden Prozesse aufzuklären und Modellentwicklungen nutzbar zu machen, die das Verhalten der untersuchten Stoffe beschreiben. Hierbei ist vielfach zwangsläufig zunächst von hypothetischen Vorstellungen auszugehen.

Die nachfolgenden Kapitel dienen im wesentlichen dazu, den gegenwärtigen Kenntnisstand darzustellen und zu erläutern. Daneben folgen einige allgemeine Angaben zum Standort sowie ausgewählte Ergebnisse aus zurückliegenden Untersuchungen.

## 2. Der Standort

Die "Lange Bramke" gehört zu den Verzweigungen des Oberlaufes der Oker, die heute dem Okerstausee direkt zufließen. Ihr Einzugsgebiet ist ein nach Osten offenes Tal, dessen begrenzende Kammlinie in rd. 700 m NN verläuft. Westlich vorgelagert ist als lokale höchste Erhebung die Schalke (762 m), die eine ausgeprägte Schutzlage vor den vorwiegend aus westlichen Richtungen herangeführten luftgetragenen Stoffen schafft.

Die Einzugsgebiete liegen insgesamt auf der Südostflanke des Oberharzer Devonsattels, der die umgebende kulmische Rumpflfläche (Clausthaler Hochfläche) um etwa 100 m überragt. Die Gesteinsfolge wird häufig als "Kahlebergsandstein" zusammengefaßt. Die wesentlichen Schichten gehen aus Abb. 3 hervor.

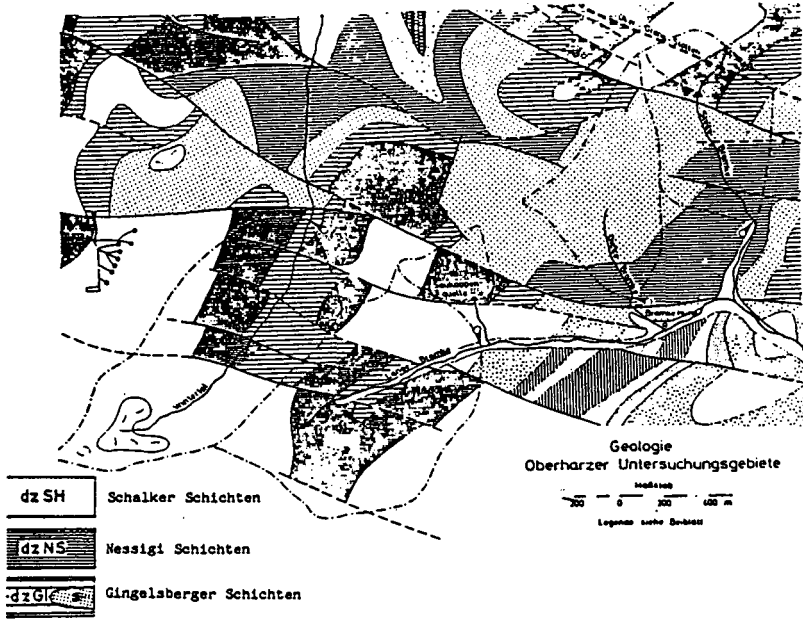


Abb. 3: Ausschnitt aus der Geologischen Karte (nach HINZE,1971)

Petrographisch handelt es sich um plattige oder bankige Sandsteine und Quarzite mit Tonschiefereinschaltungen, Bandschiefer und sandige Tonschiefer. Das Gebiet ist stark von meist W-O bis hercynisch streichenden Störungen durchzogen (Abb. 3). Die Faltenzüge streichen SW - NO und fallen meist mit  $50 - 60^{\circ}$  nach SW ein.

Für die vorliegenden Untersuchungen kommt der Zusammensetzung und Mächtigkeit des Hangschuttes besondere Bedeutung zu, der allerdings für eine gründliche Beschreibung kaum ausreichend tief aufgeschlossen ist. Er dürfte im Kamm- und im Fußbereich etwa 4-5 m mächtig sein, im Ober- und Mittelhangbereich jedoch nur 2-3 m. Soweit erkennbar (Durchragungen des Anstehenden) können starke Schwankungen auftreten. Die Bodendecke weist nur in den oberen Dezimetern weniger als 50 % Skelett auf, das nach unten rasch auf 70 % ansteigt. (Die Installation der Tensiometer

und Saugkerzen bis in mehr als 90 cm Tiefe war entsprechend mühsam, zumal der Skelettanteil häufig blockreich ist.)

Bodentypologisch ist das Gebiet recht einheitlich aufgebaut mit Formen, die von podsoliger Braunerde bis zum Braunerde-Podsol reichen. Daneben treten untergeordnet Gleye, Pseudogleye und vermoorte Bereiche auf. Die vorherrschende Bodenart ist lehmiger Schluff, doch sind auch schluffige Lehme nicht selten. Unter den Humusformen herrschen die schlechteren Moderformen vor.

Die Jahresniederschläge belaufen sich im Mittel auf 1330 mm (675 im Winter- und 655 im Sommerhalbjahr). Die mittlere Temperatur beträgt  $5.8^{\circ}\text{C}$  (Januar:  $-2$ , Juli:  $14,3^{\circ}\text{C}$ ).

### 3. Meßeinrichtungen, Methoden

#### 3.1 Niederschläge

Einen Überblick über die Meßeinrichtungen gibt Abb. 2. Zu ergänzen sind gegenwärtig noch die neben 4 von den 6 eingezeichneten Tensiometerfeldern eingerichteten Felder mit den in 80 cm Tiefe befindlichen Saugkerzen-Lysimetern.

Die Messungen werden darüberhinaus ergänzt durch Klimadaten der 8 km entfernten und in gleicher Höhe gelegenen Station des Deutschen Wetterdienstes in Clausthal.

Die Niederschlagsmessungen basieren auf 25 Totalisatoren (monatliche Leerung), 4 Hellmann-Niederschlagsmessern und 2 beheizten Schreibern.

Bestandesniederschläge wurden zu Beginn der Messungen von DELFS, 1954, durchgeführt, der Auffangrinnen verwendete. Gegenwärtig dienen 75 Regenmesser im Bereich der Tensiometerfelder zur Erfassung des Bestandesniederschlags, ergänzt durch einen Niederschlagsschreiber.

Schneemessungen wurden ursprünglich in Form von Schneehöhen- und Wassergehaltsmessungen durchgeführt. Eine Erweiterung erfolgte mit der Anlage der Tensiometerfelder 1974 durch Aufstellen von "Schnee-Eimern" anstelle der Niederschlagsmesser unter dem Kronendach. Bestandesniederschlags- und Schneemessungen liefern die Eingangsgrößen (Bodeninfiltration) des Bodenwasserhaushalts.

### 3.2 Abflüsse

Der Abfluß der "Langen Bramke" wird mit einem Abflußmeßwehr mit Schotterfang und Absolut-Meßbecken gemessen. Das Absolutmeßbecken dient der Eichung, die auch bei stärkerer Wasserführung möglich ist.

### 3.3 Bodenfeuchte (Matrixpotentiale)

1974/75 wurden 6 Tensiometerfelder eingerichtet, deren Lage im Hangfußbereich aus den Abb. 2, 4 und 5 hervorgeht. Abb. 5 läßt zudem die Hangneigungen erkennen. Jedes Tensiometerfeld wurde mit 45 Tensiometern ausgestattet. Erfasst werden 5 Tiefen zwischen 15 und 120 cm u. Gel. Um hangwärtige Wasserbewegungen zu erfassen, wurden die Tensiometer innerhalb jedes Feldes in Dreiergruppen angeordnet, und zwar mit etwa 1,5 m Abstand in der Falllinie zwischen den Dreiergruppen. Die Felder selbst weisen einen horizontalen Abstand von etwa 20 m und einen Höhenunterschied von  $\pm 5$  m auf.

Vorübergehend wurden 2 weitere Felder im Mittelhangbereich eingerichtet (vgl. Abb. 4), die zusätzlich mit Wetterhütten ausgestattet wurden.

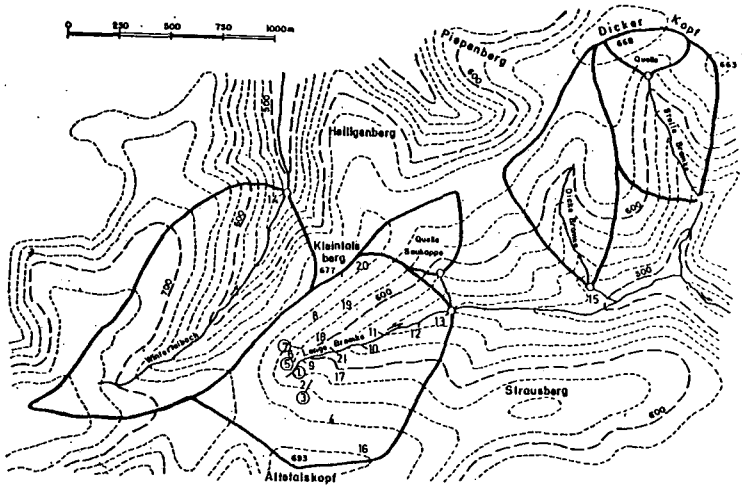
Wie bereits einführend bemerkt, wurden die Tensiometermessungen von 1980 an mit 10 Druckgebertensiometern weitergeführt, deren Positionen aufgrund statistischer Auswertung des vorliegenden Datenmaterials bestimmt wurde. Mit ihnen werden seither ganzjährige Meßreihen erstellt. Die Ablesungen erfolgen im Mittel in wöchentlichen Intervallen.

### 3.4 Bodenphysikalische Parameter

Die hydrologischen Bodeneigenschaften ( $pF$  und ungesättigte Leitfähigkeit) wurden anhand ungestörter Proben bis in 1,20 m Tiefe ermittelt. Wegen des hohen Skelettanteils wurden Monolithe in situ präpariert und mit Polyester ummantelt (BENECKE u.a., 1976). Leitfähigkeitsmessungen nahe der Sättigung ( $> -10$  hPa) konnten nicht durchgeführt werden; es liegen jedoch Anzeichen vor, daß die Leitfähigkeit besonders der tieferen Schichten mit Annäherung an die Sättigung sehr hohe Werte erreicht.

### 3.5 Deposition

Depositionsmessungen werden im Freiland und unter dem Kronendach mit Auffanggefäßen aus Kunststoff durchgeführt. Die Geräte werden im Wochenrhythmus geleert und die Proben bis zur Analyse gekühlt.



**Abb. 4:** Oberharzener Versuchsgebiete, zusätzliche Meßausstattung und Probenahmepunkte ab 1974

**Legende:**

- 1,2,3 Dauermeßflächen Nordhang
- 5,6,7 Dauermeßflächen Südhang
- 4,8 Meßflächen an Mittelhängen (1979 eingestellt)
- 0 Meßflächen mit Saugkerzen-Lysimetern
- 9,10,11,12 Probenahme Bachwasser
- 13 Wehr Lange Bramke
- 14,15 Wehre Wintertal und Dicke Bramke
- 16,17,18,19 Probenahme Boden-, Nadel- und Zuwachsuntersuchung
- 20 Bodenproben "Nähe exponierter Rücken"
- 21 Probenahme Grundwasser

### 3.6 Bodenlösungen, Grund- und Bachwasser

Die Gewinnung von Bodenlösung wird seit 1977 mit Hilfe von Saugkerzen betrieben. Es wurden 4 Felder (vgl. Abb. 4) mit jeweils 8 in 80 cm Tiefe befindlichen Saugkerzen eingerichtet. Proben werden in 14-tägigen Intervallen gewonnen und auf folgende Werte untersucht: H, Na, K, Ca, Mg, Mn, Al,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NO}_3$  und  $\text{NH}_4$ . Methodische Einzelheiten können im Detail bei MEIWES u.a., 1984, nachgelesen werden. Die Analyse der Bodenlösungen wurde ergänzt durch Bestimmungen im Grund- und Bachwasser. Die Entnahmepunkte gehen ebenfalls aus Abb. 4 hervor.

### 3.7 Bodenchemischer Zustand

Die Metall-Kationen wurden mittels Atomabsorptionsspektrometrie (HEINRICHS et al., 1985), die Anionen sowie  $\text{NH}_4$  kalorimetrisch im automatisierten Durchflußsystem (modifiziert nach: Am. Pub. Health Ass., 1976) bestimmt, der pH-Wert wurde mit der Glaselektrode bestimmt.

Für die Charakterisierung des chemischen Bodenzustandes wurden die Gleichgewichtsbodenlösung, der pH, die austauschbaren Kationen sowie die Basenneutralisierungskapazität bestimmt, ferner die Gesamtgehalte von C, N und P. Die Methoden sind bei MEIWES et al., 1984, beschrieben.

## 4. Untersuchungsergebnisse 1949 - 1976

LIEBSCHER, 1975, hat anfangs der 70er Jahre das vorliegende Datenmaterial aufgearbeitet und den Einfluß einer Reihe von Faktoren (vorhergehende Abflüsse, Niederschläge, Temperatur, Sonnenscheindauer, rel. Luftfeuchte) auf den Abfluß untersucht. In Abb. 5 sind die Niederschlags-/Abfluß-Relationen für die jeweils vom 1. November des Vorjahres bis zum 31. Oktober des angegebenen Jahres ("Wasserhaushaltsjahres") geltenden Jahresintervalle dargestellt. Hierbei ist neben den die hydrologische Situation des Einzugsgebietes allgemein in summarischer Weise kennzeichnenden Werte der Jahresraten insbesondere die Differenz Niederschlags- minus Abflußhöhe von Interesse. In den

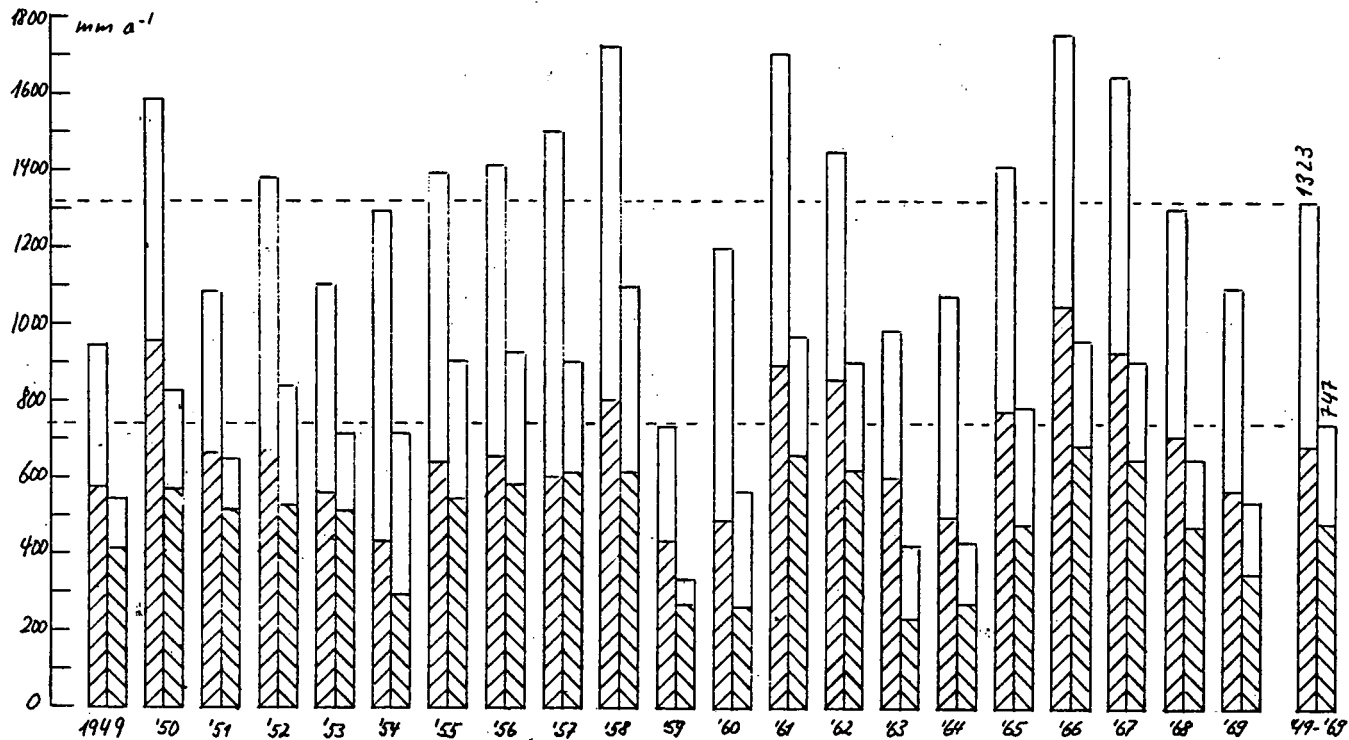






Abb. 5: Jahresraten der Niederschläge und des Abflusses im Einzugsgebiet der "Langen Bramke" von 1949 bis 1969

Linke Seite der Säulen  Winter-,  Sommerabflüsse  
 Rechte Seite der Säulen  Winter-,  Sommerabflüsse

(Daten aus LIEBSCHER, 1975)

Beobachtungszeitraum fällt die Zeit von der Aufforstung bis zum Bestandesschluß etwa um 1970, d.h. zunehmende Interzeption und vermutlich auch Transpiration. Sie schlägt sich nieder in einer stetigen Abnahme der Abflußhöhe, wie sie in Abb. 5 zu erkennen und in Abb. 6 noch mal anschaulicher dargestellt ist.

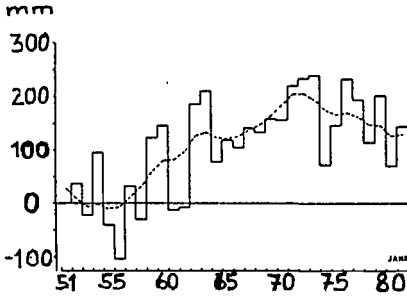


Abb. 6:  
Gesamtabnahme der Abflußhöhe im Gebiet der Langen Bramke gegenüber dem Zustand 1951-1959 (MENDEL u.a., 1984)

Sie zeigt, daß die Abflußverringerung etwa 1958 mit dem Übergang der Kultur in das Dickungsstadium eingesetzt hat (vgl. auch Abb. 7). Die weiter aus Abb. 6 hervorgehende, anfangs der 70er Jahre erfolgte Trendwende wird weiter unten erörtert.

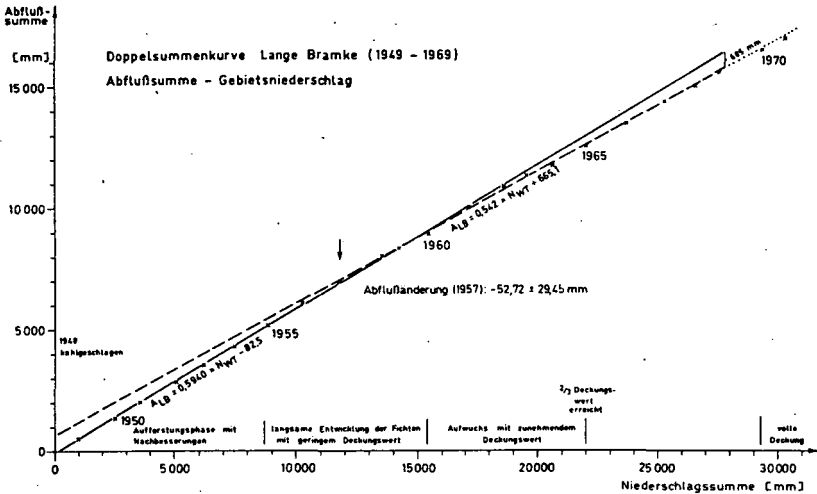


Abb 7: Doppelsummenkurve Lange Bramke (1949-1969) (LIEBSCHER, 1975)



Die mittlere Niederschlags-/Abflußdifferenz während des Beobachtungszeitraumes beträgt  $576 \text{ mm a}^{-1}$  und liegt damit eher über dem Erwartungswert der Gesamtverdunstung angesichts der Bestockungsverhältnisse. VAN DER PLOEG, 1978, gibt für die Jahre 1974 bis 1976 die in Tab. 1 aufgeführten Werte an:

Jahr	Niederschläge $\text{mm a}^{-1}$	Gesamtverdunstung (IET)	
		Nordhang $\text{mm a}^{-1}$	Südhang $\text{mm a}^{-1}$
1974	1212	428	552
1975	1139	429	497
1976	859	463	521

Tab. 1: Jahresraten der Niederschläge und Verdunstung im Einzugsgebiet der Langen Bramke 1974 bis 1976 (Daten: VAN DER PLOEG, 1978)

Zweifellos spielt der aus Abb. 6 ersichtliche, mit hoher Wahrscheinlichkeit immissionsbedingte Wiederanstieg der Abflußhöhen während des Beobachtungsintervalls und die dadurch angezeigte Verdunstungsverminderung eine Rolle. Es bleibt jedoch noch Raum für die Vermutung, daß das tatsächliche Einzugsgebiet der "Langen Bramke" kleiner als das durch die Kammlinie begrenzte Niederschlagsgebiet ist, d.h. daß der gemessene Abfluß auf eine zu große Fläche umgelegt wurde und die Abflußhöhen (Abflüsse je Flächen- und Zeiteinheit) tatsächlich höhere Werte aufweisen. Hierfür sprechen insbesondere auch die im Wintertal gemessenen Abflüsse (LIEBSCHER, 1975), die mit durchschnittlich  $886 \text{ mm a}^{-1}$  um  $139 \text{ mm}$  über denen der Langen Bramke lagen (durchschnittliche Differenz Niederschläge minus Abflüsse =  $427 \text{ mm a}^{-1}$ ), obwohl dieses Gebiet nahezu vollständig mit Fichtenaltholz bestockt war, das allerdings ab 1964 in stärkerem Maße genutzt wurde.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Niederschlags-/Abflußrelationen für die einzelnen Jahre, insbesondere in einer Folge niederschlagsreicher und -armer Jahre wie z.B. 1958/59. Die Differenz ergibt  $399 \text{ mm a}^{-1}$  für 1959, einem Jahr mit besonders hoher potentieller Verdunstung. Die sonst niedrigeren Werte von der Ploegs (Tab. 1) ergeben für das ebenfalls trockene Jahr 1976 relativ hohe Werte der Gesamtverdunstung. Hier macht sich

ganz offensichtlich die Vernachlässigung der Bodenwasservorratsänderungen bei der Einzugsgebetsmethode bemerkbar, die um so wirksamer zu Buche schlägt, als der Beginn des hydrologischen Jahres mit dem 1. November auf einen hierfür recht ungünstigen Zeitpunkt gelegt wurde, an dem in trockenen Jahren das sommerliche Bodenwasserdefizit noch nicht wieder ausgeglichen ist. Sein Beitrag zur Transpiration erscheint jedoch nicht in einer Niederschlags-/Abflußbilanz.

Schließlich ist noch ein weiterer Aspekt auch im Zusammenhang mit der weiteren Diskussion von Bedeutung, nämlich der aus Tab. 1 ersichtliche Verdunstungsunterschied auf dem Nord- und dem Südhang. VAN DER PLOEG, 1978, führt diesen Unterschied auf den geringen Energieumsatz auf dem Nordhang zurück, bedingt durch dessen "Schattlage". Dies scheint nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand inzwischen jedoch nicht mehr die alleinige Ursache zu sein. Spätestens seit Mitte der 70er Jahre tritt ein weiterer Faktor hinzu, der den Unterschied weiter vergrößert hat, nämlich ein weitgehender Rückzug der Feinwurzeln aus dem Mineralboden bei gleichzeitig stärkerer Durchwurzelung des Auflagehumus (vgl. Tab. 2) auf dem Nordhang im Unterschied zum Südhang. Dieser Zusammenhang wird in den nachfolgenden Abschnitten noch eingehend erörtert.

Zum Abschluß dieses Abschnittes sei noch die Frage lateraler Wasserbewegung in der wurzelbeeinflussten Zone angeschnitten, die ebenfalls in den nachfolgenden Kapiteln eingehender behandelt wird. Bereits eine simple Auswertung der Tensiometerdaten zeigte, daß innerhalb der Meßtiefe (bis 1,2 m u. Gel.) keine nennenswert von der vertikalen Richtung abweichende Wasserbewegung auftritt (BENECKE, 1983). Die Isopotentialflächen des hydraulischen Potentials verlaufen vielmehr stets horizontal und zeigen damit den senkrechten Verlauf der Strömungslinien an. Aus der behandelten Zeitspanne von 1949 bis 1976 sind die wenigen hier angeführten Ergebnisse besonders unter dem Gesichtspunkt ausgewählt worden, einen verbreiteten Fichtenstandort im paläozoischen Mittelgebirge hydrologisch zu charakterisieren.

Das wesentliche, mit der Einzugsgebetsmethode erzielte Ergebnis, ist in diesem Sinn in Abb. 6 enthalten, nämlich die Wirkung des

Tab. 2:  
Feinwurzelmengen in der Umgebung der Meßfelder 3 und 7 (Abb. 4) des Nord- und des Südhanges. Die Wurzelmengen wurden in Bodensäulen von jeweils 24 dm<sup>3</sup> Volumen bis in 60 cm Tiefe bestimmt. +)

Auflagehumus	Nordhang (Nr. 3) n=5		Südhang (Nr. 7) n=5	
	Median	(min - max)	Median	(min - max)
Mächtigkeit (cm)	4,3	(3,0 - 6,3)	4,5	(3,8-5,0)
leb. Feinwurzeln (kg/ha)	1960	(1030 - 2270)	1460	(1100 - 1940)
tote Feinw. (kg/ha)	140	( 40 - 180)	170	( 90 - 330)
Anteil toter Feinw.	7 %		10 %	
<b>B<sub>0</sub>-Horizont (bis max 50 cm)</b>				
Mächtigkeit (cm)	38.	(16 - 50)	38.	(20 - 55)
leb. Feinw. (kg/ha)	250	( 40 - 3300 <sup>+</sup> )	1090	(1120 - 2610)
tote Feinw. (kg/ha)	600	( 50 - 1320)	680	( 340 - 1870)
Anteil toter Feinw.	70 %		31 %	
<b>Mineralboden 0-50 cm</b>				
leb. Feinw. (kg/ha)	980	( 110 - 3550 <sup>+</sup> )	2130	(1610 - 4510)
tote Feinw. (kg/ha)	520	( 230 - 1420)	1200	( 660 - 2600)
Anteil toter Feinw. im Mineralboden an der Gesamtmenge toter Feinw.	79 %		88 %	
Anteil leb. Feinw. im Mineralboden an der Gesamtmenge leb. Feinw.	33 %		59 %	

aufwachsenden Fichtenbestandes auf den Abfluß, in der sich (bis 1970) die Zunahme der Interzeptions- und Transpirationsverdunstung widerspiegelt.

Hervorzuheben ist ferner der von VAN DER PLOEG, 1978, aufgezeigte, expositionsabhängige Unterschied im Wasserumsatz gleichalter Fichtenbestände auf dem Nord- und dem Südhang.

Hingewiesen sei schließlich noch auf den mehr aus praktisch-standörtlicher Sicht bedeutsamen, bereits aus dem Tensiometerwerten ablesbaren Befund, daß trotz des hängigen Geländes innerhalb der wurzelbeeinflussten Zone keine seitliche Wasserbewegung ("Hangzugwasser") auftritt.

Im folgenden Abschnitt wird der Untersuchungsbereich mit der Einbeziehung des Ionenumsatzes wesentlich erweitert. Diese Erweiterung erschließt zugleich - wenn man so will - eine neue Dimension in Form eines unter der Einwirkung von Luftschadstoffen sich rapide wandelnden Ökosystems. Dies bedeutet konzeptionell, daß bloße Zustandsbeschreibungen (mit intensiven Parametern) das System nicht mehr ausreichend charakterisieren, sondern daß darüberhinaus Kapazitätsparameter und ihre Veränderungen zu erfassen sind, um die abgelaufene Entwicklung darstellen und die künftige prognostizieren zu können.

+ ) Diese Probe liegt weit außerhalb der Werte des restlichen Probenkollektivs.

Die Anwendung des "Ökosystemaren Ansatzes" hat sicher schon dazu geführt, daß Konturen in den vielschichtigen Wechselbeziehungen erkennbar werden, durch die diese Entwicklung geprägt ist. Es wäre jedoch müßig zu verhehlen, daß noch viele Fragen offen sind und daß außerdem immer wieder neue Fragen auftauchen. Die folgende, von M. Hauhs durchgeführte Studie versucht, Zustand und Entwicklungstendenz des Ökosystems "Lange Bramke" zu beschreiben und zu interpretieren. Als verbindende Entwicklungslinie kann wiederum Abb. 6 herangezogen werden, nämlich in der Frage nach den Ursachen der Trendwende um 1970, d.h. dem allen bisherigen Erfahrungen zuwiderlaufenden Wiederanstieg der Abflußraten.

## 5. Das Einzugsgebiet "Lange Bramke" als Gegenstand einer Ökosystemstudie (1977-1983)

### 5.1 Zum Wasserhaushaltsmodell

HAUHS, 1984, hat im Rahmen seiner Dissertation ein Wasserhaushaltsmodell entwickelt, bei dem es von vorneherein darauf ankam, es einer getrennten Erfassung der Stoffflüsse im Boden und im Untergrund nutzbar zu machen. Hierfür war es besonders wichtig zu wissen, ob in 80 cm Tiefe u.Fl. (Bodenprofilbasis) ausschließlich vertikale Wasserbewegung auftritt. In dieser Tiefe befinden sich auch die der Gewinnung von Bodenlösung dienenden Saugkerzen.

Das Modell beschreibt die Wasserbewegung entlang eines als repräsentativ für das Einzugsgebiet angesehenen Hangquerschnittes. Zusammen mit Depositionsmessungen und Feststellungen der Abflußhöhen am Wehr (Abb. 2) ergibt sich eine Kalkulationsbasis für die Stoffumsätze, und zwar getrennt für Boden und Untergrund (zwischen Bodenprofilbasis und Vorfluter). Ihre Gültigkeit für das gesamte Einzugsgebiet hängt davon ab, ob die Annahme zutrifft, daß der beschriebene Hangquerschnitt repräsentativ ist.

Im folgenden werden die wesentlichen Modellaspekte in Bezug auf Ein- und Ausgabegrößen sowie interne Vorgänge erörtert.

### 5.1.1 Infiltration

Die Infiltrationskapazität des Bodens ist groß genug, um Oberflächenabfluß auch bei Starkregen zu verhindern. Da zudem Bodenfrost kaum auftritt, wurde Oberflächenabfluß im Modell nicht berücksichtigt. Dies erscheint nicht zuletzt deswegen berechtigt, als nach früheren, sorgfältigen Untersuchungen sogar nach dem Kahlschlag Oberflächenabfluß nur in unbedeutendem Ausmaß auftrat.

Als Infiltrationsraten wurden deshalb unmittelbar die Bestandesniederschläge verwendet, und zwar in Form von Tagesraten. Diese Zeiteinheit gilt auch für die übrigen Variablen des Modells.

### 5.1.2 Schnee

Die winterlichen Messungen des Bestandesniederschlages wurden als Eingabegrößen für ein Simulationsmodell (ANDERSON, 1973) benutzt, das die Schneedeckenentwicklung beschreibt. Es errechnet die Energiebilanz einer Schneedecke unter einem geschlossenen Kronendach anhand von 6-Stunden-Mitteln der Lufttemperatur. Berechnete und gemessene Werte sind in Abb. 8 für beide Hänge aufgetragen (Winter 1978-79). Folgende Schlüsse wurden aus der Simulation gezogen:

- auf dem Südhang ist die für die Schneeschmelze verfügbare Energie beträchtlich höher als auf dem Nordhang. Hierauf beruht das bis zu 3 Wochen längere Ausdauern der Schneedecke auf dem Nordhang.
- Die Schneedecke kann im Meßfeldbereich des Nordhanges bis zu 120 mm höher als auf dem Südhang werden. Dies gilt auch gegenüber dem ebenfalls etwa 80 m entfernten Standort des Regenmessers. Dieser Unterschied zeigte sich sowohl bei den Bestandesniederschlags- als auch bei den Schneemessungen. Die sich hieraus ergebenden hohen Infiltrationsraten während des Winters und Frühjahrs sind deswegen nicht für den ganzen Nordhang repräsentativ und führen zu einer Überschätzung des Abflusses während der Schneeschmelze aufgrund des Nordhang-Modells.

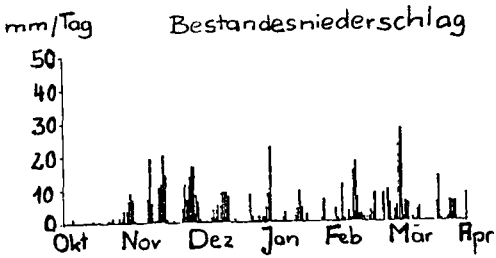
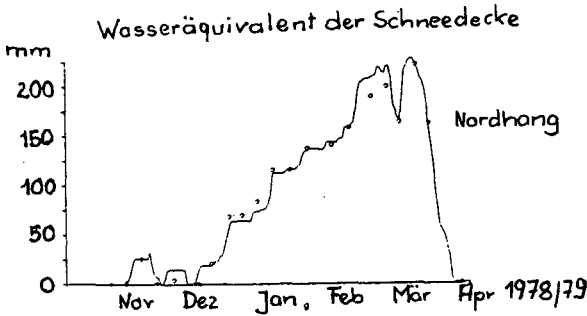


Abb. 8:

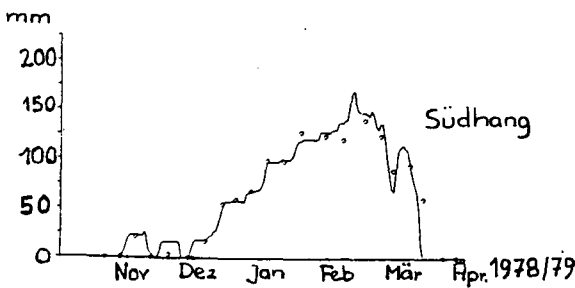
Bestandesniederschläge und Wasseräquivalente der Schneedecke auf dem Nord- und dem Südhang. Berechnete und gemessene (Kreise) Werte



### 5.1.3 Evapotranspiration

Da meteorologische Daten oberhalb des Kronendaches nicht vorliegen, mußte der Wasserdampfstrom zur Atmosphäre in vereinfachter Weise berechnet werden. Benutzt wurde ein Vorschlag von STEWART, 1983.

Die gemessene Interzeption wird hierbei als Netto-Interzeption, d.h. als nicht transpirationsmindernd angesehen. Dies führt zu einer leichten Unterschätzung der Transpiration. Da jedoch die Evaporationsrate von Interzeptionswasser



gewöhnlich um ein mehrfaches höher als eine korrespondierende Transpirationsrate ist, kann angenommen werden, daß der Fehler für Jahresbilanzen klein bleibt. Die gemessenen Interzeptionsverluste betragen rd. 20 % der Freilächenniederschläge, und zwar ohne signifikante Unterschiede auf den 5 Meßfeldern für Bestandesniederschlagsmessungen. Hiermit überein stimmen Daten von Delfs für ähnliche Bestände im "Lange Bramke"-Bereich (DELFS u.a., 1958).

Zur Kalkulation der "ungestreuten (kein limitierendes Bodenwasserdefizit) Transpiration wurde die Penman-Monteith Formel benutzt.

Der für dieses Modell benötigte Bestandeswiderstand geht auf einen von CALDER, 1977, für Fichtenbestände in Wales (England) entwickelten Ausdruck zurück. Es wird angenommen, daß der Fichtenbestand in der "Langen Bramke" sich ähnlich verhält, daß jedoch der Standardwiderstand verschieden sein kann. Dieser Parameter gehörte deswegen zu den beiden Parametern, die im Verlauf der Eichungen für das Jahr 1977 optimiert wurden. Für den Süd- und den Nordhang dürfte dagegen der gleiche Wert zu treffen. Als Kontrollwerte für die Eichungen dienten die gemessenen Tensiometerwerte innerhalb der Wurzelzone. Der zweite zu "fittende" Parameter war die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit der tieferen Schichten. Für den Bestandeswiderstand ergab ein Wert von  $95 \text{ s cm}^{-1}$  die besten Resultate (auf Tagesbasis) gegenüber  $75 \text{ s cm}^{-1}$  bei Calder (Stundenbasis). Die Bodenverdunstung wurde als unbedeutend angesehen und mit der Transpiration zusammengefaßt.

#### 5.1.4 Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte wurde in bis zu 8 Feldern mit insgesamt 360 Tensiometern gemessen. Beispiele sind in Abb. 9a/b und 10 zu sehen.

Die wichtigsten - bereits angedeuteten - Ergebnisse sind:

- Zwischen Nord- und Südhang besteht ein beständiger Unterschied (Abb. 9 ).
  - Es gibt keine hangwärtigen Gradienten der Matrixpotentiale. Das am niedrigsten gelegene Meßfeld des Südhanges befindet sich nur wenige Meter neben dem Bach, ohne andere Werte als die höher gelegenen Felder aufzuweisen. (Abb. 4 ).
- Auch auf dem Nordhang ließen sich bis in 120 cm Tiefe keine lateralen Gradienten erkennen.

Für die Lösung der Gleichung des instationären, ungesättigt-gesättigten Wasserflusses in dem geschichteten Boden des zweidimensionalen Querschnittes mußten einige Annahmen gemacht werden.

- Wegen der hohen gesättigten Leitfähigkeit des Untergrundes und wegen des Fehlens lateraler Gradienten im oberen Meter der Hänge wird angenommen, daß nur ein sehr kleiner Bereich

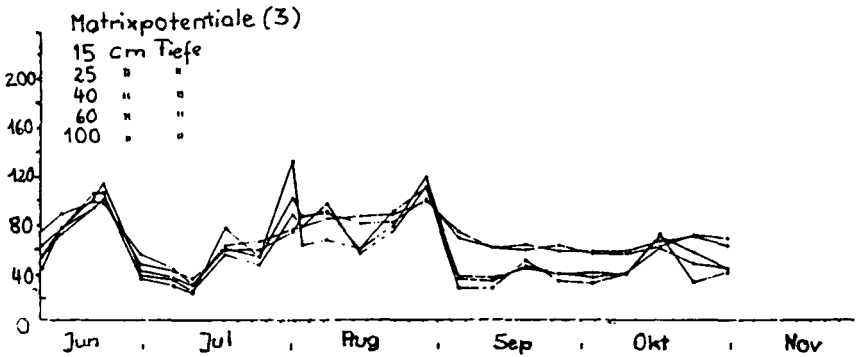
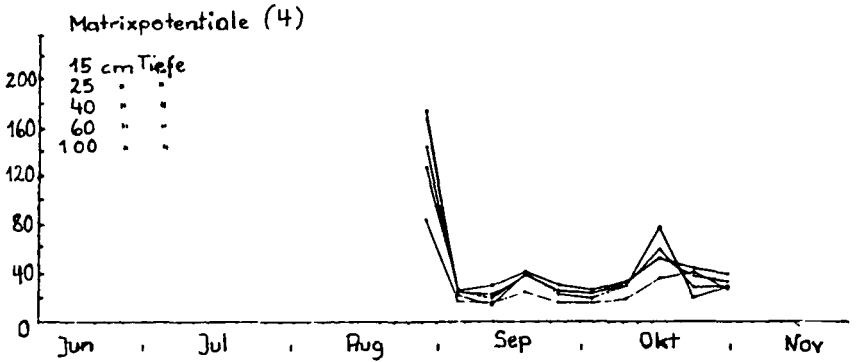
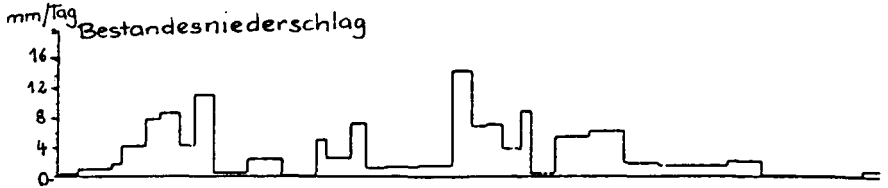


Abb. 9a: Matrixpotentialverläufe der Meßfelder 4 (Mittelhang) und 3 (Unterhang, vgl. Abb. 4) des Nordhanges, 1978

der Fließregion am Grunde des Tales einen Grundwasserspiegel aufweist. Die Umgebung des Baches wird deshalb von der Fließregion ausgeschlossen.

- Ferner wird angenommen, daß der Grundwasserspiegel annähernd parallel der Neigung des undurchlässigen Gesteins folgt.



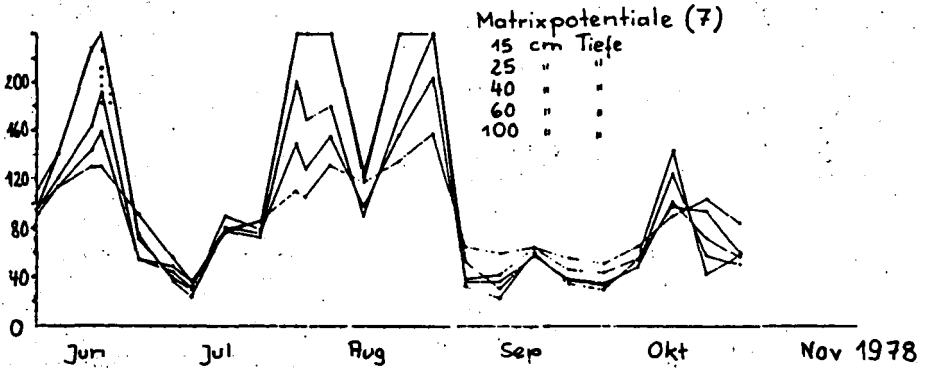
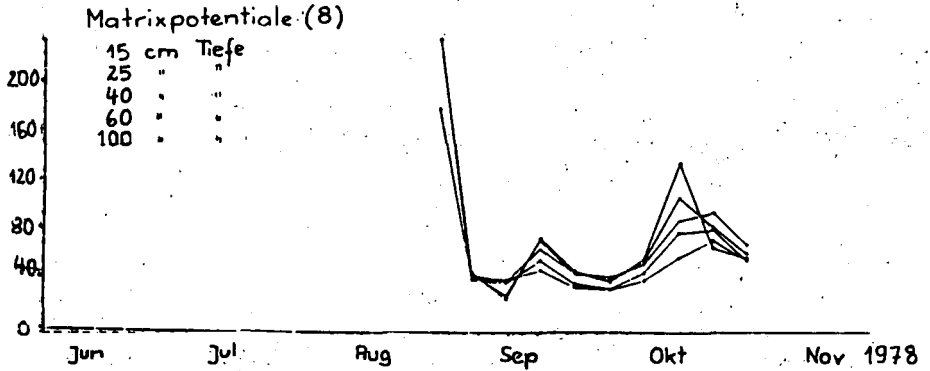
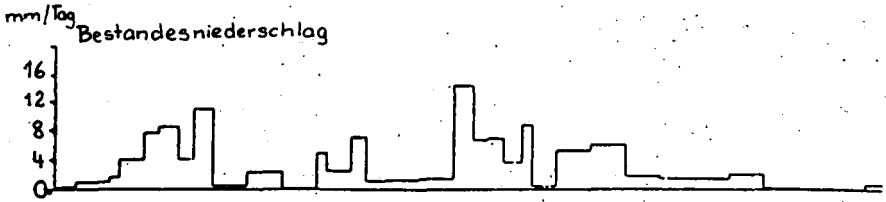


Abb. 9b: Matrixpotentialverläufe der Meßfelder 8 (Mittelhang) und 7 (Unterhang, vgl. Abb. 4) des Südhanges, 1978

Diese Annahmen erlauben die Formulierung von Randbedingungen des Neumann-Typs auf allen Grenzen der Fließregion (Abb. 11). Das mathematisch-physikalische Problem wird gelöst mit Hilfe der Methode Finiter Elemente, die die beste Anpassung an die gekrümmte Fließregion erlauben. Die numerische Lösung bewahrt

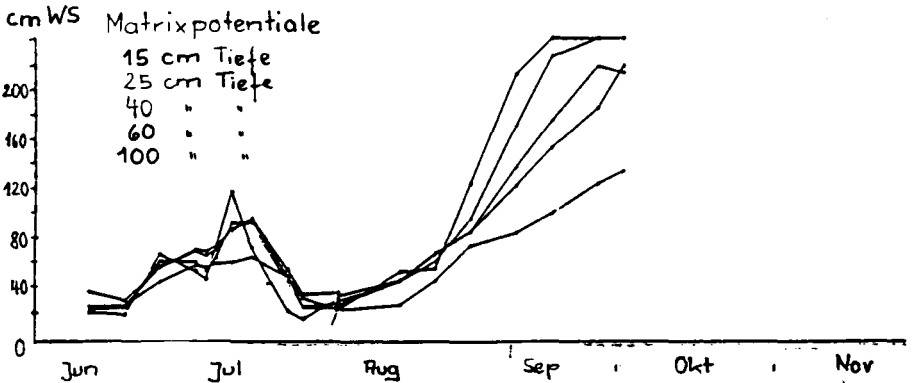
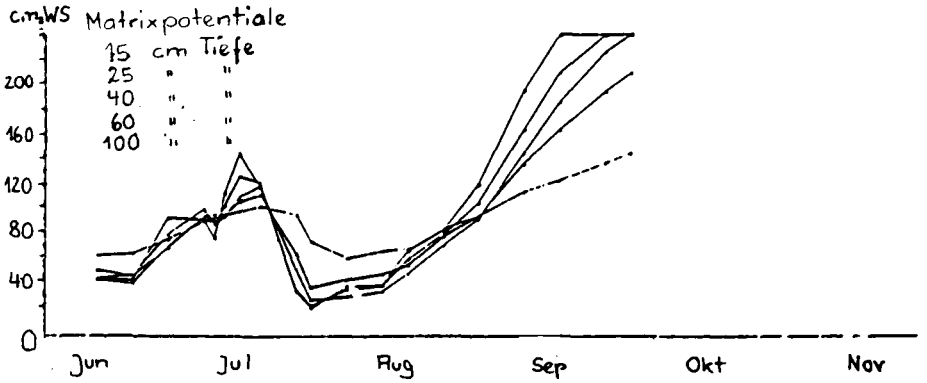
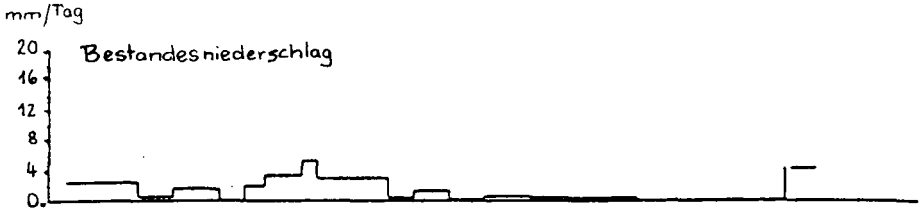
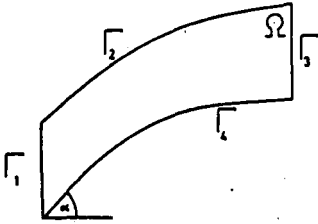


Abb. 10: Matrixpotentialverläufe der Messfelder 4 (Mittelhang) und 3 (Unterhang, vgl. Abb. 4) des Nordhanges, 1979

den Massenerhaltungssatz. Wie bereits erwähnt, waren 2 Parameter durch Optimierung zu finden: der Bestandeswiderstand und die gesättigte Leitfähigkeit der unteren Schichten. Da der Bestandeswiderstand nur während der Vegetationsperiode von Bedeutung ist, konnten beide Parameter unabhängig voneinander gefunden werden.

Abb. 11:  
Randbedingungen und  
Querschnitt der  
Strömungsregion



$$q_n = -K(t) \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad \text{auf } \Gamma_1 \quad \text{für } t > 0$$

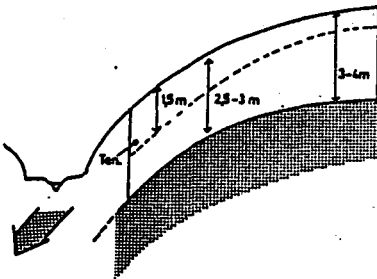
$$q_n = f(t)^* \quad \text{auf } \Gamma_2 \quad \text{für } t > 0$$

$$q_n = 0 \quad \text{auf } \Gamma_3 \quad \text{und } \Gamma_4 \quad \text{für } t > 0$$

$$\psi = \psi_1 \quad \text{in } \Omega \quad \text{für } t = 0$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \operatorname{div} [K \operatorname{grad}(\psi+z)] + S \quad \text{in } \Omega \quad \text{für } t > 0$$

\* f(t) sind die zu Tageszeiten aufgelösten Messungen des Bestandesniederschlags bzw. der Infiltrationsrate aus der Schneedecke.



Die Empfindlichkeit des Modells bezüglich der gesättigten Leitfähigkeit nahm oberhalb eines kritischen Wertes von  $10 \text{ m Tag}^{-1}$  ab, d.h. noch höhere Werte veränderten den Abfluß kaum noch.

Die Auswertungen wurden für die beiden Hänge getrennt durchgeführt und mit den jeweils anteiligen Abflüssen verglichen. Hierbei müssen Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen besonders während der Schneeschmelze auftreten, während der die zeitliche Entwicklung der dem Bach aus den Hängen zuströmenden Sickerabflüsse gewöhnlich

zwischen Nord- und Südhang stark differiert.

Der höchste Abfluß während der gesamten Beobachtungszeit (1948-84) trat im März 1981 auf, und zwar durch das Zusammentreffen ergiebiger Niederschläge und der Schneeschmelze.

Das Simulationsergebnis für das Jahr 1981 (Südhang) ist in Abb. 12 zu sehen. Die Tensiometermessungen zeigen, daß zu keinem Zeitpunkt gesättigte Bedingungen aufgetreten sind; auch während dieser massiven Belastung nicht.

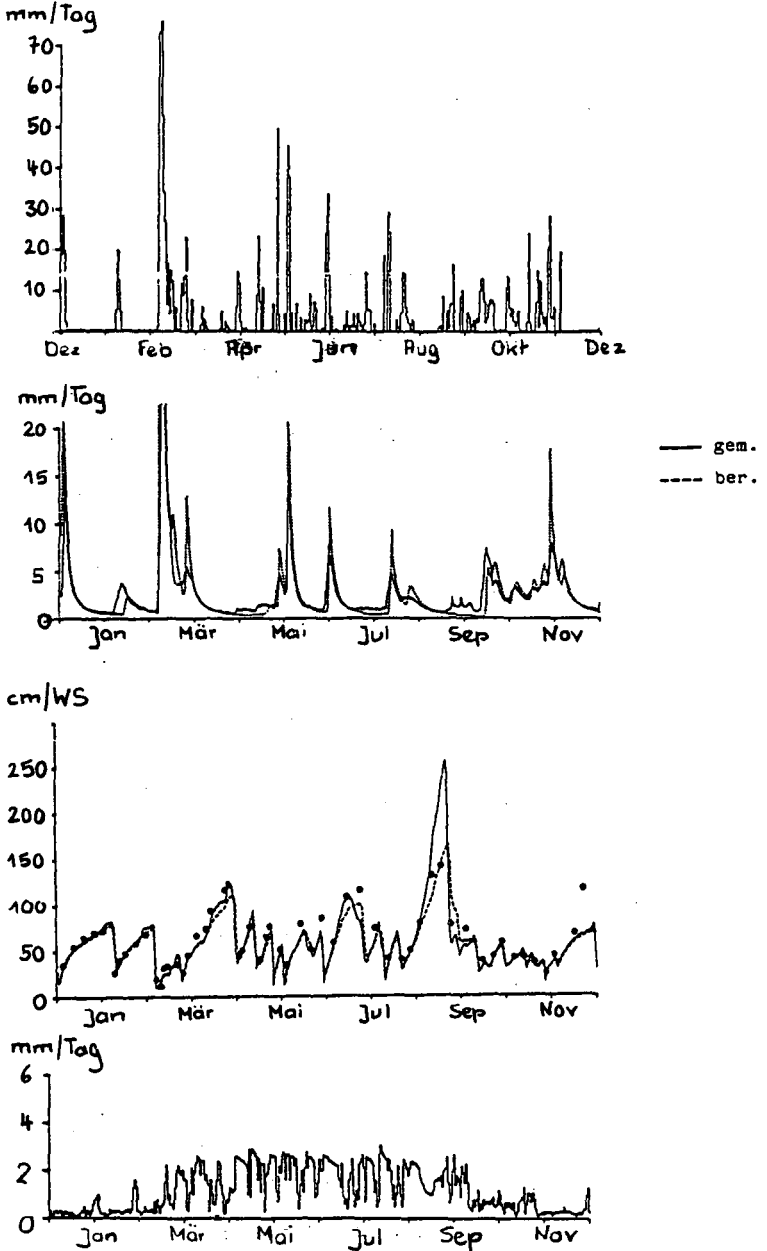


Abb. 12: Berechnete (Modellergebnisse) und gemessene hydrologische Werte des Südhanges, 1981

Das zugehörige (berechnete) Strömungsfeld zeigt Abb. 13, aus der hervorgeht, daß die vertikale Wasserbewegung bis in den Basisbereich der Hangschuttdecke anhält und erst über dem unverwitterten Anstehendem seitlich verläuft.

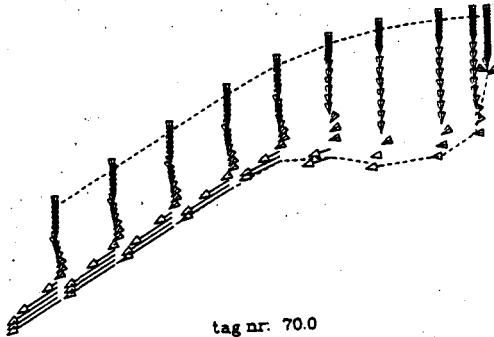
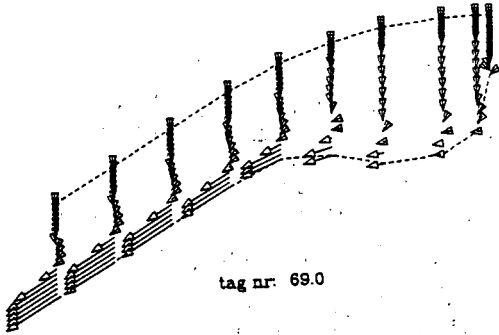


Abb. 13: Strömungsfeld des Südhangmodells während des Hochwassers im März 1981

## 5.2 Diskussion

Ein wesentliches Problem war die korrekte Interpretation des großen Transpirationsunterschiedes (einschließlich Bodenverdunstung) mit  $300$  bzw.  $430 \text{ mm a}^{-1}$  auf dem Nord- und dem Südhang.

Betrachtet man den Transpirationsprozeß als ein Boden-Pflanze-Atmosphäre-Kontinuum, so ergeben sich 2 mögliche Erklärungen. Ausgehend von der gleichen Menge verfügbaren Wassers muß die Ursache entweder in den atmosphärischen Bedingungen oder aber in den Pflanzen liegen.

Die auf eine horizontale Fläche bezogene Globalstrahlung wurde mit einem von SWIFT, 1976, entwickelten Modell in auf den beiden Hängen verfügbare Energie umgerechnet. Abb. 14 zeigt, daß diese auf dem Südhang um 50 % höher liegt. Nach STEWART u. THOM, 1973, hat die Nettostrahlung ( $R_n$ ) jedoch nur geringen direkten Einfluß auf die Transpirationsrate von Wäldern.

Die wichtigsten Einflußgrößen sind nach ROBERTS, 1983, vielmehr Temperatur und Dampfdruckdefizit (v.p.d.). Nun könnte man eine lineare Abhängigkeit zwischen  $R_n$  und v.p.d. annehmen und damit den Transpirationsunterschied erklären. Dies würde allerdings

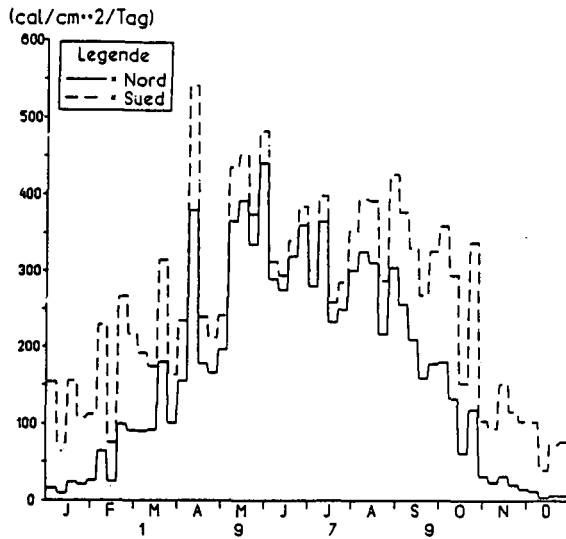


Abb. 14: Wöchentliche Globalstrahlungssummen auf dem Nord- und dem Südhang, 1979

bedeuten, daß Temperatur und v.p.d. in der über den Bestand streichenden Luft sich immer unmittelbar Veränderungen der ein- gestrahlten Energie anpassen müßten. Dies erscheint jedoch unwahrscheinlich angesichts der über hohen Beständen größeren und turbulenteren Austauschschicht. Hinzu kommt, daß der Unterschied in der verfügbaren Energie auf beiden Hängen sich saisonal verändert mit einem Minimum (Abb. 14) am 21. Juni. Die Transpirationsunterschiede lassen jedoch z.B. im Verlauf des Matrixpotentials keinen saisonalen Trend erkennen (Abb. 9a/b). Im Gegenteil, es zeigte sich, daß eine Modellversion, in der eine Anpassung des v.p.d. an die unterschiedliche  $R_n$  vorgenommen wurde, die beobachteten Differenzen der Bodenfeuchte im Juni/Juli nicht reproduzierte.

Aus diesen Darlegungen wurde der Schluß gezogen, daß das Energie- regime nur einen geringen Teil der beobachteten Differenzen erklären kann. Für die Bodenverdunstung dürfte gelten, daß Unterschiede bestehen, bedingt durch unterschiedliche Energie- absorption des Kronendaches, wie dies bereits beim unterschied- lichen Verlauf der Schneeschmelze deutlich wurde. jedoch auch dieser Prozeß kann nur einen kleinen Teil der beobachteten Differenzen erklären.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Annahme unterschiedlicher pflanzlicher Reaktionen auf beiden Hängen, z.B. über die Wurzeln. Das vorliegende Modell benutzt eine Erweiterung des von SCHLICHTER, 1983 entwickelten Ansatzes zur Simulation der Wasseraufnahme. Kalkuliert man die Transpiration mit den gleichen v.p.d. aber mit einer um 1000 kg/ha Trockenmasse geringeren Feinwurzelmenge auf dem Nordhang, so resultieren die beobachte- ten Bodenfeuchteunterschiede, wie aus Abb. 15a/b hervorgeht. Zum gleichen Ergebnis gelangt man mit der Annahme unterschied- licher stomataler Reaktionen auf beiden Hängen. Die nachfolgenden Ausführungen machen jedoch die Annahme, daß die verringerte Transpiration auf dem Nordhang auf ein reduziertes Wurzelsystem zurückzuführen ist, sehr viel wahrscheinlicher.

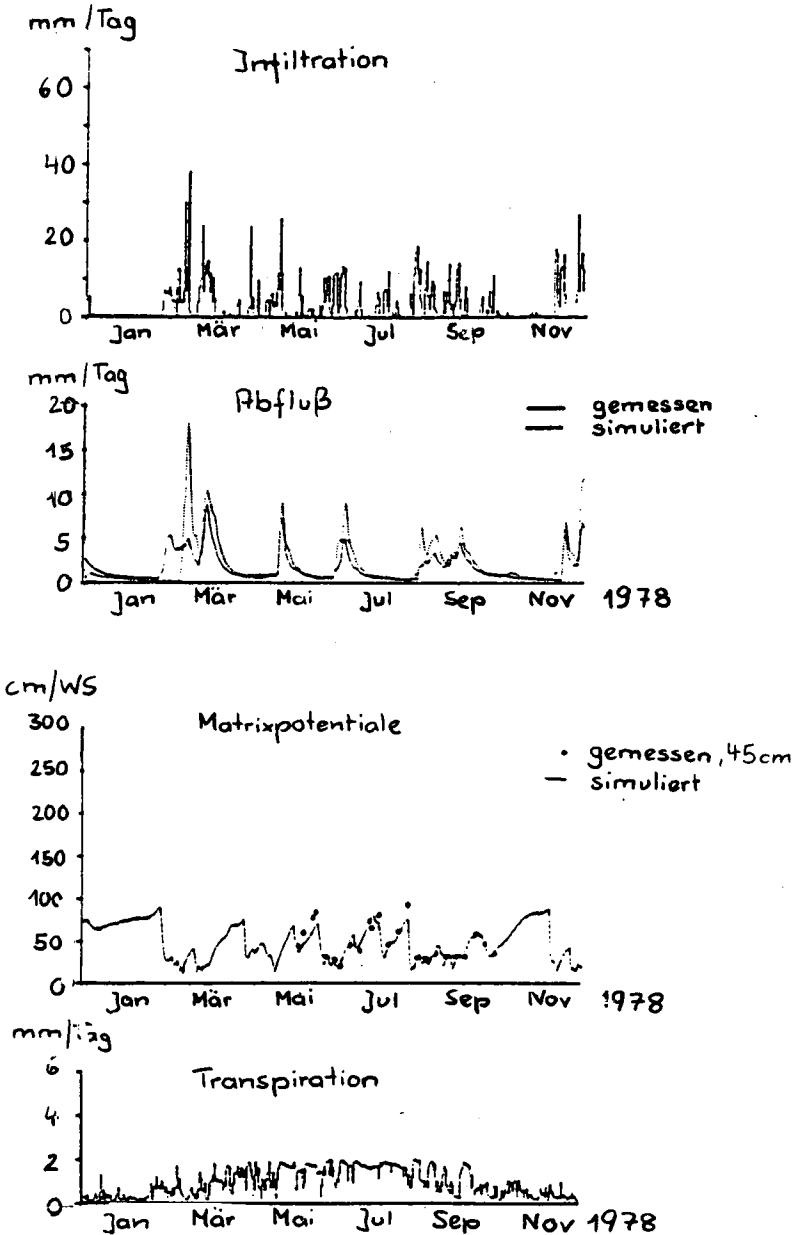


Abb. 15a: Ergebnisse des hydrologischen Modells sowie Meßwerte (Niederschläge, Abflüsse, Matrixpotentiale), 1978, Nordhang



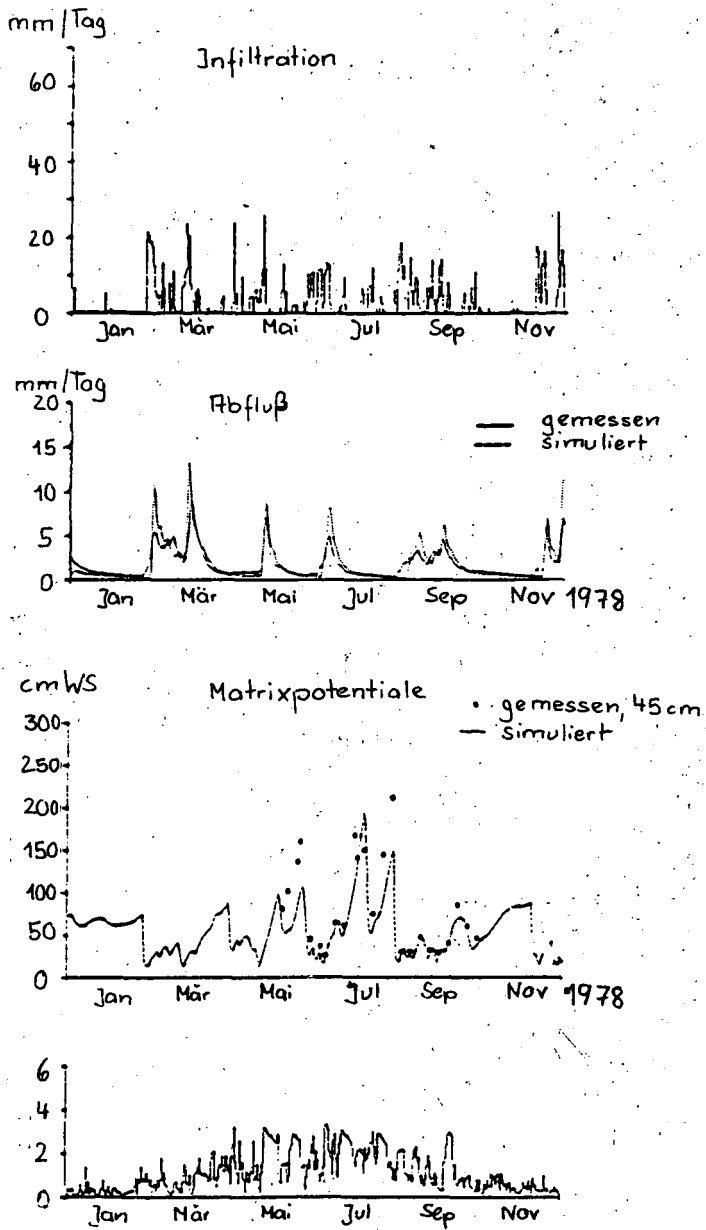


Abb. 15b: Ergebnisse des hydrologischen Modells sowie Meßwerte (Niederschläge, Abflüsse, Matrixpotentiale), 1978, Südhang

### 5.3 Ionenbilanzen

Einen Überblick über die jährlichen Depositionsraten (Gesamtdeposition) von 1981-83 gibt Tab. 3.

(kg/ha/Jahr)	H	Na	K	Ca	Mg	Mn	Al	SO <sub>4</sub> -S	Cl	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N
Deposition (81-83)	1,64	11,0	3,9	8,3	2,1	0,4	1,8	42,5	23,6	10,8	17,9
Seepage (77-79)	,46	9,5	3,7	8,7	2,8	2,5	11,4	34,5	18,9	2,4	,4
Runoff (77-79)	,01	9,7	4,7	19,6	10,1	,0	,0	22,4	18,6	1,9	,2

Tab. 3:

Mittlere Ionenflüsse an den drei unabhängigen Meßebenen: Deposition, Versickerung (aus dem Boden) und Abfluß (aus Wehr).

(Die Depositionswerte gelten für die Jahre 1981-83).

Ein Vergleich mit 1983 durchgeführten Messungen der Gesamtdeposition an 4 weiteren Stellen des Harzes ergab keine Unterschiede in der nassen Deposition, jedoch charakteristische Differenzen bei der Interzeptionsdeposition (Tab. 4). Das "Lange Bramke"-Tal (Forstamt Schulenberg) und die im Forstamt Lautenthal gelegene Meßstelle weisen aufgrund der niedrigen Raten der Interzeptionsdeposition (ohne gasförmige Stoffe) Immissionsschutzlagen auf.

Nr.	Forstamt	Beurteil	Alter	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	SO <sub>4</sub> -S	Cl	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Weg
I	Altenau	F1	201	1,7	15,6	6,3	9,2	2,1	,2	,2	1,1	34,9	34,5	14,6	10,8	
I	Wulkersiedl	F1	109	2,1	27,7	11,7	27,4	5,1	,3	,3	2,3	52,1	68,7	21,5	22,8	
I	Lautenthal	F1	102	,6	14,5	6,9	12,7	2,3	,3	,3	1,1	20,5	35,6	17,3	15,8	
V	Grund	F1	57	,7	2,3	,9	1,7	,4	,03	,03	,2	13,4	8,1	2,5	1,9	
V	Schulenberg	F1	34	1,1	4,6	1,3	3,1	1,0	,1	,05	,4	20,3	12,9	-	3,5	

Tab. 4: Interzeptionsdeposition in 5 Fichtenbeständen des Harzes, 1983. IV und V (Lange Bramke) und Immissionsschutzlagen.

Tab. 3 zeigt eine gute Übereinstimmung der Flußraten für Na und Cl in 80 cm Tiefe und am Wehr. Die monatlichen Na-Flüsse durch die Profilbasis von 3 Meßfeldern und am Wehr sind in Abb. 16 zu sehen. Die Stoffflüsse des Nord- und Südhanges sind trotz der unterschiedlichen Sickerwasserflüsse kaum verschieden.

Die Daten weisen aus, daß die Methode, den Stoffexport aus einem Waldökosystem auf der Basis von Tensiometer- und Saugkerzen-

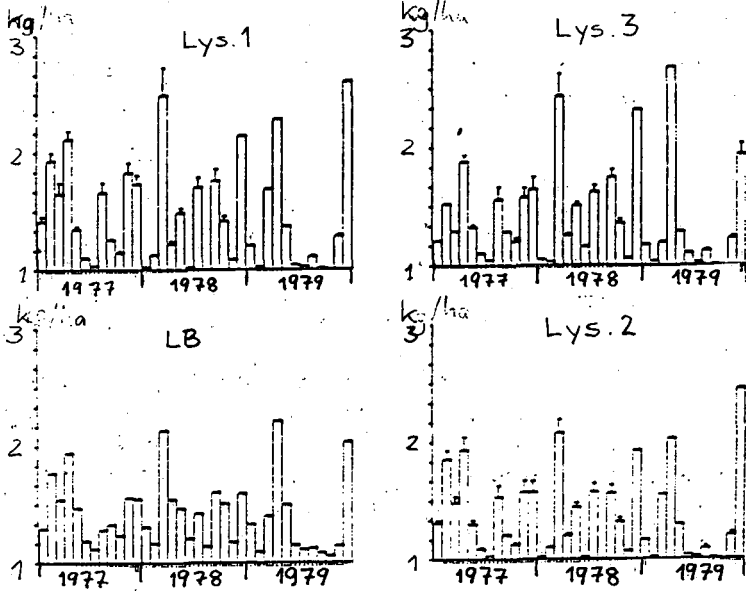


Abb. 16: Monatliche Flüsse des Natriums durch die Bodenprofilbasis. Lys.1 und Lys.2 liegen auf dem Südhang (Abb 4, Felder 7 und 5), Lys.3 liegt auf dem Nordhang (Abb. 4, Feld 3), LB enthält die am Wehr gemessenen Werte.

messungen zu ermitteln, zuverlässige Werte der Ionenflüsse im Boden liefert. Die aus der wurzelbeeinflussten Zone in den Untergrund exportierten Stofffrachten sind gleichfalls in Tab. 3 enthalten. Die Bilanz des Untergrundes schließlich (Bodenprofilbasis bis Vorfluter) ist für 1977-79 aus Tab. 5 ersichtlich.

	H	Na	K	NH <sub>4</sub>	Ca	Mg	Fe	Mn	Al
Kationen kmol IÄ ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0.45	.0	-.02	.02	-.55	-.60	.0	.08	1.26
Anionen	SO <sub>4</sub>	P	Cl	NO <sub>3</sub>	Alk.	Summe Kationen	Anionen		
	.76	.0	.0	.04	n.b.	.63	.79		

Tab. 5: Ionenbilanz des Untergrundes, 1977-79

Danach wird der Untergrund jährlich mit einer etwa  $2 \text{ kmol I\ddot{A} ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  entsprechenden Azidität belastet. Sie wird bei der Passage vermindert durch Schwefelakkumulation ( $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} = 0,76 \text{ I\ddot{A}}$ ). Die verbleibende Azidität wird durch Auswaschen von Ca und Mg abgepuffert. Ein K-Umsatz findet offenbar nicht statt.

Betrachtet man hierzu die Zusammensetzung des Gesteins, in der K und Mg vorherrschen und das Mg/Ca-Verhältnis etwa 10 beträgt, so läßt sich folgendermaßen argumentieren: Da die Pufferung Ca und Mg im Verhältnis 1:1 freisetzt, kann die Gesteinsverwitterung als Pufferprozeß allenfalls von geringer Bedeutung sein. Es wird deswegen angenommen, daß der wesentliche, die Sickerlösung neutralisierende Prozeß (pH im Abfluß = 6.2) der Kationenaustausch ist. Auf dieser Basis ist anzunehmen, daß im Verlauf nur weniger Dekaden die Versauerung die Oberflächengewässer und damit die Talsperren erreicht haben wird.

#### 5.4 Waldschäden

Schäden am oberirdischen Bestand zeigten sich schon vor einigen Jahren auf den exponierten Kämmen des Einzugsgebietes. Schon DELFS u.a., 1958, wiesen auf den erhöhten Wassereintrag durch Nebelauskämmung hin. Obwohl keine stofflichen Analysen aus jener Zeit vorliegen, kann erwartet werden, daß dadurch die Stoffdeposition beträchtlich erhöht worden ist.

Vergleicht man hierzu die Schwefelausträge am Wehr des stärker (im Vergleich zum Lange Bramke Tal) exponierten Wintertales (Abb. 2), die mit  $53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  mehr als doppelt so hoch wie im Lange Bramke Tal ( $23 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) sind, so zeigt sich die Bedeutung des Expositionseffektes. Eine Untersuchung einer großen Zahl von Quellen im Westharz weist aus, daß das Lange Bramke Tal mit die niedrigsten Schwefelkonzentrationen aufwies. Für die Lange Bramke gilt ferner, ausgewiesen durch die Ionenflüsse im Bestandesniederschlag, daß die Schwefeleinträge hauptsächlich auf die nasse Deposition und auf  $\text{SO}_2$ -Adsorption zurückgehen. Diese Befunde sind in Übereinstimmung mit der Schutzlage des Tales. Aus diesen Argumenten folgt, daß die Absterbeerscheinungen im Kammbereich wegen der exponierten Lage

auf erhöhte Depositionsraten der Luftschadstoffe zurückzuführen sind.

Seit März 1982 ließen sich verschiedene Schadensformen auch im Inneren des Lange Bramke Tales beobachten. Charakteristisch für den Südhang ist ein unterhalb des Wipfels beginnender Schadensverlauf mit Vergilbung der Nadeln auf den Zweigoberseiten. Die Erscheinungen schreiten von den inneren nach den äußeren Kronenteilen fort. Die vergilbten Nadeln wiesen sehr niedrige Mg-Gehalte auf, wie dies auch andernorts beobachtet wurde. Die Bäume der Meßfelder auf dem Nordhang hingegen blieben grün.

Eine eigentlich für die experimentelle Parameterfindung für das hydrologische Modell angesetzte (im Sept. 1983) Wurzeluntersuchung in der Nähe der Meßfelder (4 - 30 m) führte zur Entnahme von jeweils 5 Bodensäulen bis in 60 cm Tiefe. Jede hatte ein Volumen von 24 dm<sup>3</sup>. Tab. 2 zeigt die Ergebnisse. Sie widersprechen nicht der zuvor erörterten Annahme, daß die beträchtliche Mindertranspiration auf dem Nordhang auf ein reduziertes Wurzelsystem im Mineralboden zurückzuführen ist. Für die spätere Diskussion sei angemerkt, daß die bodenchemischen Daten in Tab. 6, die bei dieser Untersuchung erhoben wurden, gut mit denen korrespondieren, die als Bodenlösung aus den benachbarten Saugkerzen gewonnen wurden. Insbesondere ist auf NO<sub>3</sub> und das Ca/Al-Verhältnis hinzuweisen.

		% AKe								umol IA g <sup>-1</sup>		mg l <sup>-1</sup>	
		H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	AKe	Ca/Al	NO <sub>3</sub> -N	
I	0-10	24.1	0.7	0.8	1.3	0.6	6.1	1.8	64.6	144.6	0.2	0.1	
	10-22	0.	1.0	1.6	1.2	0.6	0.6	5.0	90.2	101.2	1.5	0.01	
	22-60	0.	5.5	5.0	1.1	0.7	0.2	2.4	85.1	32.7	3.8	0.01	
	60-70	0.	6.0	5.4	1.3	0.6	0.4	3.4	83.0	17.2	1.3	0.01	
II	0-10	40.9	2.7	2.9	4.7	1.3	2.5	0.8	45.0	36.6	0.3	0.7	
	10-20	12.1	0.6	0.7	1.3	0.5	2.4	6.9	75.5	165.0	1.2	3.9	
	25-35	3.6	1.1	1.3	1.0	0.4	0.5	6.2	86.1	92.0	0.6	3.6	
	50-60	0.	3.0	2.9	1.4	0.4	0.3	2.5	89.7	28.5	0.6	2.4	

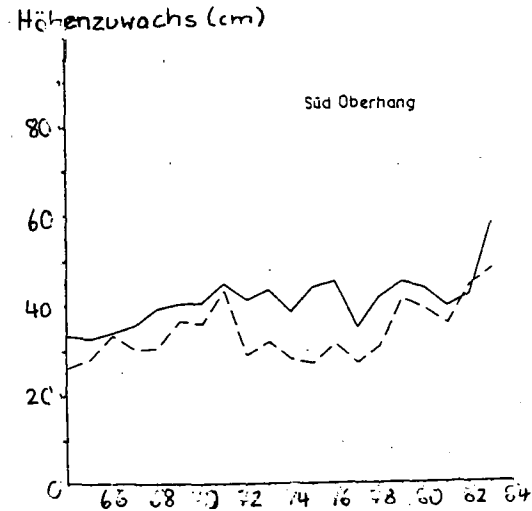
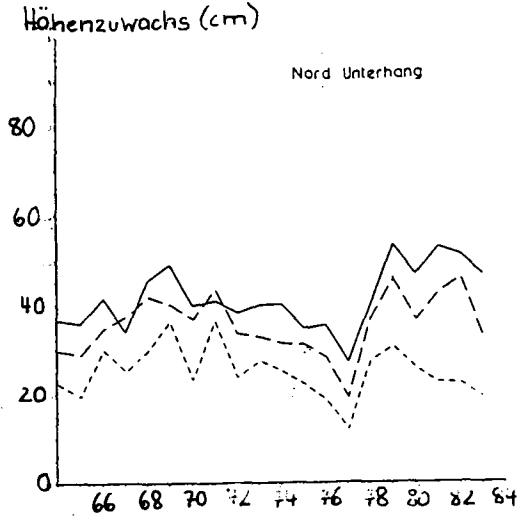
Tab. 6: Prozentuale Kationenbelegung der effektiven Austauschkapazität (AKe), AKe-Verhältnisse sowie Ca/Al-Verhältnis und Nitrat-N im Wassereextrakt. I = Südhang, unten; II = Südhang, Kammbereich.

Um die Auswirkungen auf das Bestandeswachstum zu untersuchen, wurden an 4 Stellen insgesamt 26 Bäume entnommen. Jährliche Höhenzuwächse, Nadelgehalte und bodenchemische Daten wurden ermittelt. Abb. 17 zeigt die jährlichen Höhenzuwächse. Auf dem

Nordhang ist ein abnehmender Höhenzuwachs seit etwa 1970 zu erkennen. Dieser Zeitpunkt fällt zusammen mit der Trendwende des Gebietsabflusses (Abb. 2, MENDEL und LIEBSCHER, 1984), für die demnach ebenfalls der Wurzelverlust im Mineralboden des Nordhangs in Betracht kommt. Diese unterschiedliche Wasseraufnahme war demnach bereits zum Zeitpunkt des Beginns der bodenphysikalischen Messungen (1977) gegeben.

Schließlich sei noch ein weiterer, den Unterschied von Nord- und Südhang ausweisender Befund in Form der Nadelanalysen in Tab.7 mitgeteilt.

Abb. 17:  
Jährlicher Höhenzuwachs von 26 Bäumen. Die gezeigten Trends gelten für Brusthöhendurchmesser. Der obere Abbildungsteil gilt



für den Bereich 17, der untere für den Bereich 19 in Abb. 4.

		Nordhang				Südhang				
Bes. der Probestelle		NoZ		NuZ		SuZ		SoZ		
Höhe über M.N.		670		600		615		640		
Schadklasse		I	II	I	II	I	II	0	I	II
Basenüberschuß in der Asche mmol/Kg	1983	162	142	110	93	192	161	204	184	170
	1982	127	108	108	110	191	142	188	150	165
	1981	152	125	126	95	181	152	189	172	177
	X	147	125	115	99	188	152	194	169	171
Kalium mg/gr	1983	4.3	5.2	4.0	4.4	5.4	5.3	6.8	6.3	7.4
	1982	4.0	5.7	4.3	3.9	5.5	5.5	5.7	5.9	6.4
	1981	5.4	6.4	5.1	5.3	5.7	6.2	6.8	6.2	7.5
	X	4.6	5.8	4.5	4.5	5.5	5.7	6.4	6.1	7.1
Kalzium mg/gr	1983	1.9	.9	1.2	2.2	2.2	1.6	1.8	1.7	1.0
	1982	1.7	1.0	1.4	1.7	2.6	1.8	1.9	1.5	1.3
	1981	1.5	.9	1.9	.9	2.5	2.2	1.9	1.9	1.4
	X	1.7	.9	1.5	1.6	2.4	1.9	1.9	1.4	1.2
Magnesium mg/gr	1983	.45	.24	.36	.34	.48	.42	.27	.35	.30
	1982	.26	.17	.22	.22	.43	.29	.40	.25	.22
	1981	.24	.18	.25	.16	.40	.33	.39	.25	.23
	X	.32	.20	.28	.24	.44	.35	.35	.28	.25
Mangan mg/gr	1983	.46	.37	.35	.42	.63	.63	.46	.54	.38
	1982	.43	.36	.49	.40	.83	.73	.53	.49	.60
	1981	.40	.36	.59	.26	.89	.91	.46	.61	.58
	X	.43	.36	.48	.36	.78	.76	.48	.55	.52
Silikat mg/gr	1983	1.12	1.55	1.08	1.48	1.90	1.85	2.31	2.22	1.99
	1982	3.03	3.14	3.00	2.83	3.94	3.45	3.85	4.26	4.96
	1981	4.06	4.53	4.18	4.55	5.83	5.11	5.39	6.88	7.16
	X	2.74	3.17	2.75	2.95	3.89	3.47	3.85	4.45	4.70
Phosphor mg/gr	1983	1.01	1.20	1.09	0.83	0.86	0.87	0.96	1.00	1.20
	1982	0.86	1.00	0.91	0.73	0.78	0.77	0.81	0.87	0.99
	1981	0.88	1.07	0.93	0.74	0.77	0.76	0.82	0.85	0.93
	X	0.92	1.09	0.98	0.77	0.80	0.80	0.86	0.91	1.04
Stickstoff mg/gr	1983	13.59	13.71	13.25	15.00	15.09	13.95	15.99	15.48	17.34
	1982	13.02	13.19	13.35	14.01	15.18	12.88	14.06	15.04	16.20
	1981	12.88	13.94	12.94	14.00	13.48	13.53	15.41	14.54	15.20
	X	13.16	13.61	13.18	14.34	14.58	13.45	15.15	14.99	16.25

Tab. 7: Elementgehalte in den Nadeln symptomfreier und verschiedenen stark chlorotisch verfärbten Fichten im Einzugsgebiet der "Langen Bränke" (Entnahmehöhe 7. Quirl)

### 5.5 Erklärungshypothese der Waldschäden im Einzugsgebiet der "Langen Bramke"

Vergleicht man die Entwicklung der Zusammensetzung der Bodenlösung vor und während der Vergilbung der Nadeln auf dem Süd- und dem Nordhang - gegenübergestellt werden die Ergebnisse der Meßfelder 5 und 7 (Südhang, Su und So) und 4 (Nordhang, No), alle weniger als 50 m vom Talboden entfernt und damit in besonders geschützter Position, vgl. Abb. 2 - so fällt am meisten die in Abb. 18 dargestellte Verschiedenheit der Nitratkonzentration auf. Seit 1978 zeigt die Bodenlösung (Probenahme in 80 cm Tiefe) auf dem Nordhang steigende Nitratkonzentrationen, auf dem Südhang dagegen nicht. Ein entsprechender Nitratanstieg

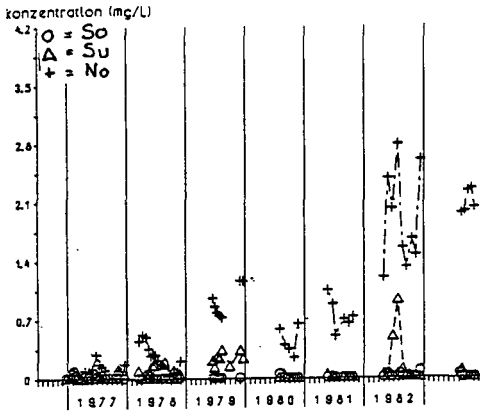


Abb. 18: Trends der NO<sub>3</sub>-N-Konzentration der mit Saugkerzenlysometern ausgestatteten Meßfelder 3 (No), 5 (Su) und 7 (So)

konnte auch im Bachwasser beobachtet werden (Abb. 19).

Die geringen Nitratwerte auf dem Südhang finden andererseits ihre Entsprechung in den in Tab. 6 mitgeteilten Werten des Wasserauszuges.

Es liegt nahe, diese Befunde mit den Unterschieden des Wurzelsystems in Verbindung zu bringen, die bei der Kalibrierung des hydrologischen Modells angenommen und (Tab. 2)

experimentel bestätigt wurden. Auf der Eingabeseite treten weder bei den Depositionen noch beim Bestandesniederschlag Unterschiede der Nitratflüsse auf. Ferner dürfte die Mineralisierungsrate aus dem Auflagehumus auf der wärmeren Südseite eher höher sein. So muß es als wahrscheinlich erscheinen, daß die Nitratauswaschung aus dem Nordhangboden auf eine verminderte Aufnahme zurückgeht.



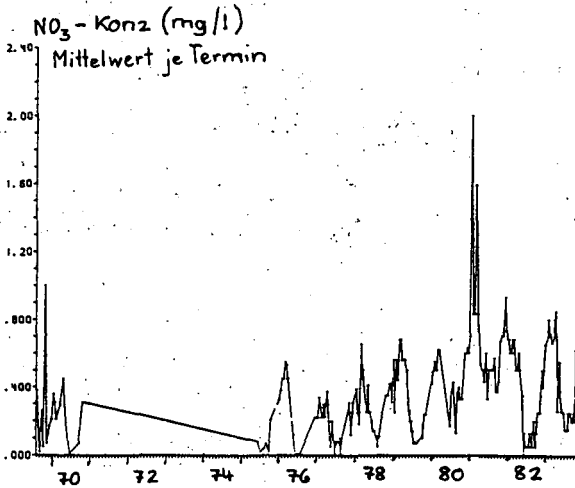


Abb. 19: Trend der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration im Bachwasser

Eine verminderte Nitrataufnahme würde auch den geringen Basenüberschuß in den Nadeln (Tab. 7) auf der Nordhangseite erklären. Fehlende Nitrataufnahme führt zu wachsenden Schwierigkeiten, die Anionen/Kationen-Bilanz bei der Nährstoffaufnahme auszugleichen.

Mit dem Nitrat erscheint das Aluminium mit wachsenden Konzentrationen in der Bodenlösung des Nordhanges (Abb. 20). Demgegen-

über folgt es auf dem Südhang dem Sulfat (Abb. 21), jedoch ohne steigende Tendenz in dem Beobachtungsintervall.

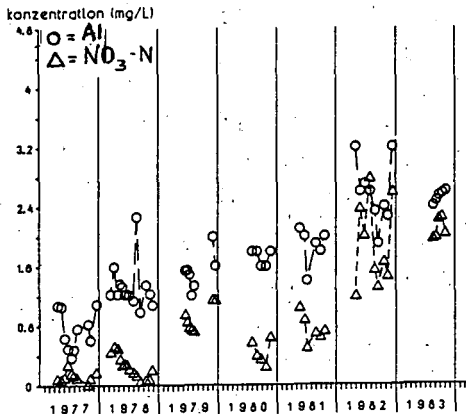


Abb. 20: Trends der  $\text{NO}_3\text{-N}$ - und der Al-Konzentrationen in der Bodenlösung des Meßfeldes 3 (Nordhang). Entnahmetiefe ist 80 cm u. Gel; Mittelwerte von 8 Saugkerzenlysimetern

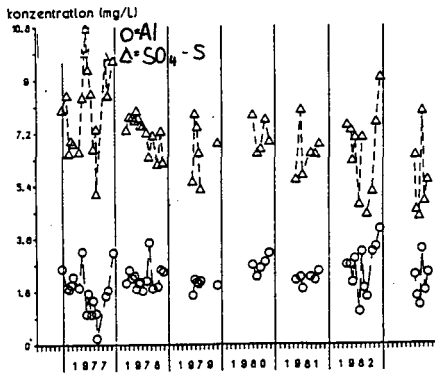


Abb. 21:  
Trends der SO<sub>4</sub>-S- und  
der Al-Konzentrationen  
in der Bodenlösung des  
Meßfeldes 7 (Südhang).  
Entnahmetiefe ist 80 cm

Von Interesse sind  
weiterhin die Trends  
beim Ca und Mg. Mg wird  
mit höheren Raten ausge-  
tragen als deponiert,  
wobei als Quellen der  
Boden oder die Humusauf-  
lage infrage kommen.

Der Boden enthält jedoch nur noch 20-30 kg ha<sup>-1</sup> austauschbares Mg und die Verwitterungsrate ist sehr begrenzt. Es wird deswegen angenommen, daß das zusätzliche Mg der Humusaufgabe entstammt. Für den Südhangboden ergibt sich somit, daß zwar noch das Nitrat aufgenommen wird, daß jedoch der Mg- und Ca-Kreislauf gestört sind. Abb. 22 läßt den abnehmenden Trend der Ca- und Mg-Konzentration in der Bodenlösung (Südhang) erkennen, während auf dem Nordhang kein Trend, aber sehr geringe Konzentrationen vorliegen.

Im folgenden soll ein erster Versuch unternommen werden, die vorstehend mitgeteilten Beobachtungen zu erklären. Weitere Untersuchungen z.B. zur Elementspeicherung im Auflagehumus und zur Erkennung neuer Trends vermehrter Elementausträgen sind eingeleitet.

Für die Meßfelder des Südhanges gilt, daß der Bestand nach der Dickungsphase sich zu lichten beginnt. Eine erhöhte Mineralisierungsrate im Auflagehumus ist deshalb wahrscheinlich, die vermehrt Nitrat und basische Kationen freisetzt. Dies führt trotz der hohen Al-Konzentration zu einem noch erträglichen Ca/Al-Verhältnis in der Bodenlösung, so daß Schäden am Feinwurzelsystem noch kaum auftreten, zumal die ausreichend hohen Ca/Al-Relationen in der ganzen Wurzelzone (Tab. 6) gegeben sind. Dem steht gegenüber, daß das Feinwurzelsystem offenbar nicht in der Lage ist, Ca und Mg im gleichen Maße aufzunehmen, in dem es

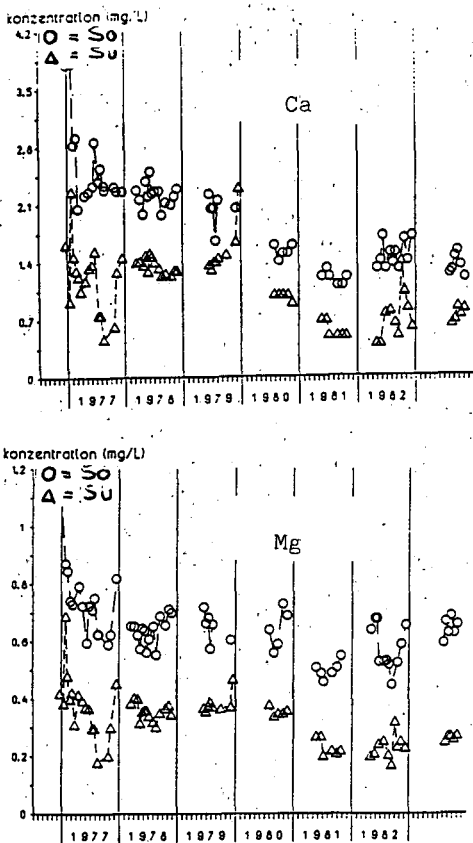


Abb. 22:  
 Trends der Ca- und Mg-Konzentrationen in der Bodenlösung der Meßfelder 7 und 5 des Südhanges, Entnahmetiefe ist 80 cm.

mineralisiert wird. Es kommt sogar zu relativ hohen Austragsraten, gemessen an der gegenwärtigen austauschbar gespeicherten Menge. Hier scheint sich ein Zustand mäßiger Schädigung widerzuspiegeln, in dem die Bäume ihr Wurzelsystem zwar noch erhalten können, ohne jedoch die Nährstoffaufnahme mit ihren Ansprüchen in Übereinstimmung bringen zu können. Einer guten Wasser- und Nitratversorgung steht eine vermutlich

wachstumsbegrenzende Mg-Mangelversorgung gegenüber. Die fortschreitende Verarmung des Austauschspeichers an Ca und Mg in der Wurzelzone führt zu einer abnehmenden Konzentration in der unterhalb der Wurzelzone entnommenen Lösung (Abb. 22). In den geringen Mg-Gehalten der Nadeln mag sich ein stark disponierender Faktor für direkte Schäden im Kronenraum äußern. Dieses Stadium scheint mit dem Vergilben der Nadeln erreicht zu sein. Ein zusätzlicher Streß könnte zum Absterben dieses ohnehin schon unterversorgten Bestandes führen, der keine Chance hätte, weitere Nadelverluste oder Wurzelschäden zu überleben.

Diese Entwicklung ist hypothetisch, sie wird jedoch gestützt durch die Beobachtung an allen bisher im Verlauf dieser Untersuchungen gefundenen Daten, daß der Vergilbung der Nadeln ein Mg-Mangel im gesamten Ökosystem vorausgeht.

Auf dem wegen größerer Begründungsschwierigkeiten etwas zurückgebliebenen, überwiegend noch dichteren Bestand auf dem Nordhang muß mit niedrigen Mineralisationsraten gerechnet werden. Die Ca- und Mg-Konzentrationen in der Bodenlösung sind infolge dessen ebenfalls niedrig. Eine stärkere Entkopplung des Ionenflusses und damit eine beschleunigte Versauerung sind die weiteren Auswirkungen, die wiederum toxische Ca/Al-Verhältnisse nach sich ziehen. Unter diesen Bedingungen erhöht sich der Feinwurzelumsatz, um geschädigte oder abgestorbene Wurzeln zu ersetzen, bei gleichzeitigem Rückzug aus dem Mineralboden. Das Ergebnis ist ein reduziertes Feinwurzelssystem, wie es heute vorliegt. Es ist nicht mehr in der Lage, die Wasser- und Nährstoffaufnahme ausreichend aufrecht zu erhalten, so daß Nitrate ausgetragen werden und transpirationsmindernder Wassermangel auftritt. Der Baum verwendet seine Biomasseproduktion hauptsächlich zur Erneuerung des Wurzelsystems.

Diese Hypothese befindet sich in Übereinstimmung mit den bisher verfügbaren Daten. Kritische Punkte bedürfen zu ihrer Klärung weiterer Untersuchungen. Doch einige Verallgemeinerungen sind jetzt schon möglich.

Nach den vorgetragenen Hypothesen beruhen die gegenwärtigen Schäden auf vorwiegend 2 Faktoren: Depositions- und Mineralisierungsraten. Bei relativ geringer Deposition von Luftschadstoffen sind durch Mg-Mangel bewirkte Symptome die ersten sichtbaren Anzeichen des Waldsterbens, wobei dem initialen Stadium eine rapide Weiterentwicklung folgt.

Hohe Säuredepositionsraten dagegen bewirken als erstes Symptome, die erhöhte Toxizität anzeigen. Dieser Belastung ausgesetzte Bestände können sich in Phasen mit verringertem Säurestreß erholen.

Eine praktische Konsequenz dieser Hypothesen betrifft die Läuterung dichter Bestände. Sie kann einen drastischen Anstieg der Vergilbungserscheinungen unter der Bedingung relativ geringer Depositionen auslösen. Dies konnte nicht nur im "Lange Bramke"

Tal festgestellt werden, sondern wurde auch aus anderen Teilen unseres Landes berichtet.

## 6. Literatur

- American Public Health Assosiation, 1976. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, D.C., 611 pp.
- Anderson, E.A. 1973. National Weather Service River Forecast System. Snow Accumulation and Ablation Model, NOAA Technical Memorandum, NWS, Hydro, 17
- Benecke, P., F. Beese und R.R. van der Ploeg, 1976. Bodenhydrologische Methoden zur Untersuchung ungestörter, skelettreicher Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 3, 361-371
- Benecke, P., 1983. Bodenwasserbewegung in der ungesättigten Zone bei Waldbeständen. In: Tagungsband des 15. DVWK-Fortbildungsganges Hydrologie im Okt. 83 in Braunschweig. Herausg. vom Dt. Verb. Wasserwirtsch. u. Kulturbau
- Calder, I.R., 1977. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, Central Wales, Journal of Hydrology, 33, 247-265
- Delfs, J., 1954. Niederschlagszurückhaltung (Interception) in verschieden alten Fichtenbeständen. Mitteil. Arb'kreis "Wald und Wasser", (Herausgeber: W. Friedrich) H 1: 31-36
- Delfs, J., Friedrich, W., Kiesekamp, H. und Wagenhoff, A., 1958. Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abfluvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Aus dem Walde, Mittlg.d.Nds. Landesforstverw., Heft 3
- Goerz, H., 1962. Zur Petrographie des Unterdevöns im Westharz, Beiträge zur Mineralogie und Petrographie, 8, 232-266
- Hauhs, M., 1984. Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Langen Bramke (Harz). Diss. Forstl. Fak. Univ. Göttingen

- Heinrichs, H., N. König und R. Schultz, 1985. Atom-Absorptions- und Emissionsspektroskopische Bestimmungsmethoden für Haupt- und Spurenelemente in Probelösungen aus Waldökosystem-Untersuchungen. Berichte d. Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen, Bd. 8, 1-92
- Hinze, C., 1971. Erläuterungen zu Blatt Clausthal-Zellerfeld Nr. 4128, Geolog. Karte v. Nds. 1:25000. Niedersächs. Landesamt für Bodenforschung, Hannover
- Liebscher, H.-J., 1975. 20 Jahre Wasserhaushaltsuntersuchungen im Oberharz. Bes. Mitt. z. Dt. Gewässerkundl. Jb., Nr. 39, 286 Seiten. Herausg. Bundesanst. Gewässerkde., Koblenz
- Meiwes, K.J., N. König, P.K. Khanna, J. Prenzel und B. Ulrich, 1984. Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Berichte d. Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen, Bd. 7, 1-67
- Mendel, H.-G. und H.-J. Liebscher, 1984. Wasserhaushaltsuntersuchungen im Oberharz, Vortrag Symp. Wald und Wasser, Grafenau (bayr. Wald), Sept. 1984
- Roberts, J., 1983. Forest transpiration: A conservative hydrological process? Journal of hydrology, 66, 133-141
- Schlichter, T.M., 1980. Die Entwicklung eines Simulationsmodells für den Wasserhaushalt eines Buchenbestandes im Hochsolling. Diss., Forstl. Fak. der Univ. Göttingen
- Stewart, J.B., 1983. A discussion of the relationships between the principal forms of the combination equation for estimating crop evaporation. Agricultural meteorology, 30, 111-127
- Stewart, J.B. and A.S. Thom, 1973. Energy Budgets in Pine Forest. Quart. J. R. Met. Soc., 99, 154-170
- Swift, L.W., 1976. Algorithm for solar radiation on mountain slopes. Water Resources Research, 12, 108-112
- Van der Ploeg, R.R., 1978. Entwicklung zweidimensionaler Modelle für den Wasserumsatz im Boden hängiger Fichtenstandorte des Harzes. (Habilitationsschrift) Forstl. Fak., Georg-August-Univ. Göttingen



Exkursion

H I L S

von

Gehrmann, J., M. Gerriets, H. Kramer, J. Nagel, G. Raben,  
H. Schulte-Bisping, B. Ulrich u. G. Wiedey





G. Raben, G. Wiedey und M. Gerriets

## I. Geologie

Der Hils liegt im zentralen Teil des Ith - Hils - Berglandes am Nordrand der deutschen Mittelgebirgsschwelle und zählt zum forstlichen Wuchsbezirk "Unteres Weser - Leine - Bergland".

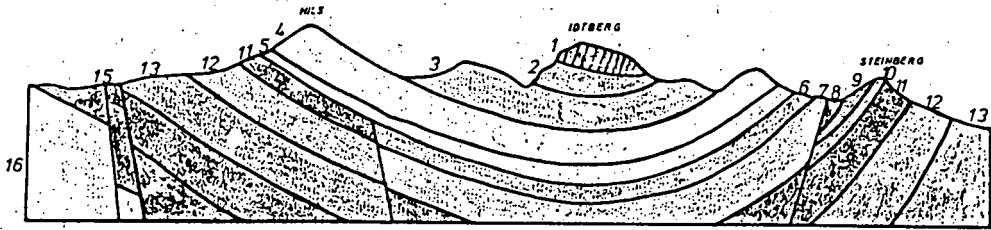
Damit fällt der Hils in den Bereich der herzynisch streichenden Strukturen des südhannoverschen Berglandes westlich des Harzes (Abb.1). Zu beiden Seiten des Leinetales liegen hier flache in Nordwest-Südost-Richtung längsgestreckte tektonische Mulden, welche Schichten des Trias, des Jura und der Kreide umfassen (Abb.2).



Abb.1: Orohydrographische Karte des Hilsgebietes

Lange Zeit galten diese beiden flachen Mulden zu beiden Seiten der "Leinetalachse" als Musterbeispiele für rein tektonisch entstandene Faltenmulden, indem man sich ihre Bildung durch seitlichen Druck bei der "saxonischen Rahmenfaltung" vorstellte, wobei die Schichten des saxonischen Beckens zu Schichtrippen gefaltet wurden. Spätere Auffassungen sehen die beiden Mulden zu beiden Seiten des Leinetales als "Einbeulungen" an, die durch seitliche Salzwanderung im Untergrund entstanden seien.

Abb.2: SCHNITT DURCH DIE HILSMULDE



TURON-ÄNER	1	HEKOM	5	MÜNDES MERGEL	8	DOGGER	12
CENOMAN	2	WEALDEN	6	MINERIDGE	9	LIAS	13
FLAMMENMERGEL	3	SERPULIT	7	KORALLEMOLITH	10	KEUPER	14
MILSSANDSTEIN	4			ORNATIONEN	11	MUSCHELKALK	15
						BUNTSANDSTEIN	16

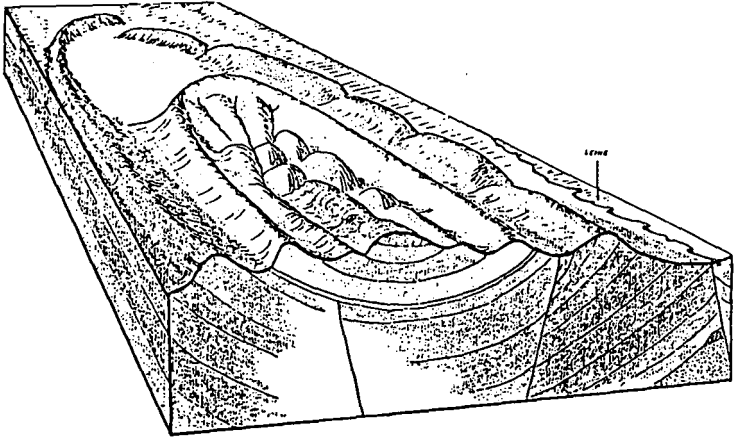
Heute gilt als gesichert, daß es sich um eine grabenartig herzynisch verlaufende Einbruchzone handelt. Im Innern der Grabenzone liegen die Kreideschichten diskordant und verhältnismäßig wenig gestört auf dem stark dislozierten Jura ("Hilstransgression"). Infolge der allgemeinen tektonischen Verhältnisse, die bereits im Jura angelegt wurden, haben die Kreideschichten eine muldenförmige Lagerung. Die heutige Hils -"Kreidemulde" liegt dabei exzentrisch auf der Juraformation.

In der Zerrungstektonik des Deckgebirges spiegelt sich die Schollentektonik des variscischen Untergrundes wieder, indem jungvariscische Bewegungen an alten Verwerfungen des Grundgebirges auflebten und sich im Deckgebirge fortsetzten. Im Hilsgebiet haben sich außerdem jüngere und jüngste tektonische Phasen ausgewirkt. Dazu kamen rein salttektonische Bewegungen.

Bedeutsam für dieses Gebiet bzw. den Hils ist, daß hier eine Serie mehr oder weniger schräg gestellter, abtragswiderständiger und leichter erodierbarer Schichten in Wechsellagerung vorliegt, die teilweise - das trifft besonders für den inneren Bereich zu - umlaufend streichen und wie ein Satz Schlüssel ineinander greifen (Abb.3). Daran erklärt sich die räumliche Abfolge von Schichtkämmen und Längstalungen bzw. den Schichtenbau entsprechend stufenförmig gegliederte Berglandseinheiten im Bereich der Kreidemulde. Landschaftsökologisch wichtig ist außerdem der Fazieswechsel zwischen Sandsteinen mit wechselnden Bindemitteln, Tonen mit unterschiedlichen Carbonatgehalten, lockeren Sedimenten, Kalken und Mergeln.

Im Muldenkern sind Reste der geologisch jüngsten Schichten dieses Gebietes (Cenoman und Turon) als hohe Tafelberge, sogenannte "Zeugenberge", erhalten. Es liegt hier folglich eine "Reliefumkehr" vor.

Abb.3: Schichttrippen des Jth-Hilsberglandes



Die im Hils ausgewählten Beobachtungsflächen liegen durchweg im Bereich der "Unteren Kreide".

Zu den ältesten Kreidegesteinen gehört der Neokom, der den hufeisenförmigen Aufbau des Hils als ein schmales Band am Außenhang umschließt und zu grauschwarzen Tonen verwittert (Abb.2). Meist ist er stark überschüttet von Abbruchschollen aus Hilssandstein, unter dem er als Auf-fanghorizont des Wassers aus dem porösen Hilssandstein einen Quellhori-zont bildet, der entsprechend dem geologischen Aufbau den Außenhang umgibt.

Im Hangenden schließt der Hilssandstein an, der aus 10 bis 80m mächtigen, dickbankigen, hellgrauen oder gelblichen bis bräunlich roten, mittelkörnigen Sandsteinen aufgebaut ist. Zum Teil treten schwärzliche und stark glaukonithaltige Bänke auf. Das Bindemittel ist, wie bereits oben erwähnt, sehr ungleich. Am härtesten ist der Sandstein unterhalb der "Bloßen Zelle"(476m) in der Nähe der Untersuchungsflächen in Abt. 109 (Raabe-Turm) und bildet in diesem Bereich die höchsten Bergkämme der Gegend. Im südöstlichen Teil des Hils ist der Hilssandstein auf-grund des kaolinitischen Bindemittels wesentlich mürber ausgebildet und die Kammpartie ist dementsprechend flacher.

Über dem Hilssandstein liegt der Minimuston (siehe Abb.4). Er besteht aus blättrigen, schnell zerfallenden dunklen Tonen; zum Teil handelt es sich hierbei auch um glaukonitisch, schluffig-feinsandige Tonsteine. Seine Mächtigkeit beträgt "nur wenige Meter" (ca. 5-20m). Der Minimuston dichtet den Hilssandstein nach oben hin weitgehend ab und bildet

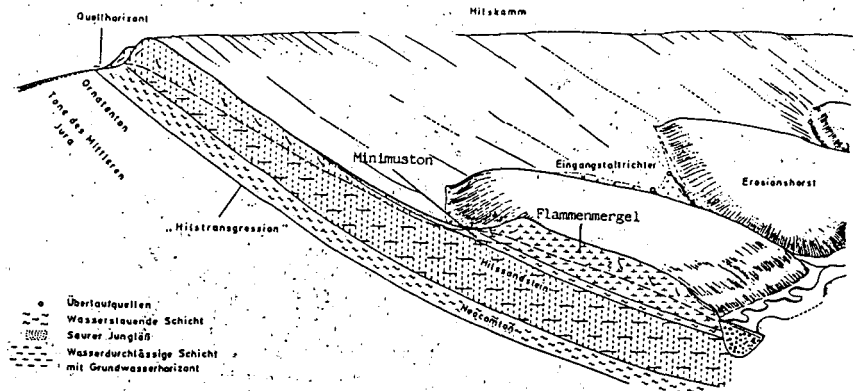


Abb.4: Geologisch-hydrologische Wechselwirkungen am inneren und äußeren Rand der Hils-Kreidemulde

im Grenzbereich zum Flammenmergel (Abb.4) ebenfalls einen Quellhorizont und hat dadurch eine große Bedeutung für die hydrogeologischen Eigenschaften der Hilsmulde. Er tritt flächenmäßig nur wenig in Erscheinung, meist an der Steilkante der Erosionshorste (Abb.4) aus hartem Flammenmergelgestein, das sich im Hangenden an den Minimuston anschließt.

Der Flammenmergel ist etwa 85-100m mächtig und besteht zum Teil aus sandigen, feinkörnigen und recht harten Gesteinen, zum Teil aus dichtem Gestein, das mergelig zerfällt. Diese Gesteine sind im frischen Zustand dunkel, bekommen aber bei der Verwitterung Streifen, Flecken und flammenförmige Bänder (Name!). Besonders in der Mitte und dem obersten Teil des Flammenmergels treten die mürben Schichten auf, wobei die Bezeichnung "Mergel" lediglich die Zerfallsart bezeichnet, nicht den Carbonatgehalt. Im Gipfelbereich besteht er aus ziemlich harten, feinkörnigen, verkieselten Sandsteinen.

Cenoman und Turon schließen sich an, die sich jeweils in zwei Abteilungen gliedern lassen. So besteht das Untere Cenoman bei einer Mächtigkeit von etwa 60m aus grauen, sandigen Mergeln mit harten Kalkknollen und bedingt einen flacheren Anstieg des Geländes, während das Obere Cenoman aus grauen, dickbankigen Kalken einen steileren Geländeanstieg bewirkt. Das Turon besteht im unteren Bereich aus bis zu 20m mächtigen ziegelroten grauen und mergeligen Kalken, die über dem Oberen Cenoman wiederum einen Geländeabsatz bedingen. Das Obere Turon besteht aus 60m mächtigen mäßig harten Plänerkalken. Sie verwittern sehr schlecht und bilden so die markanten Steilhänge der drei Zeugenberge im Innern der Hilsmulde.

Im gesamten Hils wird Löß angetroffen. Als periglaciale Fließerde hat er sich im unteren Bereich der Hänge angesammelt. Besonders gesetzmäßig kann man dies im Inneren der Hilsmulde feststellen; um die harten Erosionshorste des Flammenmergels, die vor dem zum Muldeninneren einfallenden Hilssandstein eine Geländeerhebung bilden, liegt er wie ein Schal und verliert sich erst im Unterlauf der seitlich begrenzenden Bachtäler. Am Außenhang findet man ihn weniger regelmäßig auch am Hangfuß. Es handelt sich um carbonatarmen Löß aus Buntsandsteingebieten im Westen, der schon am Ort seiner ersten Ablagerung weitgehend entkalk war.

## II. Bodengesellschaften

Hier sei wiederum nur auf die hauptsächlich interessierenden Bodengesellschaften der "Unteren Kreide" eingegangen.

Der Flammenmergel bringt durchweg sauere Böden der Braunerde-Reihe hervor, die jedoch nicht so nährstoffarm sind wie die Böden des Hilssandsteins. Auf den Kuppen der Erosionshorste bilden sich im harten Gestein des Flammenmergels Podsol-Ranker heraus; an Stellen mit mehr Feinbodenmaterial kann auch ein Humus/Eisen-Podsol auftreten.

Hangabwärts sammelt sich immer mehr Feinboden an und dies führt zum Hangfuß hin infolge der Vermischung und Überdeckung mit Lößlehm zur Ausbildung von Parabraunerden und Braunerden, die mehr oder weniger stark podsoliert sind. Bei starker Einebnung des Geländes können diese Böden zunehmend Pseudovergleyung aufweisen.

Der Hilssandstein zeigt ähnliche Entwicklungstendenzen wie der Flammenmergel. Er zerfällt allerdings nicht wie jener zu einem mergelig-schluffigen Feinsand, sondern liegt mehr im Bereich des Mittelsandes; außerdem ist er nährstoffärmer.

In der Höhenzone des Hilssandsteins überwiegen Podsole, in extremen Expositionen auch Ranker-Podsole. In Bereichen des Hilskamms, in denen eine mürbere Ausbildung des Hilssandsteins auftritt, kann es in Verbindung mit Löß zum Auftreten von Podsol-Braunerden kommen. Die tieferen Lagen zur Hilsmulde hin werden beherrscht von den Übergängen der podsoligen und podsolierten Braunerden und Parabraunerden. Diese sind in Abhängigkeit von Sonn- und Schattlage in weniger frische und frische Typen einzustufen. In einigen kleinen Wannen auf dem Hilskamm kann man in abflußloser Lage Stagnogleye beobachten; eine Folge der hohen Niederschläge und der Abflußverzögerung im Hilssandstein durch Dichtschlammung.

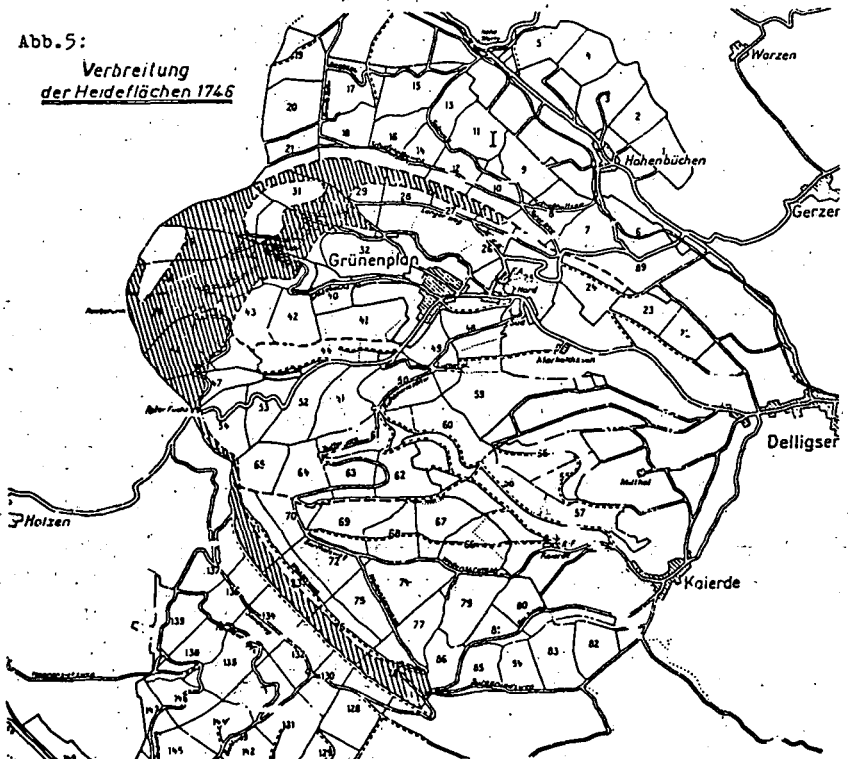
Die dem Kamm nächste Zone des Neckom ist durch das aus dem Hilssandstein an dieser undurchlässigen Schicht austretende Wasser stark beeinflusst. In den Lockerschichten über dem Ton ruft es starke Staunässewirkungen hervor. Die typologische Einordnung der Böden reicht vom Pseudogley mit langer Naßphase über den Pseudogley-Pelosol bis zum Anmoorgley.

An den zentralen Zeugenbergen der Hilsmulde liegen vorwiegend lockere Mullrendzinen und Braunerde-Rendzinen vor.

### III. Forstgeschichte

Bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts war es infolge regelloser Exploitationswirtschaft durch eine Anzahl von Waldglashütten vorwiegend im Kambereich des Hilssandsteins zur Verheidung großer Flächen gekommen (Abb.5), die nur noch mit geringem Baumbestand bewachsen

Abb.5:  
Verbreitung  
der Heideflächen 1746



waren. Im Zuge der Errichtung der fürstlichen Spiegelglashütte in Grünenplan und der Ablösung der Exploitationswirtschaft der Wanderglashütten, wurden die verheideten Partien durch Saat und Pflanzung von überwiegend Fichten in Nadelholzbestockung umgewandelt. Dies bedeutete für einen Großteil des Hils sandsteingebietes den Übergang von einer ehemals natürlichen Bestockung aus Traubeneichen-Buchewäldern über Verheidungsphasen zu einer Bestockung aus überwiegend Nadelholzreinbeständen, was die Ausbildung mächtiger Podsole auf den basenarmen Gesteinen zur Folge hatte.

#### IV. Klima

Der Bereich des Hils liegt im Wuchsbezirk "Unteres Weser-Leine-Bergland" und umfaßt die Teilbezirke "Ith-Hils-Bergland" und "Hilshochlagen". Das Klima wird etwa durch folgende Werte charakterisiert:

##### 1. Temperatur

	Hilskamm	andere Lagen
mittlere Temperatur °C im Januar	- 1	0 - + 1
" " April	7	7 - 8
" " Juli	16	16 - 17
" " Oktober	8	8 - 9
Jahresdurchschnittstemperatur:	7,5	8 - 8,5
mittlere Jahresschwankung:	16,5	- 17
Beginn eines Tagesmittels von 5 °C	30.III.	25.III.
Ende " "	30.X.	10.XI.
Dauer " "	210	- 220 Tage
Beginn " " von 10 °C	10.V.	30.IV.
Ende " "	30.IX.	10.X.
Dauer	150	- 160 Tage

Tallagen sind frostgefährdet

##### 2. Niederschläge

	Hilskamm	andere Lagen
mittlere Niederschlagssumme in mm		
Januar	80	70
Februar	60	50
März	60	55



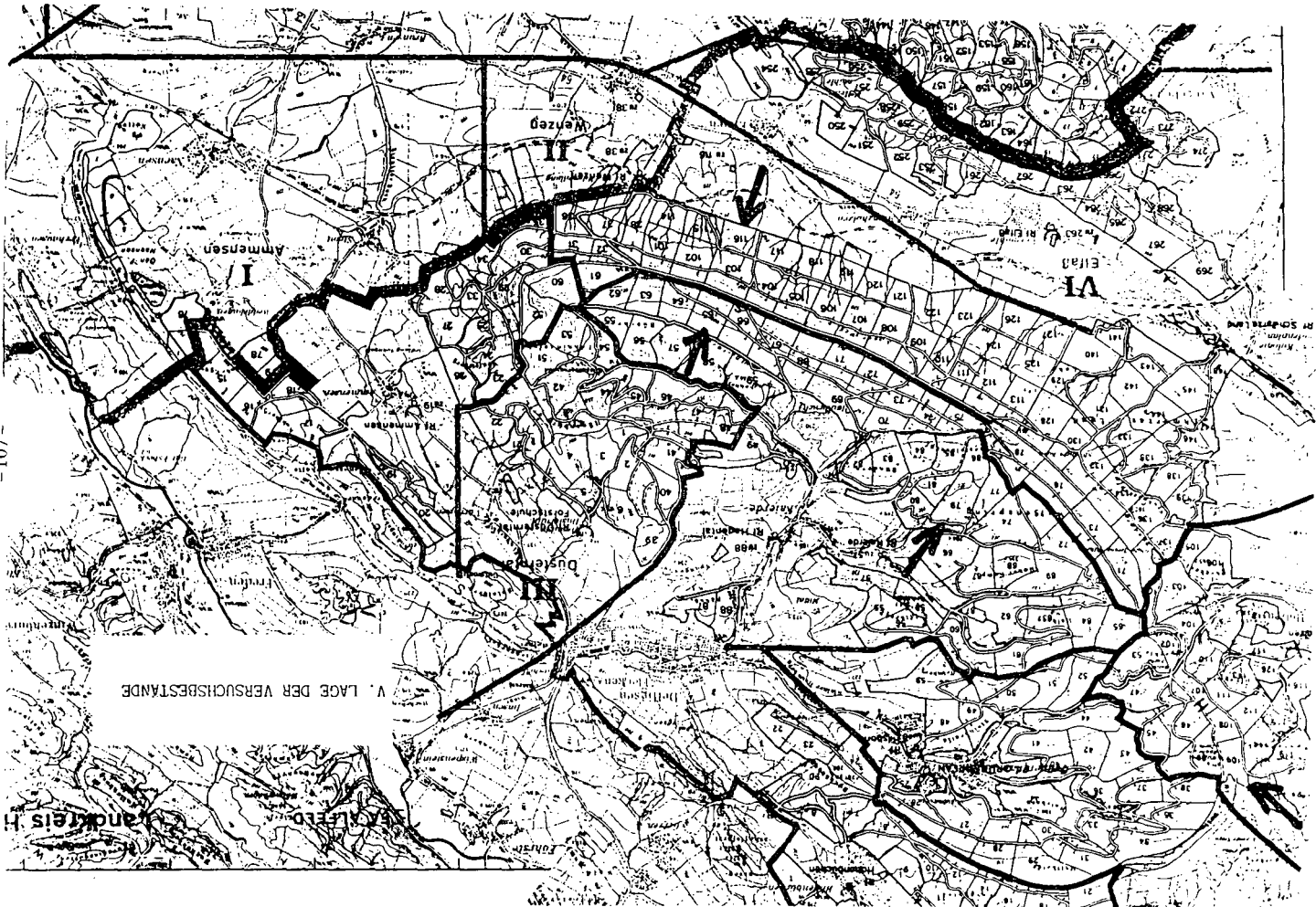
	Hilskamm	andere Lagen
April	60	55
Mai	70	60
Juni	80	70
Juli	100	90
August	90	80
September	70	60
Oktober	70	60
November	70	60
Dezember	80	70
mittl. jährliche Niederschläge	890	780
Schwankungen	800-1000	750 - 850
in der Vegetationszeit V.-VII.	250	220
V.-IX.	410	360
mittl. relative Luftfeuchte (Mai)	60 %	55/60 %
mittl. Zahl der Nebeltage (Jahr)	50	weniger

Das Klima im Ith-Hils-Bergland ist montan - subatlantisch geprägt. Der maritime Klimaeinschlag kommt in den verhältnismäßig hohen, ziemlich gleichmäßig über das Jahr verteilten Niederschlägen zum Ausdruck. Es hebt sich ein Niederschlagsmaximum im Januar und, was sich besonders günstig auswirkt, im Juli hervor. Gleichzeitig lassen wintermilde und sommerkühle, nicht zu Extremwerten neigende Temperaturen den atlantischen Klimaeinfluß deutlich werden.

Hervorzuheben ist der Unterschied zwischen den Teilwuchsbezirken "Ith-Hils-Bergland" und "Hilshochlagen", der sich durch höhere Niederschläge, tiefere Temperaturen und eine kürzere Vegetationszeit am Hilskamm vom übrigen Regionalaklima abhebt.

Im Hilsgebiet herrschen Westwinde vor, die jedoch im Jahresverlauf in unterschiedliche Richtungen abschwanken:

Windrichtung vorherrschend im Frühling	NO
Sommer	W - NW
Herbst	O - SO
Winter	SW



V. LAGE DER VERSUCHSBESTÄNDE

ÜBERSICHT VON BAUMARTENANTEILEN, HOLZVORRAT UND SCHÄDIGUNG DER FICHTE

IM HILS

H. KRAMER UND J. NAGEL

1983 wurde eine terrestrische Holzvorratsinventur im Hils durchgeführt. Dafür wurden 300 permanente Probekreise in einem Raster 500 x 500 m angelegt und aufgenommen. Auf allen Probekreisen fand 1983 eine Schadansprache an der Baumart Fichte statt. Auf 40 zufällig ausgewählten Probekreisen wurde dann mit Schadansprachen im Frühjahr und Herbst 84 sowie im Frühjahr 85 die Entwicklung des Gesundheitszustandes der Fichte verfolgt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Baumarten- und die Holzvorratsverteilung im Hils. Wichtigste Baumart ist die Fichte. Sie nimmt 43 % der Fläche mit 887.232 cbm 46 % des gesamten Holzvorrates ein.

Tabelle 1: Hils - Holzvorratsinventur

	(1)		(2)		
	Anzahl der Probekreise	Fläche		Vorrat	Fehler des Vorrats
	N	(ha)	%	(Vfm)	
Eiche	55	454	6,1	148 532	15
Buche	165	2727	36,4	671 008	7
ALh	34	249	3,3	17 516	19
Birke	34	82	1,1	-	-
Erle, Pappel	26	197	2,6	9 685	27
Fichte	183	3228	43,0	837 232	7
Douglasie, Tanne	9	56	0,8	3 619	34
Kiefer	24	191	2,5	36 672	24
Lärche	57	316	4,2	93 620	14
Summe		7500	100,0	1817 884	

(1) Anzahl der Probekreise, mit dem entsprechenden Baumartenvorkommen

(2) Fehlerangaben beziehen sich auf Hektarwerte und beinhalten nicht die möglichen Flächenfehler

aus AKÇA u. DONG (1985)

In Tabelle 2 ist für die Baumart Fichte die Schadverteilung nach der Ansprache von 1983 für verschiedene natürliche Altersstufen angegeben.

Tabelle 2: Verteilung der gesunden und geschädigten Bäume in Schadstufen und in Abhängigkeit von den natürlichen Altersstufen

natürliche Altersstufe	Schadstufe					mittlerer Schadindex
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	
Dickung- und Stangenholz	51,6	29,7	15,2	3,0	0,5	1,7
Geringes Baumholz I	28,3	32,2	18,3	10,5	10,7	2,4
Geringes Baumholz II, mittleres und tarkses Baumholz	27,1	42,6	20,6	8,5	1,2	2,1
i.G.	34	36	18	8	4	2,12

aus AKCA u. DONG (1985)

Man erkennt, daß 1983 die Bäume der beiden höheren natürlichen Altersstufen deutlich stärker geschädigt waren, als die jüngste hier angegebene Altersstufe.

Die Abhängigkeit der Schäden an Fichte von der Exposition wird in Tabelle 3 dargestellt. Größte Schädigungen treten danach bei den Beständen mit Südwest/West Exposition auf. Am wenigsten geschädigt sind die Bestände, die nach Nordost exponiert sind.

Tabelle 3

Schadstufenverteilung und Schädigungsindices in Abhängigkeit der Exposition

Exposition	Schädigungsgrad in %-Anteilen					mittlerer Schadindex
	1	2	3	4	5	
Nord	31,5	52,1	10,2	1,5	4,7	1,96
Nordost	43,5	37,0	13,1	1,6	4,8	1,87
Ost	38,6	34,3	16,9	5,2	5,0	2,04
Südost	48,1	24,9	17,2	5,2	4,6	1,93
Süd	39,4	33,0	13,8	10,3	3,5	2,05
Südwest	20,2	21,8	37,4	17,9	2,7	2,61
West	28,3	23,0	24,5	16,7	7,5	2,52
Nordwest	25,7	28,9	31,2	9,6	4,6	2,38

aus AKCA u. DONG (1985)

Ein deutlicher Zusammenhang zwischen Schädigungsgrad und Höhenlage ist aus Tabelle 4 zu erkennen. Bei etwa gleicher Schädigung in Höhenlagen zwischen 150 und 350 m über NN steigt der Schaden bei größerer Höhenlage deutlich an.

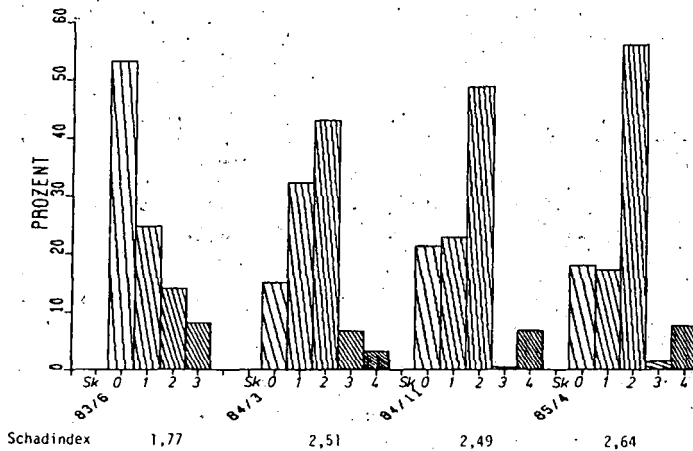
Tabelle 4: Mittlerer Schadindex und Höhenlage

Höhe ü. NN	mittlerer Schädigungsindex
151 - 200 m	2,18
201 - 250 m	2,07
251 - 300 m	1,96
301 - 350 m	2,12
351 - 400 m	2,31
401 - 450 m	2,49

aus AKCA u. Dong (1985)

Über die Veränderung des Schädigungsgrades von 1983 bis 1984 wurde auf dem BMFT-Statusseminar 1984 in Göttingen berichtet (NAGEL, 1984). In Abbildung 1 wird gezeigt, wie sich die Verteilung von 804 beobachteten Fichten auf die Schadklassen von 1983 - 1985 verändert hat.

VERGLEICH DER SCHADANSPRACHE  
IM HILS BEI FICHTE (1983-1985)  
(N=804 EINZELBÄUME)



7,1 % der anfangs beobachteten lebenden Bäume sind inzwischen abgestorben (Schadklasse 5 = tot). Der Anteil von Bäumen, die in die Schadklasse 3 (krank) eingestuft wurden, ist ständig gestiegen. Betrachtet man die Verteilung für die Aufnahme 84/11, so erkennt man eine leichte Erholung gegenüber der Aufnahme 84/3. Diese scheinbare Erholung ist jedoch lediglich auf den Aufnahmetermine Herbst zurückzuführen, da in der Zeit von November 1984 bis April 1985 wieder eine Verschlechterung eintritt. Die Entwicklung des Schadens wird einwandfrei ermittelt, wenn etwa der gleiche Aufnahmetermine gewählt wird. So steigt der Schadensindex von März 1984 bis April 1985 von 2,51 auf 2,64.

#### Literatur

AKCA, A. u. 1985: Ergebnisse der terrestrischen Vorrats- und Schadinventur  
P.H. DONG.  
im Hils.

Schriftenr.d.forstl.Fak.d.Univ.Göttingen - im Druck -

NAGEL, J. 1984: Einstufungsprobleme und Entwicklungstendenzen bei geschädigten Fichten im Hils.

Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Bds. 2, 281-291

VERGLEICH EINES GESCHÄDIGTEN UND EINES BIS 1983 SYMPTOM-FREIEN FICHTENALTBESTANDES IM HILS: DEPOSITION, BODENINVENTUR, DURCHWURZELUNG

G. Wiedey und J. Gehrmann

Unterschiedliche Depositionsraten eines Fichtenaltbestandes auf der Luv-Seite (Abt.109) und der Lee-Seite (Abt.79) des Hils im Vergleich zum Freiland (September 83 bis Februar 84) (Kg/ha)

Winterhalbjahr

Elementtransport mit dem Freilandniederschlag (FN) (Kg/ha)

H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	S	P	Cl	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
0.27	13.2	1.9	5.7	2.0	0.1	0.05	0.4	9.4	0.2	14.8	4.6	3.5

Elementflüsse in der Kronentraufe (KRT) von Fichte (Kg/ha)

H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	S	P	Cl	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	
1.3	49.5	13.6	39.2	7.8	1.0	0.4	2.7	56.1	0.84	59.2	21.4	20.1	Abt. 109
0.8	30.9	14.5	26.7	4.8	0.3	1.8	1.5	42.6	0.04	44.5	12.2	10.6	Abt. 79

Elementflüsse in der partikulären Interzeptionsdeposition (ID part.) von Fichte (Kg/ha)

H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	S	P	Cl	
0.9	36.2	5.9	16.2	6.1	0.4	0.2	1.1	25.6	--	50.9	Abt. 109
0.51	17.6	2.9	7.8	3.5	0.3	0.9	0.6	12.5	--	29.7	Abt. 79

Gesamtdeposition (GD) (Kg/ha)

H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	S	P	Cl	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	
2.46	49.5	8.0	22.0	8.0	0.6	0.2	1.5	56.1	-	65.7	21.4	20.1	Abt. 109
2.07	30.9	5.0	13.5	5.5	0.4	0.1	0.9	42.6	-	44.5	12.2	10.6	Abt. 79

Gesamtsäuredeposition für September 1983 bis Februar 1984 (Winterhalbjahr)

( kmol H<sup>+</sup>- Äquivalente · ha<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup> )

(Summe H <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Al <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Mn <sup>2+</sup> )	
<u>Freiland</u>	:0.65
<u>Fichte Abt.79</u>	:1.88
<u>Fichte Abt.109</u>	:3.23

### Bodenchemische Kenngrößen der Abt. 79

Der Bodenbildungsprozeß "Podsolierung" läßt eine Entwicklung der Böden in Richtung Podsol erkennen. Dieser Bodentyp ist am stärksten an Kleinstandorten mit Hilssandstein-Fließerden im Oberboden ausgeprägt.

Zum Zeitpunkt der Probenahme ergab sich anhand der feldfrisch gemessenen pH- Werte eine Zuordnung des Mineralbodens zum Austausch-, Fe/Al und Fe-Pufferbereich.

Offensichtlich läuft die Stärke und Tiefgründigkeit der Bodenversauerung parallel mit dem Ausprägungsgrad der Podsolierung in der Profilmorphologie.

-Die Konzentration von Ca in der Bodenlösung liegt unter 33% der Kationensumme, Mg unter 8%. Die Basengehalte sind somit gering.

-Mn ist nur in Spuren nachzuweisen.

-Al unterliegt einem deutlich ausgeprägten Tiefengradienten. Dies gilt auch für Fe. Mit steigender Al- Konzentration nimmt der Fe-Gehalt ab. Dieser ist in den podsoligen A-Horizonten am höchsten.

-Die  $\text{NO}_3$ -Gehalte streuen erheblich innerhalb der Fläche. Ein einheitlicher Tiefengradient ist nicht festzustellen.

-Die Ca/Al bzw. Ca/H mol-Verhältnisse liegen in dem Bereich von 0.1 bis >1. Es gibt also Zonen akuter Wurzelgefährdung durch Al-Toxizität neben solchen ohne eine Gefährdung. Eine Beeinträchtigung durch H-Toxizität ist erst bei einem Verhältnis von <0.1 zu erwarten.

Die langfristige und tiefreichende Versauerung hat dazu geführt, daß der Anteil von Ca, Mg und K an den Oberflächen der Minerale durch Kationensäuren und austauschbaren Wasserstoff eingenommen wird. Unterschiede in den Vorräten austauschbarer Basen sind nachweisbar beim K zwischen den Böden am Hangfuß und den Böden am Oberhang. Beim Ca und Mg zwischen Hilssandstein-reichem und armen Substrat.

Die Vorräte an C und N sind niedrig und lassen erkennen, daß in der Vergangenheit ein großer Teil des Humusvorrates bereits abgebaut wurde.

### Bodenchemische Kenngrößen der Abt. 109

In der Abt. 109 lassen sich auf kleinstem Raum unterschiedlich stark podsolierte Böden ausscheiden.

Tiefe Podsole finden sich an den blockreichen Außenkanten der Geländemulde. Dieser Bodentyp geht zur Mulde hin über in flache Podsole und Braunerde-Podsole. Podsolierte Ausprägungen der Braunerde finden sich häufig im Zentrum der Mulde, wo der Hilssandstein schluffiger verwittert.



Die pH-Messungen in der Bodensuspension zeigen, daß der Oberboden (0-20, 40 cm) dem Fe- Pufferbereich zuzuordnen ist. Nur in wenigen Fällen wird der Fe/Al-Übergangsbereich erreicht. Der Unterboden liegt in der Regel im Al-Pufferbereich.

Der bodenchemische Zustand entspricht den dargestellten Pufferbereichen weitgehend.

Allgemein schwach ist die K-, Ca- und Mg-Versorgung zu beurteilen. Die Ca-Dynamik wird wohl zum großen Teil vom organischen Material bestimmt. Relativ hohe N-Konzentrationen lassen einen hohen N-Umsatz vermuten. Hohe Werte für starke Säuren finden sich noch in größerer Tiefe.

Eine Gefährdung der Wurzeln durch Al-Toxizität liegt vor. Auffallend gering ist eine Gefährdung in den Ae-Horizonten, deutlich höher in den Bv-Horizonten. Die Wurzelverteilung im Mineralboden läßt vermuten, daß die Durchwurzelung eher durch ein enges Ca/H- Verhältnis eingeschränkt wird als durch ein ungünstiges Ca/Al-Verhältnis in der Bodenlösung.

Vergleich der A-Horizonte (Ahe, Ae) der Abt. 109 und Abt. 79

	Abt.109	Abt.79	95% Konfidenzbereich	
C	6.00	2.13	( 1.18 - 3.08 )	g/100g Boden
N	0.20	0.06	( 0.0 - 0.14 )	g/100g Boden
pH CaCl <sub>2</sub>	2.95	3.03	( 2.98 - 3.10 )	
pH GBL	3.50	3.49	(3.34 - 3.64 )	
AK <sub>g</sub>	87	41	( 39 - 83 )	μmol K/g Boden
K	1.7	2.7	( 0.8 - 4.5 )	% der AK <sub>g</sub>
Ca	15.0	17.0	( 0.0 - 40 )	"
Mg	1.3	1.6	( 1.0 - 2.2 )	"
Mn	0.4	0.5	( 0.0 - 1.1 )	"
Al	31.0	37.0	(25.0 -49.0 )	"
Fe	7.0	9.5	( 3.9 -15.0 )	"
H	46.0	39.0	(24.0 -53.0 )	"
<u>GBL:</u>				
Ca/Al	0.94	1.02	(0.32 - 1.73)	mol/mol
Ca/H	0.33	0.40	(0.24 - 0.55)	mol/mol

Vergleich der P-Horizonte (Bh, Bhs, Bv, BvCv) der Abt.109 und Abt.79

	Abt.109	Abt.79	95% Konfidenzbereich	
C	2.52	0.93	( 0.0 - 1.86 )	g/100g Boden
N	0.17	0.03	( 0.0 - 0.08 )	g/100g Boden
pH Ca/Cl <sub>2</sub>	3.52	3.58	( 2.96 - 4.21 )	
pH GBL	3.61	3.73	( 3.47 - 3.99 )	
AK <sub>p</sub>	83	71	( 53 - 89 )	μmol/lX/g Boden
K	1.0	2.9	( 2.3 - 3.5 )	"
Ca	2.9	2.7	( 2.0 - 3.5 )	"
Mg	0.6	1.1	( 0.9 - 1.3 )	"
Mn	0.1	0.6	( 0.0 - 1.5 )	"
Al	78.0	78.0	( 71 - 84 )	"
H	7.6	7.4	( 1.8 -13.0 )	"
Fe	3.8	4.0	( 0.9 - 7.1 )	"
<b>GBL:</b>				
Ca/Cl	0.92	0.68	( 0.22 - 1.44 )	mol/mol
Ca/H	0.36	1.1	( 0.72 - 1.48 )	mol/mol

Zusammenstellung der Bodenverhältnisse in den Dauerbeobachtungsflächen des Mils einschließlich ihrer Beurteilung nach Kriterien von ULRICH et al. (1984).

Profil Nr.	Ausgangsgestein	Boden-typ	Humus-form	Pufferkapazität	E-Versorgung	Mg-Versorgung	Sauer-tischarität Ca/Mg an Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	saure Versauerung S/Fs an Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bodenlösung: $\frac{mol\ Ca}{mol\ Al}$ $\frac{mol\ Ca}{mol\ S}$
<b>Fichten - Jungerweide ; Abt. 85</b>									
85/1	Löß +	B	Moder	Austauscher					höchste Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
85/2	Mil-sandstein	B	Moder		geringe Elastizität				höchste Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
85/3	Mil-sandstein	B	Moder						höchste Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
<b>Fichten - Jungerweide ; Abt. 103</b>									
103/1	Mil-sandstein	P	Subhum.	Aluminium / Eisen	sehr gering		geringe Elastizität	extrem hoch	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
103/2	Mil-sandstein	P	Subhum.		gering		sehr geringe Elastizität	mäßig	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
103/3	Mil-sandstein	SP	Subhum.						Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
<b>Fichten - Altbestand ; Abt. 79</b>									
79/1	Flamm-schergel	B	Moder	Aluminium	mittel		sehr geringe Elastizität	mäßig	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
79/118	-	P	Moder	Aluminium	mittel		sehr geringe Elastizität	mäßig	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
79/291	-	P	Moder/ Subhum.	Aluminium/ Eisen	hoch	gering	geringe Elastizität	gering	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
79/843	Mil-sandstein	SP	Subhum.	Eisen	gering		sehr geringe Elastizität	hoch	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
79/839	Mil-sandstein	SP	Subhum.	Eisen	mittel		sehr geringe Elastizität	hoch	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
<b>Fichten - Altbestand ; Abt. 109</b>									
109/1	Mil-sandstein	SP	Moder					mäßig	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
109/20	Mil-sandstein	SP	Moder	Aluminium/ Eisen				gering	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
109/8	-	B	Subhum.		geringe Elastizität		sehr geringe Elastizität	gering	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
109/7	-	SP	Subhum.	Eisen				hoch	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)
109/7,9	-	P	Moder/ Subhum.	Eisen				hoch	Gefährdung durch Al-Toxizität (Fl, B, S)

**Standort:** ... **Rechtsort:** ... **Wochentag:** ...

**Abgabe der Analyse:** 26.11.88 **Formart:** Gruppenplan

**Relief:** Ebene Plateau Tal Talweg Senke Mittel

**Horizont:** ... **Material:** ... **Gefüge:** ... **Durchwurzelung:** ...

**Horizontzeit:** ... **Material:** ... **Gefüge:** ... **Durchwurzelung:** ...

**Horizont:** ... **Material:** ... **Gefüge:** ... **Durchwurzelung:** ...

Horizont-Symbol	Tiefe cm	Farbe	Muns I	Material-Herkunft (geolog.)	Bodenart	Skaltr-Punkte	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Tiefe cm Feld	pH H <sub>2</sub> O	pH NCl	TRD geschnitten
Ahe	0-20	sch/gr	h-h	Hils-	uFS	x	d	Ko	w	5	2.88	2.07	1.33
Ae	20-30	gr/w	h'	sand-	uFS	x	d'	Ko/Ei	w	10	2.81	2.13	1.25
Bh	30-36	schw	h-h	stein-	uFS	x	d-d	Ko	w	20	2.27	2.20	1.15
B(s)v	36-50	br/ge	(h)	=	uS	x	d-d	Ko/Ei	w	40	3.41	2.88	1.58
Cv	50+	ge	-	=	uFS	x	d	Ei	w-w	60	3.97	3.65	1.54
										80	3.85	3.62	

**Ausgangsgestein:** ... **Hilssandstein**

**Rechenblößenprozesse:** ... **Verwitterung:** ... **Munsbildung:** ... **Podsolung:** ... **Podsol:** ... **gehalt:** ... **Verlagerung:** ... **Gefügebildung:** ... **Entstehung:** ...

**Durchwurzelung:** Intensivwurzelnschicht, ... cm Extensivwurzelnschicht, ... cm Gründigkeit: <15 15-30 30-60 >60

**Bodentyp:** Braunerde - Podsol **Ausprägungsgrad:** ... **Säurehaltungsstufe:** ...

Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	pH GBL	Bodenlösung										Kationen - Austausch - Komplex									
			L <sub>Ca</sub>	L <sub>Mg</sub>	L <sub>Fe</sub>	L <sub>Al</sub>	mol Ca Al	mol Ca H	N mg/l	NO <sub>3</sub> Cl	AK <sub>1</sub> umol/g	S <sub>II</sub>	S <sub>Na</sub>	S <sub>X</sub>	S <sub>Ca</sub>	S <sub>Mg</sub>	S <sub>Fe</sub>	S <sub>Mn</sub>	S <sub>Al</sub>			
0-20	3.52	.12	.03	.10	.17	1.05	.37	11.95	1.03	159.0	.47	.01	.01	.15	.02	.03	.00	.31				
20-30	3.55	.09	.03	.11	.25	.54	.28	11.50	.81	55.5	.63	.00	.01	.10	.01	.03	.00	.22				
30-36	3.38	.13	.03	.13	.14	1.38	.42	11.10	2.23	193.2	.28	.01	.00	.05	.01	.22	.00	.43				
36-50	3.70	.16	.06	.01	.53	.45	1.94	8.96	.40	103.4	.00	.00	.01	.04	.01	.03	.00	.90				
50+	3.90	.12	.06	.00	.52	.33	1.25	5.20	.45	33.4	.00	.02	.01	.02	.00	.02	.00	.93				

Humus	Asche	Si O <sub>2</sub>	pH	Ca	Fe	Al	Ca + Fe + Al mol IA	Vorräte	K	Mg	Ca
OH	58.4	58.4	2.75	1.00	5.79	3.53	0.04	0 - 80 cm	190	70	360

Wurzeln	Asche	Si O <sub>2</sub>	Ca	Al	mol Ca mol Al
OH	2.2	0.05	3.36	1.05	2.15
Ae	2.8	1.08	3.34	1.05	2.14
Sv	9.8	4.95	2.6	9.41	0.21

Standortsaufnahmeblatt WP Vollenbuttel Topogr. No. .... Rechswert. .... Hochwert. ....  
 Datum der Aufnahme: 29.07.32 Forstamt Grünenpla olzen abt. 109 Juliabst. Stelle: 779  
 Relief: Ebene Plateau Tal Talase Übergang Mittelh. in 2 0-2 2-5 5-10 10-25 25-30 30-45 > 45  
 0-3 3-9 9-17 17-36 36-58 58-100 > 100  
 Terrasse Rücken (unvollst.) Pfanne Quelle Uvalle m. d. Berechnung oben schw. geneigt säßig geneigt st. geneigt steil sehr steil  
 Exposition: N NW O NO O SO S SSO S SW VSW VNW NW NNW Höhe über NN 492,0 m. Hochgebiets- ...  
 Humusform: typ. Mull Kryptomull Sandmull mullart. oder  
 typ. Moder Podsolmoder Moder fetter Moder Rohhumus typ. Rohhumus  
 feinhumic Rohhumus Ammor Feuchtmull Feuchtmoder Humonart  
 Feuchtröhrlweg Oy Gyttia Sapropel Moder  
 Niederweidort Hochweidort Übergangsort  
 Grassurzelfill. JUSCHAMPSIA, Sonst. ....

Horizont-Symbol	Tiefe cm	Farbe	Humus %	Material-Herkunft (geolog.)	Bedenart	Skelett-Herkunft	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Tiefe cm	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	TRD geschätzt
Ahe	0-25	gr	h-f	Sandstein	uFS	x-x	d	Ei/Ko	w'	5	2.9	2.7	1.3
Ac	25-75	w/gr	h''	Sandstein	uFS	=	d-d''	Ei	w''	10	2.7	2.1	1.3
Ph	75+	gr/schw	h	Sandstein	uFS	=	d-l	Ko		20	2.6	2.1	1.3
										40	2.9	2.3	
										60	3.0	2.4	
										80	2.9	2.4	

Ausgangsgestein: Hilssandstein  
 (geol. Schichtenfolge)  
 Bodenbildungsprozesse: Verwitterung, Humusbildg., Tonverf., Podsolng., Podsoligkeit, Pseudovergl., Verlegr., Gefügebild., Entkalk., Ver-torf.  
 schwach, säßig, stark  
 Durchwurzelung: Intensivwurzelschicht, ... ca Extensivwurzelschicht, ... ca Gründigkeit: <15 | 15-30 | 30-60 | >60  
 Bodentyp: Podsol  
 Ausprägungsgrad: gering | mittel | stark | sehr stark  
 Entwicklungstiefe: gering | mittel | groß | sehr groß

Tiefe cm	pH	pH CaCl <sub>2</sub>	Bodenlösung										Kationen - Austausch - Komplex										
			CBL	L <sup>+</sup> Ca	L <sup>+</sup> Mg	L <sup>+</sup> Fe	L <sup>+</sup> Al	mol Ca mol Al	mol Ca mol Al	N <sub>t</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> Cl	AK <sub>e</sub> uvel/g	X <sup>S</sup> H	X <sup>S</sup> Na	X <sup>S</sup> K	X <sup>S</sup> Ca	X <sup>S</sup> Mg	X <sup>S</sup> Fe	X <sup>S</sup> Hn	X <sup>S</sup> Al			
0-25	2.90														58.7	.54	.00	.02	.10	.01	.02	.00	.30
25-75	3.00	3.40	.15	.04	.08	.14	1.59	.24	11.46	3.41	49.7	.17	.00	.01	.04	.01	.01	.00	.76				

Humus	Asche	SiO <sub>2</sub>	pH	Ca	Fe	Al	Ca + Fe + Al mol IA
OH	39.46	82.0	2.90	1.92	6.61	3.23	0.12

Vorräte	K	Mg	Ca
0 - 75	115	26	330

Wurzeln	Asche	SiO <sub>2</sub>	Ca	Al	mol Ca mol Al
OH	2.6	0.09	4.47	.53	5.7
Ahe	2.5	0.50	3.08	.53	3.9
Ae	10.1	17.29	2.56	1.59	1.1

Standortsaufnahmeblatt MFP Vollenbüttel		Lage		Rechtswert		Mischwert													
Datum der Aufnahme: 19.5.83		Formzahl: Grünemühl		Abt. 79		Ausschließstelle													
Relief: Ebene Plateau Tal Talauw Oberhang Mittelhang		unserer		Steigung		3-2 2-5 5-10 10-20 20-30 30-45 > 45													
Terrassen: Kuppe Mulde Pfanne Quelle Uvalleulde Bezelung		eben		schw. geneigt		steil geneigt													
Exposition: N NW NO NOO O OSO SO SSO S SSW SW VSW V VNW NW NNW NN		Höhe über NN: 230		Luftschicht		Luftschicht													
Humusprofil Lage	Horizont	Mächtigkeit	Material	Gefüge				Durchwurzelung				Humusform: typ. Mull Kryotomull Sandwull Mullart Moer							
	Horizont	ca	z.B. Fl-Streu, Grauwurzelfüll	krümelig	lockere	schichtig	dicht	bröckelbar	kaustig	bröckelbar	fehlend	schwach	mittel	stark	Wurzelfüll	feinhrsch./Rohh.	Ammor.	Feuchtmull	Feuchtböden
Risser/beden	Horizont-Symbol	Tiefe cm	Farbe	Humus %	Material-Herkunft (geolog.)	Bodenart	Skelettraum	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Tiefe cm	Feld-	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	TRD				
	Ahe	0-5	v/gr	h		sl	x'	d	SPO	w'	5		3.8	2.8					
Bs	5-8	br/gr	h		sl	x'	d	SPO	w'	10		3.9	3.0	1.20					
Al	8-30	ge/gr	(h)	Flammenmergel	sl	x	d-d	SPO	w-w	20		4.5	3.7	1.27					
Bt	30-55	ge	(h)	Flammenmergel	ul	x	d-d	SPO	w-w	40		4.6	3.8	1.45					
Cv	55-95	gr/ge	-	Flammenmergel	sl	x-x'			w'	60		4.5	3.9	1.54					
Gesamtbewertung	Ausgangsgestein: (geol. Schichtenfolge) Flammenmergel-Fließerde über Flammenmergel																		
	Bodenbildungsprozesse: Verwitterung, Humusbildg., Tonverf. Podsolig., Podsoligkeit, Pseudoverg., Vergl., Gefügebild., Entkalk., Verterf.																		
Durchwurzelung: Intensivwurzelnschicht... ca Extensivwurzelnschicht... ca Gründigkeit: <15   15-30   30-60   60-100																			
Bodentyp: stark podsolige Parabraunerde																			
Ausprägungsgrad: gering   mittel   stark   sehr stark																			
Entwicklungstiefe: gering   mittel   groß   sehr groß																			

Tiefe cm	pH	pH CaCl <sub>2</sub>	Bodenlösung										Kationen - Austausch - Komplex									
			CBL	X <sub>Ca</sub>	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Fe</sub>	X <sub>Al</sub>	mol Ca / mol Al	mol Na / H	N <sub>2</sub> / Cl	X <sub>H</sub>	X <sub>Na</sub>	X <sub>K</sub>	X <sub>Ca</sub>	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Fe</sub>	X <sub>Mn</sub>	X <sub>Al</sub>				
0-8	3.05	3.62	.11	.04	.24	.33	.48	.50	4.32	.04	72.8	.19	.02	.02	.08	.01	.16	.01	.50			
8-30	3.55	3.88	.21	.06	.02	.34	.91	1.18	3.15	.53	57.0	.04	.03	.02	.03	.01	.04	.03	.80			
30-55	4.05	4.00	.10	.05	.00	.60	.24	1.27	2.85	.13	42.1	.00	.05	.03	.02	.01	.01	.02	.87			
55-80	4.10	4.02	.09	.06	.00	.56	.21	1.23	3.00	.32	41.0	.00	.07	.04	.02	.01	.00	.01	.85			

Humus	Asche	SiO <sub>2</sub>	pH	Ca	Fe	Al	Ca / (Ca + Fe + Al) mol TÄ	
mg/g Trs.								
OH	49.8	47.1	2.85	1.66	6.71	3.91	0.10	

Vorräte	K	Mg	Ca
kg/ha			
0 - 80 cm	390	40	200

Kommunales Profil Lage

Standortsaufnahmeblatt WP Wolfenbüttel (Papagei) Rechtswert..... Nachwert.....  
 Datum der Aufnahme 1.9.83 Forstamt Grünenpl. aierde abt. 79 Aufschlußstelle.....  
 Relief: Ebene Plateau Tal Talweg Oberhang Mittelh. Talweg Velung a-2 2-5 5-1e 1a-2a 2a-3a 3a-45 > 45  
 in % a-2 3-9 9-17 17-36 36-58 58-10e > 10e

Terrasse: Rücken Kuppe Mulde Pfanne Quelle Quellmulde Bezeichnung eben schw geneigt geneigt geneigt geneigt geneigt geneigt  
 Exposition: N NW NO NOO O OSO SO S SSW SW VSW W VNW NW NNW Höhe über NN, 240 m Suchgebiet Buchberg

Horizont	Mächtigkeit ca	Material z.B. FI-Streu, Graswurzelfilz	Gefüge							Durchwurzelung					Humusform: typ, Muil, Kryptomull, Sandmull, Mullart, Moder, typ, Moder, Rohhumus, Moder, Fulva, Moder, typ, Rohh., feinhreich, Rohh., Anmoor, Feuchtmull, Feuchtmoor, Moornart, Feuchtröhmoor, Dy, Gyttilg, Sapregel, Moder, Niedermoortorf, Hochmoortorf, Übergangsmoortorf, Graswurzelfilz, Beschmudsa, ...																										
			brüchlig	locker	schichtig	dicht	bräunlich	kantig	bröckl.	schw.	mittel	stark	Wurzel-	filz	typ	muil	kryptomull	sandmull	mullart	moder	typ	moder	rohhumus	moder	fulva	moder	typ	roh	feinhreich	roh	anmoor	feuchtmull	feuchtmoor	moornart	feuchtröhmoor	dy	gyttilg	sapregel	moder	niedermoortorf	hochmoortorf

Kleinboden

Horizont-Symbol	Tiefe cm	Farbe	Humus %	Material-Herkunft (geolog.)	Bodenart	Steileit-räume	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Tiefe cm Feld-	pH H <sub>2</sub> O	pH KCL	TRD geschätzt
Ahe	0-6	gr	h	Hils-	ufS	x	d-d	Ko/SPo	-	5	3.35	2.50	1.50
Ae	6-20	gr/w	h'	sandstein	ufS	x	d-d	Ko/SPo	-	10	3.47	2.64	1.45
IIBhs	20-28	br/ge	h	Flammen-	IU	x	d-d	SPo	w	20	3.42	2.74	1.45
IIBv	28-60	ge	(h)	mergel	IU	x	d-d	SPo	w	40	3.76	3.10	1.24
										60	3.90	3.54	1.48

Gesamtbewertung

Ausgangsgestein: Hilssandstein-Fließerde über Flammenmergel  
 (geol. Schichtenfolge)  
 Bodenbildungsprozesse: Verbräunung, Humusbildg., Tonverf., Podsolg., Podsoligkeit, Pseudoverg., Vergleyg., Gefügebild., Entkalk., Ver-schwach, säßig, stark  
 Durchwurzelung: Intensivwurzelschicht, ... cm Extensivwurzelschicht, ... cm Gründigkeit: <15 15-3e 3a-6e 6a-10e >10e  
 Bodentyp: Podsol  
 Ausprägungsgrad: gering mittel stark sehr stark  
 Entwicklungstiefe: gering mittel groß sehr groß

Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	pH GBL	Bodenlösung										Kationen - Austausch - Komplex									
			L <sup>L</sup> Ca	L <sup>L</sup> Mg	L <sup>L</sup> Fe	L <sup>L</sup> Al	mol Ca mol Al	mol Ca H	N <sub>T</sub> mg/l	ND <sub>3</sub> Cl	AK <sub>ex</sub> uval/g	X <sup>S</sup> H	X <sup>S</sup> Na	X <sup>S</sup> K	X <sup>S</sup> Ca	X <sup>S</sup> Mg	X <sup>S</sup> Fe	X <sup>S</sup> Mn	X <sup>S</sup> Al			
0-20	3.00	3.45	.13	.04	.14	.27	.70	.34	11.7	2.00	39.3	.42	.03	.05	.13	.02	.10	.00	.24			
20-28	3.10	3.35	.20	.05	.11	.12	2.44	.43	9.2	1.80	72.5	.23	.04	.03	.07	.01	.12	.00	.50			
28-60	3.80	3.90	.07	.08	.00	.73	.15	.81	4.7	.30	67.2	.00	.02	.05	.01	.01	.01	.00	.90			

Humus	Asche	SiO <sub>2</sub>	pH	Ca	Fe	Al	Cs / Ca + Fe + Al mol IÄ
OH	24.6	21.4	2.65	1.95	6.61	3.30	0.08

Vorräte	K	Hg	Ca
0 - 80 cm	600	60	250

Ergebnisse der Nadelanalyse

Abt. 79

Anhand der Aschanalysen des 3. Nadeljahrgangs zeichnen sich bei den meisten Elementen deutliche Unterschiede zwischen den Bäumen am Oberhang und denen am Unterhang ab.

Bei den Bäumen am Oberhang liegen die Al- und Fe-Gehalte höher, die Mn, Mg- und P-Konzentrationen niedriger. Dieses deutet darauf hin, daß sich die Wurzeln am Oberhang in einem stärker versauertem Boden befinden als die am Unterhang.

Abt. 109

Aufgrund der Nadelanalysen sind alle Bäume ausreichend mit N, P und K versorgt. Latenter Mg-Mangel kann bei Werten  $< 0.3$  mg/g nicht ausgeschlossen werden.

Vergleich der mittleren Elementkonzentrationen (mg/g) in 3-jährigen Nadeln zwischen der Grundgesamtheit der Bäume in Abt. 109 und einer Stichprobenauswahl in Abt. 79 (n=4)

	<u>Abt.109</u>	<u>abt.79</u>	<u>95% Konfidenzbereich</u>
N	15.7	13.6	( 0.1 - 17.9 )
P	0.98	0.93	( 0.66 - 1.2 )
K	4.03	6.09	( 5.00 - 7.18 )
Ca	4.14	3.75	( 3.25 - 3.90 )
Mg	0.33	0.51	( 0.24 - 0.78 )
Na	0.28	0.17	( 0.0 - 0.45 )
Mn	0.15	0.33	( 0.0 - 0.68 )
Al	0.16	1.11	( 0.08 - 0.14 )
Fe	0.32	0.26	( 0.15 - 0.37 )

### Ergebnisse der Wurzeluntersuchungen

Im August 1984 betrug in Abt. 79 die Feinwurzelbio- und necromasse 2202 kg/ha. Während der Anteil der toten Wurzeln bis 20 cm Bodentiefe in jedem Horizont ca 200 kg/ha betrug, waren in 20- 40 cm Tiefe über 400 kg/ha vorzufinden. Lebende Feinwurzeln konzentrierten sie auf die OF/OH- Lage.

Zum 10.04.85 ist in allen Horizonten ein rapider Anstieg der Feinwurzelbiomasse zu verzeichnen (8.84- 1066kg/ha, 4.85-3108 kg/ha).

Die Feinwurzelnecromasse erhöhte sich vorwiegend in der OF/OH-Lage und in 20- 40 cm Bodentiefe.

Bei der Beprobung der Abt. 79 im Juni 85 ist in dem OF/OH- Horizont und in den oberen Bodenhorizonten sowohl bei den lebenden als auch bei den toten Wurzeln eine Abnahme der Masse zu verzeichnen, während in 20-60 cm Bodentiefe ein deutlicher Anstieg der Feinwurzelbiomasse erkennbar ist.

Insgesamt sinkt die Feinwurzelmasse 3409 kg gegenüber 4616kg/ha im April ab.

In Abt. 71, ein Standort mit schwächerer K- und Ca- Versorgung und einem ungünstigerem Ca/Al-Verhältnis in der Bodenlösung, verhalten sich die Feinwurzeln in allen Mineralbodenhorizonten ähnlich.

Von einem hohen Anteil der Feinwurzelnecromasse im Sommer 84 ausgehend steigt zum Jahre 1985 die Masse der lebenden Feinwurzeln deutlich über die Feinwurzelnecromasse an. Im Juni 85 ist eine Annäherung der Verhältnisse von lebenden und toten Wurzeln zu beobachten.

Anders verhalten sich die Wurzeln in der OF/OH-Lage. Hier bleibt die Masse der toten Wurzeln konstant und der Anteil der lebenden Wurzeln nimmt im Laufe des Untersuchungszeitraumes ab.

In beiden Beständen ist im Laufe des Jahres 85 eine deutliche Zunahme der Feinwurzelbiomasse im Mineralboden zu verzeichnen.

Anders in der Humusaufgabe. Hier wurden in Abt. 79 von August 84 bis April 85 ca 800kg/ha neue Feinwurzeln gebildet, während in Abt. 71 eine stete Abnahme der lebenden Feinwurzeln zu beobachten war.

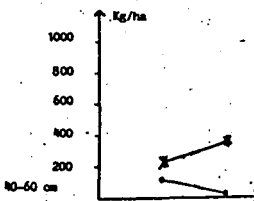
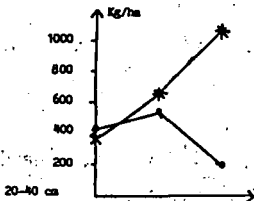
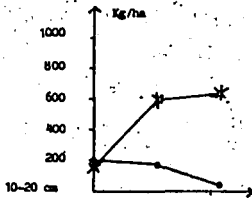
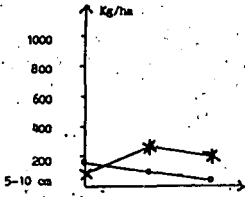
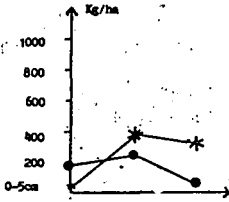
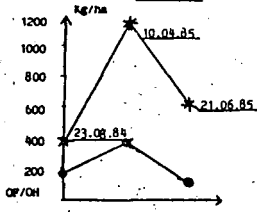


Entwicklung der Feinwurzelbio- und necromasse zweier unterschiedlich

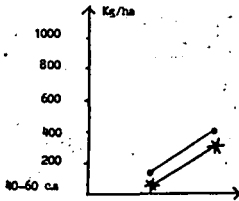
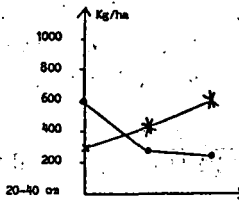
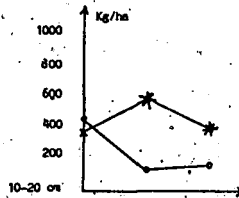
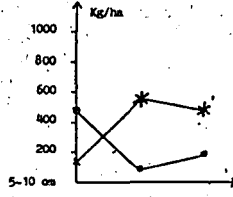
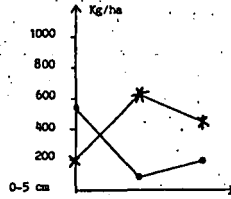
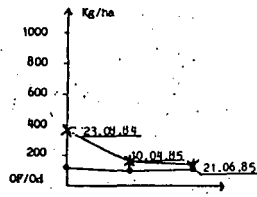
• lebend  
● tot  
n=10

geschädigter Bestände vom August 1984 bis Juni 1985.

Abt. 79



Abt. 71



Vergleich eines geschädigten und eines symptomfreien Fichtenjungbestandes im Hils: Deposition, Boden- und Bestandesinventur

M. Gerriets und H. Schulte-Bisping

Im Frühjahr 1983 wurden im Hils zwei Fichtenjungbestände ausgewählt, die vergleichend untersucht werden sollten.

In der folgenden Tabelle 1 sind einige Angaben zu den beiden im Forstamt Einbeck gelegenen Beständen zusammengefaßt. Der in Abt. 103 stockende Jungwuchs wurde als stark geschädigt angesprochen, dagegen machte der Bestand in Abt. 65 einen vitalen, gut wüchsigen Eindruck. In den beiden Abteilungen wurden kleinere Untersuchungsflächen eingegrenzt, die mit F 65 bzw. F 103 bezeichnet werden.

Tab. 1 : Standörtliche und waldbauliche Angaben zu den Versuchsbeständen

Abteilung	65	103
Höhe ü. NN	320 m	370 m
Exposition	NO Innenhang mäßig geneigt	SW Außenhang mäßig geneigt
Potentielle nat. Waldvegetation	Luzulo-Fagetum	Querco-Fagetum
Vorbestand	Buchen-Reinbestand	Fichten-Reinbestand
Abtriebsalter	135 Jahre	49 Jahre
Abtrieb	planmäßig	nach Windwurf
Derzeitige Bestockung	Fichten-Jungwuchs aus 2+2 Verschulpflanzen	
Herkunft	Westerhof	
Pflanzverband	3 m x 1.2 m	
Alter (1983)	12 Jahre	
Untersuchungsfläche	870 m <sup>2</sup>	935 m <sup>2</sup>
Anzahl der Bäume *	225	247
Mittlere Höhe ( $\bar{x}$ )	2.50 m	1.60 m
Mittlerer Kronendurchmesser an der breitesten Stelle	1.30 m	1.10 m
Flächendeckung ( $\bar{\phi}$ x Baumzahl )	34 %	25 %
Ergebnisse der Schadensinventur ( Frühjahr 1983 )		
Nicht geschädigt	92 %	7 %
Leicht geschädigt	7 %	53 %
Mittel geschädigt	1 %	27 %
Stark geschädigt	-	12 %
Abgestorben	-	1 %
* Angaben zu den Bäumen aus SCHULTE-BISPING (1984) nach Erhebungen im Frühjahr 1983		

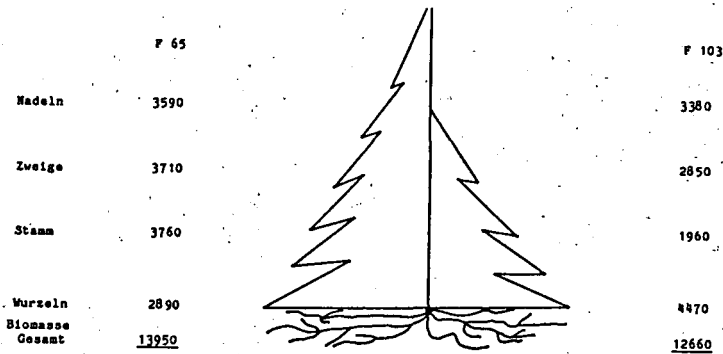


Abb. 1 : Inventur der Biomasse der verschiedenen Kompartimente der Fichtenjungbestände in F 65 und F 103 ( kg/ha )

### 1. BIOMASSE-INVENTUR

Das oben dargestellte Ergebnis der Biomasse-Inventur zeigt überraschenderweise keinen nennenswerten Unterschied in der Gesamtbiomassen-Produktion, die hier als Summe aus den Biomassen und der Feinwurzelnecromasse berechnet wurde. Auffällig ist jedoch die unterschiedliche Verteilung von ober- und unterirdischer Biomasse.

Oberirdisch weist der Bestand F 65 35 % mehr Biomasse auf als F 103. Dieser höhere Betrag ergibt sich fast ausschließlich aus den Unterschieden in den Kompartimenten "Stamm" und "Zweige". An "Stamm" besitzt F 65 über 90 %, an "Zweige" 30 % mehr Biomasse als F 103, während die Nadelmasse nur geringfügig höher ist.

Unterirdisch zeichnet sich der Bestand F 103 durch seine besonders hohe Feinwurzelmasse aus. Bemerkenswert ist der außerordentlich hohe Anteil an toten Feinwurzeln. Mit 1770 kg/ha ist die Feinwurzelnecromasse mehr als doppelt so hoch wie die Feinwurzelbiomasse (805 kg/ha).

Unterstellt man für die hier untersuchten Fichtenjungbestände, daß die hohen Feinwurzelnecromassen als Indiz für einen höheren Wurzelumsatz gewertet werden können, läßt sich folgende von Ulrich et al. beschriebene Wirkungskette aufzeigen: erhöhte Feinwurzelumsätze führen im stärker versauerten Bestand F 103 zu einem erhöhten Assimilatverbrauch durch die Wurzeln. Dies verursacht einen Entzug an Assimilaten bei den oberirdischen Sproßteilen, der vor allem auf Kosten der Kompartimente "Stamm" und "Zweige" geht, die einen höheren Holzanteil aufweisen. Die Nadeln scheinen zumindest im Anfangsstadium der Schädigung von dem Entzug weit weniger betroffen zu sein.

2. ELEMENT-GEHALTE

Tabelle 2 : Mineralstoffgehalte einjähriger Nadeln in F 65 und F 103  
( mg/g Tr.M. )

	N	P	Si	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
F 65	20.5	1.7	4.9	6.8	5.2	0.80	1.35	0.16	0.11
F 103	15.0	2.0	5.5	2.8	4.2	0.86	0.34	0.18	0.06

Die Gehalte an Mineralstoffen in den einjährigen Nadeln machen die Nährstoffversorgung der beiden Bestände deutlich. Während F 65 ausreichend versorgt wird, befindet sich der Bestand F 103 in einer ausgeprägten K-Mangel-Situation, die auch aus den bodenchemischen Daten (s.T. Bodenvorräte) erkennbar wird.

3. BODENINVENTUR

In Abt. 65 vollzog sich die Bodenbildung auf einer Fließerde aus Hilssandstein und Löß. Es bildeten sich schwach bis mäßig podsolige Braunerden aus, die Humusform ist ein typischer Moder.

In Tabelle 3 sind einige bodenchemische Parameter zusammengefaßt, die an Bodenproben eines typischen Profils erhoben wurden.

Nach der von Ulrich (1982) vorgeschlagenen Einteilung befinden sich die Bodenproben im Austausch-Pufferbereich (pH 4.2-5.0), im Oberboden bis 15 cm Tiefe macht sich eine stärkere Versauerung bemerkbar, hier wird der Aluminium-Puffer (pH 4.2-3.8) erreicht. Somit werden Al-Ionen vorherrschend am Kationenaustausch-Komplex des Bodens. Dies wird verdeutlicht durch die Abb. 2, die die Kationenbelegung des Austauschers zeigt, an der Al mit bis zu 90 % beteiligt ist; im Oberboden nehmen Fe- und H-Ionen etwa 20 % der effektiven Austauschkapazität ein. Dies bewirkt umgekehrt einen sehr geringen Anteil der Nährstoffe Mg und K (1-2 %) sowie Ca (5%), so daß nach den von Ulrich et al.(1984) genannten Kriterien die Elastizität des Bodens an diesem Standort als gering angesehen werden kann.

Die Ca/Al- und Ca/H-Verhältnisse in der Gleichgewichtsbodenlösung liegen über 1, damit besteht keine Gefährdung des Bestandes durch Al- oder H-Toxizität.

Tab. 3 : Elementvorräte im Mineralboden und bodenchemische Kennwerte

cm	Abt. 65 (3)							Abt. 103 (1)										
	kg/ha		t/ha	mol		GBL mol		kg/ha		t/ha	mol		GBL mol					
Tiefe	K	Ca	Mg	C	N	C/N	pH	Ca/Al	Ca/H	K	Ca	Mg	C	N	C/N	pH	Ca/Al	Ca/H
0-5	21	57	8.1	21.4	0.82	26	4.1	2.56	1.20	10	26	2.1	5.3	0.03	160	3.6	0.75	0.29
5-15	33	52	10.0	25.4	0.94	27	4.2	1.35	0.99	19	20	1.9	5.8	0.01	611	3.7	0.24	0.32
15-30	44	22	4.9	19.8	0.43	46	4.4	1.57	1.25	24	25	3.0	6.2	0.01	417	3.8	0.15	0.34
30-60	75	31	6.3	20.4	0.70	29	4.4	6.06	1.10	44	48	6.2	17.3	0.02	778	3.5	1.51	0.21
total	173	162	29	87	2.9					98	119	13	35	0.08				

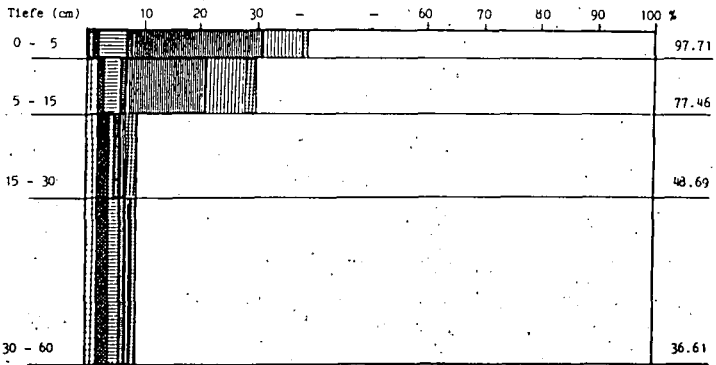


Abb. 2 : Relative Zusammensetzung der AK<sub>e</sub> in Abt. 65 (3)

AK<sub>e</sub>  
(mmol IA/g)

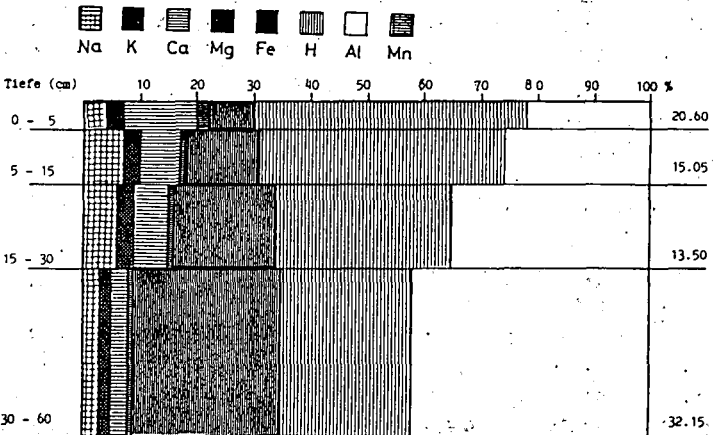


Abb. 3 : Relative Zusammensetzung der AK<sub>e</sub> in Abt. 103 (1)

AK<sub>e</sub>  
(mmol IA/g)

Das Ausgangsgestein der Bodenentwicklung in Abt. 103 ist der hier anstehende Hilssandstein, der zu extrem basenarmen Sandböden verwittert. Begünstigt durch menschliche Nutzung und damit verbundene Biomasse-Exporte entstanden hier tiefgründige Eisen-Humus-Podssole mit heute z.T. mächtigen Rohhumus-Auflagen.

Die Bodenproben aus dieser Versuchsfläche liegen im Aluminium-Eisen-Pufferbereich (pH 3,8-3,2). Die starke und tiefgründige Versauerung des Bodens wird eindrucksvoll durch die Kationenbelegung des Austauschkomplexes belegt (Abb. 3). Fe- und H-Ionen nehmen in der gesamten Profiltiefe 50 % der nur sehr geringen Austauschkapazität in Anspruch, so daß auch Al (20-40 %) hier zurücktritt. Die Nährstoffe Mg und K sind nur mit etwa 2 % vertreten, so daß auch auf dieser Fläche eine geringe bis sehr geringe Elastizität des Bodens

hinsichtlich dieser Elemente angedeutet wird.

Überraschenderweise ist der Anteil von Ca im Oberboden mit über 10 % weit höher als in größerer Tiefe, dies ist wahrscheinlich auf eine Kalkung des Bestandes im Frühjahr 1981 zurückzuführen.

Die Kalkung scheint auch die Ca/Al-Verhältnisse in der GBL beeinflusst zu haben, dennoch weisen die Werte auf eine Gefährdung der Fichte durch Al-Toxizität hin (Ulrich et al., 1984). Die Ca/H-Verhältnisse liegen in einem Bereich, der eine Gefährdung der Fichte nicht erkennen läßt, dagegen wäre sie für die Buche hoch einzuschätzen.

#### 4. DEPOSITION

An ausgewählten Einzelbäumen auf beiden Versuchsflächen wurden die Kronentraufen aufgefangen und miteinander verglichen. Mit Hilfe der Flächendeckung konnte auf den Bestandesniederschlag hochgerechnet werden.

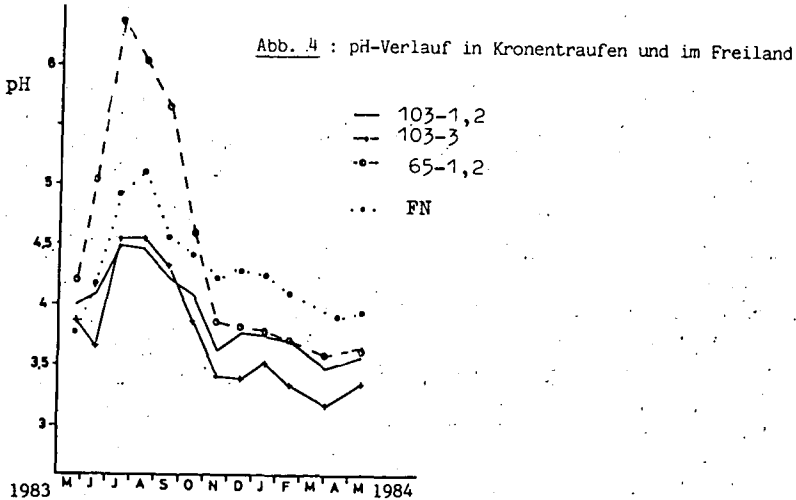
In der folgenden Tabelle werden die mittleren Depositionsraten zweier Jungfichten in F 103, die gesund oder nur leicht geschädigt waren (103-1,2), den Raten an einem stark geschädigten Baum auf derselben Fläche (103-3) und zwei gut wüchsigen Fichten in F 65 (65-1,2) gegenübergestellt.

**Tab. 4 :** Depositionsraten für Freiland und Kronentraufen im Sommer (18.5.-31.10.83), Winter (1.11.83-30.4.84) und im Jahr (1.6.83-31.5.84)

	Freiland			FR 103-1,2			103-3			65-1,2		
	S	W	J	S	W	J	S	W	J	S	W	J
H <sub>2</sub> O l/m <sup>2</sup>	281.14	438.74	786.99	138.35	160.44	320.51	116.97	173.92	321.41	137.39	146.09	306.71
	± 100 %			± 49 % ± 37 % ± 41 %			± 42 % ± 40 % ± 41 %			± 49 % ± 33 % ± 39 %		
kg/ha												
H	.15	.29	.49	.09	.35	.53	.11	.73	1.04	.02	.27	.38
N	5.28	6.57	11.79	2.45	6.03	8.72	3.51	9.98	13.91	3.72	6.59	10.80
K	1.23	1.21	2.68	5.46	3.50	8.40	9.53	5.85	16.20	13.72	7.18	22.08
NH <sub>4</sub>	5.39	4.82	10.77	1.84	1.97	3.90	4.52	5.51	10.55	4.79	4.09	9.45
Ca	5.36	4.11	10.43	8.84	14.69	24.97	11.71	21.44	35.86	11.73	16.47	30.54
Hg	.60	.85	1.61	1.38	2.22	3.77	2.10	4.05	6.61	1.81	2.42	4.55
Fe	.07	.20	.42	.23	.52	.84	.33	1.07	1.59	.21	.32	.62
Mn	.08	.08	.20	.48	1.02	1.56	.53	1.32	2.03	1.39	2.45	3.76
Al	.20	.43	.74	.49	.89	1.50	.62	1.53	2.31	.66	1.29	2.15
SO <sub>4</sub> -S	7.49	8.69	19.37	7.10	18.71	28.85	10.51	32.05	48.54	12.41	22.34	39.16
P	.13	.01	.13	.15	.02	.17	.67	.21	.87	.38	.18	.59
Cl	7.32	10.83	17.95	6.02	11.77	18.29	11.97	24.61	37.90	8.94	13.09	23.00
NO <sub>3</sub> -N	2.35	4.27	7.72	2.00	2.69	5.24	2.41	3.83	7.45	3.50	4.44	9.09

\* SO<sub>4</sub>-S und NO<sub>3</sub>-N erst ab Juli '83 gemessen

Auffällig ist der weit geringere Eintrag von H und Fe auf F 65; trotz geringerer Kronengröße überschreitet der Eintrag am geschädigten Baum 103-3 die Raten an 65-1,2 um mehr als das Doppelte. Verdeutlicht wird durch den pH-Verlauf im Jahresgang (Abb. 4), daß die Bäume in Abt. 65 den Säureeintrag im Kronenraum während der Vegetationsperiode abpuffern. Im Winter sinken die pH-Werte zwar unter den Freilandwert, damit wird aber nicht die Depositionsrate der Fichten in Abt. 103 erreicht.



Mit Ausnahme von K und Mn, die in F 65 aufgrund günstigerer Bodenvorräte, verstärkt deponiert werden, läßt sich bei den übrigen Elementen zeigen, daß der geschädigte Baum die Flußraten der KRT in F 65 überschreitet, während die relativ ungeschädigten Bäume 103-1,2 darunter liegen. Auffällig ist hierbei eine stark erhöhte Deposition am geschädigten Baum im Winter, wie sie auch schon bei H und Fe beobachtet wurde, und die sich durch vermehrte Eintäge mit dem Freiland-Niederschlag nicht erklären läßt.

So sind insbesondere die Ca-Flußraten im Winter in der Kronentraufe von F 103 fast doppelt so hoch, wie im Sommer, obwohl die Freiland-Deposition zurückgeht. Auch die Mg-Raten steigen überproportional an, so daß hohe Auswaschungsverluste aus dem Kronenraum angenommen werden müssen, die bei der geschädigten Fichte 103-3 Spitzenwerte annehmen. Da aus den Bodenvorratswerten (Tab. 3) hervorgeht, daß Versorgung mit Ca und besonders auch Mg in Abt. 103 weit weniger gewährleistet ist als in Abt. 65, muß damit gerechnet werden, daß der Bestand F 103 hier mehr und mehr in eine Mangelsituation hineingerät, wie sie schon jetzt für K nachweisbar ist.

Damit ist eine erfolgreiche Pufferung im Kronenraum nicht möglich, vielmehr erhöht sich die Gefahr direkter Säureschäden an den Nadeln.

"Kleinstandörtliche Differenzierung bodenchemischer Zustände und Prozesse und des Wurzelzustands"

1. Stand der Forschung und eigene Vorarbeiten

Zur Frage der Belastung von Böden unter Wald durch Luftverunreinigungen liegen in der Literatur bereits umfangreiche quantitative Schätzungen vor. U.a. konnten ULRICH et al. (Schriften Forstl. Fakultät Uni Göttingen 53, 1979) sowie ULRICH und MATZNER (U.B.A. Forschungsbericht 104 02 615, 1983) zeigen, daß allgemein während der letzten Jahrzehnte von einer chemischen Veränderung der Böden auszugehen ist. Denn die gesamte Säurelast eines Standorts übersteigt inzwischen aufgrund der Überhöhung der ökosysteminternen Säureproduktion um eine konstante Belastungsrate aus externen Quellen die Pufferrate der Böden. Die Säurelast als auch die Prozesse der Pufferung sowie ihre Kapazitäten sind standortsvariant. Im chemischen Bodenzustand läßt sich dies durch Wiederholungsinventuren oder indirekt durch Standortvergleiche erschließen. Als geeigneter Parameter haben sich erwiesen die Zunahme von Säurestärke und Säuremenge, eine Verminderung von Basizität, Veränderungen in der qualitativen Zusammensetzung des Austauschkomplexes und der Bodenlösung sowie die Entkopplung des Nährstoffkreislaufs, nachweisbar in der Akkumulation von Nährstoffen (N,P) bei gehemmter Streuzersetzung in der Humusaufgabe.

Die so erarbeiteten chemischen Kenndaten ermöglichen die ökologische Gruppierung von Böden (ULRICH, 1981, Zeitschrift f. Pflanzenernährung u. Bodenkunde, 144, S. 289 - 305; ULRICH, 1981, Göttinger Bodenk. Berichte 68, S. 72 - 89) und lassen Aussagen über die Elastizität hinsichtlich der Gefährdung von Beständen durch Säuretoxizität und/oder Nährstoffmangel zu (ULRICH et al., 1984, AFZ, S. 1237 - 1251; ULRICH et al., 1984, Berichte des Forschungszentrums, Bd. 7).

Unbefriedigend bei der bisherigen Datenerhebung im Rahmen der bodenkundlichen Untersuchungen zur Erforschung des Waldsterbens ist die räumliche Auflösung. Durch die einmalige oder kontinuierliche Probenahme in den einzelnen Kompartimenten des Ökosystems unter Bildung von Mischproben werden Bodenzustand und Flüsse als räumlicher Mittelwert des Ökosystems erfaßt. Dieses Vorgehen trägt die Gefahr in sich, daß z.B. die Gefährdung von Waldbeständen infolge von Säuretoxizität oder Nährstoffmangel erheblich unterschätzt wird. In der Konsequenz be-



deutet dies eine verstärkte Berücksichtigung ökologischer Interpretationen anhand von Einzelproben innerhalb eines umfangreichen Probenkollektivs.

Für die Bearbeitung dieser Problematik wurden im Hils jeweils zwei Buchen- und Fichtenaltbestände ausgewählt (Tab.1), auf deren mehr oder weniger tiefgründig versauerten Böden rasterpunktartig durch die Entnahme von Bodenproben mit dem Bohrstock sowie der diskontinuierlichen Gewinnung der Bodenlösung in unterschiedlichen Tiefenstufen eine Datenerhebung hinsichtlich des chemischen Zustands der Bodenfest- und Bodenlösungsphase durchgeführt wurde (Abb.1 und Abb.2). Diese soll es ermöglichen, Einblick in die räumliche und zeitliche Variabilität bodenchemischer Kenngrößen zu gewinnen und Gefährdungspotentiale, insbesondere hinsichtlich der Wurzelentwicklung, erkennen und abschätzen zu können.

Fläche	Geologisches Material	Bodentyp	Pufferbereich
Buche, Abt. 39	mittelgründige Hils sandsteinfließerde mit Lössinfiltration	mäßig bis stark podsolige Braunerde; kleinflächig Podsol-Braunerde	im Oberboden Fe/Al-Pufferbereich, ab ca. 40cm unterer Bereich des Silikatpuffers
Buche, Abt. 16/18	Hilssandstein; am Unterhang Neokom	Podsol; am Unterhang Podsol-Braunerde	Fe/Al-Pufferbereich
Fichte, Abt. 79	Flammenmergel	podsolige Braunerde bis Podsol	Braunerden im Fe/Al- bis Silikatpufferbereich; Podsole im Fe/Al-Pufferbereich
Fichte, Abt. 109	Hilssandstein; Mittel- u. Unterhang aus Hilssandstein-Neokom-Fließerden	Eisen-Humus-Podsol bis Podsol-Pseudogley	Überwiegend Fe/Al-Pufferbereich

Tab.1: Kurzbeschreibung der ausgewählten Untersuchungsflächen

In den in Tab.1 aufgeführten Untersuchungsflächen wurde zunächst (Sept. 83) rasterpunktartig eine Feinkartierung bei gleichzeitiger Entnahme von Bodenproben durchgeführt. Das sich anschließende Analysenprogramm ist dem Arbeitsplan zu entnehmen (Abb.2). Ende Herbst 84 erfolgte in den Buchenbeständen eine streifenweise Einengung des Rasters auf einen Gitterpunktabstand von 25 m. Die Abbildungen 4 bis 7 geben einen Eindruck über Lage und Exposition der einzelnen Flächen im Gelände. Ferner können aus dem zweiten Teil jeder Abbildung die in den Tiefenstufen 10, 20, 40, 60 und 80 cm gemessenen pH(H<sub>2</sub>O)- und pH(KCl)-Werte entnommen werden.

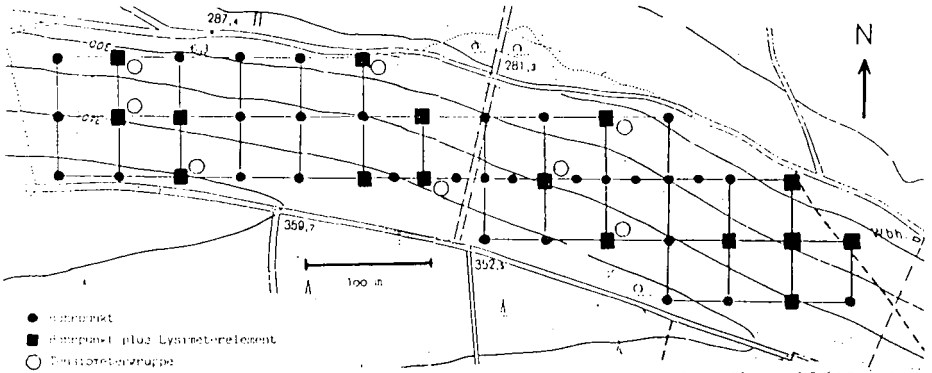


Abb.2: Beispiel für die Anlage des Gitternetzes in der Abt. 16/18

Für die diskontinuierliche Gewinnung der Bodenlösung aus den Tiefenstufen 20, 40 und 80 cm (bzw. 60 cm in Abt. 79) wurde das in der Abb.3 abgebildete "Lysimeterelement" entwickelt, von dem 38 Exemplare entsprechend der Bauzeichnung in den Beständen eingebaut wurden. Die Elemente ermöglichen eine gestaffelte Unterdruckversorgung der drei angeschlossenen Lysimeterkerzen in Anlehnung an die unterschiedlichen Saugspannungswerte des Bodens. Letztere ergeben sich aus der Ablesung von Einsichtensimetern, die zu mehreren Gruppen entsprechend den Tiefenstufen der Lysimeter installiert wurden (siehe Abb.1).

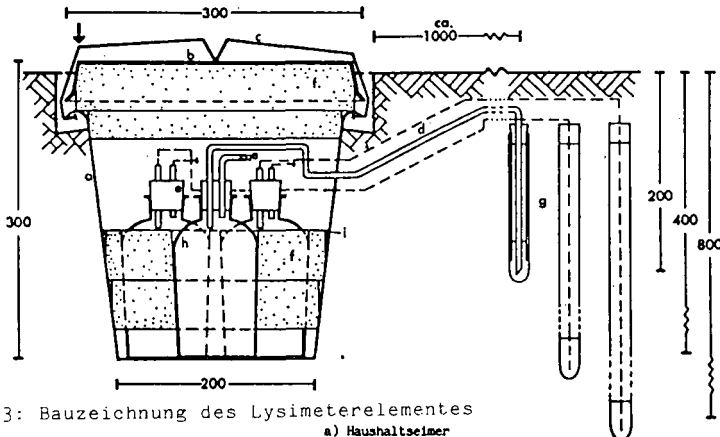


Abb.3: Bauzeichnung des Lysimeterelementes

- a) Haushaltseimer
- b) Deckel aus PVC mit Styroporisolierung
- c) Spannbügel
- d) Zuleitungen der Lysimeterkerzen
- e) Silikonstopfen
- f) Styropor
- g) Lysimeterkerzen
- h) Unterdruckflaschen
- i) Dichtung

Abb.2: Schema des Arbeitsprogramms

Geländearbeit	Laboranalysen	Parameter
<p>3.2.1 <u>Kinngänge</u> (Taschen-<u>Wassels</u>) und <u>Kartierungen</u> (Holzlaten) eines <u>Bohrrostes</u> mit einem Abstand der Gitterpunkte von 50m in den ausgewählten Untersuchungsflächen; streifenweise Kinngänge des Masters auf 25m Gitterpunktabstand.</p>		
<p>3.2.2 <u>Kartierung</u> mit <u>Profilbeschreibung</u> (incl. Humusprofil) an den Masterpunkten mit Hilfe eines <u>Pürchauer-Bohrers</u>.</p>		<p>Ausbildung der <u>Bodenhorizonte</u>.</p>
<p>3.2.3 <u>Entnahme</u> von <u>Bodenproben</u> aus dem <u>Bohrstock</u> in festgelegten <u>Tiefenstufen</u> (10 (5-15cm), 20 (15-25cm), 40 (35-45cm), 60 (55-65cm) u. 80 (75-85cm)). Gesteuerte Verpackung der Proben in <u>Plasttüten</u> für die weiteren <u>Laboranalysen</u>.</p>	<p>Eine Teilmenge jeder Einzelprobe wird am Tage der Probenentnahme zur <u>pH-Wert-Bestimmung</u> in <u>wässriger Bodenauspension</u> abgezwängt.</p> <p>- <u>Trocknung</u> der Einzelproben bei <u>60°C</u> im <u>Trockenschrank</u>.</p> <p>- <u>Moorgehaltsbestimmung</u>.</p> <p>- <u>Bestimmung der effektiven Austauschkapazität (AK<sub>e</sub>)</u> nach dem im Institut üblichen <u>Perkolationsverfahren</u>.</p>	<p>1. <u>pH(NH<sub>4</sub>Cl)</u> Zuordnung der Böden zu aktuellen <u>Pufferbereichen</u></p> <p>2. <u>pH(KCl)</u> Einschätzung des <u>Pufferbereiches</u>, der sich unter (<u>Säure</u>)Belastung einstellen würde.</p> <p>3. <u>K<sub>2</sub>Na-Sättigung</u> Hinweise auf die <u>Nährstoffversorgung</u> der Böden.</p> <p>4. <u>K<sub>2</sub>Ca-Sättigung</u> Hinweise auf <u>frische Verwitterungsschübe</u> und/oder <u>starke Verwitterung</u>.</p> <p>5. <u>Na-Sättigung</u> Hinweise auf den <u>Verwitterungsgrad</u> (höhere Na-Sättigung bei <u>Verwitterungsbeginn</u>).</p>
<p>3.3.1 <u>Einbau</u> von ca. <u>36 Lysimeter-Elementen</u> unter Berücksichtigung erster <u>bodenchemischer</u> u. <u>profilmorphologischer</u> Ergebnisse (siehe oben). Je Gruppe werden ca. <u>3 Elemente</u> gesetzt, die jeweils <u>diskontinuierlich</u> eine <u>getrennte</u> Deponierung der <u>Bodenlösung</u> in <u>20, 40 und 80(60)cm Bodentiefe ermöglichen</u>.</p>	<p>- <u>pH-Wert-Bestimmung</u></p> <p>- <u>Bestimmung der elektr. Leitfähigkeit</u>.</p> <p>- an <u>Cenco bzw. AAS-Gerät</u> werden die <u>Konzentrationen</u> von <u>Chlorid, Nitrat, Selenit</u> und <u>Aluminium</u> gemessen</p> <p>- <u>Vollanalysen</u> an 3 oder 4 Deponierungsterminen im Jahr.</p>	<p>1. <u>elektr. Leitfähigkeit</u>: Weiser für <u>Verdünnungseffekte</u> aufgrund unterschiedlicher <u>Verwitterungsstadien</u></p> <p>2. <u>mol Cl / mol NO<sub>3</sub></u> Weiser für <u>bodeninterne Säurequellen</u>.</p> <p>3. <u>mol Ca / mol Al</u> Anhalt für die <u>Gefährdung</u> des <u>Burzelsystems</u> bezüglich <u>Aluminiumtoxizität</u>.</p> <p>4. <u>mol Ca / mol N</u> Parameter zur <u>Toxizitätsgefährdung</u> des <u>Burzelsystems</u> speziell in <u>organisch beeinflussten</u> Oberböden.</p>
<p>3.3.2 Die <u>Deponierung der Bodenlösung</u> erfolgt in <u>monatlichem Abstand</u> durch <u>kurzfristige</u> Anlegung eines <u>Unterdrucks</u> an die <u>Elemente</u>. Die <u>Lösungen</u> werden <u>getrennt</u> in <u>100ml-PVGFleischchen</u> abgefüllt und <u>die pro Lysimeterkarze geforderte Menge</u> festgehalten.</p>	<p>- <u>Herstellung der Gleichgewichtsbodenlösungen</u> und anschließende <u>Vollanalyse</u></p> <p>- <u>Bestimmung der Feinbodenmenge</u></p> <p>- <u>Berechnung der Trockenraumdeichte</u></p> <p>- <u>Herleitung der Bodenleitfähigkeit</u></p> <p>- <u>Elementvorratsbestimmungen</u></p>	<p>1. <u>BHK</u> 1. <u>Baeneutralisierungskapazität</u> Maß für die im Boden vorhandene <u>Säuremenge</u>.</p>
<p>3.3.2.1 <u>Wiederholt</u> erfolgt im Zuge einer <u>normalen</u> Deponierung die <u>Entnahme</u> von <u>20ml Bodenlösung</u> an ausgewählten <u>Lysimeterpunkten</u> zur <u>Ermittlung der Schwermetallkonzentrationen</u> von <u>Zn, Cu, Cd u. Pb</u>.</p>		
<p>3.3.3 <u>Anlage repräsentativ verteilter Bodennachschübe</u> in den jeweiligen <u>Bodengruppen</u> zur <u>Gewinnung</u> umfangreichen <u>Probenmaterials</u> für die <u>Bestimmung</u> überwiegend <u>bodenphysikalischer Kenngrößen</u>.</p>		
<p>3.4 <u>Einbau</u> von <u>Einlich-Tensiomatern</u> in <u>Gruppen</u> mit den <u>Tiefenstufen</u> <u>20, 40 u. 80(60)cm</u> für die <u>Simulation</u> des <u>Wasserhaushalts</u>. (3 Gruppen pro Fläche). Die <u>Ableitung</u> der <u>Saugspannungswerte</u> erfolgt zu den <u>monatlichen</u> Probenahmen.</p>		<p>- <u>Wasserhaushaltstabelln</u></p>
<p>3.5 <u>Entnahme</u> von <u>Humusproben</u> aus der <u>Humusauf-lage (OH(OP)-Lage)</u> an <u>ausgewählten</u> Punkten des <u>Bohrrostes</u> (<u>Stoßzylinder</u>, wenn möglich).</p>	<p>- <u>Verpackung</u></p>	<p>1. <u>pH (CaCl<sub>2</sub>)</u></p> <p>2. <u>Fe<sup>2+</sup> + Al<sup>3+</sup> (avel/Ag Teil)</u></p> <p>3. <u>Besetzigtgrad</u> <math>\frac{Ca}{Ca+Fe}</math> (ca-W an der eq-Summe)</p> <p>Maß für die <u>Gefährdung</u> der <u>Erreiterorganismen</u>, der <u>Mykorrhiza</u> und der <u>Felswurzeln</u></p>
<p>3.6 <u>Burzeln</u>untersuchungen</p>		

Bodenfraktion

Bodenfraktion

Bodenfraktion

Bodenfraktion

Bodenfraktion

Bodenfraktion

In der Abt. 79 wird die Beprobung der Bodenlösung seit Jan. 35 in Zusammenarbeit mit dem Inst. f. Forstbotanik (Dr. Nayerah Rastin, Dr. Schlechte) durchgeführt, um Untersuchungen hinsichtlich der zeitlichen Variabilität der biochemischen Bodenparameter sowie der Mikroorganismen-tätigkeit (Pilze und Bakterien) und deren mögliche Abhängigkeit vom chemischen Zustand des Bodens durchführen zu können.

## 2. Untersuchungsziele

Bereits einleitend wurde auf grundlegende Arbeiten verwiesen, in denen gesicherte Erkenntnisse über die Elastizität hinsichtlich der Gefährdung von Waldbeständen durch Toxizität und Nährstoffmangel enthalten sind und in denen ferner eine Anzahl von Parametern zur Abschätzung der Gefährdung angeführt sind.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese gewonnenen Erkenntnisse in sehr differenzierter Weise für die Beschreibung der ausgewählten Waldökosysteme anzuwenden und eine detaillierte Prognose über die zukünftige Ausbildung des bodenchemischen Milieus und den damit möglicherweise verbundenen Gefährdungen der Bestände abzugeben.

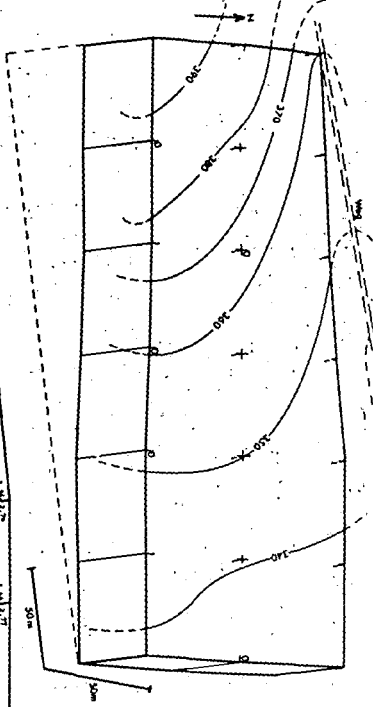
## 3. Heterogenität bodenchemischer Kenngrößen in unterschiedlichen Bodengesellschaften der Untersuchungsbestände

Im Folgenden soll auf der Grundlage einiger Daten, die bisher im Zuge der Durchführung des Arbeitsprogramms gewonnen wurden, ein Einblick in die Heterogenität einzelner bodenchemischer Kenngrößen innerhalb von unterschiedlichen Kartiereinheiten der Untersuchungsflächen vermittelt werden.

In der Abb. 4 sind die rasterpunktartig durchgeführten Profilbohrungen innerhalb des Buchenaltbestandes der Abt. 39 mit den dazugehörigen pH-Wert-Bestimmungen in wässriger Bodensuspension ( $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  und  $\text{pH}(\text{KCl})$ ) für die Tiefenstufen 10, 20, 40, 60 und 80 cm dargestellt. Die hier aufgeführten Werte basieren auf einem Gitterpunktnetz mit dem Abstand von 50 m und sollen nur einen Eindruck von der Verteilung innerhalb der Kartiereinheit geben; in der Realität wurde das Rasternetz auf einen Bohr-abstand von 25 m eingeengt.

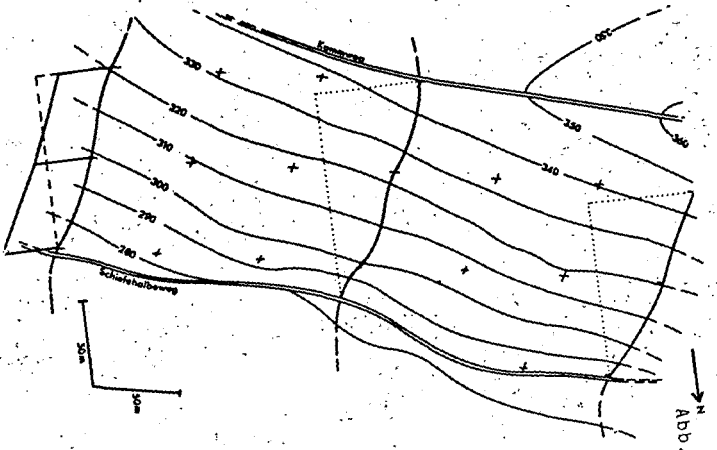
Aus der Abbildung geht hervor, daß sich die vorliegende Kartiereinheit einer podsoligen Braunerde bis Podsol-Braunerde bis zu einer Tiefe von 20 cm überwiegend im Fe-Pufferbereich befindet, seltener im Al-Pufferbereich. Ab einer Tiefe von 40 cm sind die Profile fast durchweg dem unteren Bereich des Austausch-Pufferbereichs mit Übergang zum Al-Pufferbereich zuzuordnen, was für die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung innerhalb dieser Kartiereinheit von entscheidender Bedeutung sein kann, wie sich aus den später angeführten Daten ergibt.

Abb. 4: Buche Abt. 39 (Hills)



		3281 122	3281 123	3281 124	3281 125	3281 126	3281 127
3281 121	3281 122	3281 123	3281 124	3281 125	3281 126	3281 127	3281 128
3281 129	3281 130	3281 131	3281 132	3281 133	3281 134	3281 135	3281 136
3281 137	3281 138	3281 139	3281 140	3281 141	3281 142	3281 143	3281 144
3281 145	3281 146	3281 147	3281 148	3281 149	3281 150	3281 151	3281 152
3281 153	3281 154	3281 155	3281 156	3281 157	3281 158	3281 159	3281 160

Abb. 5: Buche Abt. 16/18



3281 161	3281 162	3281 163	3281 164	3281 165	3281 166	3281 167	3281 168
3281 169	3281 170	3281 171	3281 172	3281 173	3281 174	3281 175	3281 176
3281 177	3281 178	3281 179	3281 180	3281 181	3281 182	3281 183	3281 184
3281 185	3281 186	3281 187	3281 188	3281 189	3281 190	3281 191	3281 192
3281 193	3281 194	3281 195	3281 196	3281 197	3281 198	3281 199	3281 200
3281 201	3281 202	3281 203	3281 204	3281 205	3281 206	3281 207	3281 208

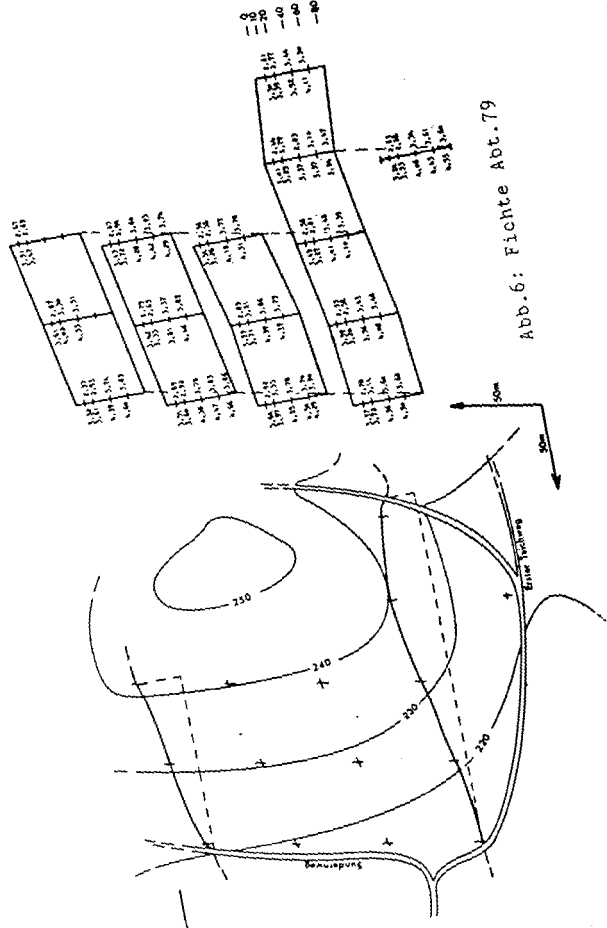


Abb. 6: Fichte Abt. 79

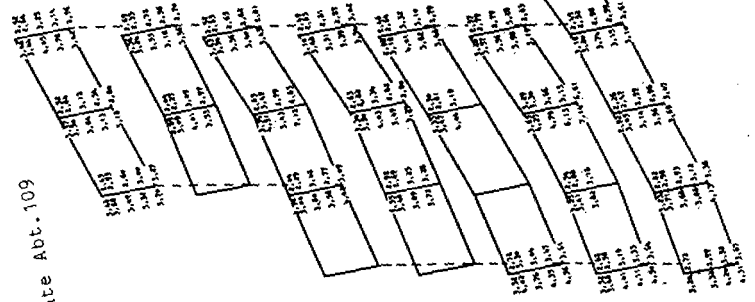
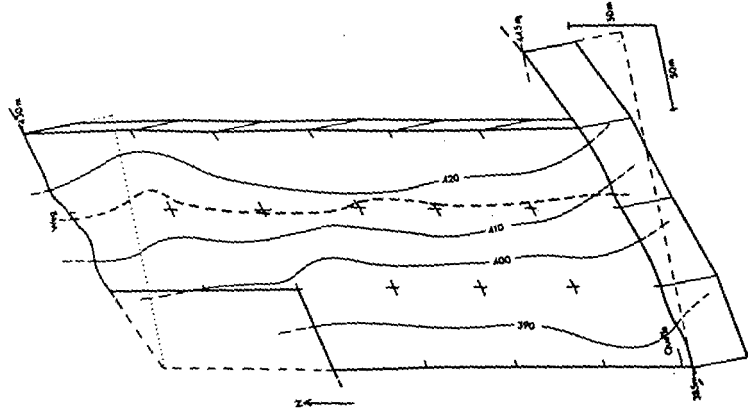


Abb. 7: Fichte Abt. 109



Auffällig ist die Tatsache, daß die pH-Werte aus der 80 cm-Tiefenstufe insbesondere was den pH(KCl)-Wert angeht, in Relation zu den unmittelbar darüber gelegenen Tiefenstufen, häufig deutlich niedrigere Meßergebnisse liefern. Dies deutet sowohl auf frische (pH(H<sub>2</sub>O)) als auch länger zurückliegende und stärkere Versauerungsschübe (pH(KCl)) in dieser Tiefenzone hin. In den Histogrammen der Abb.8 sind die Häufigkeitsverteilungen des pH(KCl)-Wertes dieser Kartiereinheit für die Tiefenstufen 20 und 80 cm aufgetragen. Es fällt die relativ starke Heterogenität dieser bodenchemischen Kenngröße für die Tiefe von 20 cm auf, ganz im Gegensatz zu den Werten aus 80 cm Tiefe. Auffällig ist ferner die deutliche Zweigipfligkeit der Darstellung für die Tiefenstufe 20 cm. Damit sind in dem ersten Gipfel jene Profilbohrungen repräsentiert, die in einem Abstand von 1 m zu einem Buchenstamm durchgeführt wurden und eine deutlich stärkere Oberbodenversauerung im Stammfußbereich der Altbuchen erkennen lassen.

In der Abb.9 sind die Häufigkeitsverteilungen der Äquivalentanteile ( $x^S$ ) von Ca und Al an der effektiven Austauschkapazität für die Tiefenstufen 20, 40 und 80 cm dargestellt. Hieraus ergibt sich über alle Tiefenstufen hinweg eine äußerst geringe Basensättigung des Austauschers, die in mehr als 80% der Profile unter 5% liegt (meistens unterhalb von 2%). Damit ist für beinahe sämtliche Profile eine Gefährdung

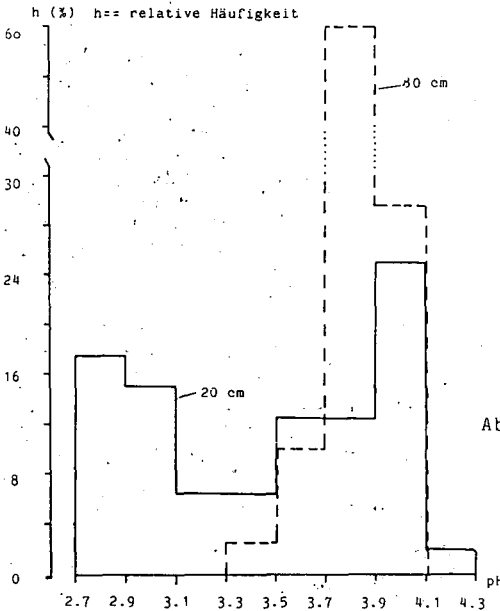


Abb.8: Häufigkeitsverteilung des pH(KCl) in der Kartiereinheit einer podsoligen Braunerde (Hils, Abt.39) auf einer Löss-Hilssandstein-Fließerde in 20 und 80 cm Bodentiefe.

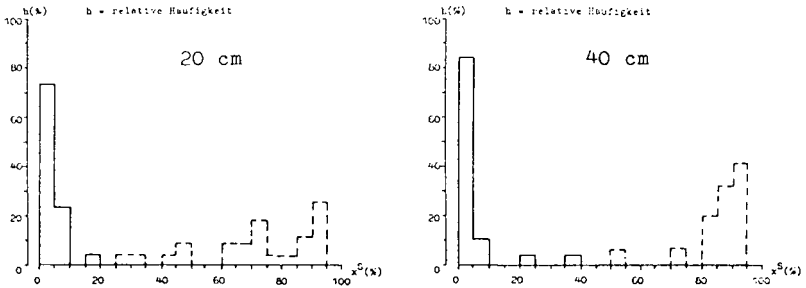


Abb.9: Häufigkeitsverteilungen der Äquivalentanteile  $x^S$  von Ca und Al an der effektiven Austauschkapazität der podsoligen Braunerde in den Tiefenstufen 20, 40 und 80 cm

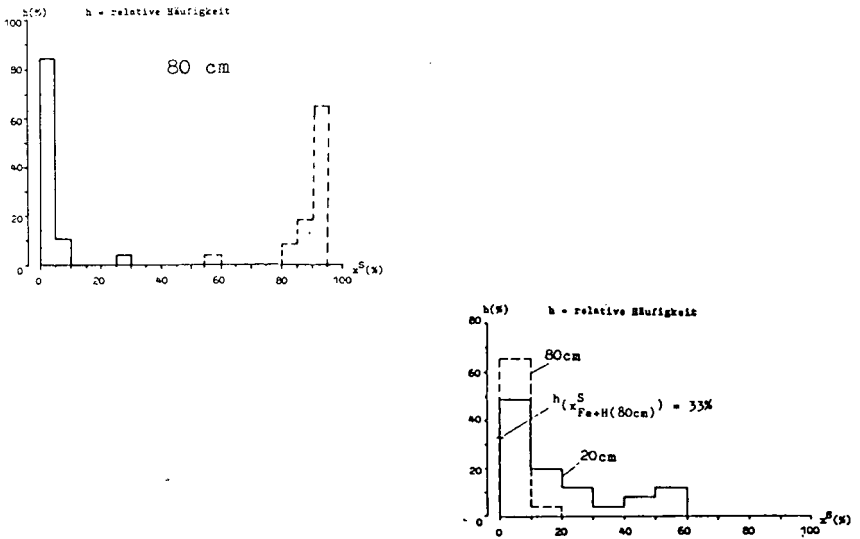


Abb.10: Häufigkeitsverteilung der Äquivalentanteile  $x^S$  von  $Fe^{3+}$  und  $H^+$  an der effektiven Austauschkapazität der podsoligen Braunerde (Hils, Abt.39) in 20 und 80 cm Tiefe



hinsichtlich Säuretoxizität bei sehr geringer Elastizität gegeben. Andererseits weisen fast alle Profile, besonders in den Tiefen ab 40 cm, eine Belegung des Austauschers mit Al von mehr als 85% auf (meistens mehr als 90%), so daß ebenfalls die Gefahr erhöhter Al-Konzentrationen in der Bodenlösung angezeigt ist.

Ferner geht aus den Histogrammen hervor, daß nur wenige Profile mit einer Basensättigung von teilweise bis zu 40% versorgt sind. Die Tiefenstufe 20 cm ist bereits dermaßen stark versauert, daß  $Fe^{3+}$  und  $H^+$  verstärkt am Austauscher vertreten sind (Abb.10); nur 33% der Profile zeigen in 80 cm Tiefe keine Belegung des Austauschers mit  $Fe^{3+}$  und  $H^+$ .

Die bisher mehr chemisch-statistische Betrachtung von Häufigkeitsverteilungen chemischer Kenngrößen soll im Folgenden um den pflanzenökologischen Aspekt der Toxizitätsgefährdung des Wurzelsystems erweitert werden, indem die zeitliche Variabilität der chemischen Zusammensetzung der Bodenlösung innerhalb ausgewählter Profile verfolgt wird. Dies geschieht wiederum anhand der wenig heterogenen podsoligen Braunerde bis Podsol-Braunerde hinsichtlich der Austauscherbelegung (Ca, Al) und der Konzentrationen von Ca und Al in der Bodenlösung und dem daraus abgeleiteten molaren Verhältnis von Ca und Al. Während die Kenngröße "Äquivalentanteil von Ca am Austauscher" ( $x^S$ ) der Kartiereinheit wenig heterogen ist, reichen doch geringe Unterschiede in der Austauscherbelegung aus, daß die Konzentrationen von Ca und Al und deren Molverhältnis in der Bodenlösung einen vollkommen verschiedenen Verlauf nehmen (Abb.11 und 12) und so den Standort hinsichtlich der Gefährdung des Wurzelsystems infolge von Al-Toxizität stark differenzieren. Im Profil 1 der Abb. 12 liegt das Ca/Al-Molverhältnis in der Bodenlösung in der Tiefe von 30 cm während des gesamten Meßzeitraums in einem Bereich zwischen 0.2 und 0.15, wodurch bereits eine starke Gefährdung der Buchenfeinwurzeln durch Al-Toxizität gegeben ist. Dies erklärt sich aus den relativ hohen Al-Konzentrationen bei gleichzeitig sehr niedrigen Ca-Konzentrationen von ca. 2 mg/l. In dem Profil 2 ist diese Gefährdung noch nicht akut. Jedoch zeigt sich, daß in einer Tiefe von 80 cm das Ca/Al-Molverhältnis rasch in einen für das Wurzelsystem kritischen Bereich gelangen kann, wo es in Verbindung mit dem Anstieg der Nitratkonzentration (siehe Abb. 13) in der Bodenlösung zu einer Pufferung durch Al-hydroxide und damit zu einer Erhöhung der Al-Konzentration in der Bodenlösung kommt (Abb.11).

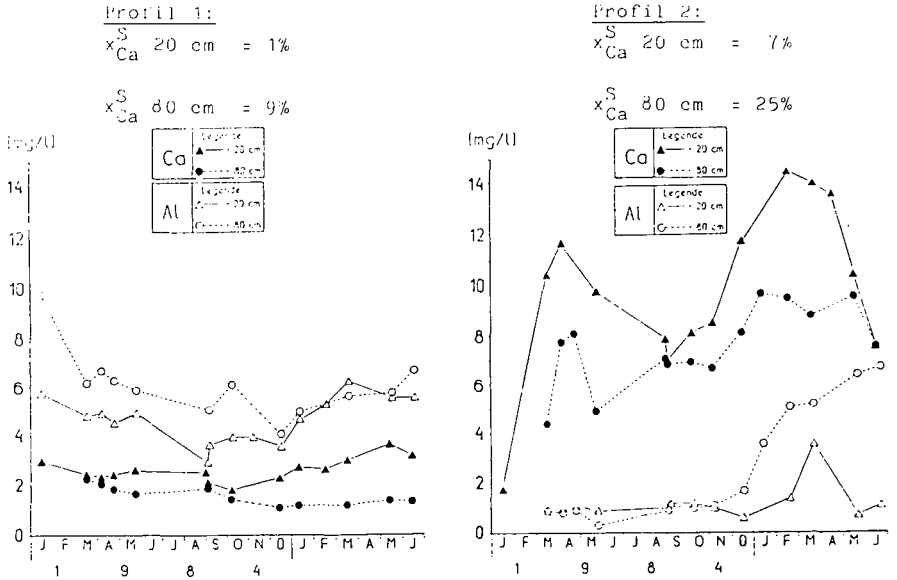


Abb.11: Verlauf der Ca- und Al-Konzentration in der Bodenlösung des Profils 1 und des Profils 2 der podsoligen Braunerde (Hils, Aht.39) in 20 und 80 cm Bodentiefe

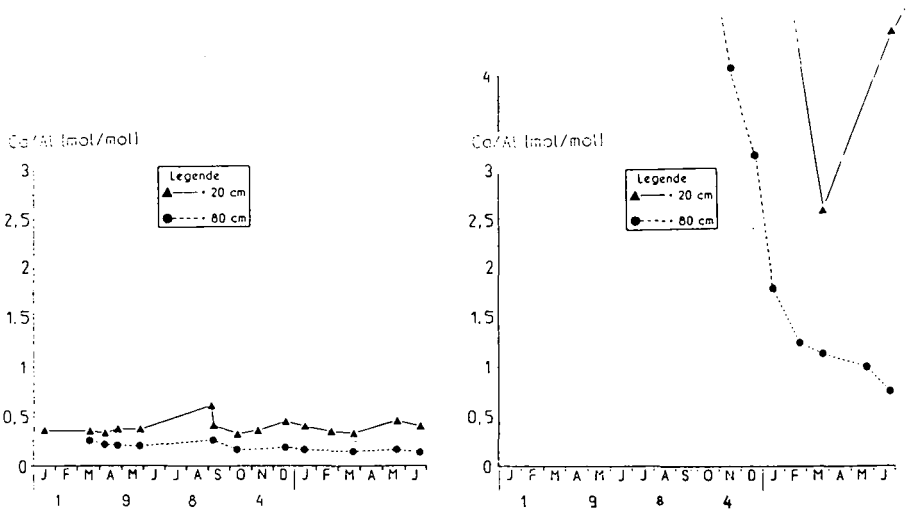


Abb.12: Verlauf des Ca/Al-Molverhältnisses in der Bodenlösung des Profils 1 und des Profils 2 der podsoligen Braunerde (Hils, Aht.39) in 20 und 80 cm Tiefe

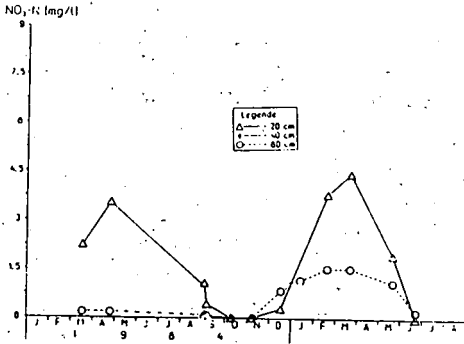
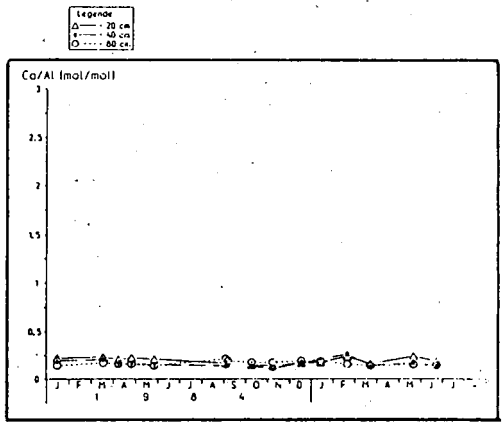
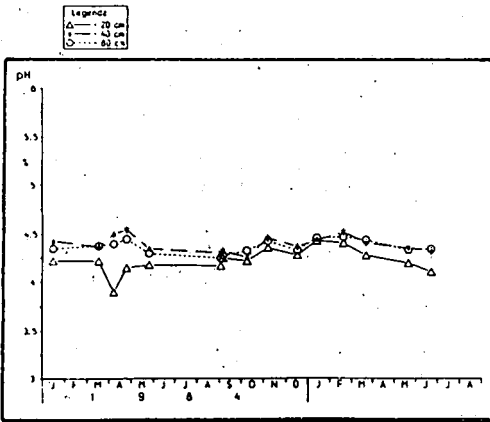


Abb. 13:  
 Verlauf der Nitratkonzentration  
 in der Bodenlösung des Profils 2  
 (Hils, Abt.39) in 20 und 80 cm Tiefe



Profil 3:  $x_{Ca}^S$  20 cm = 9%,  $x_{Ca}^S$  40 cm = 2%,  $x_{Ca}^S$  80 cm = 2.5%

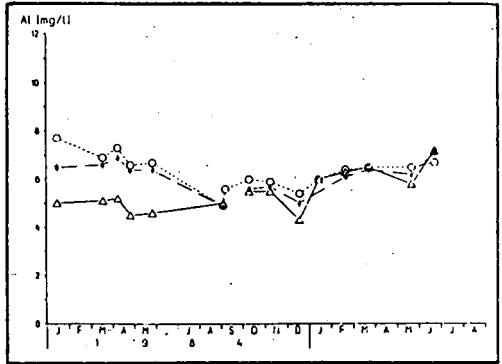
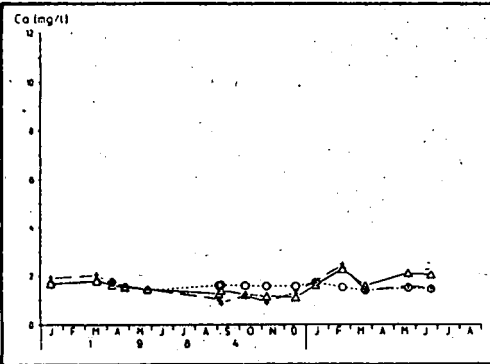


Abb. 14: Chemische Kenndaten der Bodenlösung des Profils 3 der podsoligen  
 Braunerde in den Tiefen 20, 40 und 80 cm (Hils, Abt. 39).

Die für diese Kartiereinheit noch relativ günstigen chemischen Bodenverhältnisse, wie sie durch das Profil 2 repräsentiert werden, sind in dem Buchenaltbestand nur noch auf geringer Fläche vertreten. Dies geht aus den Histogrammen der Häufigkeitsverteilungen von  $x_{Ca}^S$  und  $x_{Al}^S$  deutlich hervor. Typisch für diese Kartiereinheit sind vielmehr jene bodenchemischen Verhältnisse, wie sie das Profil 1 aufweist und in dem Profil 3 (Abb.14) wiederum auftreten:  $x_{Ca}^S$  20 cm = 9%,  $x_{Ca}^S$  40 cm = 2.5%,  $x_{Ca}^S$  80 cm = 2%;  $x_{Al}^S$  in 40 und 80 cm Tiefe = 90%). Dies hat im gesamten Profil 3  $Ca/Al$ -Molverhältnisse von 0.2 bis 0.1 zur Folge, bei pH-Werten der Bodenlösung im Schwankungsbereich zwischen 4 und 4.5 .

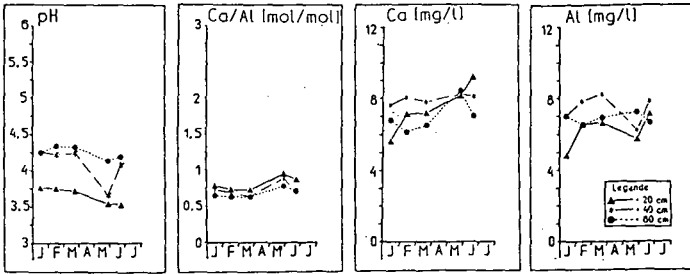
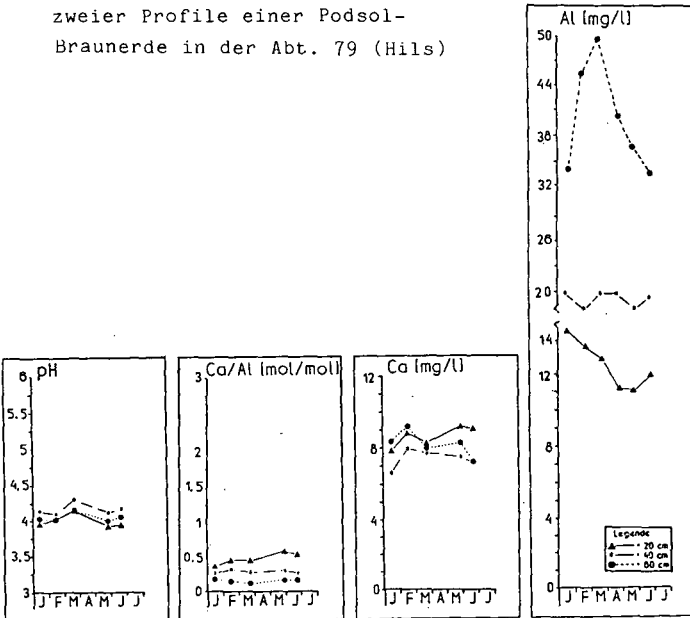


Abb.15: Chemische Kenndaten der Bodenlösung zweier Profile einer Podsol-Braunerde in der Abt. 79 (Hils)



Wie extrem unterschiedlich die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung innerhalb einer Kartiereinheit sein kann, zeigen die Bodenlösungsdaten zweier Profile (Abb.15) einer Podsol-Braunerde in einem Fichtenaltbestand auf Flammenmergel (Hils, Abt.79). So weisen die hohen Al-Konzentrationen von bis zu 50 mg/l und Ca/Al-Molverhältnisse von 0.1 in der Tiefe von 60 cm auf eine starke bis sehr starke Gefährdung und Schädigung des existierenden Feinwurzelsystems hin.

Lysim.- element	Tiefe cm	pH		Ca(mg/l)		Al(mg/l)		mol Ca mol Al	
		Jan	Feb	Jan	Feb	Jan	Feb	Jan	Feb
1	20	3.9	3.9	6.5	7.2	11.5	13.0	0.4	0.4
	40	3.95	4.1	8.1	8.1	8.4	10.0	0.65	0.5
	60	4.1	4.2	7.6	7.5	16.1	18.2	0.3	0.3
2	20	4.0	4.0	7.9	8.9	15.0	13.7	0.35	0.4
	40	4.15	4.1	6.6	8.0	17.8	17.7	0.25	0.3
	60	4.0	4.0	8.4	9.2	33.9	45.2	0.17	0.14
5	20	3.8	3.8	5.6	7.1	4.8	6.5	0.8	0.7
	40	4.3	4.2	7.6	8.0	7.0	7.8	0.7	0.7
	60	4.3	4.3	6.8	6.1	7.0	6.5	0.65	0.6
8	20	3.9	3.95	13.5	12.8	8.4	8.8	1.1	1.0
	40	4.1	4.2	9.5	8.4	18.5	15.6	0.3	0.4
	60	4.1	4.1	5.6	5.2	35.0	30.9	0.11	0.11

Abb.16: Chemische Kenndaten der Bodenlösung ausgewählter Lysimetelemente in der Abt.79 (Hils)

In der Abb.16 sind weitere Lysimetelemente aufgeführt, deren Bodenlösungsdaten ebenfalls einen Einblick in die Heterogenität des bodenchemischen Milieus innerhalb dieser Kartiereinheit vermitteln.

Für die bodenchemische Untersuchung von forstlichen Standorten ist aus den oben angeführten Daten zu folgern, daß die räumliche Heterogenität bodenchemischer Kenngrößen ausreichend berücksichtigt werden muß, und daß die Möglichkeit des Ablaufs chemisch-biologischer Prozesse wie z.B. ein Versauerungsschub, aus der Analyse des chemischen Bodenzustandes erkannt werden muß.

Exkursion

G Ö T T I N G E R W A L D

von

Andres, E., K.-W. Becker, F. Beese, P. Benecke, H. Dierschke,  
K. Grimme, H. Gerke, R. Jörgensen, F.-W. Klages, K.-J. Meiwes,  
B. Meyer, M. Schäfer u. B. Ulrich



ANDRES, E.

Die Exkursion führt auf das östlich Göttingens gelegene Muschelkalkplateau des Göttinger Waldes zur Forschungsfläche des ehemaligen Sonderforschungsbereiches 135 - Terrestrische Ökosysteme.

Erklärtes Ziel der am oben erwähnten Forschungsprojekt beteiligten Disziplinen war die detaillierte Beschreibung und Quantifizierung der biotischen und abiotischen Kompartimente eines naturnahen Kalkbuchenwald-Ökosystems.

### 1. Geographische Lage

Die Forschungsfläche liegt etwa 7 km östlich der Stadt Göttingen (51° 32' nördl. Breite, 9° 56' östl. Länge). Die Höhe liegt im Mittel bei 400 m über NN (s. Abb. 1).

### 2. Klima

Das Großklima des Exkursionsgebietes ist nach THÖLE und MEYER (1979) subatlantisch mit einem geringen subkontinentalen Einfluß. Klimatisch zeichnet sich der Raum Göttingen durch relativ kühle Sommer, hohe Luftfeuchte und starke Bewölkung aus. Die mittlere Jahresamplitude der Temperatur von 17.5° C und relativ geringe Niederschläge von 613 mm unterstreichen den kontinentalen Einfluß (PLUQUET, 1977). Dem genannten Autor zufolge ergibt eine Interpretation des Klimadiagramms im Sinne der Köppenschen Klimaklassifikation, daß es sich um "Buchenklima" (Cfb) handelt.

Ein Blick auf Tab. 1 zeigt, daß die Freiflächenniederschläge im Untersuchungsgebiet des Göttinger Waldes im Zeitraum 1981-83 im Mittel um etwa 15 % über denen Göttingens liegen.

Die Jahresdurchschnittstemperatur lag in den Jahren 1982 und 1983 um 1.7° C unter der Göttingens (s. Tab. 2).

Somit darf man - unter Vorbehalt weiterer Messungen - von einem mittleren Jahresniederschlag von 711 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 6.9° C im Untersuchungsgebiet ausgehen.

Nach DAMMANN (1969) ist das Muschelkalkplateau des "Göttinger Waldes" dem Bereich der submontanen Stufe des Mittelgebirgsklimas zuzuordnen.

---

Landwirtschaftliche Beratung der Kali und Salz AG,  
Friedrich-Ebert-Str. 160, D-3500 Kassel



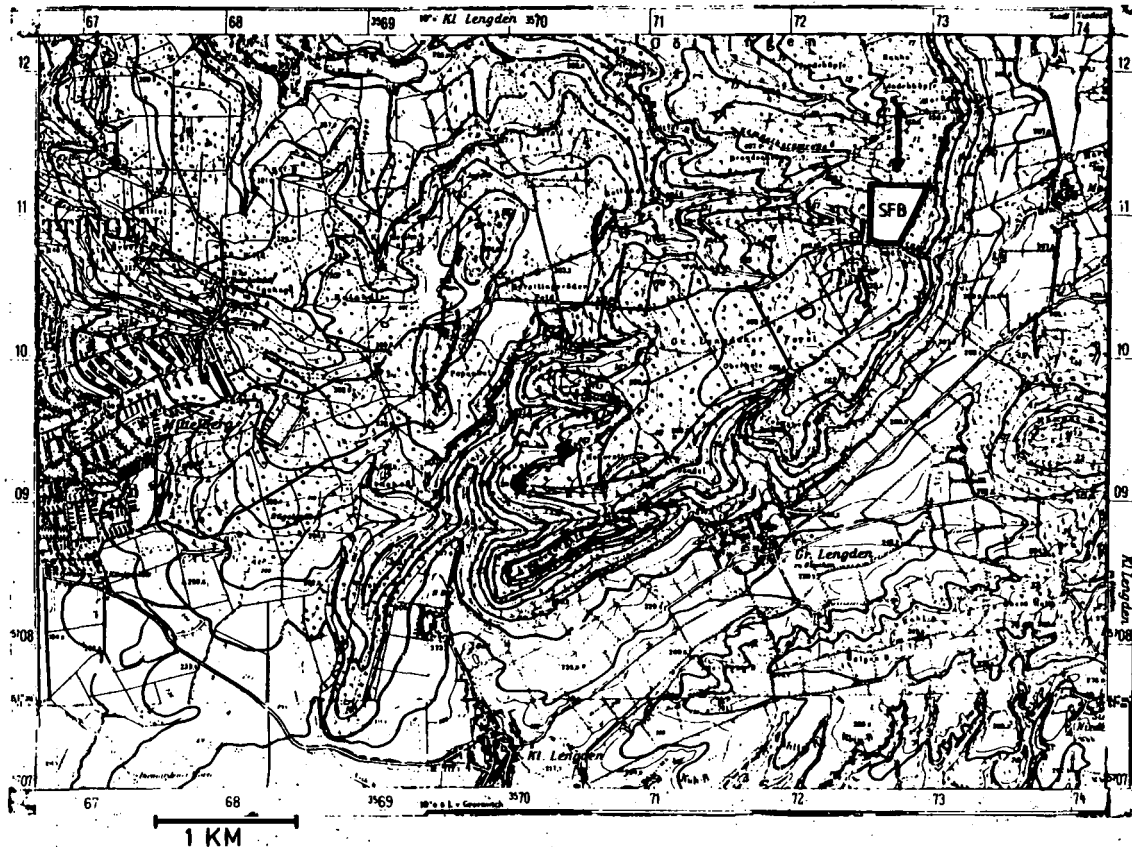


Abb. 1: Geographische Lage des Untersuchungsgebietes; Ausschnitt aus der topographischen Karte 1 : 25 000 (Blatt 4526, Kl.Lengden)

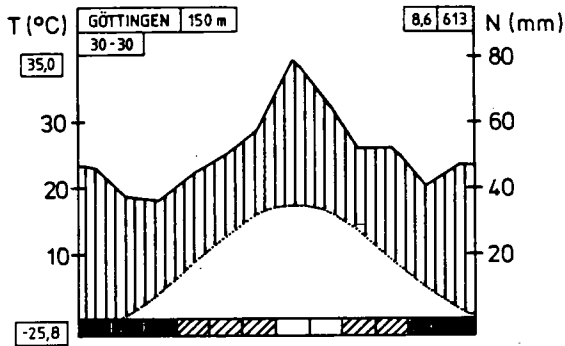


Abb. 2: Klimadiagramm von Göttingen nach WALTER (1955)  
aus: PLUQUET (1977)

Tab. 1: Jahresniederschläge in Göttingen (GÖ) und im Untersuchungsgebiet des Göttinger Waldes (GöW); Zeitraum 1981 - 1983

	1981		1982		1983	
	GÖ	GöW	GÖ	GöW	GÖ	GöW
$\Sigma$	1042.8	1252.4	475.4	550.4	588.4	634.7

(Angaben in mm)

Quellen: WETTERWARTE GÖTTINGEN  
BENECKE und GEHRKE (1984)

Tab. 2: Jahresmittel der Lufttemperatur in Göttingen (GÖ) und im Untersuchungsgebiet des Göttinger Waldes (GöW); Zeitraum 1981 - 1983

	1981		1982		1983	
	GÖ	GöW	GÖ	GöW	GÖ	GöW
Jahres-Ø	8.6	-	9.6	7.9	9.6	7.9

(Angaben in °C)

Quellen: WETTERWARTE GÖTTINGEN  
SCHAUERMANN et al. (1984)  
VAN EIMERN u. ERHARDT (1984)

### 3. Geologische Situation

Der "Göttinger Wald" ist eine Muschelkalkhochebene von scharfer Begrenzung und Geschlossenheit, die sich um rund 150 m über das Vorland erhebt (DEPPE und TROE, 1956).

Höchste Erhebung ist mit 425,5 m der "Staneberg" am Ostrand des Plateaus etwa 2 km nordwestlich von Mackenrode, an dessen nördliche Flanke das Untersuchungsgebiet angrenzt.

Nach HÖVERMANN (1953) beruhen die wesentlichen Formelemente der heutigen Oberflächengestalt auf der prä-holozänen Oberflächenformung im periglazialen Bereich der pleistozänen Vereisungen.

Die Auswirkungen der geomorphologischen Prozesse in diesem Periglazialbereich sind als Schotterfüllungen der Gerinnebetten der Leine und ihrer seitlichen Zuflüsse, als Solifluktions-Lager- und -Wanderschutt auf den Muschelkalk-Flächen und Hängen und als Lößlehm-Ablagerungen, die das gesamte Gebiet als dünner Schleier überdecken und nur in Windschattlagen größere Mächtigkeiten erlangen, erhalten (THÖLE und MEYER, 1979).

Auf der schwach nach Norden geneigten Untersuchungsfläche konnten sich gering mächtigere Löß-Ablagerungen nur in Hangdellen und besonders exponierten Lagen erhalten, im weitaus größten Teil des Untersuchungsgebietes wurde das Löß-Material im Verlauf der holozänen Bodenentwicklung vollständig in die Bodendecke eingearbeitet und ist heute makroskopisch nur noch schwer zu identifizieren.

Somit ist im Untersuchungsgebiet der Wellenkalk 2 des Unteren Muschelkalkes ( $\text{mW}_2$ ) (LAVAHUN, 1981), der auf der Hochfläche ausstreicht, bestimmendes Substrat der Bodenbildung geblieben, aus dem sich die Böden der Kalkstein-Bodenentwicklungsreihe mit einigen Modifikationen gebildet haben.

Die Schichtmächtigkeit des plattigen bis dünnbankigen, mergeligen Wellenkalkes liegt bei 30 m. Seine Liegendgrenze bildet nach Osten zur Steilkante hin die Oolithzone, deren Grenze durch das Auftreten der zwischen den Oolithbänken eingebetteten Gelbkalke deutlich markiert wird. Die hangende Grenze bilden die Terebratelbänke im Südwesten des Untersuchungsgebietes, die als härteste Werksteinbänke des Unteren Muschelkalkes gelten (LAVAHUN, 1981).

#### 4. Boden

##### 4.1. Die Bodengesellschaft des Exkursionsgebietes

Die Bodentypenkarte läßt eine große räumliche Variabilität des Standortes hinsichtlich Bodenmächtigkeit und Profildifferenzierung erkennen. Auffallend ist die unregelmäßige Verteilung der sieben angesprochenen Bodentypen über die gesamte Versuchsfläche sowie die flächenmäßige Dominanz der Mull-Rendzina und der Terra fusca-Rendzina. Beide Bodentypen nehmen zusammen 76 % des Untersuchungsgebietes ein, wobei allein 50 % auf die Terra fusca-Rendzina entfallen.

Nach THÖLE und MEYER (1979) lassen sich die Böden aus Muschelkalk-Material nach ihrem Erscheinungsbild in eine sogenannte "Morpho-Sequenz" einordnen, welche die Bodentypen "mullartige Moder-Rendzina (Ah)-C)", "Mull-Rendzina (Ah-C)", "Lehm-Rendzina (Ah-(Bv)-C)", "Braunlehm-Rendzina (Ah-(bt)-Bv-C)", "Rendzina-Braunlehm (Ah-Bt-Bv1-(Bv2)-C)" und "Kalkstein-Braunlehm (Ah-Bt-Bv1-Bv2-C)" umfaßt. Auch JÜRGENSEN (1981) verwendet diese Einteilung der Entwicklungsstufen, weist jedoch gleichzeitig darauf hin, daß die "mullartige Moder-Rendzina" auf den Plateaulagen des Göttinger Waldes nicht vorkommt.

##### 4.2 Ökologische Eigenschaften des Bodens

Bei der Darstellung der ökologischen Eigenschaften des Bodens wird in erster Linie auf Datenmaterial aus den Arbeiten von THÖLE und MEYER (1979), JÜRGENSEN (1981) und ULRICH et al. (1982) zurückgegriffen.

Die Humusform der Morpho-Sequenz Mull-Rendzina - Kalkstein-Braunlehm (im Sinne der Definition von THÖLE und MEYER (1979) ist der Mull (L-Mull nach der "Forstlichen Standortaufnahme" des ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG, 1980), dessen Kennzeichen das Fehlen einer Auflage-Humushorizontes auch unter Wald im Sommer, ein hoher Anteil von Regenwurm-Kotaggregaten und eine große Menge organomineralischer Komplexe aus Ton und Feinhumus sind (SCHACHTSCHABEL et al., 1976).

Das Makrogefüge des Bodens wird in den A-Horizonten der Bodengesellschaft durch intensive Regenwurmtätigkeit geprägt.

Aus den Tab. 3a und 3b geht hervor, daß die Lagerungsdichten des Bodens recht gering sind. In den Mull-Rendzinen liegen sie bei etwa  $0.5 \text{ g/cm}^3$  und steigen selbst im Unterboden der Terra fusca nur auf etwa  $1.2 \text{ g/cm}^3$

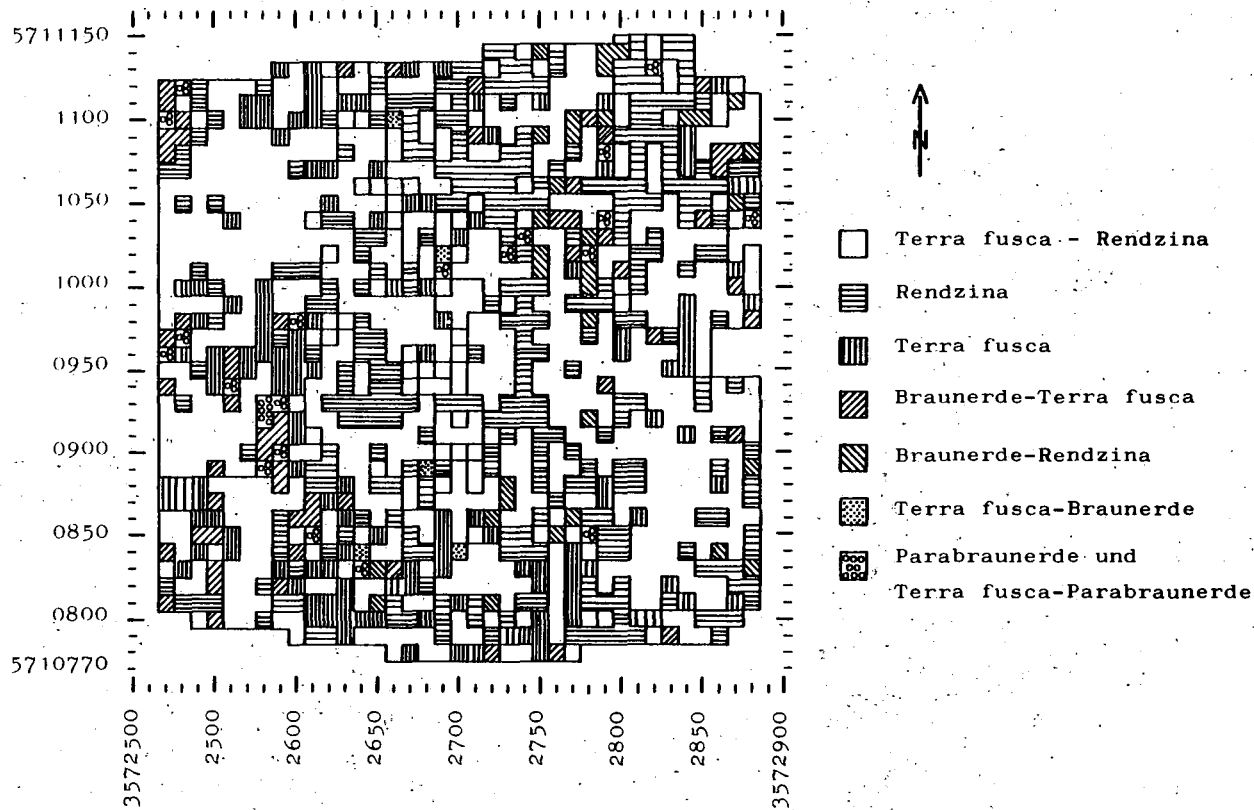


Abb. 3: Karte der Bodentypen des Untersuchungsgebietes  
(n. ULRICH et al., 1982)

Tab. 3a: Auswahl bodenchemischer und -physikalischer Kenngrößen der Bodentypen des Untersuchungsgebietes (nach ULRICH et al., 1982).

TIEFE (cm)	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	$\frac{Ak_e}{Ak_t}$	C/N	C <sub>org.</sub> t·ha <sup>-1</sup>	N t·ha <sup>-1</sup>	CaCO <sub>3</sub> t·ha <sup>-1</sup>	P t·ha <sup>-1</sup>	TD g·cm <sup>-3</sup>
<u>RENDZINA</u>								
0- 5	6.68	1.05	13.1	25.0	1.91	1.65	0.247	0.49
5-10	6.68	0.91	11.5	26.9	2.34	3.38	0.316	0.69
<u>TERRA FUSCA-RENDZINA</u>								
0- 5	5.72	1.06	12.9	24.2	1.87	1.88	0.216	0.57
5-10	5.71	0.91	11.8	25.5	2.16	3.73	0.309	0.83
10-20	6.32	1.26	12.1	38.8	3.22	9.29	0.551	0.86
<u>TERRA FUSCA</u>								
0- 5	5.50	0.66	14.1	23.3	1.65	0.264	0.213	0.66
5-10	5.47	0.59	11.5	17.6	1.54	0.396	0.238	0.88
10-20	5.71	0.66	11.5	29.9	2.59	5.66	0.464	0.96
20-30	5.67	0.61	10.9	23.4	2.14	8.33	0.482	1.19

Tab. 3b: Auswahl bodenchemischer und -physikalischer Kenngrößen der Bodentypen des Untersuchungsgebietes (nach ULRICH et al., 1982).

TIEFE (cm)	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	$\frac{A_{k_e}}{A_{k_t}}$	C/N	C <sub>org.</sub> t·ha <sup>-1</sup>	N t·ha <sup>-1</sup>	CaCO <sub>3</sub> t·ha <sup>-1</sup>	P t·ha <sup>-1</sup>	TD g·cm <sup>-3</sup>
<u>BRAUNERDE-RENDZINA</u>								
0- 5	5.54	1.00	14.1	21.0	1.49	0.40	0.208	0.62
5-10	5.59	0.84	16.5	23.8	1.44	0.42	0.286	0.85
10-20	6.01	0.95	13.2	40.6	3.07	1.02	0.573	0.93
<u>BRAUNERDE-TERRA FUSCA</u>								
0- 5	5.29	0.78	15.2	22.3	1.46	2.34	0.206	0.65
5-10	5.16	0.72	12.9	20.3	1.57	0.66	0.280	0.95
10-20	5.95	0.94	12.2	39.1	3.19	7.64	0.623	1.14
<u>TERRA FUSCA-BRAUNERDE</u>								
0- 5	4.95	0.81	13.0	22.8	1.76	0.192	0.215	0.64
5-10	4.72	0.57	12.4	18.4	1.48	0.33	0.224	0.82
10-20	4.97	0.55	12.0	33.3	2.77	4.29	0.516	1.16
20-30	5.81	0.96	12.3	21.9	1.78	9.76	0.436	1.19

an, was auf eine sehr günstige räumliche Anordnung der festen Bodenteilchen im Hinblick auf die Durchlüftung des Bodens und sein Wasserdargebot an die Pflanze hinweist. Schließlich errechnen sich aus solch geringen Lagerungsdichten Gesamt-Porenvolumina von 81 - bzw. 56 Vol.%.

Initialprozeß einer Bodenbildung auf Kalkgestein ist die Abfuhr des Calciumcarbonates als Calciumhydrogencarbonat mit dem Sickerwasser.

Infolge der allmählichen Auflösung und Abfuhr des  $\text{CaCO}_3$  kommt es zu einer Anreicherung des nichtcarbonatischen Lösungsrückstandes (NCL), dessen Anteil im Kalkstein des  $\mu_2$  bei 5.7 % liegt (THÖLE und MEYER, 1979).

Die Korngrößenzusammensetzung des NCL kann Tab. 4 entnommen werden.

Tab. 4: Korngrößenverteilung des Lösungsrückstandes aus Unterem Muschelkalk, aus THÖLE und MEYER (1979), verändert.

% des Lösungsrückstandes				
SAND > 63 $\mu\text{m}$	SCHLUFF 63-20 $\mu\text{m}$   20-2 $\mu\text{m}$		TON < 2 $\mu\text{m}$	INDEX
0.6	6.3	35.1	58.0	u'T

Bemerkenswert ist der mit 35 % hohe Gehalt an illitischen Tonmineralen in der Tonfraktion des Lösungsrückstandes (THÖLE und MEYER, 1979).

Nach Angaben der vorstehenden Autoren sind die Böden des Untersuchungsgebietes nicht frei von Löß. So wurde für die Ah-Horizonte zweier Bodentypen auf  $\mu_1$  ein Mischungsverhältnis von lößbürtiger zu kalkschuttbürtiger kalkfreier Feinerde von 1 : 1 ermittelt. Die Anwehung von Löß-Material gegen Ende des Pleistozäns hat somit die Mächtigkeit der Bodendecke erhöht und - nach Einarbeitung in den Kalkstein-Lösungsrückstand - das Korngrößenspektrum in Richtung der Schluff-Fraktion verschoben. Eine von ULRICH et al. (1982) für das Kompartiment 0 - 10 cm einer Terra fusca-Rendzina erstellte Korngrößenanalyse ergab Anteile von 2.7 % Sand, 59 % Schluff und 38 % Ton an der kalk- und humusfreien Feinerde, woraus sich die Einstufung als "schluffiger Ton (uT)" ergibt. Diese Bodenart dürfte für einen großen Teil der Oberböden der Bodengesellschaft im Untersuchungsgebiet stehen. Mit zunehmender Nähe der Kalk-Lösungszone wird das Substrat jedoch tonhaltiger.



Die pH-Werte des Solums (gemessen in  $\text{CaCl}_2$ ) bewegen sich laut Tab. 3a - 3b im schwach bis mäßig sauren Bereich (SCHACHTSCHABEL et al., 1976). Sie nehmen bei Mull-Rendzina und Braunerde-Rendzina in Verwitterungsrichtung zu, während die pH-Kurve bei den anderen Bodentypen ein Minimum im unteren Bereich des A-Horizontes durchläuft. Die Basenanreicherung des oberflächennahen Kompartiments läßt sich mit der Basenzufuhr durch den Streufall ("Basenpumpe des Waldes", nach DUCHAUFOR, 1976) erklären. Trotz der Anwesenheit freien Calciumcarbonates im Boden ist das pH stellenweise auf Werte um pH 5 gesunken. Die Ursache dafür dürfte in der Anwesenheit kleiner Kalkbröckchen zu suchen sein, die zwar gleichmäßig verteilt im Bodenvorliegen, deren geringe Reaktivität jedoch nicht ausreicht, den pH-Wert zu beeinflussen.

Der chemische Bodenzustand der Mull-Rendzina ist mit einem pH-Wert von 6.7 noch durch das Carbonat-Puffersystem gekennzeichnet (s. ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG, 1980), wobei die gesamte Austauschkapazität der Sorptionsträger für die Kationenspeicherung zur Verfügung steht. Mit zunehmendem Entwicklungsgrad der Böden sinkt das pH in den Bereich der Silikat-Pufferung ab (ULRICH et al., 1982). Auftretende Säuren werden durch Austausch sorbierter Kationen (KUNTZE et al., 1981) bzw. durch Kationen-Freisetzung im Zuge der Silikat-Verwitterung gepuffert. In diesem Puffer-Bereich befinden sich Terra fusca-Rendzina, Braunerde-Rendzina, Braunerde-Terra fusca und Terra fusca. Das Verhältnis von effektiver zur Gesamt-Austauschkapazität nimmt mit zunehmender Versauerung ab und erreicht im Profil der Terra fusca - Braunerde mit  $A_{k1}/A_{kt} = 0.55$  bei pH-Werten  $< 5$  ein Minimum.

Die Gehalte an organischem Kohlenstoff der im Rahmen der bodenkundlichen Grundaufnahme aufgenommenen Bodentypen sind in Tab. 5 dargestellt.

Die A-Horizonte der vorgestellten Bodentypen verdienen mit über 10 % organischer Substanz ( $C_{\text{org.}} \times 1.72$ ) ausnahmslos die Bezeichnung "sehr stark humos" ( $\bar{n}$ ) im Sinne der "Forstlichen Standortaufnahme" (ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG, 1980). Mit zunehmender Bodentiefe gehen die Humusgehalte bis auf etwa 2 % (ABV der Terra fusca-Braunerde) zurück. Eine ähnliche Tendenz ist auch für die  $N_t$ -Gehalte zu verzeichnen, so daß das  $C_{\text{org.}}/N_t$ -Verhältnis nur geringfügig von oben nach unten abnimmt.

Tab. 5: Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff im Profil der Bodengesellschaft des Untersuchungsgebietes (% d. Feinerde) (unter Verwendung der Daten von ULRICH et al., 1982).

BODENTIEFE (cm)	B O D E N T Y P					
	RENDZINA	TERRA FUSCA- RENDZINA	TERRA FUSCA	BRAUNERDE- RENDZINA	BRAUNERDE- TERRA FUSCA	TERRA FUSCA- BRAUNERDE
0 - 5	10.20	8.49	7.06	6.77	6.86	7.13
5 - 10	7.80	6.14	4.00	5.60	4.27	4.49
10 - 20	-	4.51	3.11	4.37	3.43	2.87
20 - 30	-	-	1.97	-	-	1.84
org. C-VOR- RAT (t/ha)	51.90	88.50	94.20	85.40	81.70	96.40
N <sub>t</sub> -VORRAT (t/ha)	4.25	7.25	7.92	6.00	6.22	7.79

**Tab. 6:** Bioelement-Flüsse in einem Buchenbestand des Solling:  
 Eintrag mit dem Niederschlag, Pflanzenaufnahme und Verlagerung mit dem  
 Perkolationswasser (nach ULRICH und MAYER, 1973)  
 Angaben in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	N	P	Cl	S
1 FREILAND-NIEDERSCHLAG	7.30	2.00	12.40	1.79	3.10	1.17	0.22	23.90	0.48	17.80	24.80
2 PFLANZEN-AUFNAHME	5.70	45.90	33.30	3.20	-	3.70	6.01	71.90	4.89	27.50	35.80
3 PERKOLATIONSWASSER	8.80	1.60	14.10	2.40	10.30	0.07	4.27	6.20	0.01	17.80	24.70
4 NETTO UMSATZ $4 = 2 + 3 - 1$	7.20	45.50	35.0	3.81	7.20	2.60	10.06	54.20	4.42	27.50	35.70

Der Kohlenstoff-Vorrat des Bodens schwankt je nach Entwicklungsstufe zwischen 51.9 t C/ha bei der Mull-Rendzina und 96.4 t C/ha bei der Terra fusca-Braunerde (s. Tab. 5), wobei sich nur die Mull-Rendzina durch ihren deutlich niedrigeren C-Vorrat abhebt.

Die Nährstoffversorgung der Pflanzen ist abhängig vom Nährstoff-Vorrat des Bodens und seiner Mobilisierbarkeit. Tab. 6 gibt einen Überblick über die Bioelementaufnahme eines Buchenbestandes im Solling. Im Vergleich zu intensiv genutzten Ackerflächen werden vom Buchenbestand bei einer Produktivität von 10 t Trockenmasse  $\cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  (DE ANGELIS et al., 1981) nur relativ geringe Nährstoff-Mengen aufgenommen, was in erster Linie eine Folge der andersartigen Struktur dieser Biomasse ist. Der Buchenbestand im Solling nimmt nach ULRICH und MAYER (1973) jährlich 72 kg N, 46 kg K, 33 kg Ca, 5 kg P und 2 kg Mg auf, um nur einige wichtige Nährstoffe zu nennen, wobei der Nettoumsatz der Bioelemente noch unter diesen Werten liegt. Geht man davon aus, daß die Biomasseproduktion des Baumbestandes auf dem Moderhumus-Standort "Solling" und im "Göttinger Wald" gleich ist, so darf man ähnliche Nährstoffansprüche erwarten.

Jahresgänge der Mineral-Stickstoffnachlieferung von Hangbuchenwäldern auf Kalkgestein im Raum Göttingen wurden von GRIMME (1977) aufgenommen. Danach ist im Perlgrasbuchenwald (Melico-Fagetum) je nach Witterungsverlauf mit Summen von 100 - 200 kg  $\text{N}_{\text{min}}/\text{ha}$  während der Vegetationsperiode zu rechnen. Diese recht hohe Mineralisationsleistung wird durch die Untersuchungen von REICHARDT (1982) bestätigt, die im Untersuchungsgebiet während der Vegetationsperiode 1981 eine Stickstoff-Nettomineralisationsrate von 160 kg/ha fand. Somit darf man eine gute Versorgung des Buchenbestandes im "Göttinger Wald" mit dem Pflanzennährstoff N erwarten.

Wegen der relativ hohen Glimmeranteile, die im Ton des Lösungsrückstandes der Kalksteine 15-30 % betragen (THÖLE und MEYER, 1979) sind die kalksteinbürtigen Böden des "Göttinger Waldes" als K-reich anzusehen. Die oben genannten Autoren geben für den unteren Teil des Profils von Böden auf mu 10-13 mg  $\text{K}_2\text{O}_{\text{DL}}$  an bei einem Austausch-Ca/K-Quotienten von 34-51.

Die Gesamt-P-Gehalte der kalkhaltigen Feinerde im Bereich des Gesteins-Kontaktes liegen nach THÖLE und MEYER (1979) zwischen 36 und 46 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g Bodenmaterial. Die mit Ca-Laktat-Lösung extrahierbaren P-Mengen

als Maß für die Pflanzenverfügbarkeit des Boden-Phosphors sind verschwindend gering. Dennoch gibt es Hinweise auf eine völlig ausreichende P-Versorgung der Bäume, wobei zunächst die geringe P-Retention des Baumbestandes angeführt werden soll. Nach OVERTON (1964) werden von Birken- und Eichenbeständen nur etwa 60 % des aufgenommenen P im Zuwachs gespeichert. 40 % gelangen wieder mit dem Streufall auf den Boden und stehen nach der Mineralisation der organischen Substanz der Pflanze erneut zur Verfügung. Geht man weiter davon aus, daß im 10 cm mächtigen Ah-Horizont einer Mull-Rendzina ein  $P_t$ -Gehalt von etwa 560 kg/ha vorliegt (siehe Tab. 3a) und als mittlerer Wert 40 % dieser P-Menge in organischer Bindung vorliegen (SCHACHTSCHABEL et al., 1976), so ergibt sich eine  $P_{org}$ -Menge von 224 kg. Würden nur 100 kg N während der Vegetationsperiode aus dem Gesamt-N-Vorrat der Mull-Rendzina freigesetzt, so entspräche dies einer Mineralisationsrate von 2.4 %. Bezogen auf den Pflanzennährstoff P resultierte bei gleicher Mineralisationsrate eine Menge von 5.4 kg/ha, die den Nährstoffanspruch der Buche gerade decken könnte. Die P-Mobilisierung durch die Rhizosphärenflora einschließlich der Mykorrhizen ist dabei noch nicht berücksichtigt.

Auch die Lößbeimischung dürfte sich über die Erhöhung des Feldspatanteils im glimmer-reichen Lösungsrückstand (s. THÖLE und MEYER, 1979) günstig auf den Nährstoffhaushalt des Standortes auswirken.

Insgesamt darf man den Standort als "mäßig nährstoffreich" bezeichnen (ELLENBERG, 1963).

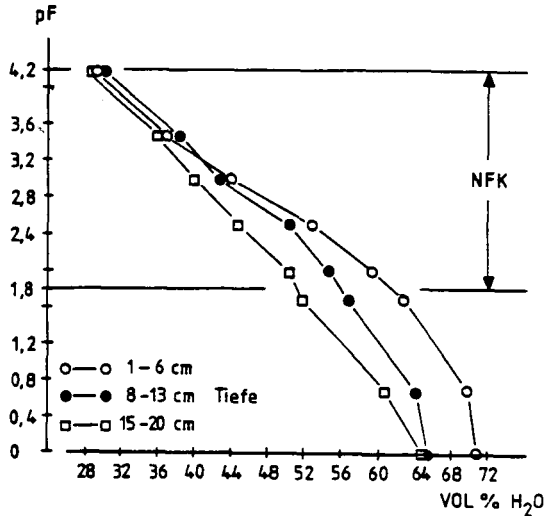
Die Wasserversorgung der Pflanze wird durch die Höhe der Niederschläge und deren jahreszeitliche Verteilung sowie die Fähigkeit des Bodens, pflanzenverfügbares Wasser zu speichern, bestimmt.

In Abb. 4 ist die Wassergehalts-Saugspannungscharakteristik einer Terra fusca-Rendzina des Untersuchungsgebietes dargestellt.

Aus Abb. 4 wird ersichtlich, daß das Solum der von BENECKE (1982) untersuchten Terra fusca-Rendzina mit nahezu 70 Vol.% ein sehr hohes Gesamtporenvolumen aufweist. Die aus der kapillaren Sättigung abgeleitete nutzbare Feldkapazität des Bodens ( $pF$  1.8 - 4.2; SEVERIN, 1982) liegt je nach Bodentiefe zwischen 34 und 24 Vol.%. Diese für tonreiche Böden hohen Werte (vgl. KUNTZE et al., 1981) werden durch die hohen Humusgehalte verursacht. Aufgrund der geringen Mächtigkeit der Bodendecke des Stand-

ortes errechnet sich jedoch nur eine verfügbare Wasserkapazität von etwa 46 mm, wenn man eine Durchwurzelungstiefe von 20 cm zugrunde legt. Auch THÖLE und MEYER (1979) kommen zu dem Ergebnis, daß die flachgründigen Böden auf dem unteren Muschelkalk nur eine schlechte bis mittlere Wasserversorgung der Pflanze gewährleisten. Somit sind diese Standorte auf eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung über die Vegetationsperiode angewiesen, wenn nicht in den klüftigen Kalkstein hinunterreichende Baumwurzeln einen Teil des absickernden Wassers auffangen.

Abb. 4:  
Wassergehalts-  
saugspannungscha-  
rakteristik einer  
Terra fusca-Rendzina  
des "Göttinger  
Waldes"  
(n. BENNECKE, 1982)



## 5. Vegetation

Die vegetationskundliche Aufnahme des Untersuchungsgebietes wurde von DIERSCHKE und SONG (1982) durchgeführt. Die genaue pflanzensoziologische Untersuchung ergab ein kompliziertes Feinmosaik verschiedener Vegetationsausbildungen. Die oben genannten Autoren sehen dies jedoch für Kalkbuchenwälder in vergleichbarer Plateaulage eher als die Regel denn als Besonderheit an.

In der Baumschicht des etwa 100 - 115 Jahre alten und ca. 30 m hohen Buchenwaldes dominiert die Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Sie verleiht dem Baumbestand den Charakter eines Buchen-Hochwaldes mit einem, von kleinen Lücken abgesehen, dichten Kronendach. Vereinzelt sind Edellaubholzarten wie Esche (*Fraxinus excelsior*) und Spitzahorn (*Acer platanoides*) einge-

streut. In der oberen Baumschicht ist noch der Bergahorn (*Acer pseudo-platanus*), die Stieleiche (*Quercus robur*), die Traubeneiche (*Quercus petraea*) und die Ulme (*Ulmus glabra*) anzutreffen. Außer der Rotbuche erreicht jedoch keine der genannten Baumarten eine bestandesbildende Bedeutung. Am Boden liegende Holzreste in den letzten Jahren abgestorbener kleiner Bäume sehen DIERSCHKE und SONG (1982) als charakteristisch für die Terminalphase eines dichten Buchenwaldes an.

Die stark beschattenden Baumkronen lassen den oben genannten Autoren zu Folge eine Strauchschicht nicht aufkommen.

Eine besonders im Frühjahr dichte, oft artenreiche Krautschicht ist für das gesamte Untersuchungsgebiet charakteristisch. Die floristische Grundstruktur der Krautschicht setzt sich zusammen aus:

#### Frühlingsgeophyten

*Allium ursinum*, *Anemone nemorosa*, *A. ranunculoides*, *Arum maculatum*, *Ranunculus auricomus*

#### halbsommergrünen Geophyten

*Dentaria bulbifera*, *Lilium martagon*, *Phyteuma spicatum*, *Polygonatum multiflorum*, *P. verticillatum*

und

#### sommer- bzw. überwinternd Grünen

*Asarum europaeum*, *Dryopteris filix-mas*, *Galium odoratum*, *Horde-lymus europaeus*, *Lamiastrum galeobdolon*, *Lathyrus vernus*, *Mercurialis perennis*, *Oxalis acetosella*, *Primula elatior*.

Je nach Dominanz einzelner Arten werden 4 Haupteinheiten unterschieden: die *ALLIUM URSINUM*-Ausbildung (nimmt in reiner Form nur vereinzelt größere Flächen ein), die *MERCURIALIS PERENNIS*-Ausbildung (nimmt große Flächenanteile ein, wechselnder Artenanteil und Deckungsgrad), die *ANEMONE NEMOROSA*-Ausbildung (bevorzugt wie *Galium odoratum* tiefergründige Mulden oder Hangfüße), die *ACONITUM VULPARIA*-Ausbildung (dichte, scharf begrenzte Flecken).

Die syntaxonomische Einordnung des subozeanisch-submontanen, frischen Kalkbuchenwaldes führt zur Bezeichnung als *MELICO-FAGETUM HORDELYMETOSUM* (DIERSCHKE und SONG, 1982). Nach ELLENBERG (1963) darf man diese Pflanzengesellschaft als natürliches Endstadium der Vegetationsentwicklung auf

dem Muschelkalkplateau des Göttinger Waldes ansehen und, da sie die potentielle natürliche Vegetation des Standortes darstellt, unter der heutigen forstwirtschaftlichen Nutzung zumindest mit dem Attribut "naturnah" versehen.

### Literatur

- ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG, 1980: Forstliche Standortsaufnahme. 4. Aufl., Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup
- BENECKE, P., 1982: Wasserhaushalt von Wäldern auf flachgründigen Standorten (Kalkbuchenwälder). In: ARBEITSBERICHTE (1981/82) aus dem Sonderforschungsbereich 135 - Ökosysteme auf Kalkgestein - an der Georg-August-Univ. Göttingen, 221-257. Materialien aus dem SFB 135, Nr. 28
- BENECKE, P. und H. GEHRKE, 1984: schriftl. Mitteilung. Inst. f. Bodenkunde und Waldernährung d. Univ. Göttingen
- DAMMANN, W., 1969: Physiologische Klimakarte Niedersachsens. Neues Archiv f. Niedersachsen 18, 287-298
- DE ANGELIS, D.L., R.H. GARDNER and H.H. SHUGART, 1981: Productivity of forest ecosystems studied during the IBP: the woodlands data set. In: REICHLER, D.E. (ed.): Dynamic properties of forest ecosystems. IBP 23, 567-672, Cambridge University Press
- DEPPE, A. und H. TROE, 1956: Der Göttinger Wald und seine Umgebung. Heinz Reise-Verlag, Göttingen
- DIERSCHKE, H. und Y. SONG, 1982: Die Vegetation der Untersuchungsfläche des SFB 135 und ihrer Umgebung im Göttinger Wald, Kurzmitteilungen aus dem Sonderforschungsbereich 135 - Ökosysteme auf Kalkgestein - 1, 3-8
- DUCHAUFOR, Ph., 1976: Atals Ecologique des Sols du Monde. Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan
- ELLENBERG, H., 1963: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In: WALTER, H.: Einführung in die Phytologie IV/2, Eugen Ulmer Verlag Stuttgart
- GRIMME, K., 1977: Wasser und Nährstoffversorgung von Hangbuchenwäldern auf Kalk in der weiteren Umgebung Göttingens. Scripta Geobotanica 12
- HÖVERMANN, J., 1953: Die Oberflächenformen um Göttingen. Göttinger Jb. 1953, 63-74
- JÖRGENSEN, R., 1981: Charakterisierung der organischen Substanz in Böden der bodengenethischen Morphosequenz auf Kalkgestein des Göttinger Waldes durch Kennzeichnung organischer Stoffgruppen mit Schwerpunkt auf der Analytik N-haltiger Verbindungen. Diplomarbeit, Inst. f. Bodenwissenschaften d. Georg-August-Univ. Göttingen
- KUNTZE, H., J. NIEMANN, G. ROESCHMANN und G. SCHWERTFEGGER, 1981: Bodenkunde. 2. Aufl., Eugen-Ulmer-Verlag, Stuttgart



- LAVAHUN, C., 1981: Unterer Muschelkalk und Oberer Buntsandstein am Ost-  
rand des Göttinger Waldes zwischen Herberhausen und Mackenrode (TK  
4426 Ebergötzen). Diplomarbeit, Geolog.-Paläontolog. Inst. d. Georg-  
August-Univ. Göttingen
- OVINGTON, J.D., 1964: Organic production, turnover and mineral cycling  
in woodlands. Biol. Rev. 40, 295-336
- PLUQUET, E., 1977: Berechnung der potentiellen Evapotranspiration in  
Göttingen. Diplomarbeit, Inst. f. Bodenwissenschaften d. Georg-August-  
Univ. Göttingen
- REICHARDT, C., 1982: Stickstoff-Nettomineralisation im Boden eines Kalk-  
buchwaldes. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 34, 33-38
- SCHACHTSCHABEL, P., H.P. BLUME, K.H. HARTGE und U. SCHWERDTMANN, 1976:  
Scheffer/Schachtschabel - Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Aufl., Ferdin-  
and Enke Verlag, Stuttgart
- SCHAUERMANN, J., R. HARTMANN, I. HARTWIG, K. HOEVE MEYER und E. JORDAN,  
1984: schriftl. Mitteilung. II Zoolog. Inst. - Abteilung Ökologie -  
der Georg-August-Univ. Göttingen
- SEVERIN, K., 1982: Wasserhaushalt von Löß und Sand in Grundwasserlysi-  
metern. Dissertation, Inst. f. Bodenwissenschaften der Georg-August-  
Univ. Göttingen
- THÖLE, R. und B. MEYER, 1979: Bodengenetische und ökologische Analysen  
eines Repräsentativ-Areals der Göttinger Muschelkalk-Scholle als  
landschaftsökologische Planungsgrundlage. Göttinger Bodenkundl. Ber.  
59, 1-230
- ULRICH, B. und R. MAYER, 1973: Systemanalyse des Bioelementhaushalts  
von Wald-Ökosystemen. In: ELLENBERG, H. (Hsgbr.): Ökosystemforschung.  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- ULRICH, B., R. MAYER, F. BEESE und K.J. MEIWEs, 1982: Stoff-Flüsse und  
Haushalt. In: ARBEITSBERICHTE (1981/82) aus dem Sonderforschungsbe-  
reich 135 - Ökosysteme auf Kalkgestein - an der Georg-August-Univ.  
Göttingen, 299-327. Materialien aus dem SFB 135, 30
- VAN EIMERN, J. und O. EHRHARDT, 1984: schriftl. Mitteilung. Inst. f.  
Bioklimatologie der Georg-August-Univ. Göttingen
- WALTER, H., 1955: Klimadiagramme als Mittel zur Beurteilung der Klima-  
verhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaft-  
liche Zwecke. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 68, 331-344

## A. Allgemeine Standortsbeschreibung

H. Gerke und K.-J. Meiwes

### Geographische Lage

Die Versuchsfläche befindet sich auf dem Muschelkalkplateau des "Göttinger Waldes", etwa 7 km östlich der Stadt Göttingen, oberhalb der Ortschaft Mackenrode (topographische Karte, 1 : 25000, Blatt 45-26 Klein Lengden, R : 357270, H : 571098). Sie liegt im Mittel in einer Höhe von 400 m über NN. Die hydrologischen und bodenchemischen Versuchseinrichtungen befinden sich auf einer 420 m über NN. gelegenen Teilfläche.

### Klima

Das Großklima des Gebiets des Göttinger Waldes ist nach THÖLE und MEYER (1979) als subatlantisch mit einem geringen subkontinentalen Einfluß zu bezeichnen. An der Wetterstation in Göttingen, die etwa 150 m niedriger als die Versuchsfläche liegt, wurden im langjährigen Mittel 613 mm Niederschlag und 8,6 °C als Jahresdurchschnittstemperatur gemessen.

Die seit 1981 auf der Versuchsfläche durchgeführten meteorologischen Messungen ergaben eine im Mittel der Jahre 1981-83 etwa 15 % höhere Jahresniederschlagsmenge (vgl. Kap. Hydrologie). Die Jahresdurchschnittstemperatur lag in den Jahren 1982 und 1983 um 1,7 °C unter der Göttingens (ANDRES, 1984). Dies unterstreicht die Beurteilung DAMMANN's (1969, zit. in ANDRES, 1984), nach der das Muschelkalkplateau des "Göttinger Waldes" der submontanen Stufe des Mittelgebirgsklimas zuzuordnen ist.

### Geologie

Die Muschelkalkscholle des "Göttinger Waldes" befindet sich auf dem Westrand der Untereichsfeld-Bundsandsteinscholle, die nach Westen begrenzt wird durch den Leinetalgraben, einem Bestandteil der Mittelmeer-Mjöser-Störungszone (STILLE, 1932, zit. in KUES, 1984).

Im Norden, Osten und Südosten bildet der Steilabhang der Schichtstufe zu dem hier das Muschelkalkgebiet umgebenden Röttal (oberer Buntsandstein, 's') eine markante Begrenzung. Der südwestliche Teil ist stärker gestört. Die Muschelkalkscholle fällt insgesamt nach Westen ein, so daß in ost-westlicher Richtung nacheinander die Schichten des unteren, mittleren und oberen Muschelkalkes ausstreichen.

Der gesamte bewaldete Ostteil wird von den Schichten des unteren Muschelkalkes gebildet und ist durch keine größeren Verwerfungen gestört (NAGEL u. WUNDERLICH, 1969; THÖLE u. MEYER, 1979).

Der geologische Untergrund der Versuchsfläche selbst wird nach LAVAHUN (1981) vom Wellenkalk 2 des unteren Muschelkalkes (muw2) gebildet. Östlich der Versuchsfläche an der Muschelkalk-Röt-Schichtstufe streichen die Schichten der Oolithbank aus. Die untere Oolithbank tritt als Kantenbildner hervor, während die mergeligen und Gelbkalkzwise-mittel am flachen Hang ausstreichen. Die obere Oolithbank ist im Gelände nicht auszumachen. Die Terebratelbänke streichen südlich und südwestlich außerhalb der Versuchsfläche aus und bilden dort ein nach Nord bis Nordwest geneigtes größeres Plateau. Die Kalksteinschichten fallen mit ca. 4° nach Westen ein (LAVAHUN, 1981).

Aufgrund des Höhenunterschiedes zur Oolithbank (ca. 10 m) und des Schichtfalles kann angenommen werden, daß die Versuchsfläche im mittleren bis oberen Teil des muw2 liegt. Die Liegend-Grenze zum Röt würde demnach in 50 bis 60 m Tiefe anstehen.

Der Wellenkalk (muw2) besteht aus einer Folge von dünnplattigen, wellig-schichtigen, mergelhaltigen Kalksteinen, dem "typischen" Wellenkalk, in die einige dickbankige Kalksteinschichten eingeschaltet sind (STEIN, 1968; FRANKE et al., 1977). Die Kalksteine der harten Bänke haben einen CaCO<sub>3</sub>-Gehalt von über 90 %.

Die Kalksteine des typischen Wellenkalkes kommen in Serien von 0,3 - 3 cm dicken Schichten vor. Die einzelnen Schichten sind durch Tonmergellagen (25-35 % CaCO<sub>3</sub>), Tonhäuten oder durch Nähte getrennt. Die CaCO<sub>3</sub>-Gehalte dieser Kalksteine - ohne Tonmergellagen bzw. -häute - liegen zwischen 84 und 94 % (SCHÜLLER, 1967). PAUL und FRANKE (1977) geben für den "typischen" Wellenkalk CaCO<sub>3</sub>-Gehalte von 70-90 % an. Die Kalksteine des "typischen" Wellenkalkes enthalten keinen Dolomit. Die von SCHÜLLER (1967) untersuchten Proben enthielten maximal 2,3 % MgCO<sub>3</sub>; nach seinen Angaben ist dieses Mg isomorph im Calcit enthalten.

Das "typische" Wellenkalkmaterial ist von größeren und einer Vielzahl kleinerer und feinsten Risse durchzogen, so daß es beim Herausnehmen in kleine, etwa haselnußgroße Stücke zerfällt.

#### Vegetation

Nach einer vegetationskundlichen Aufnahme befindet sich auf der Versuchsfläche ein subozeanisch-submontaner, frischer Kalkbuchenwald mit der syntaxonomischen Bezeichnung Melico-fagetum-hordelymetosum (DIERSCHKE und SONG, 1982). Nach ELLENBERG (1982) kann diese Pflanzengesellschaft als die natürliche potentielle Vegetation des Standorts angesehen werden.

#### Literaturverzeichnis

- ANDRES, E., 1984: Kohlenstoff-Umsatz und -Bilanz des Bodens eines Buchenwald-Ökosystems auf Kalkgestein. Göttinger Bodenkundl. Ber. 80, 1-174.
- DAMMANN, W., 1969: Physiologische Klimakarte Niedersachsens. Neues Archiv f. Niedersachsen 18, 287-298.
- DIERSCHKE, H. und SONG, Y., 1982: Die Vegetation der Untersuchungsfläche des SFB 135 und ihrer Umgebung im Göttinger Wald. Kurzmitteilungen aus dem Sonderforschungsbereich 135 - Ökosysteme auf Kalkgestein. 1, 3-8, Göttingen.

- ELLENBERG, H., 1982: Vegetation in Mitteleuropa mit den Alpen. 3. Aufl. Stuttgart (Ulmer).
- FRANKE, W.; PAUL, J. und SCHRÖDER, H.G., 1977: Stratigraphie, Fazies und Tektonik im Gebiet des Leinetalgrabens (Trias, Tertiär). Exkursionsführer Geotagung '77, II, Exk. I: 41-62.
- KUES, J., 1984: Untersuchungen zum Stoffeintrag in den Göttinger Wald. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben Göttingen, Bd. 6.
- LAVAHUN, C., 1981: Unterer Muschelkalk und oberer Buntsandstein am Ostrand des Göttinger Waldes zwischen Herberhausen und Mackenrode (TK 4426 Ebergötzen). Diplomarbeit. Geol. Paläontol. Institut. Univ. Göttingen.
- NAGEL, U. und H.-G. WUNDERLICH, 1969: Geologisches Blockbild der Umgebung von Göttingen. Veröff. Nds. Inst. f. Landeskd. u. Landesw. Univ. Göttingen, 48 S., Göttingen.
- PAUL, J. und FRANKE, W., 1977: Sedimentologie einer Transgression: Die Röt/Muschelkalk-Grenze bei Göttingen. N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 3, 148-177.
- SCHÜLLER, M., 1967: Petrographie und Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalkes in Südniedersachsen und Nordhessen. Sediment. Geol. 1, 353-401.
- STEIN, V., 1968: Stratigraphische Untersuchungen im unteren Muschelkalk Südniedersachsens. Z. deutsch. geol. Ges., Bd. 117, 819-828.
- STILLE, H., 1932: Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern. Erläuterungen zu Blatt Göttingen Nr. 2520, 3. Auflage.
- THÖLE, R. und B. MEYER, 1979: Bodengenetische und -ökologische Analyse eines Repräsentativ-Areals der Göttinger Muschelkalk-Scholle als landschaftsökologische Planungsgrundlage. Göttinger Bodenkundl. Ber. 59, 1-230.

B. Bodenformen und chemischer Bodenzustand auf  
Unterm Muschelkalk im Göttinger Wald

Meiwes, K.J.

1. Methoden

**Kartierung**

Ziel der Kartierung war es, die kleinräumliche Verteilung der Bodentypen zu erfassen, wobei neben bodengenetischen Gesichtspunkten vor allem standörtliche Aspekte berücksichtigt werden sollten. Vor diesem Hintergrund war die Auswahl einer geeigneten Nomenklatur zu treffen. Für den vorliegenden Zweck erschien die rein bodengenetisch orientierte Bodentypisierung von SCHEFFER et al. (1960) nicht geeignet. Die Nomenklatur der Kartieranleitung (1982) sowie der Forstlichen Standortskartierung kam den Anforderungen näher, jedoch war die Beschreibung der Übergangstypen nicht genügend ausdifferenziert. Aus diesem Grund wurden für die vorliegende Kartierung die Bodentypen wie folgt definiert:

- Rendzina: A-C - Profil, Mächtigkeit < 30 cm  
Tonanteil im Feinboden > 35 %
- Terra fusca - Rendzina:  
A-Bv -(IIBv)-C - Profil  
Mächtigkeit des A + Bv < 30 cm  
Tonanteil am Feinboden > 35 %
- Braunerde-Rendzina:  
A-Bv-C - Profil < 30 cm  
Tonanteil des Feinbodens des Bv > 35 %
- Terra fusca - Braunerde:  
A-Bv-C - Profil  
Mächtigkeit des A + Bv > 30 cm  
Tonanteil im Oberboden (von 0 bis > 30 cm)  
unter 35 % (wegen Lößbeimischung), darunter  
Bv oder IIBv mit Tonanteil > 35 %

- Braunerde-Terra fusca:

A-Bv-C - Profil

Mächtigkeit des A + Bv  $>$  30 cm

Tonanteil im Oberboden (von 0 bis  $<$  30 cm)

unter 35 % (wegen Lößbeimischung), darunter

Bv oder IIBv mit Tonanteil  $\geq$  35 %

- Parabraunerde bzw. Terra fusca-Parabraunerde

Ah-Al-Bt-C - Profil (bzw. -IIBv-C)

im Oberboden Lößbeimischung (bis  $>$  30 cm)

- Terra fusca:

A-Bv-C - Profil

Mächtigkeit des A + Bv  $>$  30 cm

Tonanteil des Feinbodens  $>$  35 %

Die Kartierung wurde im 10 x 10 m Raster mit dem Pürkhauer-Bohrer durchgeführt.

Entnahme von Bodenproben

Bei der Entnahme der Bodenproben für die chemische Analyse wurde nach Bodentypen stratifiziert. Die Probenahmepunkte wurden nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. An jedem Punkt wurden drei Bodensäulen im Abstand von 1 m entnommen; dies erfolgte mit einem Bohrzylinder ( $\emptyset$  15 cm), der eine volumengerechte Entnahme ermöglichte. Die Proben wurden in festen Tiefenintervallen (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm ...) entnommen. Nach unten wurde die Probenahme von der anstehenden Frostschuttdecke bzw. teilweise von starken Einmischungen von Steinen im Übergangsbereich Solum-Frostschuttdecke begrenzt. In der zusammenfassenden Darstellung der Ergebnisse werden nur die Proben berücksichtigt, die jeweils über ein volles Tiefenintervall entnommen wurden. Die Entnahme von Proben der Streuauflage erfolgte mit einem Stechrahmen; die Entnahmefläche pro Probe betrug 1321 cm<sup>2</sup>. Bei der Probenahme wurde nach Bodentypen stratifiziert, wobei die Anzahl Proben je Bodentyp nach deren Häufigkeitsverteilung aus-

gerichtet wurde. Die Probenahmepunkte wurden nach dem Zufallsprinzip mit Hilfe von Zufallszahlen ausgewählt; sie wurden an das 10 x 10 m Raster, in dem die Versuchsfläche verpflockt und kartiert worden war, angehängt. An jedem Probenahmepunkt wurden im Abstand von je 1 m drei Bohrprofile entnommen. Für die Probenahme standen etwa 1.5 ha im Südwesten der Versuchsfläche sowie ein 10 m breiter Streifen außerhalb der Fläche umgebenden Zaunes zur Verfügung. Für die Ermittlung der Elementvorräte in der Frostschuttdecke bis in 1 m Tiefe wurden zwei Monolithen (40 cm Seitenlänge) südlich des meteorologischen Turms entnommen.

#### Chemische Untersuchungsverfahren

An den Bodenproben wurde die Gleichgewichtsbodenlösung als wässriger Sättigungsextrakt gewonnen und untersucht; die austauschbaren Kationen wurden im 1 N  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -Perkolat bestimmt, die Bestimmung der Gesamt-Austauschkapazität erfolgte nach Mehlich; der pH-Wert wurde in 0.01 M  $\text{CaCl}_2$ -Lösung gemessen. Die angewandten Modifikationen dieser Methoden sind bei MEIWES et al. (1984) beschrieben. Der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt wurde nach Scheibler bestimmt, Gehalt an organischem C und an N mittels Elementaranalyse und der P-Gehalt im Kjeldahlaufschluß (FASSBENDER 1973). Von den Proben der Streuauflage wurde das Blattmaterial mittels trockener Veraschung aufgeschlossen und auf Gehalte an Na, K, Ca, Mg, Mn, Al und P analysiert; die Bestimmung der N-Gehalte erfolgte mittels Elementaranalyse.

#### 2. Bodenkarte

In Abb. 1 stellt jeweils ein Quadrat nicht ein Pedon, sondern nur den Bodentyp des Bohrprofils in der Mitte des Quadrats dar. Aneinandergrenzende Quadrate gleichen Bodentyps wurden verbunden. Von einer weiteren Zusammenfassung von Bohrpunkten zu Kartiereinheiten wurde abgesehen, weil sowohl bei der Kar-



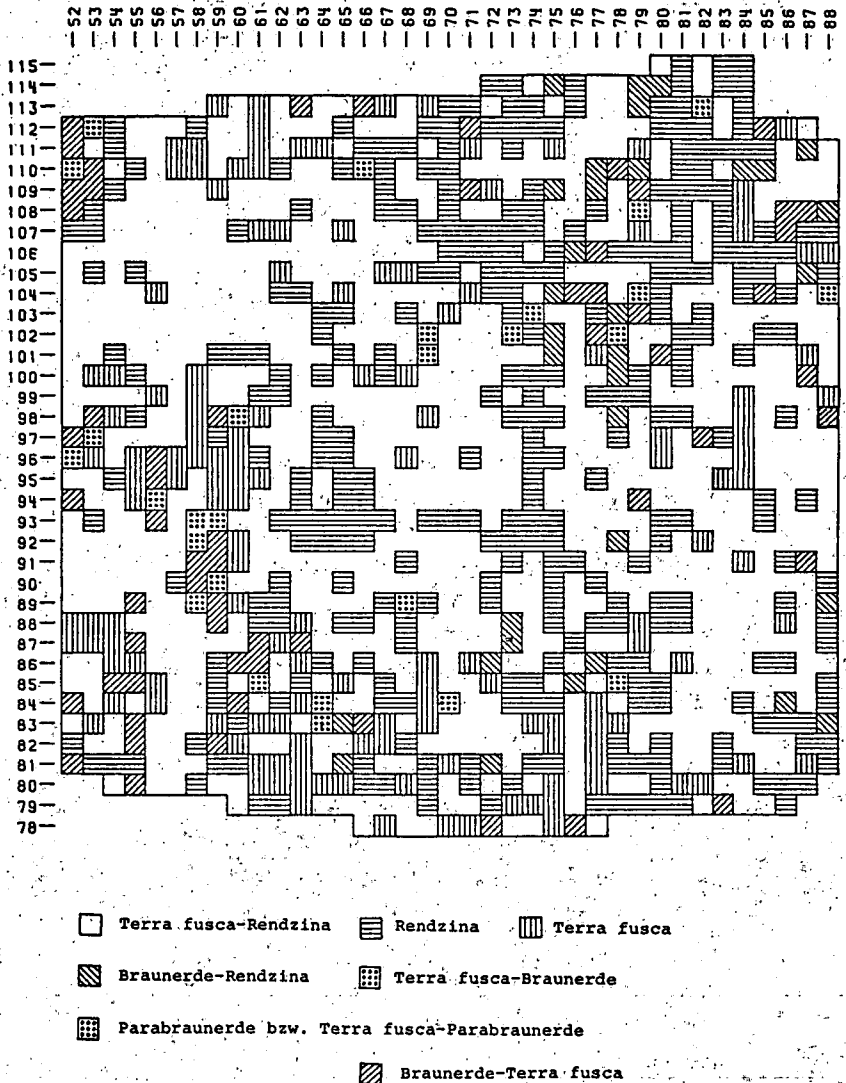


Abb. 1 : Bodenkarte 1:1000 einer Bodengesellschaft auf Unterem Muschelkalk

tierung wie auch bei späteren Arbeiten auf der Versuchsfläche beobachtet wurde, daß der Wechsel von Bodentyp zu Bodentyp sehr unregelmäßig und häufig kleinräumlich, auf Entfernungen von weniger als 10 m, erfolgt. Im Extremfall trat auf einer Strecke von 1 m ein Wechsel von einer Rendzina zu einer Terra fusca auf. Das Ordnungsprinzip der räumlichen Verteilung der Bodentypen dürfte in den stofflichen Eigenschaften und den Oberflächenformen der Frostschuttdecke sowie des darunter liegenden Gesteins zu suchen sein. Dort, wo die Frostschuttdecke höhere Gehalte an Tonmergeln enthält, dürften vorzugsweise Terra fuscen zu erwarten sein, während dort, wo die Frostschuttdecke aus dem Material härterer Kalksteinbänke besteht, eher Rendzinen zu finden sein dürften. Die vereinzelt auftretenden bis zu 80 cm mächtigen Lössanwehungen dürften vorzugsweise in Rinnen der Frostschuttdecke oder in Dolinen vorkommen.

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilungen der Bodentypen, so stellt die Terra fusca - Rendzina mit einem Flächenanteil von 50 % den wichtigsten Bodentyp dar, gefolgt von der Rendzina mit 26 % und der Terra fusca mit 14 %. Die Bodentypen mit Lössbeimengungen in den oberen 30 cm, die den Tongehalt der Böden auf unter 35 % herabsetzen, haben einen Anteil von 8 %, die mit solchen Lössbeimengungen in größerer Tiefe als 30 cm haben einen Anteil von 2 %. Eine Differenzierung innerhalb der Fläche läßt sich finden, wenn man diese in eine östliche und eine westliche teilt. So sind in der östlichen Hälfte die flachgründigen Bodentypen stärker vertreten (Rendzina 30 %, Terra fusca 7-8 %) als in der westlichen Hälfte (Rendzina 20 %, Terra fusca 20 %). Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß der westliche Teil der Fläche leicht nach Westen zu den Tälern abfällt und daß deshalb hier die Frostschuttdecke möglicherweise mächtiger ist als im höheren östlichen Teil der Fläche, der sich in typischer Plateaulage befindet und im Pleistozän kein Sedimentationsgebiet für Frostschutt-Fließerde gewesen sein dürfte. Eine detailliertere räumliche Zuordnung der Bodentypen zur Reliefausprägung und zum Verlauf der Höhenschichtlinien war nicht möglich. Ein Vergleich mit der Vegetationskarte oder Krautschicht ergibt keine Hinweise auf das großräumliche Verteilungsmuster der Bodentypen.

### 3. Chemischer Bodenzustand

Der chemische Bodenzustand der hier untersuchten Böden auf Muschelkalk wird im wesentlichen vom Vorhandensein von  $\text{CaCO}_3$  bestimmt. Dieses liegt in Form von Kalksteinen vor, die sehr unregelmäßig verteilt im Boden vorkommen und unterschiedliche Größen haben. Dort, wo dieser in Bänken ansteht, sind diese relativ groß ( $\emptyset > 2-5 \text{ cm}$ ), während an den Stellen, an denen das Gestein als typischer Wellenkalk ansteht, die Kalksteine relativ klein ( $\emptyset < 2-5 \text{ cm}$ ) sind und deshalb hier gleichmäßiger in der Bodenmatrix verteilt sind. In der Fraktion der Feinerde liegt der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt in vielen Fällen unter der Nachweisgrenze.

Entsprechend der unterschiedlichen Gründigkeit der einzelnen Bodentypen finden sich bei den flachgründigen, wenig lößbeeinflussten Bodentypen in vergleichbarer Tiefe die höchsten Gehalte an Steinen und an  $\text{CaCO}_3$  in der Fraktion des Feinbodens. In diesen Merkmalen hebt sich die Rendzina von allen anderen Bodentypen ab. Es wurden bei der Rendzina keine Proben gefunden, in denen sich keine Steine ( $< 1 \text{ g/l}$ ) befanden; das bedeutet, daß in jedem Bodenvolumen entsprechend der Größe der Probevolumina (884 ml oder 1768 ml) Kalksteine enthalten sind, die in kleinsträumlichem Maßstab (cm-Bereich) eine fortschreitende Bodenversauerung im Sinne einer pH-Absenkung verhindern. Hierbei dürfte den Bodenwühlern eine besondere Bedeutung zukommen. Bei den anderen Bodentypen gibt es vielfach Proben, die weder Kalksteine noch  $\text{CaCO}_3$  in der Feinerdefraktion enthalten, so daß bei diesen größere Bodenvolumina als carbonatfrei angesehen werden können.

Der Verteilung von Steinen und  $\text{CaCO}_3$  in der Feinbodenfraktion entsprechend liegen die pH-Werte (Abb. 3). Sie sind bei der Rendzina am höchsten, bei der stark lößbeeinflussten Terra fusca-Braunerde am niedrigsten, hier reichen sie bis in den Austauscher-Pufferbereich hinein.

Hinsichtlich der Gehalte an organischem C, an N und an P hebt sich die Rendzina deutlich von den anderen Bodentypen ab (Abb. 4). Innerhalb der Entwicklungsreihe der wenig lößbeeinflussten Böden von der Rendzina über die Terra fusca-Rendzina

zur Terra fusca nimmt die Terra fusca-Rendzina als Übergangsbodentyp eine Zwischenstellung ein. Die von THÖLE und MEYER (1979) untersuchten Profile unter Wald der entsprechenden Bodentypen haben insgesamt geringere Gehalte an C und N; dabei sind die Gehalte bei der Rendzina nicht um einen so großen Betrag höher als bei der Terra fusca-Rendzina und der Parabraunerde-Terra fusca. Da auf der hier untersuchten Versuchsfäche der Eintrag von organischer Substanz auf den Boden bei allen Bodentypen in dem geschlossenen Altbestand gleich ist, - dies kann wegen des sehr kleinräumlichen Wechsels der Bodentypen angenommen werden - müssen in der Rendzina chemische und biologische Bedingungen für die Bildung und den Abbau von Huminstoffen herrschen, die zu höheren Gehalten der organischen Substanz im Boden führen. Ob qualitative Unterschiede in der organischen Substanz des Bodens zwischen den verschiedenen Bodentypen bestehen, geht aus dem vorliegenden Datenmaterial nicht hervor; anhand der C:N und C:P - Verhältnisse lassen sich keine Unterschiede zwischen den Bodentypen erkennen (Abb. 5).

Ordnet man die Bodentypen nach der Größe der Austauschkapazität (siehe Tabellen 1 - 4), so ergibt sich eine ähnliche Reihenfolge. Die Austauschkapazität ist bei der Rendzina am höchsten und nimmt zur Terra fusca und ihren Übergangstypen zur Braunerde hin ab. Diese Reihenfolge wird auch von den Gehalten an austauschbarem Ca verdeutlicht (Abb. 6), da es mit etwa 70-95 % Äquivalentanteil an der Austauschkapazität das quantitativ wichtigste austauschbare Kation ist. Die Gehalte an austauschbarem K und Mg verhalten sich hinsichtlich ihrer Höhe bei den einzelnen Bodentypen ähnlich wie das Ca. Von den Übergangstypen zur Braunerde finden sich bei der Braunerde-Rendzina die höchsten Gehalte. Die Gründe für die relativ hohen Werte der effektiven Austauschkapazität sowie der verhältnismäßig hohen Gehalte an basischen austauschbaren Kationen bei der Rendzina im Vergleich zu den anderen Bodentypen sind die höheren Humusgehalte der Rendzina sowie die bei den anderen Bodentypen beginnende Blockierung von Austauscherplätzen durch

die Einlagerung polymerer Al-hydroxo-Komplexe im Zwischen-schichttraum der Tonminerale, was in einem  $AK_e/AK_t$ -Verhältnis von 0.6 bei der Terra fusca deutlich zum Ausdruck kommt.

Innerhalb der im Boden vorhandenen H-Ionen puffernden Substanzen wird den Manganoxiden im ökologischen Sinn kein eigener Pufferbereich zugeordnet, weil ihr chemischer Stabilitätsbereich und somit auch ihre Pufferkapazität sehr klein ist (ULRICH 1981). Das bedeutet, daß ein Boden im Zuge seiner Versauerung relativ schnell die Phase der Auflösung von Manganoxiden durchläuft. Dies läßt sich deutlich an den Werten des austauschbaren Mn zeigen, die in der Regel verhältnismäßig niedrig sind ( $< 15 \mu\text{mol IA/g}$ ) (siehe Abb. 7), wobei es jedoch vereinzelt Proben mit viel höheren Gehalten gibt, bei denen das austauschbare Mn einen Äquivalentanteil bis zu 20 % an der effektiven Austauschkapazität hat.

Mit zunehmender Bodenversauerung tritt Aluminium in austauschbarer Form auf. Es ist vor allem bei der Terra fusca und ihren Übergängen zur Braunerde zu finden. Hier erreicht es einen Äquivalentanteil an der effektiven Austauschkapazität bis zu 46 %. Voraussetzung für das Vorhandensein von austauschbarem Al ist, wie bereits gesagt, daß im Boden stärkere Säuren als die Kohlensäure und die Kieselsäure vorhanden sind oder waren. Unter natürlichen, nicht belasteten Bedingungen kommt als einzige stärkere Säure in ökologisch bedeutsamen Mengen nur die Salpetersäure vor, die bei der Entkopplung des Ionenkreislaufs im Boden eine Versauerung bewirken kann.

Nimmt man für die Einordnung der Böden in Pufferbereiche den pH-Wert in  $\text{CaCl}_2$ , so gehören die Rendzinen in den Carbonat-Pufferbereich, während die anderen Bodentypen hauptsächlich im Austauscher-Pufferbereich (pH 5.0-6.2) liegen, zum Teil reichen sie in den Austauscher-Pufferbereich (pH 4.2-5.0). Wenn auch die niedrigsten pH-Werte von einigen Proben bei 4.2 liegen, so ist hier der Austauscher-Pufferbereich noch nicht durchschritten, weil der Äquivalentanteil des austauschbaren Al bei maximal 45 % liegt und damit der Puffermechanismus als solcher noch funktioniert und noch über eine verhältnismäßig große Kapazität verfügt.

Literatur:

- Arbeitsgruppe Bodenkunde 1982. Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften u. Rohstoffe (Hrsg.), Hannover
- Faßbender, H.W. 1973. Simultane P-Bestimmung im N-Kjeldahl-aufschluß von Bodenproben. Phosphorsäure 30. 44-53
- Meiwes, K.J., König, N., Khanna, P.K., Prenzel, J. und Ulrich, B. 1984. Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben, Bd.7, Göttingen
- Scheffer, F., Welte, E. und Meyer, B. 1960. Die Rendzina oder mitteldeutschen Berg- und Hügellandschaft (Leine-Weser-Bergland). Z.Pflanzenern., Düng. Bodenk. 90 (135), 18-36
- Thöle, R. und Meyer, B. 1979. Bodengenetische und -ökologische Analyse eines Repräsentativ-Areals der Göttinger Muschelkalkscholle als landschaftsökologische Planungsgrundlage. Gött.Bodenkundl.Ber. 59, 1-230
- Ulrich, B. 1981. Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Zeitschr. Pflanzenern. Bodenk. 144, 289-305

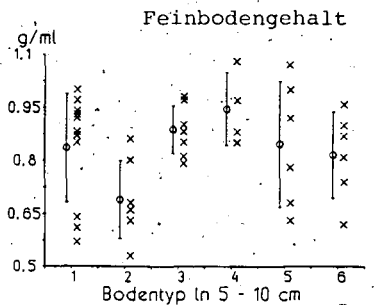
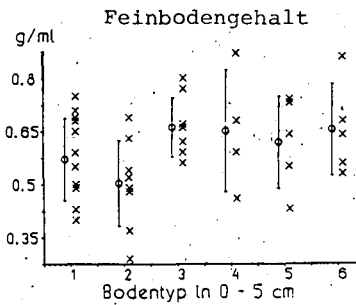
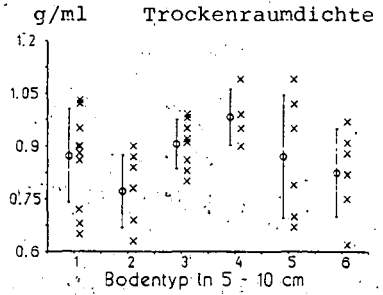
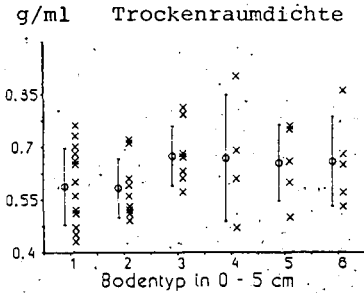
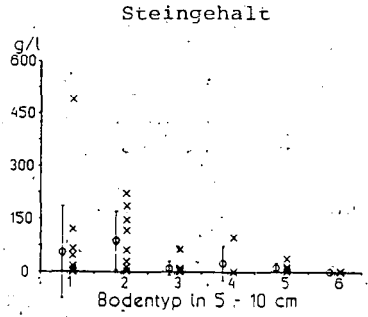
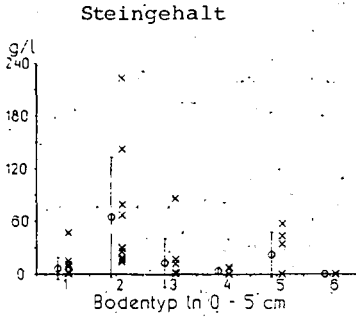


Abb. 2: Verteilung, Mittelwert und Standardabweichung von Steingehalt, Trockenraumdichte und Feinbodengehalt in der Tiefe 0-5 cm und 5-10 cm von verschiedenen Bodentypen (1-6) auf Muschelkalk

- Typ 1 = Terra fusca Rendzina
- Typ 2 = Rendzina
- Typ 3 = Terra fusca
- Typ 4 = Braunerde - Terra fusca
- Typ 5 = Braunerde Rendzina
- Typ 6 = Terra fusca - Braunerde

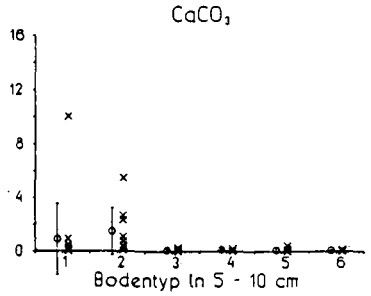
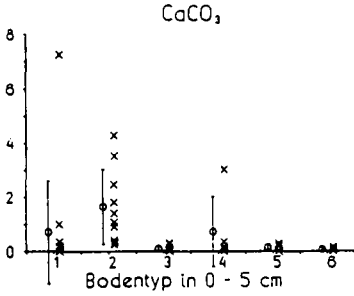
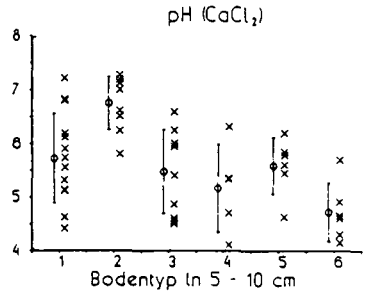
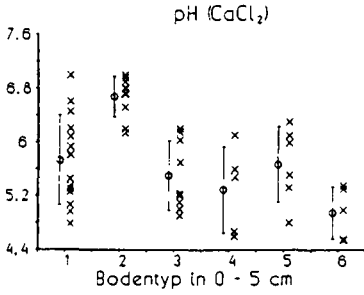


Abb. 3: Verteilung, Mittelwert und Standardabweichung pH und CaCO<sub>3</sub>-Gehalt in den Tiefen 0-5 cm und 5-10 cm von verschiedenen Bodentypen (1-6) auf Muschelkalk; Typ 1 = Terra fusca - Rendzina Typ 2 = Rendzina Typ 3 = Terra fusca Typ 4 = Braunerde - Terra fusca Typ 5 = Braunerde-Rendzina Typ 6 = Terra fusca - Braunerde



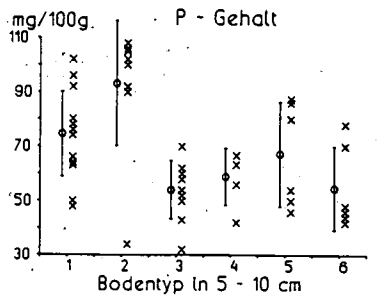
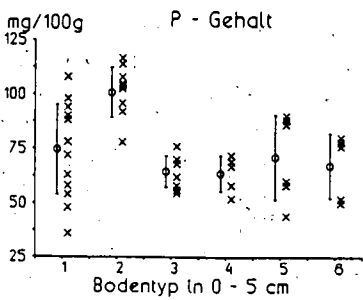
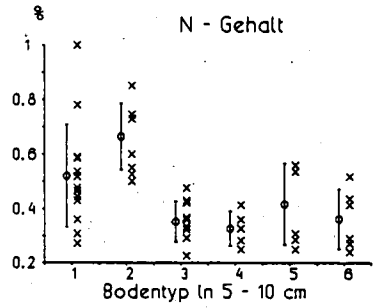
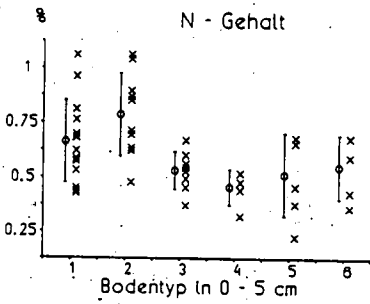
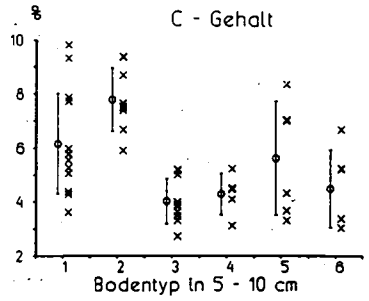
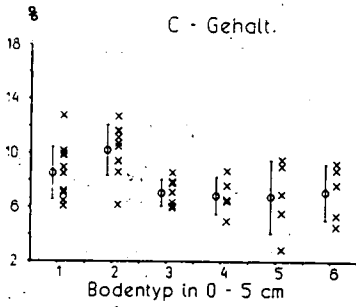


Abb. 4: Verteilung, Mittelwert und Standardabweichung der Gehalte von organischem C, von N und P in den Tiefen 0-5 cm und 5-10 cm von verschiedenen Bodentypen (1-6) auf Muschelkalk;

- Typ 1 = Terra fusca - Rendzina; Typ 2 = Rendzina;
- Typ 3 = Terra fusca; Typ 4 = Braunerde - Terra fusca;
- Typ 5 = Braunerde-Rendzina; Typ 6 = Terra fusca - Braunerde

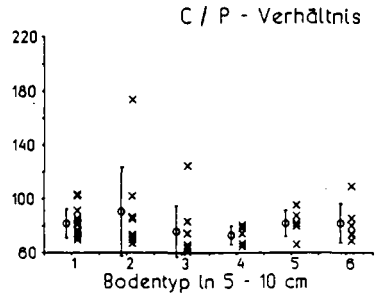
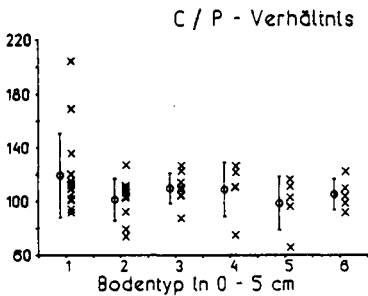
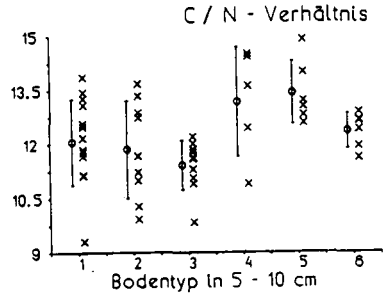
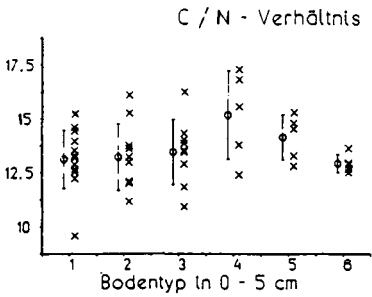


Abb. 5: Verteilung, Mittelwert und Standardabweichung des C:N- und C:P-Verhältnisses in den Tiefen 0-5 cm und 5-10 cm von verschiedenen Bodentypen (1-6) auf Muschelkalk.

- Typ 1 = Terra fusca - Rendzina
- Typ 2 = Rendzina
- Typ 3 = Terra fusca
- Typ 4 = Braunerde - Terra fusca
- Typ 5 = Braunerde-Rendzina
- Typ 6 = Terra fusca - Braunerde

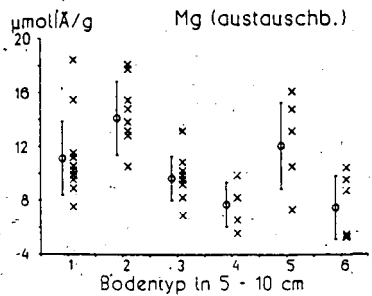
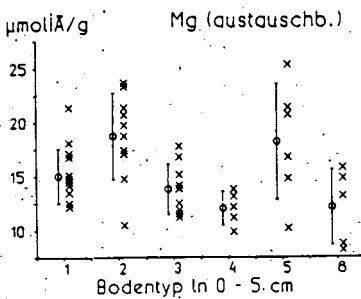
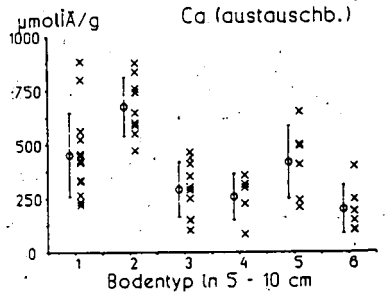
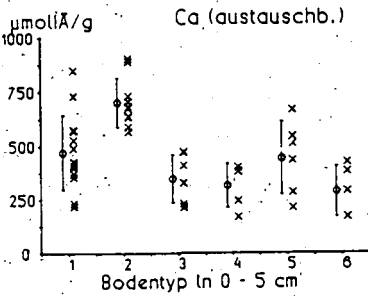
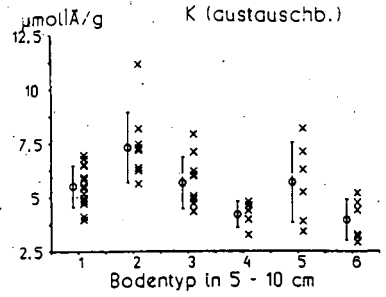
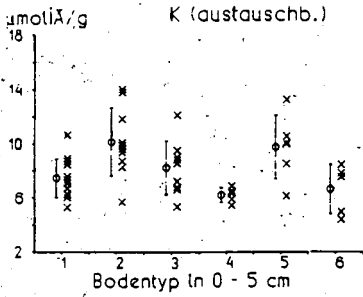


Abb. 6: Verteilung, Mittelwert und Standardabweichung der Gehalte von austauschbarem Kalium, Calcium und Magnesium in den Tiefen 0-5 cm und 5-10 cm von verschiedenen Bodentypen (1-6) auf Muschelkalk;  
 Typ 1 = Terra fusca - Rendzina; Typ 2 = Rendzina;  
 Typ 3 = Terra fusca; Typ 4 = Braunerde - Terra fusca;  
 Typ 5 = Braunerde-Rendzina; Typ 6 = Terra fusca - Braunerde

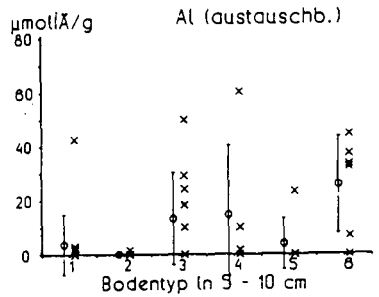
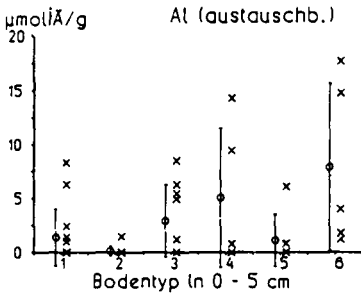
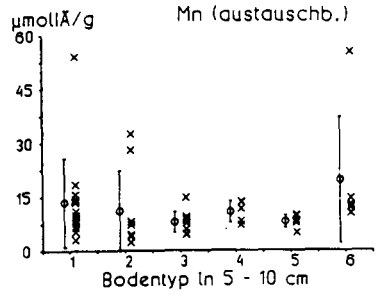
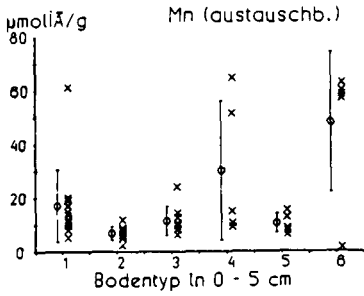


Abb. 7: Verteilung, Mittelwert und Standardabweichung der Gehalte von austauschbarem Mangan und Aluminium in den Tiefen 0-5 cm und 5-10 cm von verschiedenen Bodentypen (1-6) auf Muschelkalk.

- Typ 1 = Terra fusca - Rendzina
- Typ 2 = Rendzina
- Typ 3 = Terra fusca
- Typ 4 = Braunerde - Terra fusca
- Typ 5 = Braunerde-Rendzina
- Typ 6 = Terra fusca - Braunerde

Tabelle 1 : Chemische Eigenschaften von Rendzinen (R) und Terra fusca - Rendzinen (CR) auf Unterem Muschelkalk im Göttinger Wald ( $\bar{x}$ , min. - max.)

Bodentyp	Tiefe cm	n <sup>*</sup> n(n <sub>2</sub> ,n <sub>3</sub> )	Feinboden- gehalt g/ml	Stein- gehalt g/l	CaCO <sub>3</sub> %	pH <sub>CaCl2</sub>	C %	N %	P g/100g
R	0-5	10(9;4)	0.50 0.29-0.69	64.7 14-223	1.6 0.2-4.3	6.68 6.1-7.0	10.2 6.1-12.7	0.78 0.48-1.1	101 78-117
	5-10	9(7;3)	0.69 0.53-0.86	87.9 3-221	1.5 <0.1-5.5	6.74 5.8-7.3	7.76 5.9-9.4	0.66 0.5-0.85	93.2 34-108
	10-20	3(0;1)	n.b.	273 95-398	2.1 0.7-3.7	7.07 6.9-7.3	6.68 5.6-7.2	0.55 0.51-0.58	85.3 82-92
CR	0-5	15(15;4)	0.56 0.40-0.75	6 0-46	0.7 <0.1-7.2	5.72 4.8-7.0	8.5 6.1-12.7	0.66 0.43-1.1	75.7 36-108
	5-10	14(11;5)	0.83 0.57-1.0	54.3 0-489	0.9 <0.1-10.0	5.71 4.4-7.2	6.15 3.6-9.8	0.52 0.27-1.0	74.5 48-102
	10-20	10(4;3)	0.86 0.35-1.1	228 0-1090	1.1 <0.1-5.9	6.32 5.2-7.3	4.51 2.7-7.0	0.37 0.2-0.51	64.1 41.4-84.0

Bodentyp	Tiefe cm	K <sub>ex</sub>	Ca <sub>ex</sub>	Mg <sub>ex</sub>	AK <sub>e</sub>	x <sub>Ca</sub> <sup>S</sup>	x <sub>Al</sub> <sup>S</sup>	AK <sub>e</sub> /AK <sub>t</sub>	C/N
		-----µmol IX/g B-----							
R	0-5	10.1 5.7-14	701 567-592	18.7 10-24	738 659-837	0.95 0.93-0.97	0	0.95 0.81-1.0	13.2 11.2-16.1
	5-10	7.29 5.6-11.1	675 473-876	14.1 10-18	732 599-803	0.95 0.93-0.97	0	0.87 0.79-1.1	11.8 9.9-13.7
	10-20	6.23 5.7-6.5	720 667-708	14.6 12-17	745 695-810	0.95 0.92-0.97	0	0.93	11.8 11.1-12.4
CR	0-5	7.4 5.3-10.6	471 218-848	15.1 12-21	513 266-885	0.91 0.82-0.96	0	0.79 0.65-0.93	13.1 9.6-15.2
	5-10	5.51 4.0-7.0	452 219-882	11.1 7.5-18	487 261-911	0.91 0.76-0.97	0.01 0.0-0.15	0.79 0.66-1.0	12.1 9.3-13.9
	10-20	5.17 3.4-6.4	455 261-812	8.07 7.0-10	476 281-841	0.95 0.91-0.97	0.0	0.84 0.76-1.0	12.1 9.2-14.7

\* Anm.: n = Anzahl der Proben  
(n<sub>2</sub>;n<sub>3</sub>): n<sub>2</sub> bezieht sich auf Feinbodengehalt, n<sub>3</sub> auf AK<sub>t</sub> und AK<sub>3</sub>/AK<sub>t</sub>

Tabelle 2 : Chemische Eigenschaften von Terra fuscen auf Unterem Muschelkalk im Göttinger Wald ( $\bar{x}$ , min. - max.)

Tiefe cm	n <sup>a</sup> n(n <sub>2</sub> ;n <sub>3</sub> )	Feinboden- gehalt g/ml	Stein- gehalt g/l	CaCO <sub>3</sub> %	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	C %	N %	P mg/100g	C:N
0-5	9(8;4)	0.66 0.56-0.80	13.0 0-86	<0.1 <0.1-0.3	5.50 4.9-6.2	7.06 5.9-8.6	0.531 0.37-0.67	64 54-76	13.4 11-16
5-10	10(8;4)	0.88 0.79-0.98	9.6 0-64	<0.1 <0.1-0.3	5.47 4.5-6.6	4.01 2.7-5.2	0.352 0.23-0.48	54 32-70	11.4 9.8-12
10-20	11(6;4)	0.96 0.76-1.1	18.3 0-110	0.54 <0.1-4.7	5.7 4.5-7.0	3.14 2.2-3.9	0.27 0.19-0.36	49 30-62	11.6 10-13
20-30	4(2;1)	1.18 1.18-1.19	9.4 0-38	0.70 <0.1-2.5	5.67 4.8-6.9	1.97 1.9-2.2	0.175 0.15-0.21	40 36-46	11.4 9.5-13
30-40	2(0;1)	n.b.	0	0.15 <0.1-0.3	5.13 4.9-5.4	1.7 1.7-1.7	0.136 0.13-0.14	34 32-36	12.5 12-13

Tiefe cm	K <sub>ex</sub> ----- μmol IK / g B	Ca <sub>ex</sub>	Mg <sub>ex</sub>	AK <sub>e</sub>	X <sub>Ca</sub> <sup>S</sup>	X <sub>Al</sub> <sup>S</sup>	AK <sub>e</sub> /AK <sub>t</sub>
0-5	8.2 5.3-12	348 211-473	13.8 11-18	386 250-512	0.89 0.82-0.94	0.01 0-0.03	0.60 0.50-0.75
5-10	5.64 4.3-7.9	291 102-465	9.64 6.9-13	329 173-486	0.85 0.59-0.96	0.06 0-0.29	0.59 0.47-0.77
10-20	4.64 3.6-5.9	324 92-740	7.75 5.6-14	349 157-762	0.87 0.58-0.97	0.06 0-0.29	0.66 0.42-0.85
20-30	4.02 3.4-4.6	281 146-541	5.76 4.6-6.9	306 181-555	0.88 0.80-0.97	0.06 0-0.12	0.5
30-40	6.1 4.3-7.80	212 168-257	3.9 3.6-4.3	239 201-277	0.83-0.93	0.01-0.10	0.59

\* Anm.: n = Anzahl der Proben  
n<sub>2</sub> = bezieht sich auf Feinbodengehalt  
n<sub>3</sub> = bezieht sich auf AK<sub>t</sub> und AK<sub>e</sub>/AK<sub>t</sub>

Tabelle 3 : Chemische Eigenschaften von Braunerde - Terra fuscen (BC) und Ranzina-Braunerden (RB) auf Unterem Muschelkalk im Göttinger Wald ( $\bar{x}$ , min. - max.)

Bodentyp	Tiefe cm	n* n(n <sub>2</sub> ;n <sub>3</sub> )	Feinboden- gehalt g/ml	Stein- gehalt g/l	CaCO <sub>3</sub> %	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	C %	N %	P mg/100g	C:N
BC	0-5	5(4;2)	0.65 0.66-0.87	3.62 0.0-8.1	0.7 <0.1-3.0	5.29 4.6-6.11	6.85 5.0-8.7	0.45 0.3-0.5	63 52-72	15.2 12-17
	5-10	5(4;2)	0.95 0.85-1.08	24.4 0.0-98	0.1 <0.1-0.2	5.16 4.1-6.3	4.27 3.1-5.2	0.33 0.2-0.4	58.9 42-67	13.2 11-14
	10-20	5(1;2)	1.14	185 0.0-708	0.7 <0.1-1.8	5.95 4.1-7.1	3.43 1.8-4.1	0.28 0.16-0.36	54.7 36-67	12.5 11-15
BR	0-5	6(5;2)	0.62 0.43-0.74	22.3 0.0-57	0.13 0.1-0.28	5.67 4.8-6.3	6.79 2.9-9.5	0.512 0.22-0.68	71.0 44-90	14.1 13-15
	5-10	6(6;2)	0.85 0.67-1.09	12.0 0-38	0.10 <0.1-0.41	5.59 4.6-6.2	5.61 3.3-8.3	0.417 0.25-0.56	67.2 46-87	13.4 13-15
	10-20	5(5;2)	0.93 0.8-1.11	72 0-159	0.11 <0.1-0.33	6.01 5.3-6.5	4.37 2.9-5.7	0.33 0.20-0.45	61.6 46-78	13.4 12-15

Bodentyp	Tiefe cm	K <sub>ex</sub> ----- μmol IA / g B	Ca <sub>ex</sub>	Mg <sub>ex</sub>	AK <sub>e</sub>	X <sub>Ca</sub> <sup>S</sup>	X <sub>Al</sub> <sup>S</sup>	AK <sub>e</sub> /AK <sub>t</sub>
BC	0-5	6.16 5.4-6.8	316 169-401	12.0 9.9-14	370 267-474	0.84 0.63-0.93	0.02 0.0-0.05	0.58-0.81
	5-10	4.19 3.2-4.8	257 84-357	7.7 5.6-9.9	296 170-385	0.83 0.49-0.93	0.08 0.0-0.35	0.57-0.77
	10-20	4.19 2.7-5.3	323 56-450	6.38 4.3-12	354 140-471	0.84 0.40-0.96	0.09 0.0-0.46	0.77-1.0
BR	0-5	9.71 6.1-13	442 212-667	18.2 10-25	483 249-711	0.90 0.85-0.94	0.00 0.0-0.02	0.82-0.95
	5-10	5.68 3.4-3.2	417 207-651	12.1 7.3-16	448 253-681	0.92 0.82-0.95	0.01 0.0-0.09	0.80-0.89
	10-20	4.65 3.1-6.1	388 228-547	9.47 10-25	409 250-569	0.34 0.91-0.96	0.00 0.00	0.84

\* Anm.: n = Anzahl der Proben  
n<sub>2</sub> bezieht sich auf den Feinbodengehalt  
n<sub>3</sub> bezieht sich auf AK<sub>t</sub> und AK<sub>e</sub>/AK<sub>t</sub>

Tabelle 4 : Chemische Eigenschaften von Terra fusca - Braunerden auf Unterem Muschelkalk im Göttinger Wald ( $\bar{x}$ , min. - max.)

Tiefe cm	n <sup>#</sup> n(n <sub>2</sub> ;n <sub>3</sub> )	Feinboden- gehalt g/ml	Stein- gehalt g/l	CaCO <sub>3</sub> %	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	C %	N %	P mg/100g	C:N
0-5	5(6;1)	0.64 0.53-0.86	1.05 0-6.0	0.06 <0.1-0.2	4.95 4.5-5.3	7.13 4.6-9.3	0.55 0.36-0.68	67.2 50-80	12.9 12-14
5-10	6(6;2)	0.82 0.62-0.96	0.38 0-2.2	0.08 <0.1-0.2	4.72 4.1-5.7	4.48 3.0-6.7	0.36 0.24-0.52	54.7 42-78	12.3 12-13
10-20	4(3;1)	1.16 1.11-1.19	195 0-772	0.37 <0.1-1.1	4.97 4.3-6.6	2.87 2.1-4.5	0.239 0.17-0.39	45.5 36-70	12.1 11-12
20-30	3(2;1)	1.19 1.17-1.22	81.1 13-198	0.82 0.41-1.6	5.81 5.2-6.2	1.83 1.7-2.0	0.152 0.14-0.17	36.7 36-38	12.1 12-13

Tiefe cm	K <sub>ex</sub>	Ca <sub>ex</sub>	Mg <sub>ex</sub>	AK <sub>e</sub>	X <sub>Ca</sub> <sup>S</sup>	X <sub>Al</sub> <sup>S</sup>	AK <sub>e</sub> /AK <sub>t</sub>
	----- μmol IÄ / g B -----						
0-5	6.62 4.4-8.4	286 168-425	12.1 8.1-16	362 212-531	0.78 0.65-0.85	0.03 0-0.07	0.78
5-10	3.95 2.9-5.2	198 102-399	7.47 5.3-10.4	257 166-426	0.73 0.60-0.94	0.13 0-0.26	0.48-0.65
10-20	3.31 2.5-4.4	209 102-511	5.0 4.0-7.6	266 157-561	0.71 0.63-0.91	0.18 0-0.25	0.55
20-30	4.42 3.2-5.7	348 182-507	4.5 3.0-7.2	363 197-524	0.95 0.92-0.97	0.003 0-0.01	0.92

# Anm.: n = Anzahl der Proben  
n<sub>2</sub> bezieht sich auf den Feinbodengehalt  
n<sub>3</sub> bezieht sich auf AK<sub>t</sub> und AK<sub>e</sub>/AK<sub>t</sub>



### C. Hydrologie

#### Problemstellung

H. Gerke

Eine vollständige Wasserbilanz eines Wald-Ökosystems umfaßt die zeitabhängigen Raten der in das System gelangenden und das System verlassenden Wasserflüsse, sowie die Vorratsänderungen im System selbst.

$$FN(t) = I(t) + E(t) + T(t) + dS(t)/dt + dR(t)/dt + V(t) \quad (1)$$

Die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung (1) besagt, daß Input, Output und Vorratsänderungen sich zu jedem Zeitpunkt ausgleichen. Die einzelnen Komponenten in Gleichung (1) - als zeitabhängige Variable dargestellt - bedeuten:

$FN(t)$  = Niederschlagsrate (Freifläche)

$I(t)$  = Rate der Interzeptionsverdunstung

$E(t)$  = Rate der Evaporation

$T(t)$  = Rate der Transpiration

$dS(t)/dt$  = Rate der Änderung der interzeptierten Wassermengen im Bestand (flüssig als Interzeptionswasser, fest als Schnee)

$dR(t)/dt$  = Rate der Wasservorratsänderung im Boden bzw. im Gestein

$V(t)$  = Versickerungsrate

Die untere Begrenzung des Kalkbuchenwald-Ökosystems befindet sich im Kalkgestein in einer Tiefe, in der die Wasserbewegung nicht mehr von den Baumwurzeln beeinflusst wird. Der Austausch mit der Atmosphäre findet im Kronen- und Stammraum statt und wird von den Niederschlägen und den drei Verdunstungsgrößen ( $I$ ,  $E$ ,  $T$ ) gebildet. Als Ökosystemgrenze zur Atmosphäre wird die Vegetationsoberfläche betrachtet. Die Austauschgröße mit dem unterlagernden Gestein bzw. dem Grundwasserkörper stellt - auf diesem grundwasserfernen Standort - allein die Versickerung dar. Da die Niederschläge direkt gemessen werden können, verbleiben mit Versickerung ( $V$ ) und Evapotranspiration ( $I$ ,  $E$ ,  $T$ ) zwei unbekannte Größen.

Das Problem für die hydrologischen Untersuchungen besteht zunächst darin, daß für das Kalkbuchenwald-Ökosystem keine bekannte Methode anwendbar ist, mit der eine der beiden unbekannteren direkt bestimmt werden könnte.

a) Hydrologisches Verfahren

Es besteht in der Anwendung von Gleichung (1) auf Einzugsgebiete (LIEBSCHER, 1976) und der direkten Messung des Abflusses und damit der Versickerungsraten für längere Zeiträume. Diese Methode scheidet völlig aus, da, aufgrund der geologischen Verhältnisse, ein Einzugsgebiet nicht abgrenzbar ist.

b) Großlysimeter

Die direkte Messung der Versickerungsraten mittels Großlysimetern würde erhebliche technische Schwierigkeiten bereiten. Allein um den Wurzelraum eines mittleren Baumes zu erfassen, wäre ein Lysimeter von etwa 40 m<sup>2</sup> Grundfläche und mindestens 5 m Tiefe erforderlich. Damit wäre zwar der Stammabfluß miterfaßt; eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Flächen jedoch kaum möglich.

c) Messung der Transpiration

Direkte Messungen der Transpiration sind zwar an einzelnen Zweigen in klimatisierten Küvetten möglich (LANGE und SCHULZE, 1971; zit. in SCHLICHTER, 1980), die Ergebnisse lassen sich jedoch nicht auf einen Waldbestand hochrechnen.

d) Meteorologische Methoden

Die Anwendung meteorologischer Methoden wird durch die ungünstige Topographie (Nähe zur Abbruchkante im Osten, Einschnitte der Trockentäler im Westen) und durch die große Oberflächenrauigkeit des Waldbestandes begrenzt. Die für die Energiebilanz (Bower-Ratio-Methode) notwendige Bedingung eines ausreichend großen Windvorfeldes ist nur selten gegeben. Advective Strahlungsströme können nicht ausgeschlossen werden (v. EIMERN, 1982).

Alle genannten Methoden haben gleichmaßen noch den zusätzlichen Nachteil, daß sie eine Bestimmung der Flüsse mit der für eine ökosystemuntersuchung geförderten räumlichen und zeitlichen Auflösung nicht zulassen. Außerdem wäre mit keiner dieser Methoden der Weg für eine Übertragbarkeit auf ähnliche Ökosysteme eingeschlagen, da sie auf empirischen Ansätzen basieren.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde als Lösungsansatz die bodenphysikalische Wasserhaushaltsmethode gewählt. Dabei steht der den Wurzelraum (Boden, Frostschutt, Kalkgestein) umfassende Teil des Ökosystems im Mittelpunkt.

Der durchschnittliche Aufbau eines Profils läßt sich am Beispiel des Hauptbodentyps Terra-fusca Rendzina wie folgt charakterisieren:

Die skelettarme Feinbodendecke ist flach (im Mittel 20-30 cm tief), besitzt im Ah-Horizont ein Krümelgefüge und im Bv-Horizont ein ausgeprägtes Polyedergefüge. Die darunter befindliche Frostschuttdecke bildet den Übergang zum anstehenden Kalkgestein, der etwa in 1 m Tiefe beginnt. Das Frostschuttmaterial ist skelettreich und enthält im oberen Bereich noch aggregiertes Feinbodenmaterial. Das Kalkgestein ist horizontal geschichtet (mit Kalkstein- und dünnen Tonmergel-Wechselagerungen) und vertikal geklüftet bzw. gerissen. Diese drei Bereiche müssen im Bodenwassermodell berücksichtigt werden, wobei die untere Grenze (abhängig von der maximalen Durchwurzelungstiefe) nicht bekannt ist, sich jedoch zumindest auf Grund der Tensiometermessungen unterhalb 4 m Tiefe im Kalkgestein befinden muß.

Die (bodenphysikalischen) Eigenschaften können nicht als homogen angesehen werden. Die Inhomogenität des Materials wird hervorgerufen durch eine ungleichmäßige räumliche Verteilung des Boden-, Stein- und Porenvolumens. Daneben spielt die Existenz eines "Makroporensystems" eine große Rolle. Makroporen werden durch Risse und Spalten im Kalkgestein, durch die Interaggregatporen im Feinboden und oberen Frostschuttbereich und durch Bioporen, wie Baumwurzeln und Tiergänge gebildet. Unter Inanspruchnahme des Makroporensystems könnte Wasser unter Umgehung der porösen Matrix mehr oder weniger schnell in den Untergrund sickern und es käme nicht zur Ausbildung einer gleichmäßigen Sickerfront. Außerdem müßte die Frage nach der Gültigkeit des Darcy-"Gesetzes" gestellt werden. Unabhängig von den

Materialeigenschaften werden sicherlich die Randbedingungen und der Senkenterm die Auswirkungen der Inhomogenität des Systems noch vergrößern. Hohe Infiltrationsraten, z.B. bei Starkniederschlägen, und räumlich inhomogen verteilte Infiltration, die hier in Form des Buchen-Stammabflusses auftritt, führen zu zunehmend inhomogenen Fließbedingungen im Boden/Gestein-System. Ungleichmäßige Wasseraufnahmeraten durch die Pflanzenwurzeln, vor allem verursacht durch eine heterogene Wurzelverteilung oder unterschiedliche Wurzelaktivitäten, können ein inhomogenes Potentialfeld erzeugen. Zusätzliche Probleme sind zu erwarten durch die vermutlich große Hysterese der Parameterfunktionen ( $\psi_{\theta}$  - und  $K_{\psi}$  - bzw.  $K_{\theta}$  -Beziehung) und durch Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge im stark tonhaltigen Oberboden. Der  $A_h$ -Horizont könnte, wegen hoher Gehalte an organischer Substanz, nach intensiver Austrocknung zeitweilig hydrophobe Eigenschaften aufweisen. Außerdem muß mit einem erheblichen Grad an Anisotropie - z.B. bezüglich der Leitfähigkeit - im geschichteten Kalkgestein gerechnet werden.

#### Experimentelle Untersuchungen

Das Meßprogramm wurde nach dem Vorbild der Untersuchungen eines Buchenwald-Ökosystems im Solling (BENECKE, 1984) durchgeführt. Zur Beschreibung der verwendeten Meßgeräte sei auf MEIWES et al. (1984) verwiesen. Neue methodische Ansätze wurden zur Messung des Stammabflusses während der Winterhalbjahre und zur Messung des Matrixpotentials im Kalkgestein angewendet.

Für die Messung des Stammabflusses während der Winterhalbjahre wurde eine beheizbare Kippwaagenmeßeinrichtung mit automatischer Registrierung entwickelt.

Für die Matrixpotentialmessungen wurden neben den üblichen Quecksilbertensiometern (Beschreibung bei MEIWES et al., 1984) auch Druckaufnehmertensiometer (STREBEL et al., 1970) verwendet. An einem als repräsentativ angesehenen Meßplatz wurden 18 Druckaufnehmertensiometer eingesetzt, mit denen auch während des Winters gemessen werden konnte.

Tensiometermessungen im oberflächennahen Gesteinsuntergrund erfolgten ab Mai 1983 mit 12 weiteren Druckgebertensiometern in den Tiefenstufen 1, 2, 3 und 4 m mit je 3 Wiederholungen im Abstand von 1.2 m vom Stamm. Die räumliche Anordnung aller 30 Druckgebertensiometer ist in Abb. 1 dargestellt.

Für den Einbau der Tensiometer im Kalkgestein wurde ein motorgetriebenes Bohrgerät verwendet. Die Bohrkronen waren so konstruiert, daß bei geringer Umdrehungsgeschwindigkeit des Bohrers der Kalkstein zermahlen wurde. Dadurch wurden Störungen in der Umgebung des Bohrloches weitgehend vermieden. Um auszuschließen, daß das Bohrloch zufällig in einer dickeren Kalksteinplatte endete, wurde einige cm über die jeweilige Meßtiefe hinaus gebohrt und dieses Loch wieder mit dem Bohrgut (Schluffkorngröße) gefüllt.

In Abb. 2 ist ein Druckgebertensiometer im komplett eingebauten Zustand schematisch dargestellt. (Dieses Einbauschema gilt auch für die 18 flacher installierten Tensiometer.) Jedes Bohrloch wurde verrohrt (1) und zum Tensiometerschaft (2) hin mit einer Gummimanschette (3) abgedichtet, so daß kein Niederschlagswasser direkt am Schaft (2) zur Tensiometerkerze (4) herunterlaufen konnte. Das PVC-Rohr (1) endet jeweils oberhalb der Tensiometerkerze (4), die so nur in der Meßebeine in Kontakt mit dem umgebenden Kalkstein steht. Als Kontaktmittel wurde der gemahlene Kalkstein verwendet. Alle Druckaufnehmertensiometer wurden Anfang 1983 an ein automatisches Datenerfassungsgerät (MDL 500) angeschlossen. Die Daten wurden auf computerlesbare Kassetten übermittelt und am Rechenzentrum weiterverarbeitet.

#### Niederschlag

In Abb. 3 sind die Jahresraten des Niederschlages 1981-83 im Vergleich zu denen der Göttinger Wetterstation dargestellt. Die Niederschläge im Jahr 1981 waren mit 1252 mm außergewöhnlich hoch; in den darauffolgenden trockeneren Jahren lagen sie bei 550 (1982) bzw. 635 mm (1983). Die Niederschlagsmenge auf der Versuchsfläche übertraf die der

Göttinger Wetterstation im Jahre 1981 um 20 %, 1982 um 16 % und 1983 um 8 % .

Tab. 1 stellt die Jahressummen und die prozentualen Anteile der einzelnen Niederschlagskomponenten am Freiflächenniederschlag der 3 Jahre dar. Der Anteil des Kronendurchlasses lag in allen Jahren relativ konstant bei 67 %, während mit zunehmendem Stammabflußanteil (von 15 bis 21 %) die Interzeptionsverdunstung relativ abnahm (von 18 auf 12 %).

#### Matrixpotential

Abb. 4 zeigt typische Matrixpotentialverläufe während der vegetationsfreien Periode (Januar 1984). Dargestellt sind die Meßdaten von 5 Tensiothern der Tiefen 7, 20, 30, 40 und 50 cm in 2.4 m Abstand vom Stamm (ohne Stammabflußeinfluß). Die Tensiotherm wurden stündlich abgefragt.

Es ist zu erkennen, daß sich die Potentiale im Bereich zwischen 0 und -40cm Wassersäule (WS) mit nur geringen Unterschieden zwischen den einzelnen Tiefen bewegen. Bei einsetzender Infiltration (die Niederschläge sind hier nicht dargestellt) nimmt das Potential der Reihe nach von oben nach unten in allen Tiefen sehr schnell zu und nähert sich dem Sättigungswert. Nach Ende des Niederschlagsereignisses fallen die Potentiale zunächst schnell, dann immer langsamer und streben einen für jede Tiefe charakteristischen Wert an. Eine Entwässerung allein auf Grund der Gravitation findet demnach schließlich nicht mehr statt. (Vergleiche dazu die infiltrationsfreien Perioden zwischen dem 18. und 28. Tag.) Dieser Wert entspricht etwa der "Feldkapazität" und ist mit ca. -40 bis -50 cm WS oder  $pF$  1.6 bis 1.7 überraschend niedrig. Die hydrologische Steuerung erfolgt über die zwischen -40 bis -50 cm WS sehr gering werdende Leitfähigkeit bei gleichzeitiger Verringerung des hydraulischen Gradienten.

Vergleicht man den Potentialanstieg z. B. während des 13. Tages mit dem des 29. Tages, so läßt sich die unterschiedliche Infiltrationsrate und -dauer aus den Matrixpotentialverläufen erkennen. Während am 13. Tag 3mm Regen in 2 Stunden infiltrierten, begann am 29. Tag eine Schneeschmelze mit geringer, jedoch langdauernder Infiltration.

Weiterhin ist typisch, daß die Matrixpotentiale schon kurz nach Beginn eines jeden Infiltrationsereignisses in allen 5 Tiefen fast gleiche Werte annehmen, d. h. daß der hydraulische Gradient  $\approx 1$  und der Fluß gleich der Leitfähigkeit bei dem jeweiligen Matrixpotential jeder Tiefe wird. Da der absolute Wert der Potentiale bei geringen Infiltrationsraten (30. Tag) nur geringfügig niedriger ist als bei hohen (13. Tag), müssen die Leitfähigkeitsfunktionen in diesem Potentialbereich sehr steil verlaufen.

Die Potentialverläufe der Tensiometer direkt am Stamm während der vegetationsfreien Perioden (nicht dargestellt) ähneln denen der stammferneren Tensiometer (s. o.). Während der Vegetationsperiode zeigen sich hier jedoch deutliche Unterschiede.

Abb. 5 zeigt die Matrixpotentialverläufe während der Vegetationsperiode (Juni 1983) von 4 direkt am Stamm in den Tiefen 7, 20, 30 und 40cm installierten Tensiometern. Die Tensiometer wurden halbstündlich abgefragt.

Deutlich zu erkennen ist das völlig unterschiedliche Verhalten der Tensiometer in 7 und 20 cm Tiefe gegenüber dem der tieferen. Während die Potentiale in 30 und 40 cm Tiefe in niederschlagsfreien Perioden rasch abfallen, reagieren sie in 7 und 20 cm kaum. Die Tiefen 7 und 20 cm entwässern scheinbar allein auf Grund des großen hydraulischen Gradienten zu den darunterliegenden Horizonten und nicht durch transpirationsbedingten Wasserentzug durch die Wurzeln. Die Ursache dafür könnte sein, daß sich im Einflußbereich des Stammabflusses im (versauerten) Feinboden keine lebenden Wurzeln befinden, dagegen das darunterliegende carbonatreiche Frostschuttmaterial (ab ca. 30 cm Tiefe) we-

gen der auch im Sommer günstigeren Feuchteverhältnisse intensiv durchwurzelt ist. Daneben sorgt auch das im Frostschutt geringere Speichervolumen (vgl. pF-Kurven in Abb. 11) für eine raschere Potentialabnahme.

Die Ganglinien vor allem in 30 cm Tiefe lassen außerdem extreme Tagesgänge erkennen. Der Wiederanstieg des Potentials über Nacht (keine Wurzelwasseraufnahme) wird vermutlich durch langsamen Wasserfluß aus dem inneren der Aggregate und aus den feuchteren darüberliegenden Horizonten verursacht. Er ist um so größer, je steiler der hydr. Gradient zu den noch feuchteren Regionen und je höher der Wassergehalt in den Aggregaten bzw. in den darüberliegenden Horizonten noch ist.

Abb. 6 zeigt die Matrixpotentialverläufe von 4 Tensiometern im anstehenden Kalkgestein in den Tiefen 1, 2, 3 und 4 m im Abstand von 1.2 m vom Stamm im Mai 1983 (ohne Wurzelwasserentzug). Die Tensiometer wurden alle 10 Minuten abgefragt.

Zu Beginn des dargestellten Zeitraumes zeigen die Matrixpotentiale einen für jede Tiefe charakteristischen relativ konstanten Verlauf am Ende einer niederschlagsarmen Periode. Unter der Annahme eines Strömungsgleichgewichtes am 14. Tag mit sehr geringen Versickerungsraten deuten die Matrixpotentialverläufe auf eine mit der Tiefe (zwischen 1 und 3 m nur geringfügig und bis 4 m stärker) abnehmende Leitfähigkeit hin.

Ergiebige Niederschläge führten danach zu einem typischen Infiltrationsablauf; d.h., daß die Tiefen nacheinander und mit abnehmender Amplitude ansprachen. Eine Ausnahme bildete lediglich die Tiefe 3 m mit einer relativ großen Amplitude. Es treten sogar geringe positive Wasserdrücke auf (mit Ausnahme der Tiefe 4 m), die sich insbesondere in der Tiefe 3 m über etwa 4 Tage hinweg halten. In 4 m Tiefe reicht eine Erhöhung des Potentials von -11 cm WS auf -5 cm WS aus, die erhöhte Sickertrate zu bewältigen. Demnach muß die Leitfähigkeitsfunktion in diesem Potentialbereich äußerst steil verlaufen oder das Wasser andere Fließwege benutzen.



Insgesamt ergibt sich bei Annahme homogener Strömungsverhältnisse ein ähnliches Bild, wie im Feinboden bzw. Frostschutt:

Die für die Versickerung mengermäßig bedeutsamen Wasserflüsse finden nur in einem eng begrenzten Potentialbereich statt. Die Wasserbewegung setzt nach Infiltrationsbeginn sehr schnell ein und klingt mit Verzögerung auch rel. rasch wieder ab. Der dafür entscheidende Potentialbereich scheint jedoch noch begrenzter, d.h. die Leitfähigkeitscharakteristiken müssen noch steiler verlaufen als im Oberboden; die gesättigte Leitfähigkeit ( $K_s$ ) ist dagegen gering genug,<sup>30</sup> daß bei stärkerem Sickerwasserzufluß ein Aufstau eintritt.

In Abb. 7 sind Messwerte derselben Tensiometer wie in Abb. 6 während des Monats Juli 1983 dargestellt.

Es ist zu erkennen, daß seit Beginn des Monats Juli 1983 die Bäume auch das Wasser in größeren Tiefen (ab 1 m) zur Transpiration heranzogen. Es entwickelte sich ein typischer Austrocknungsverlauf mit einem von oben nach unten fortschreitenden Abfallen der Matrixpotentiale. Dies führte am 193. Tag (13.7.83) zur Entstehung einer Wasserscheide zwischen 1 und 2 m Tiefe, die sich weiter tiefer verlagerte und am 213. Tag (2.8.83) zwischen 2 und 3 m Tiefe befand.

Die Änderung des hydraulischen Potentials und der Lage der Wasserscheide im Laufe des Jahres 1983 wird aus Abb. 8 deutlich. Der in Abb. 7 gezeigte Austrocknungsverlauf während des Monats Juli setzte sich bis in den Oktober hinein fort. Dies ist an dem bis dahin kontinuierlich abnehmenden hydr. Potential zu erkennen. Der Potentialverlauf am 1.11.83 zeigt schon die von oben einsetzende Wiederbefeuchtung durch den Potentialanstieg in 2 m Tiefe an, während das Potential in 3 m noch etwas weiter abnahm.

Die Bäume konnten somit im rel. trockenen Sommer des Jahres 1983 Wasser bis aus 3 m Tiefe zur Transpiration heranziehen. In den 3 Parallelmessungen in den Tiefen 1 bis 4 m, die nur 1,5 m voneinander entfernt sind, zeigten sich jedoch große Unterschiede im Potentialverlauf.

### Bodenphysikalische Parameter

Die Leitfähigkeitsfunktionen in Abb. 10 zeigen in allen Tiefenstufen den erwarteten steilen Verlauf im Bereich zwischen 0 und -50 cm WS. Schon bei Potentialen zwischen -40 und -50 cm WS wird die Leitfähigkeit derart gering, daß kaum noch nennenswerte Wasserflüsse auftreten können.

Die Matrixpotential-Wassergehaltsbeziehungen (pF-Kurve) in Abb. 11 zeigen, daß der humusreiche, aggregierte Feinboden (bis 20 cm Tiefe) für einen tonigen Boden mit 65 - 70 Vol% (uT bis u'T) ein sehr hohes Gesamt-Porenvolumen aufweist.

Allein in den obersten 20 cm können demnach etwa bis zu 50 mm Wasser pflanzenverfügbar gespeichert werden. In 60 - 90 cm Tiefe beträgt die nutzbare Wasserkapazität immerhin noch 8 Vol%. Der Skelettgehalt betrug 50 Vol% in 30 - 60 cm Tiefe, bzw. 61 Vol% in 60 - 90 cm Tiefe.

In Abb. 9 sind die Feinboden- und Steingehalte, das Gesamtporenvolumen (GPV) und die Porengrößenverteilung als Funktion der Tiefe dargestellt. Die Daten wurden, in 5 bzw. 10 cm Stufen unterteilt, an 1 m langen Bodensäulen (0,25 m\*2 Oberfläche) ermittelt und von R. Brumme (Inst. f. Bodenkunde u. Waldern.) mitgeteilt. Die Porengrößenverteilung wurde mit Hilfe der pF-Kurven aus Abb. 11 berechnet.

Zu erkennen ist, daß der Anteil des Feinmaterials (kleiner 2 mm) mit der Tiefe kaum geringer wird, während der Steinanteil zu- und das GPV entsprechend abnimmt. Der Anteil der Grobporen ist um 20 cm Tiefe im stark aggregierten Bv-Horizont am höchsten und wird ab 55 cm Tiefe sehr gering. Hier sind große Unterschiede in der gesättigten Leitfähigkeit zu erwarten. Auch nimmt der Tonanteil mit der Tiefe relativ ab. Die Bodenart des Feinmaterials (< 2 mm Ø) ändert sich vom schwach schluffigen Ton im Bv-Horizont über schluffig-tonigen Lehm zum schluffigen Lehm im Cv-Horizont in 60-90 cm Tiefe.

Literaturverzeichnis

- BENECKE, P., 1984: Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, Band 77. Frankfurt/Main (Sauerländer).
- EIMERN van, J., 1982: Bestandesklima und Wärmeenergiehaushalt eines Kalkbuchenwaldes im Jahresgang. Materialienaus dem SFB 135, Nr. 29. In: Arbeitsberichte 1981/82 aus dem Sonderforschungsbereich 135, 259-297, Göttingen.
- LANGE, O.L. und SCHULZE, E.D., 1971: Measurement of CO<sub>2</sub> gasexchange and transpiration in the beech (*Fagus silvatica* L.). In: Ecological studies, Vol. 2, 16-28, H. Ellenberg (ed.), Springer Verlag, Berlin.
- LIEBSCHER, H.-J., 1976: Wasserhaushaltsuntersuchungen in den Oberharzer Versuchsgebieten. Beiträge zur Hydrologie (Freiburg i.Br.) 3, 1-34.
- MEIWES, K.-J.; HAUHS, M.; GERKE, H.; ASCHKE, N.; MATZNER, E. und LAMMERSDORF, N., 1984: Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldökosystemen - Konzept und Methodik. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben, Bd. 7, Göttingen.
- SCHLICHTER, T.M., 1980: Die Entwicklung eines Simulationsmodells für den Wasserhaushalt eines Buchenbestandes im Hochsolling. Diss., Forstl. Fak. der Univ. Göttingen.
- STREBEL, O.; GIESEL, W.; RENGER, M. und LORCH, S., 1970: Automatische Registrierung der Bodenwasserspannung im Gelände mit dem Druckaufnehmertensiometer. Z. Pflanzenern. Bodenkd. 126, 6-15.

Druckgebertensiometer

Meßtiefen:

- 7cm
- 20cm
- 30cm
- 40cm
- 50cm
- 1 m
- 2 m
- 3 m
- 4 m

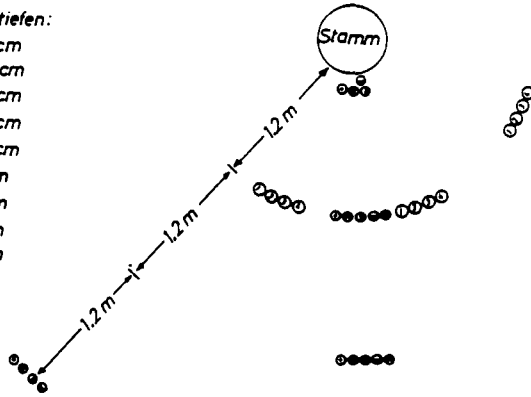


Abb. 1: Räumliche Anordnung der Druckgebertensiometer auf der Versuchsfläche im Göttinger Wald.

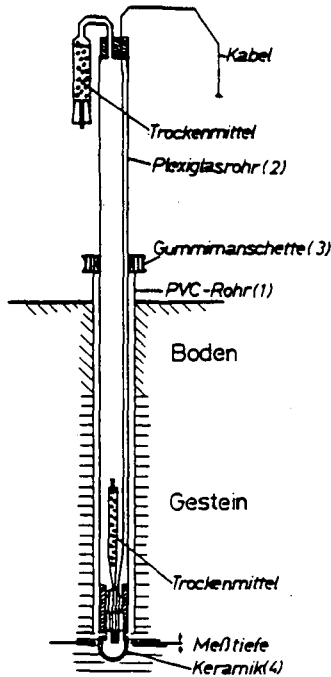


Abb. 2: Schematische Skizze eines eingebauten Druckgebertensiometers.

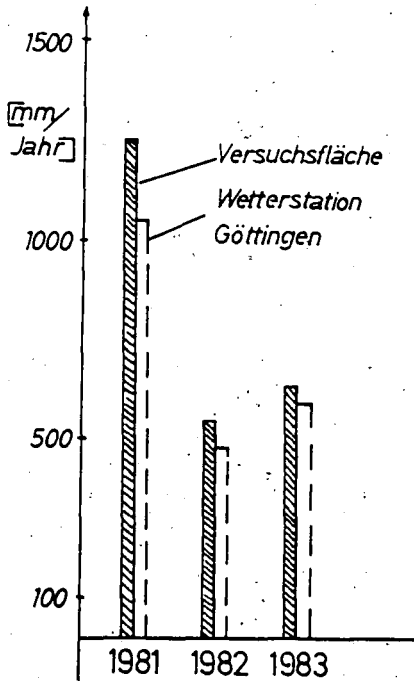


Abb. 3: Jahresraten des Niederschlags 1981 - 83, gemessen auf der Versuchsfläche im Göttinger Wald bzw. an der Göttinger Wetterstation.

	FN		KR		ST		IB	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
1981	1252.1	100	842.6	67.3	183.1	14.6	226.4	18.1
1982	550.3	100	366.0	66.5	89.1	16.2	95.2	17.3
1983	634.8	100	427.7	67.4	131.6	20.7	75.5	11.9

Tab. 1: Jahressummen und prozentuale Anteile der Niederschlagskomponenten am Freiflächenniederschlag 1981 - 83.

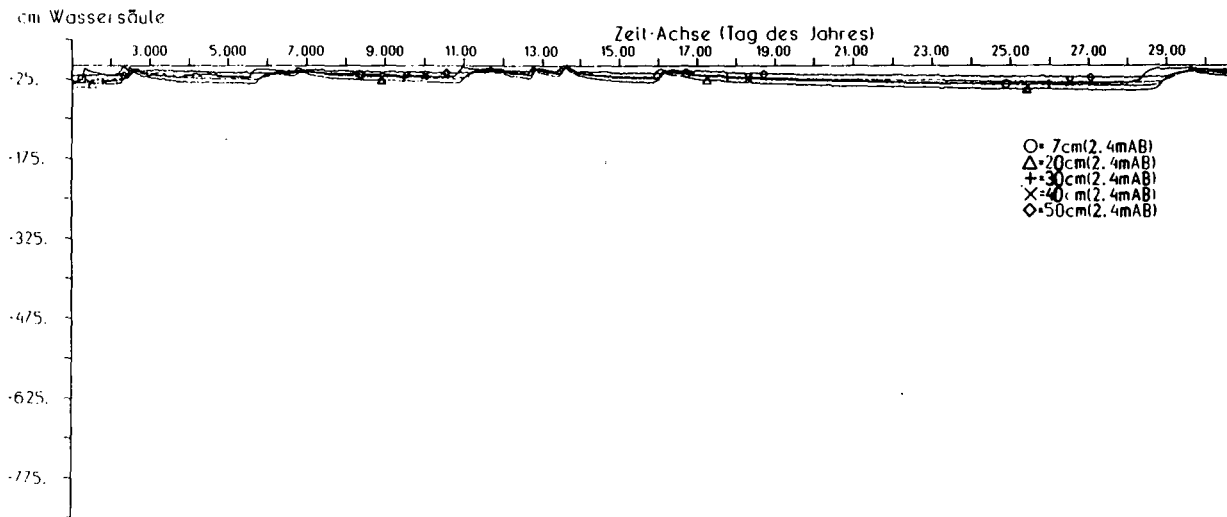


Abb. 4: Matrixpotentialverlauf Gö-Wald Januar 1984

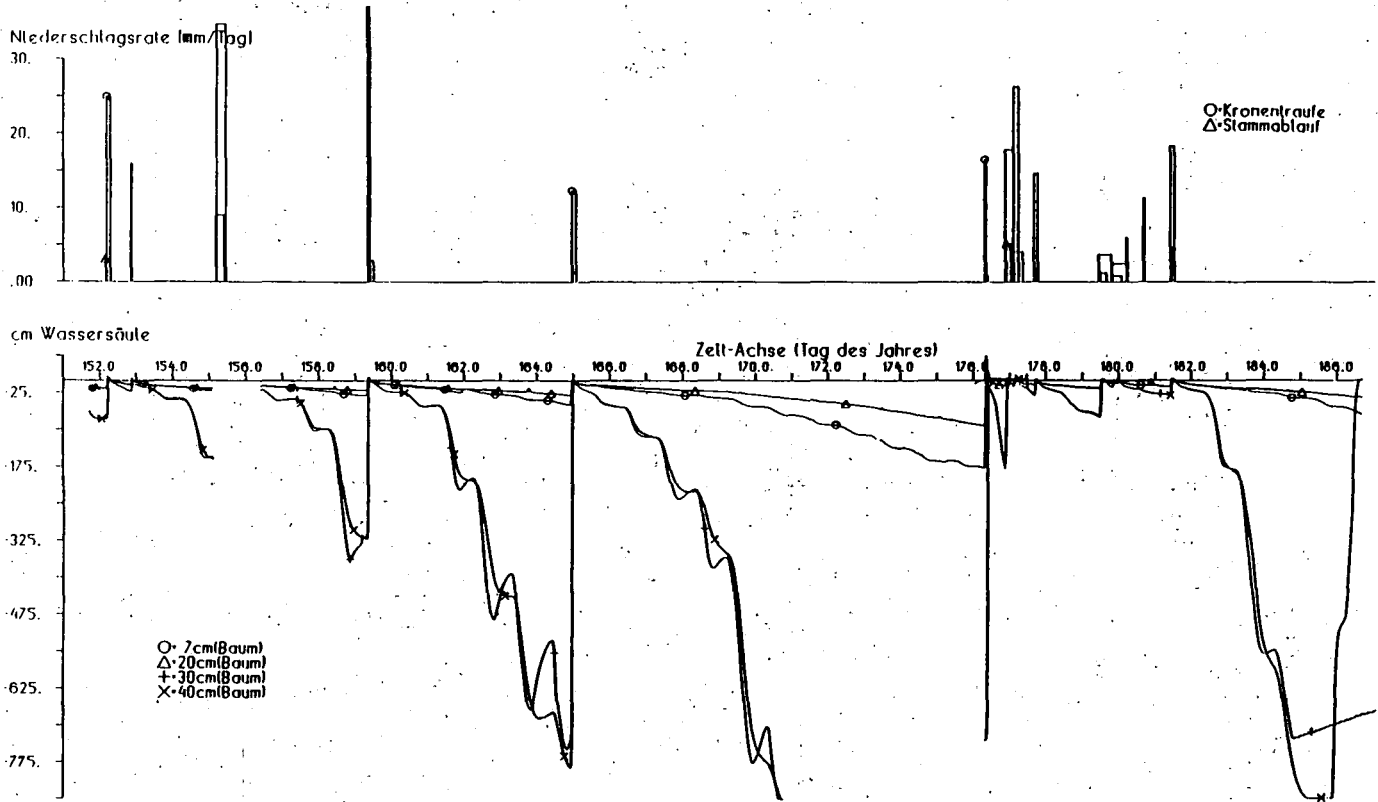
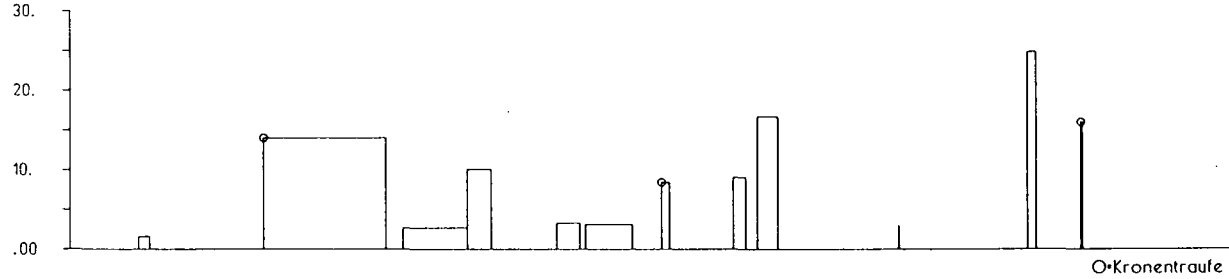


Abb. 5: Matrixpotentialverlauf Gö-Wald Juni 1983

Niederschlagsrate mm/Tag



cm Wassersäule



Abb. 6: Matrixpotentialverlauf Gö-Wald Mai 1983



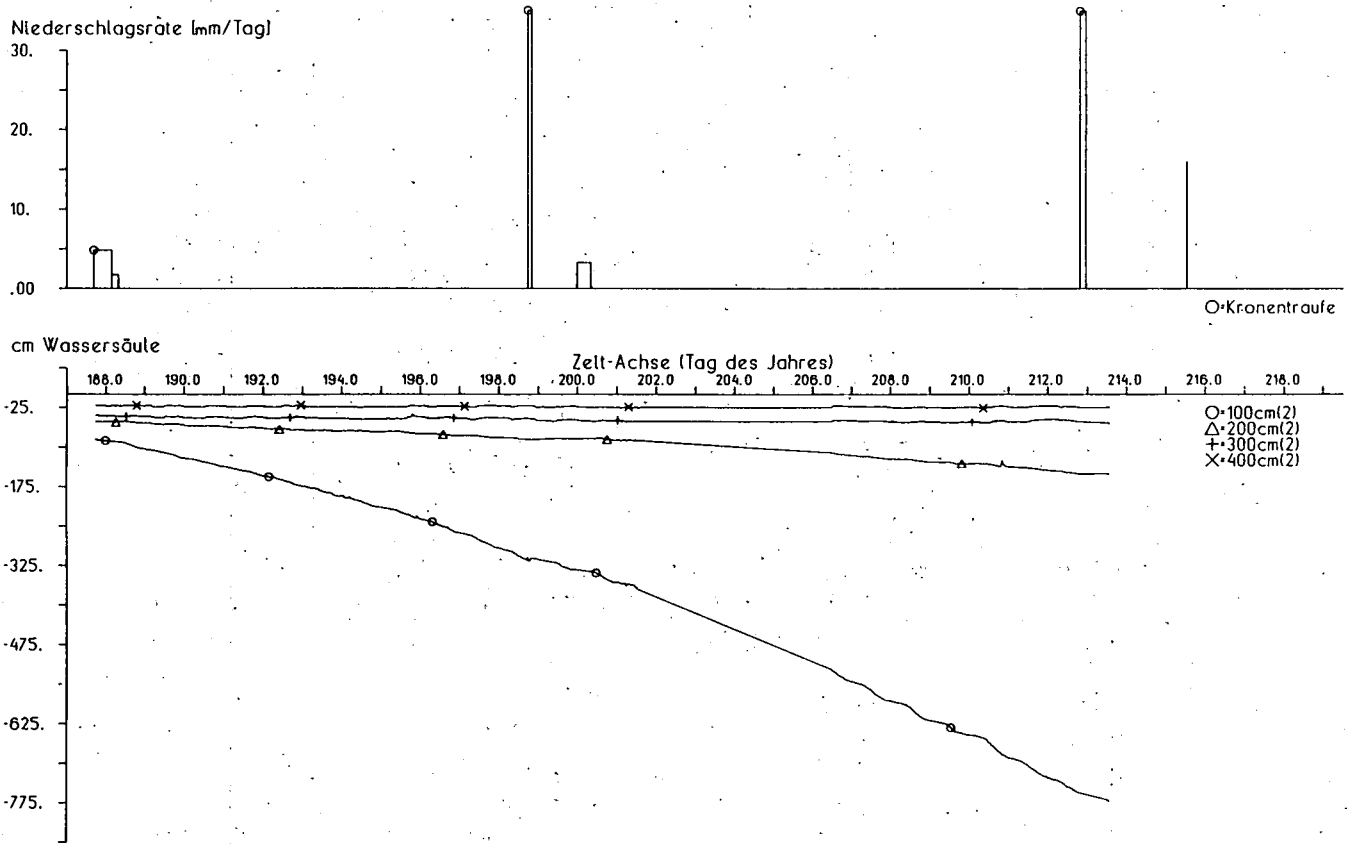


Abb. 7: Matrixpotentialverlauf Gö-Wald Juli 1983

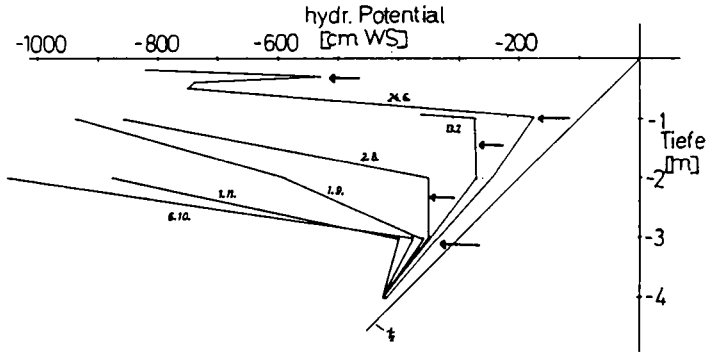


Abb. 8: Das hydraulische Potential als Funktion der Tiefe an 6 Terminen während des Jahres 1983 (Göttinger Wald, 1.2m Abstand vom Stamm; 2. Wiederholung). Die Lage der Wasserscheide ist mit einem Pfeil gekennzeichnet.

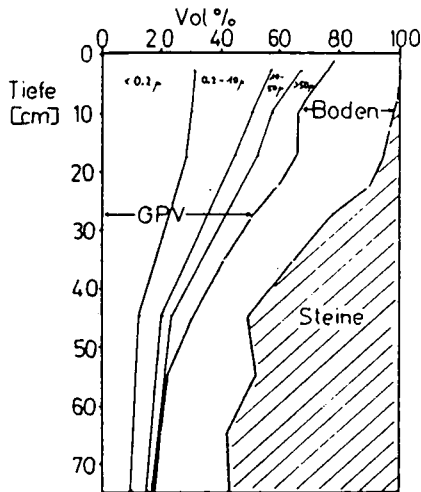


Abb. 9: Tiefenfunktion des Stein- und Feinmaterialanteils (Boden), des Gesamtporenvolumens und der Porendurchmesserverteilung einer Terra fusca Rendzina (Göttinger Wald).

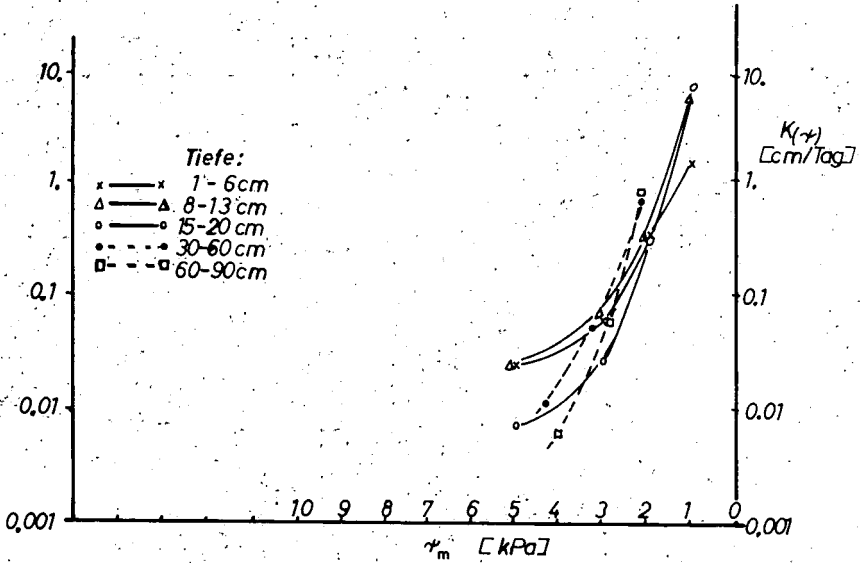


Abb.10: Leitfähigkeit als Funktion des Matrixpotentials aus dem Feinboden und Frostschutt einer Terra-fusca Rendzina (Göttinger Wald).

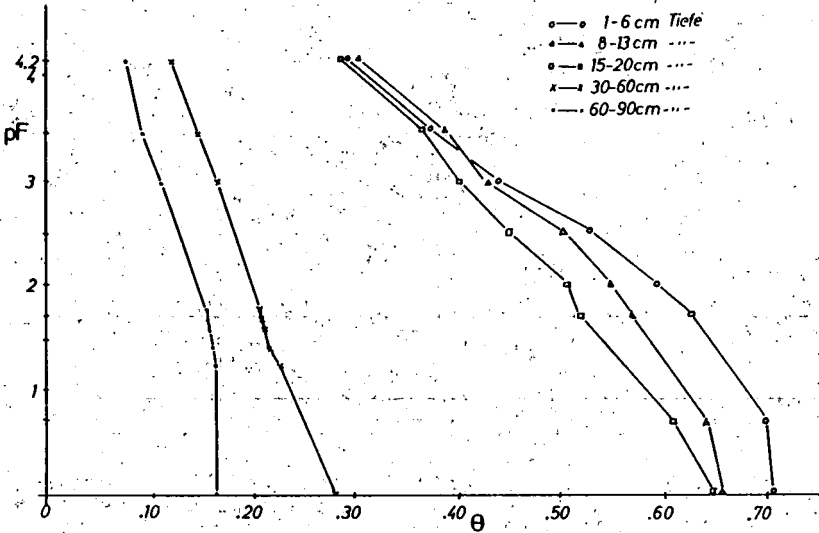


Abb.11: pF-Kurven aus dem Feinboden und Frostschutt einer Terra-fusca Rendzina (Göttinger Wald).

## Die Bodenfauna des Göttinger Waldes

M.Schaefer

In einem größeren Forschungsvorhaben der Abteilung Ökologie des II. Zoologischen Instituts wird die Bodenfauna des Göttinger Waldes seit 1980 untersucht. Dabei bestand und besteht enge Zusammenarbeit vor allem mit dem Institut für Boden - wissenschaften der Universität Göttingen ( Prof. B. Meyer, Dr. R. Aldag ) und mit dem Institut für Bodenbiologie in Braunschweig ( Prof. K. Domsch ). Ziel der Studien ist es, die Funktion der Tiere beim Prozeß der Streuzersetzung ( Dekomposition ) zu erkennen.

Erfassungsmethoden für die Bodenfauna sind Handauslese ( vor allem für Schnecken und Regenwürmer ), Austreibung mit Formalin ( für Regenwürmer ), Extraktion von Boden- und Streuproben nach Kempson ( für Makrofauna ) und MacFadyen ( für Mesofauna ), Spülen und Flotation ( für Dipterenlarven ), Naß austreibung für semiaquatische Tiergruppen ( bearbeitet in einem Projekt von Prof. U. Heitkamp ), Schlüpf fallen ( Emergenz fallen ) und - für Kleinsäuger - Lebendfallen.

Die Untersuchungen betreffen folgende Themen: Artenspektrum, Siedlungsdichte, Biomasse, räumliche Verteilung, Lebenszyklus, Phänologie und Nahrungsbiologie der einzelnen Tiergruppen, Freilandexperimente zur Zersetzung und Einarbeitung der Laubstreu; Experimente mit künstlich verändertem Laubstreufall; Experimente mit Veränderung des Feinddrucks durch zoophage Makroarthropoden; Mikrokosmosversuche im Labor und Freiland zur Wechselwirkung zwischen Mikroflora, Mesofauna und Makrofauna, Untersuchungen zum Energiebudget und zu Stickstoffbilanzen dominanter Tierarten.

Die Lebensgemeinschaft der Bodentiere in dem vor allem durch die Tätigkeit tiefgrabender Regenwürmer geprägten Mullboden des Göttinger Kalkbuchenwaldes ist im Gegensatz zur Bodenfauna des Sauerhumusbuchenwaldes im Solling stark durch Makroarthropoden geprägt.

Im Folgenden seien nur einige Informationen zur "Struktur" der Fauna gegeben.

### 1. Artenspektrum, Siedlungsdichte, Biomasse

Viele Tiergruppen erreichen eine hohe Artenzahl; dies gilt besonders für Hymenopteren und Dipteren. Kennzeichnend für den Wald ist also eine große, die Analyse erschwerende Artendiversität. Fast jede Gruppe enthält jedoch nur wenige dominante "Schlüsselarten".

Nach ihrer Biomasse sind die Regenwürmer die eindeutig dominierende Gruppe. Innerhalb der Mesofauna treten Hornmilben gegenüber den Collembolen zurück. Als räuberische Bodentiergruppe sind die Chilopoden durch hohe Individuenzahl und Biomasse charakterisiert.

Die ( vor allem der Biomasse nach ) dominanten Arten einiger der untersuchten Tiergruppen sind:

Lumbricidae ( Regenwürmer ): *Lumbricus terrestris* , *Allolobophora caliginosa*, *Octolasion cyaneum*, *O. lacteum*; nach Individuenzahl auch *Dendrobaena octaedra*.

Gastropoda ( Schnecken ): *Perforatella incarnata*, *Aegopinella nitidula*, *Arianta arbustorum*, *Trichia hispida*, *Helicodonta obvoluta*, auch *Vitrea crystallina*.

Oribatei ( Hornmilben ): *Nothrus palustris*, *Oppia subpectinata*, *A tropacarus striculus*, *Steganacarus magnus*.

Isopoda ( Asseln ): *Trichoniscus pusillus*, *Oniscus asellus*.

Diplopoda ( Doppelfüßler ): *Glomeris marginata*, *G. conspersa*, *Orthochordeuma germanicum*

Collembola ( Springschwänze ): *Tomocerus flavescens*, *Lepidocyrtus lignorum*, *Folsomia quadrioculata*, *Isotomiella minor*, *Isotoma notabilis*, *Hypogastrura denticulata*; nach Individuenzahl auch *Tullbergia krausbaueri*.

Diptera -Larven ( Zweiflügler ): *Sciaridae*, *Empididae*, *Rhagionidae*, *Lestremiidae*, *Limoniidae*, *Tipulidae*, *Chironomidae*.

Araneida ( Spinnen ): *Coelotes terrestris*, *Histoipona torpida*, *Amaurobius claustrarius*, *Harpactea lepida*; nach Individuenzahl auch *Micrargus herbigradus*, *Saloca diceros*, *Hahnia pusilla*.

Opilionida ( Weberknechte ): *Lophopilio palpinalis*, *Mitopus morio*, *Platybunus bucephalus*.

Carabidae ( Laufkäfer ): nach Individuenzahl unter anderem *Abax palallepipedus*, *Pterostichus melanarius*, *P. metallicus*, *P. oblongopunctatus*, *Molops piceus*, *Carabus*-Arten.

Staphylinidae ( Kurzflügler ): *Philonthus decorus*, *P. fuscipennis*, *P. rotundicollis*, *Othius punctulatus*, *O. myrmecophilus*, *Domene scabricollis*; nach Individuenzahl auch mehrere *Eusphalerum*-Arten, *Anthophagus angusticollis*.

Vögel : Kohlmeise ( 0,80 Brutpaare/ha ), Baumpieper ( 0,29 Brutpaare/ha ), Buchfink ( 0,29 Brutpaare/ha ).

Kleinsäuger: Rötelmaus, Gelbhalsmaus, Waldspitzmaus, Zwergspitzmaus.

## 2. Räumliche Verteilung

Ein komplexes räumliches Verteilungsmuster der Tierpopulation ist charakteristisch für den Kalkbuchenwald und führt zur Ausbildung zahlreicher "Subsysteme"

### 2.1 Horizontale Verteilung

Folgende Abhängigkeiten in ihrer horizontalen Verteilung wurden für die Bodentiere - in unterschiedlichem Ausmaß analysiert - erkannt: Beziehung zur Facies der Pflanzengesellschaft ( *Mercurialis* -oder *Allium-Mercurialis*-Facies ), zum Muster der Krautvegetation, zu definierten Biochorien ( wie Pilze, Baumstubben ), zur Anordnung der Baumstämme, zur Ausprägung von Bodenfaktoren, zur Struktur von Streu- und Krautschicht.

Aggregationen von Tieren können durch einer dieser Umweltfaktoren, aber auch durch mit der Population korrelierte Einflüsse ( z.B. Pheromone bei Collembolen ) bedingt sein. Für das horizontale Verteilungsmuster im Folgenden einige Beispiele.

Einfluß der Vegetation. Dipterenlarven ( Ceratopogonidae, Chironomidae, Sciaridae, Limoniidae und Empididae ) bevorzugten Kleinstandorte von *Lamiastrum galeobdolon*, weniger ausgeprägt Flächen von *Oxalis acetosella*, mieden zum Teil hingegen Areale mit *Galium odoratum* ( HÖVEMEYER, 1984 ).

WOLTERS ( 1985 ) wies nach, daß manche Collembolen ( *Entomobrya muscorum*, *Onychiurus scotarius*, *Pseudosinella alba* ) mit *Allium*-Blättern beschickte "FallabschachteIn" bevorzugten und zum Teil deshalb auch in höherer Dichte in der "Allium-Facies" als Bärlauchstreubewohner vorkamen.

Umgebung von Baumstämmen. Der Fuß von Baumstämmen ( unter anderem gekennzeichnet durch erhöhten Eintrag von Wasser und darin gelösten Stoffen ) ist für manche Arten bevorzugter Siedlungsraum; dies gilt z.B. für Collembolen ( WOLTERS, 1983, 1985 ) und Gastropoden ( CORSMANN ). Viele dieser Populationen nutzen bei feuchter oder nasser Witterung die Algenrasen auf der Rinde der Buchenstämmen als Nahrung ( z.B. die Springschwänze *Orchesella flavescens*, *Entomobrya muscorum*, *Tomocerus flavescens*, oder die Schließmundschnecken wie *Cochlodina laminata* ). Am Fuß der Bäume war im Juli 1982 die Dichte der Springschwänze 1,25 bis 1,55 mal so hoch wie in 2m Entfernung vom Stamm. Der baumnahe Bereich wurde bevorzugt von *Hypogastrura burkilli*, einigen Poduromorpha, juvenilen Isotomidae, *Entomobrya corticalis* und *Orchesella flavescens*; dabei traten höchste Individuenzahlen an der Baum-Südseite auf. Möglicherweise spielt der in Baumnähe höhere Wassergehalt der oberen 3cm Bodenschicht für die Collembolen eine Rolle.

Das Muster der Baumstämmen ist sicher ein wichtiges verteilungsbestimmendes Element in Wald-Ökosystemen.

Struktur der Streu. Dickere Streulagen können für manche Gruppen der Makrofauna eine Erhöhung von Artenzahl und Individuendichte bedingen, z.B. für Chilopoden und Staphyliniden. Auslegen von Kunststoffröhrchen in der Streu erhöhte die Populationsdichte der röhrenbauenden Spinnen *Coelotes terrestris* und *Histoipona torpida* signifikant ( STIPPICH ).

## 2.2 Vertikale Verteilung

Die meisten Tiergruppen konzentrieren sich in der Laubstreu und den oberen 3cm des Bodens. So hielten sich im Durchschnitt 2/3 aller Collembolen, nie aber weniger als 57 % der Collembolen in diesen Strata auf. Hier kamen im Durchschnitt 70 % der Gama-

sina und 77 % der Uropodina vor. Tiefenformen sind - außer Regenwürmern - manche Collembolen, Oribatiden, Räubmilben und viele zoophage Dipterenlarven ( Empididae, Dolichopodidae ).

Eine biologisch besonders aktive Zone ist die Grenze zwischen Laubstreuauflage und oberer Bodenschicht. Häufig erreicht der Anteil der Tiere hier ± deutliche Maxima im Frühjahr und Herbst. Während der sommerlichen Trockenperiode und während des Winters ziehen sich manche Populationen in größere Tiefen zurück. Es ergaben sich jedoch Schwierigkeiten, signifikante Korrelationen zwischen den Vertikalbewegungen der Tiere und abiotischen Faktoren herauszustellen.

Viele Dipterenlarven bevorzugen tiefere Bodenschichten. Dabei besteht eine deutliche Korrelation zwischen Hauptaufenthaltort und der Zugehörigkeit zu einer trophischen Gruppe ( HÖVEMEYER, 1985 ): "Surface-scrapers" halten sich vorwiegend in der Laubstreu auf. Die mycetophagen Gallmückenlarven verteilen sich über einen relativ weiten Bereich von Bodentiefen. Mikrohumiphage Dipterenlarven leben überwiegend im Boden, wobei manche Taxa ( z.B. Ceratopogonidae ) nahe der Grenze zwischen Streuschicht und Boden leben, andere wiederum ihren Verteilungsschwerpunkt in tieferen Bodenschichten haben ( z.B. Chironomidae ). Makrohumiphage Populationen bevorzugen häufig oberflächennahe Schichten. Die zoophagen Dipterenlarven ( Empididae, Rhagionidae, Dolichopodidae, Asilidae und Phaoniinae ) kommen nur sehr selten in der Streuschicht vor und haben ihren Lebensraum in tiefen und tiefsten Bodenschichten.

Übersicht über Artenzahl (S), mittlere jährliche Siedlungsdichte (N) und mittlere jährliche Biomasse (B) der terrestrischen Bodentiergruppen im Göttinger Kalkbuchenwald. Manche Ergebnisse sind vorläufig. Bei meisten Daten beziehen sich auf 1981/1982. Vorwiegende Ernährungsweise:

sa = saprophag, mi = mikrophytophag, zo = zoophag, ph = phytophag

		S	N	B
			Ind m <sup>-2</sup>	mg TS m <sup>-2</sup>
Lumbricidae	sa	10	192	10250
Gastropoda	sa, ph	30	308	430
Araneida	zo	92	140	46
Pseudoscorpionida	zo	3	24	9
Oplionida	zo	8	19	11
Cryptostigmata	sa, mi	62		
Mesostigmata - Gamasina	zo	54	2300	
Uropodina	mi	8	2000	
Isopoda	sa	6	325	87
Chilopoda	zo	10	187	265
Diplopoda	sa	5	55	627
Symphyla	sa	2	57	
Diptera	mi	> 1	221	3
Protura	mi	> 2	1036	2
Collembola	sa, mi	48	28000	110
Carabidae, Larven u. Imagines	zo	24	5	144
Staphylinidae, Larven u. Imagines	zo	85	103	76
Curculionidae	ph	34	21 <sup>1)</sup>	64 <sup>1)</sup>
Hymenoptera	zo	> 362	260 <sup>1)</sup>	
Diptera, Larven	sa, zo	> 245	2706	119

1) Schlüpfichte der Imagines

## Kohlenstoff-Umsatz und -Bilanz des Bodens

E. Andres

### E i n l e i t u n g

Ziel der von 1982 - 84 durchgeführten Untersuchungen zum Kohlenstoff-Haushalt war die Beantwortung der für Ökosystem-Analysen wichtigen Frage, ob sich der C-Speicher Boden des Kalkbuchenwaldes im Zustand des Fließgleichgewichtes oder in einem auf- bzw. abbauenden Ungleichgewichtszustand befindet.

Dazu galt es, die verschiedenen In- und Outputgrößen zu quantifizieren. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Erfassung der  $\text{CO}_2$ -Entbindungsraten des Bodens, mit der Vorgabe, Intensität und Umfang des Umsatzes der Bestandesaufwände (v.a. des Fall-Laubes), der Wurzelmasse und des Humus bei guter zeitlicher Auflösung quantitativ zu erfassen.

### M e t h o d i k

Die Messung der  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens im Freiland erfolgte mit PVC-Glocken, die auf im Boden fixierte Ringe aus dem gleichen Material aufgesetzt wurden (s. Abb. 1).

Aus dem zeitlichen Anstieg der gaschromatographisch bestimmten  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Glockenraum ließ sich der  $\text{CO}_2$ -Oberflächenfluß errechnen. Die Messungen erfolgten in wöchentlichem Abstand in der Nähe des Tagesmittels der Bodentemperatur. Varianten waren 'mit Laub' und 'ohne Laub' in jeweils 3-facher Wiederholung.

Um gleichzeitig die ökologischen Eigenschaften des Standortes näher zu charakterisieren, wurden mit Hilfe stationärer Sonden (s. Abb. 2) die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im luftführenden Porenraum des Solums bestimmt. Varianten waren 'mit Laub' und 'ohne Laub' in jeweils 2-facher Wiederholung. Zusätzlich wurden die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen unmittelbar an der Bodenoberfläche (i. d. Variante 'mit Laub' unter der Laubschicht) gemessen (Technik s. Abb. 3).

Als Untersuchungsobjekt wurde eine Terra fusca-Rendzina mit Muschel-

---

Landwirtschaftliche Beratung der Kali und Salz AG,  
Friedrich-Ebert-Str.160, D- 3500 Kassel



kalkkontakt in etwa 30 cm Tiefe gewählt, deren bodenchemische Kenndaten in den Tab. 1 und 2 dargestellt sind.

**E r g e b n i s s e**

**Jahresgang der CO<sub>2</sub>-Produktion.**

Aus Abb. 4 geht hervor, daß die CO<sub>2</sub>-Abgaberaten des ungestörten Bodens im Kalkbuchenwald (ohne Krautschicht) im großen und ganzen der Bodentemperaturkurve folgen. In den Hochsommer-Monaten treten Überlagerungen mit dem Gang des Bodenwasser-Gehaltes auf.

Die enge Beziehung zwischen CO<sub>2</sub>-Abgabe, Bodentemperatur und Bodenfeuchte kommt im hohen Bestimmtheitsmaß der sie beschreibenden multiplen linearen Regressionen zum Ausdruck.

VARIANTE	MULT. LIN. REGRESS.	r <sup>2</sup>
"MIT LAUB"	$Z = -124.12 + 12.35 \cdot x + 4.27 \cdot y$	0.82
"OHNE LAUB"	$Z = -96.45 + 12.64 \cdot x + 3.44 \cdot y$	0.76

- Z = CO<sub>2</sub>-Abgaberate (mg CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>)
- x = Bodentemperatur 7.5 cm Tiefe (°C)
- y = Wassergehalt 0 - 5 cm Tiefe (Vol.% H<sub>2</sub>O)

Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus der Laubauflage trägt nur zu 11 % zur Gesamt-CO<sub>2</sub>-Abgabe des Bodens bei. Rechnerisch wurden nur 21 % des jährlichen C-Eintrages mit dem Laubfall im Jahresverlauf bis zum CO<sub>2</sub> abgebaut. Dies steht im Gegensatz zur Dynamik der Laubauflage auf der Bodenoberfläche (Abb. 5). Für den Standort Kalkbuchenwald muß somit von einer weitgehenden zeitlichen Trennung zwischen Verschwinden und mikrobiellem Abbau der Laubstreu ausgegangen werden.

Offenbar findet ein nennenswerter mikrobieller Abbau des Fall-Laubes erst nach dessen Inkorporation in den Boden durch den Regenwurm statt.

**C-Bilanz des Bodens**

In forstwirtschaftlich genutzten Ökosystemen gelangt ein Großteil der

gebildeten Phytomasse nicht auf den Boden, sondern wird mit der Holzernte exportiert. Es ist daher sinnvoll, zur Erstellung der C-Bilanz des Bodens nur den Kohlenstoff-Eintrag mit dem Streufall und der Wurzelmasse zu berücksichtigen.

In Tab. 3 werden dem ober- und unterirdischen C-Eintrag zum Boden der Verlust durch die  $\text{CO}_2$ -Abgabe an die Atmosphäre ( $296 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) und der  $\text{CO}_2$ -Austrag mit dem Sickerwasser ( $10 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) gegenübergestellt.

Die rechnerischen Anteile des jährlichen Streufalles, der Wurzelstreu und der Wurzelatmung an den Gesamt- $\text{CO}_2$ -Verlusten des Bodens betragen 61, 31 und 8 %. Nahezu 40 % des im Jahresverlauf freigesetzten  $\text{CO}_2$  lassen sich somit auf Wurzelatmung und -abbau der Baumwurzeln zurückführen.

Nach Schmidt (1984) darf man für die Krautschicht des Kalkbuchenwaldes eine mittlere jährliche NPP (ober- und unterirdisch) von  $100 \text{ g IS} \cdot \text{m}^{-2}$  annehmen. Bei langfristig konstanter Biomasse trägt die Krautschicht mit einem C-Äquivalent von etwa  $50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  zur  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens bei. Unter Berücksichtigung der Wurzelatmung der krautigen Pflanzen dürfte deren Anteil an der Gesamt- $\text{CO}_2$ -Abgabe des Waldbodens 20 % nicht überschreiten.

Aufgrund der recht guten Übereinstimmung der Differenzgröße Wurzelatmung (der Bäume) mit Literaturangaben darf man die C-Bilanz des Bodens als ausgeglichen betrachten.

#### $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im Solum

Die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im luftführenden Porenraum des Solums überschreiten 0.8 Vol % nicht und bleiben damit weit hinter den aus Ackerböden bekannten Werten zurück (Abb. 6). Ursache sind die hervorragenden Diffusionsbedingungen für Gase im Porensystem (Abb. 7), die nicht nur durch das hohe Porenvolumen im Grobporenbereich ( $>50 \mu\text{m}$ ) sondern auch durch die hohe Kontinuität des Porensystems bedingt sind.

Der Jahresgang der  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen der Bodenluft ist durch einen Anstieg im April, relativ hohe Werte von Mai bis August und niedrige  $\text{CO}_2$ -Gehalte von September bis März gekennzeichnet.

Die Laubaufgabe führt im Kalkbuchenwald zu einer Erhöhung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Bodenluft im gesamten Solum. Besonders feuchtes Laub und Schnee (Februar 1983) wirken als Diffusionsbarriere.

Ein diffusionsbedingter Abfluß von  $\text{CO}_2$  aus dem Solum in das Kalkgestein ist aufgrund des ganzjährig zur Bodenoberfläche gerichteten Konzentrationsgradienten ausgeschlossen.

**Literatur:** ANDRES, E., 1984: Kohlenstoff-Umsatz und Bilanz des Bodens eines Buchenwald-Ökosystems auf Kalkgestein. Göttinger Bodenkundliche Berichte 80, 1-174.

ANDRES, E. und K.W. BECKER, 1982: Zum zeitlichen Gang der Laubaufgabe - Menge im Kalkbuchenwald. Kurzmitteilungen aus dem Sonderforschungsbereich 135 - Ökosysteme auf Kalkgestein - an der Univ. Göttingen 1, 71-76

DE ANGELIS, D.L., R.H. GARDNER and H.H. SHUGART; 1981: Productivity of forest ecosystems studied during the IBP: the woodlands data set. In: REICHLE, D.E. (ed.): Dynamic properties of forest ecosystems. IBP 23, 567-672, Cambridge University Press

PELLINEN, P., 1983: mündl. Mitteilung, Inst. f. Forsteinrichtung und Ertragskunde d. Georg-August-Univ. Göttingen

SCHMIDI, W., 1984: mündl. Mitteilung. Systematisch-Geobotanisches Institut der Georg-August-Univ. Göttingen

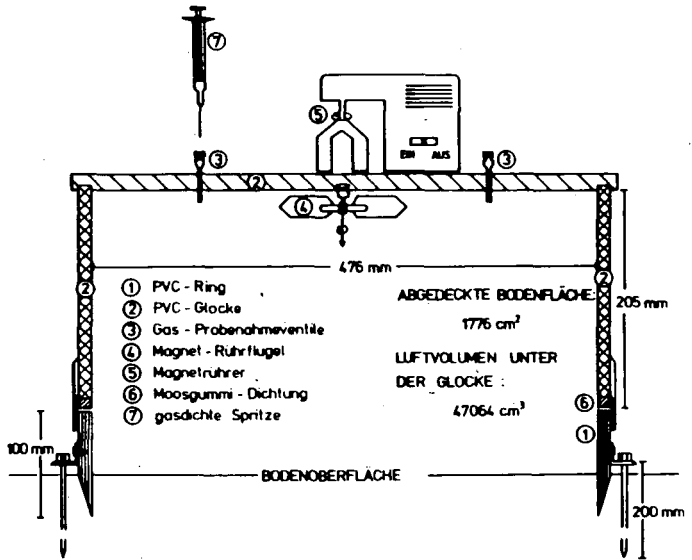


Abb. 1: Modifiziertes Glocken-Verfahren zur Messung der CO<sub>2</sub>-Abgabe des Bodens



10 mm

P Probenahme-Ventil mit Silikon-Septum

H Mantel-Rohr (hohl)  
 Innendurchmesser 33 mm  
 Wandstärke 1 mm

K Messkammer  
 Kammer Volumen ca. 20 cm<sup>3</sup>  
 Kammerhöhe 15 mm  
 Abstand Ende Entnahmerohr-  
 Ende Mantelrohr 15.0 mm  
 Abstand Ende Entnahmerohr-  
 Ende Vollkegel 25.0 mm  
 Randausfräsung Vollkegel  
 Höhe 3.0 mm  
 Breite 1.5 mm

L PVC-Vollkegel

S Gasentnahme-Rohr  
 Innendurchmesser 2.8 mm  
 Außendurchmesser 4.0 mm

Abb. 2: Stationäre Cu-Sonde zur Entnahme von Gasproben aus verschiedenen Bodentiefen

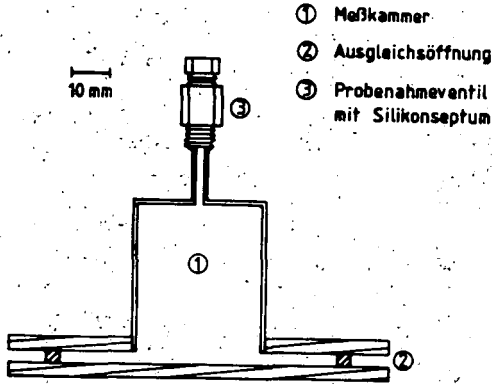


Abb. 3: Sonde zur Messung von Gaskonzentrationen in unmittelbarer Nähe der Bodenoberfläche

Tab. 1: Kenndaten des Mull-A- und AB-Horizontes der untersuchten Terra fusca-Rendzina

TIEFE (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	%C <sub>org.</sub>	%N <sub>t</sub>	C/N	kg C/m <sup>2</sup>	kg N/cm <sup>2</sup>
0- 3	4.92	7.41	0.58	12.78	1.512	0.118
3- 6	4.75	5.04	0.43	11.67	1.139	0.097
6- 9	4.69	4.08	0.37	11.02	1.102	0.100
9-12	4.56	3.55	0.33	10.75	1.015	0.094
12-17	4.73	3.37	0.32	10.53	1.651	0.157
17-25	6.12	3.29	0.30	10.96	2.645	0.241
$\Sigma =$					9.064	0.807

Tab. 2: Lagerungsdichten ( $d_B$ ) und Gesamtporenvolumina (GPV) der untersuchten Kompartimente (nach GERIES, 1983)

KOMPARTIMENT (cm)	$d_B$ (g/cm <sup>3</sup> )	GPV (Vol %) (cm <sup>3</sup> )
0 - 5	0.69	72.38
5 - 10	0.91	64.43
10 - 20	0.97	62.16
20 - 30	1.00	60.97

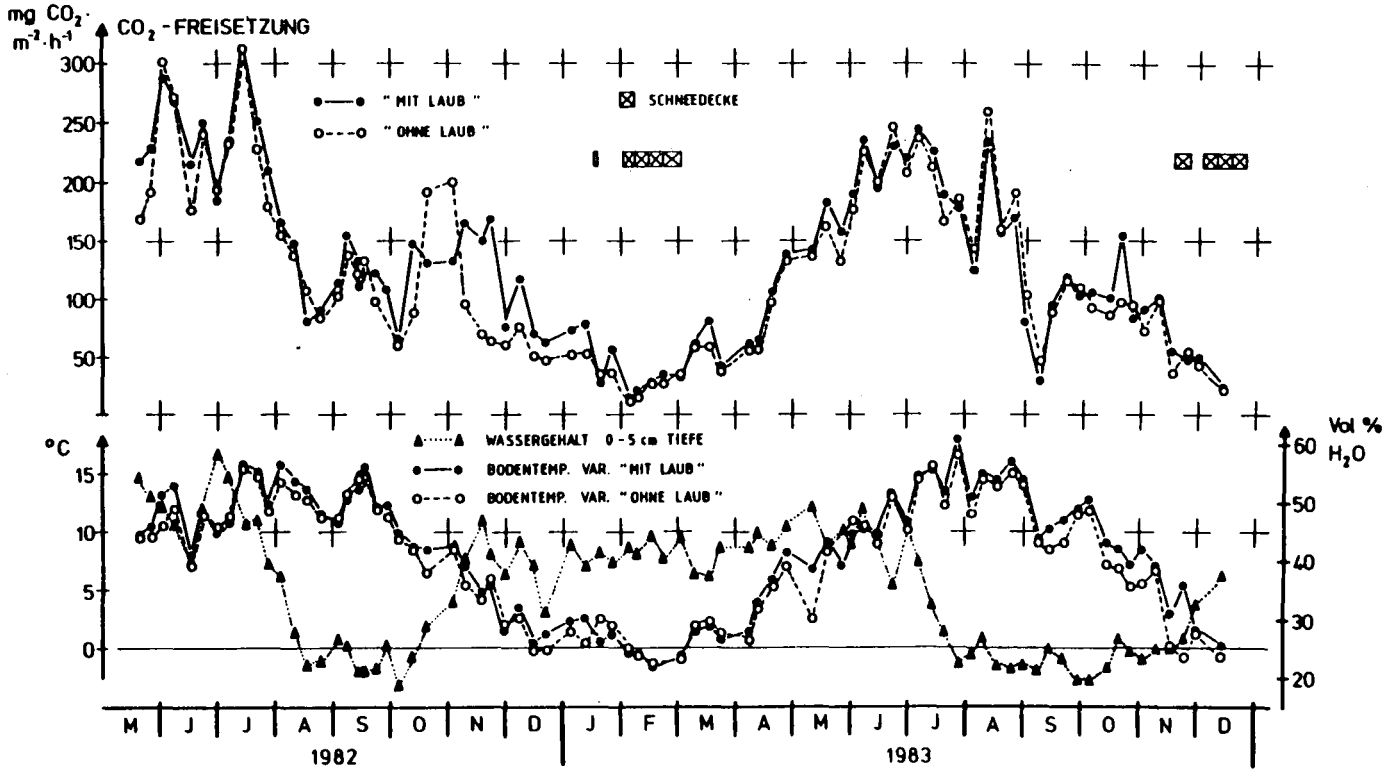


Abb. 4: Jahresgang der CO<sub>2</sub>-Freisetzung der Varianten "mit Laub" und "ohne Laub" im Glockenversuch sowie der Bodenfeuchte und Bodentemperatur

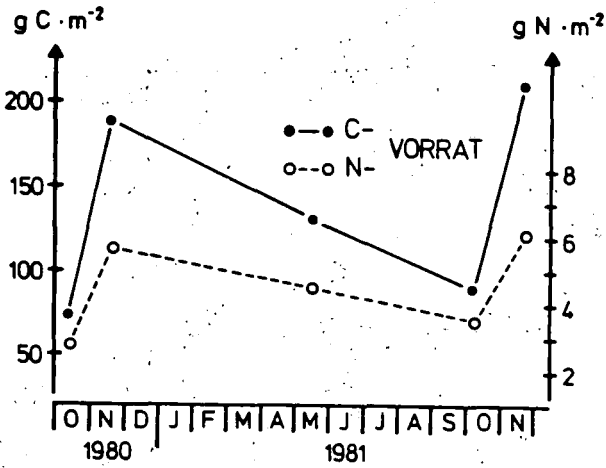


Abb. 5: C- und N-Vorrat (g·m<sup>-2</sup>) in der Laubaufbl. des Kalkbuchenwaldes im Jahresverlauf (ANDRES und BECKER 1982)

Tab. 3: C-Bilanz des Bodens; Terra fusca-Rendzina unter Kalkbuchenwald (unter Ausschluß der Krautvegetation)

C - EINTRAG (BODEN)	g C · m <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup>
Fallaub (ANDRES u. BECKER, 1982 ) (PELLINEN, 1983)	135
Fallholz	35
Knospenschuppen, Blüten, Früchte (PELLINEN, 1983)	18
	= 188
Wurzelstreu (DE ANGELIS et al., 1981)	+ 94
<u>Summe Eintrag</u>	= 282
<u>Summe Austrag</u> (einschl. Sickerwasser)	= 306
Differenz (Wurzelatmung ? )	= 24

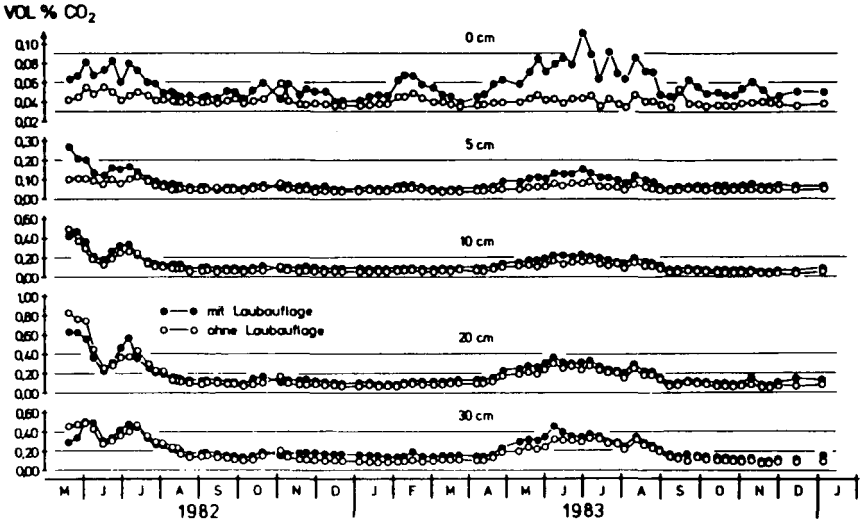


Abb. 6: CO<sub>2</sub>-Konzentration in verschiedenen Tiefen des Solums einer Terra fusca-Rendzina unter Kalkbuchenwald

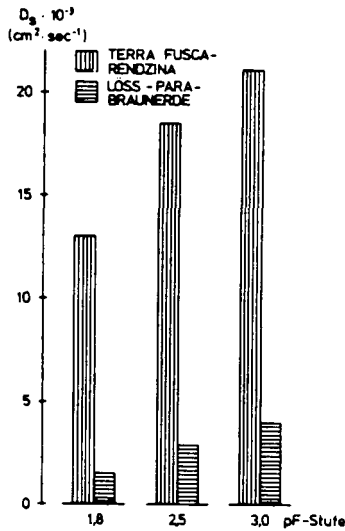


Abb. 7: Scheinbare Diffusionskoeffizienten (D<sub>s</sub>) einer Braunlehmrendzina (0 - 5 cm) sowie einer Lössparabraunerde (5 - 10 cm Tiefe) in Abhängigkeit von der Saugspannung des Bodenwassers





Exkursion

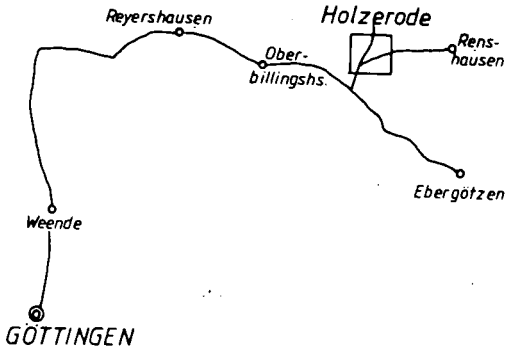
H O L Z E R O D E

von

Fölster, H. u. W. Hetsch



Thema: Wasserdynamik in Bodengesellschaften auf mittlerem Buntsandstein mit Lößüberdeckung unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogley-Problematik



Die Exkursion führt in eine Plateau-Lage des mittleren Buntsandsteins (sm 1), 15 km nordöstlich von Göttingen. Der Weg ins Exkursionsgebiet folgt zunächst dem Leinetalgraben nordwärts (Bovenden), biegt dann nach Osten ab, womit das Muschelkalkplateau des Göttinger Waldes umfahren wird. Während der Fahrt durch die Dörfer Reyershausen und Billingshausen liegt rechter Hand die Schichtstufe des

Abb. 1: Lageplan des Exkursionsziels.

Unteren Muschelkalkes (mu), während die (Tal-) Straße meist dem so (Röt) folgt, ehe sie vor Holzerode auf das Plateau des Buntsandsteins (sm 2) ausmündet, welcher östlich Holzerode ebenlagig oder an kleineren Schichtstufen in den sm 1 übergeht.

Geologie und Böden

Die Schichtungsfolge des sm 1 (Abb. 2) wird von REXHÄUSER (1957) und FIGGE (1959) wie folgt angegeben (Korrelation mit der Solling-Gliederung nach BOIGK (1956):

	Untersuchungsgebiet	Solling
sm 1e (sm 1d)	tonige Zwischenschicht (7m)	Hardeggener Ton Detfurther Wechselfolge)
sm 1c	heller-roter Sandstein (7m)	Detfurther Sandstein
sm 1b sm 1a	Wechselfolge feinschichtiger Sand- und Tonsteine (70m)	Hauptgerrillienlager Volpriehausener Wechselfolge

sm 1a und b (undifferenziert) stellen das überwiegende Ausgangsgestein im Untersuchungsgebiet. Dabei wechselt die mittlere Zusammensetzung aus Ton- und Sandsteinschichten sowie die Mächtigkeit insbesondere der letzteren. Im Plateaubereich korreliert dieser Wechsel mit Änderungen im Mesorelief: Dickere Sandsteinbänke bilden flache Kuppen mit meist geringerer Überdeckung von periglazialen Decksedimenten.

Der Übergang von sm 1e zu sm 2 ist mit durchaus unterschiedlich starkem Reliefanstieg verbunden. Im Bereich der tonigen Zwischenschicht finden sich Auslieger des sm 2 bzw. Block- bzw. Geröllfelder als deren Abtragungsreste.

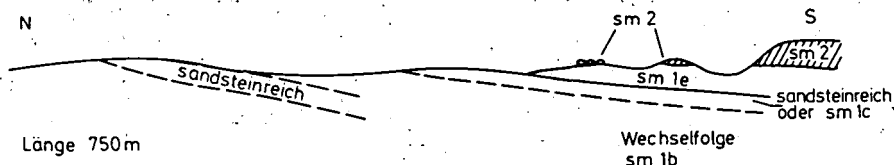


Abb. 2: Geologische Schichtenfolge im Querschnitt

Die Deckschichten-Folge zeigt die bekannte Sequenz von Löss über zwei Fließerden, von denen die ältere frei von Lössbeimischung ist. In Anlehnung an ROHDENBURG (1965b) wird die basale Fließerde (III) als Folge mittelwürmzeitlicher oder früh-jungwürmzeitlicher Solifluktion angesehen, die lößhaltige Fließerde (II) dagegen in den

basalen Teil des Jungwürms gestellt. Ihre durchgehende Graufärbung spricht für eine jungwürmzeitliche Naßbodenbildung, zumal die farbliche Begrenzung zum Hangenden stets sehr scharf ist, die Naßbleichung sehr homogen zu sein scheint, und zwar unabhängig davon, ob im holozänen Gesamtprofil eine stauende Rückwirkung ins Profil besteht oder nicht.

Die LÖBdecke hat im östlichen Plateaubereich eine größere Mächtigkeit ( $> 80$  cm, bis 250 cm) als im westlichen ( $< 80$  cm, vorwiegend 30 - 60 cm). Der untere Teil der LÖBauflage bildet ein deutliches Hangsediment (Fließerde I) mit Beimengungen von Sand und Skelett, z.T. von Steinsohlen bedeckt oder in solche einlaufend. Diese wie zwischengeschaltete (Fließerde I/II hauptsächlich) Spülsandschichten (1-30 cm, ms-fs, rotbraun-gebleicht) zeigen Erosions-Diskordanzen an, die auch mit räumlich wechselnder, partieller bis vollständiger Ausräumung einzelner Fließerden verknüpft sind. Die Erosionsoberflächen zwischen Fließerden bzw. Fließerde/LÖB zeigen ein bewegteres Mikrorelief als die heutige Oberfläche.

Im Untersuchungsgebiet (Forstämter Radolfshausen, Katlenburg, Genossenschaftsforst Spanbek) wurde eine Bodenkartierung (560 ha) im Maßstab 1:5 000 (Bohr-Raster: 50 x 50 bis 100 x 100 bis 1 m Tiefe, 200 x 200 m bis 2 m Tiefe, 40 Profilgruben) angefertigt. Der Legende liegt eine vierstufige Differenzierung des Hydromorphiegrades (nach Bleichungsgrad der Al-, Bv-, Sw-Horizonte, sowie Vorkommen von Fe-Mn-Konkretionen) auf jeweils 4 Material-Gruppierungen (tiefgründiger LÖB, mittelgründiger LÖB über Tonstein bzw. lehmiger Fließerde oder Wechselfolge, Tonstein mit geringer LÖBauflage) zugrunde.

In einem Kartenausschnitt (12.4 ha) mit starkem, kleinräumigem Wechsel von hydromorphen und nicht-hydromorphen Böden wurde außerdem eine Detailkarte (Maßstab 1:1 000, Bohr-Raster 10(20) x 20 m, je nach LÖBmächtigkeit 1 - 2.5 m Tiefe) hergestellt. Sie enthält 2 Teilbereiche mit jeweils  $>$  bzw.  $<$  80 cm mächtiger LÖBdecke. Querschnitte der Schichtungsfolgen aus beiden Bereichen werden in Abb. 3 und 4 wiedergegeben.

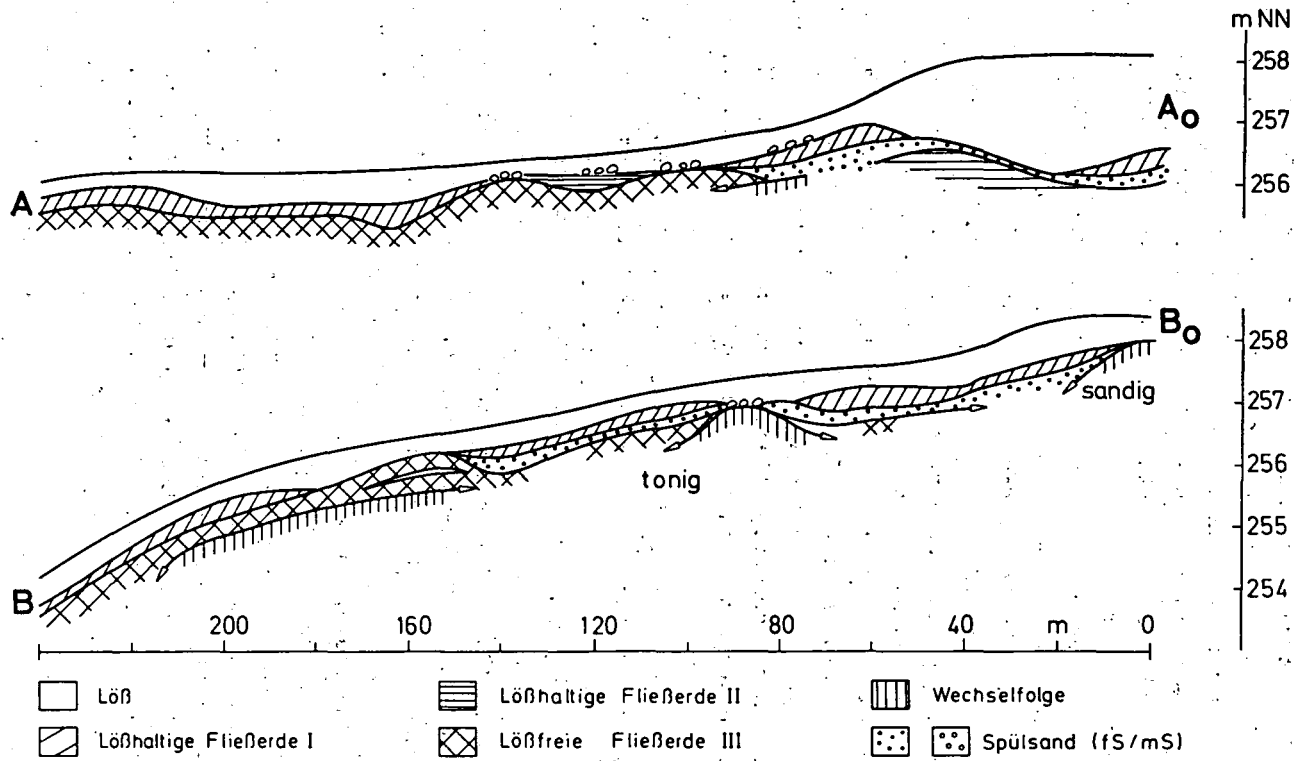


Abb. 3: Beispiels-Transecte der Schichtfolgen mit geringer Lössmächtigkeit.

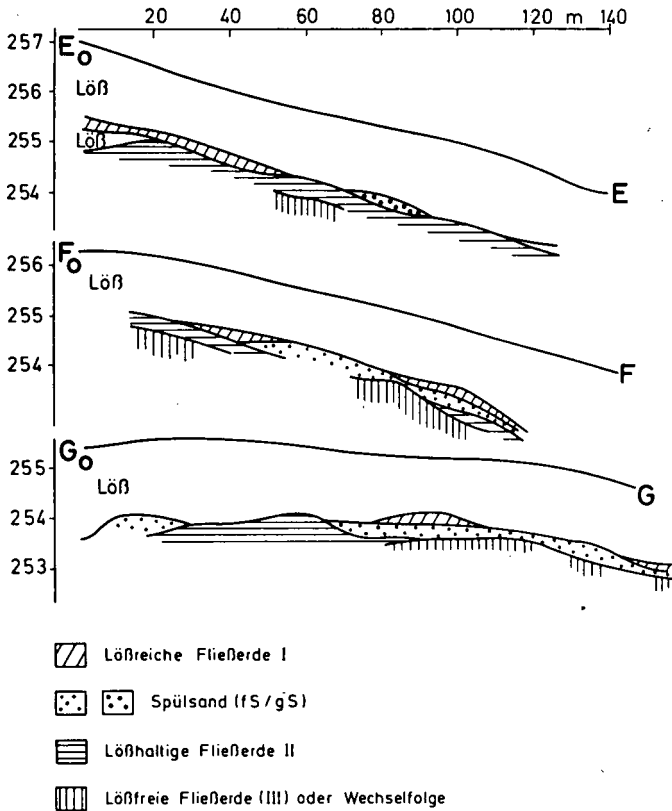


Abb. 4: Beispiels-Transekte der Schichtfolgen mit mächtiger Lößdecke.

Problemstellung, Untersuchungsansätze, Ergebnisse

Anlaß der Untersuchungen (s. DELGADILLO, 1981) war die Frage nach den Ursachen der Existenz und der z. T. sehr kleinräumigen Variabilität von Hydromorphie-Merkmalen - wie auch ihrer Aktualität - in der Bodendecke. Hierzu wurden 3 parallele Ansätze verfolgt:

- a) Charakterisierung der Horizonte und Schichten hinsichtlich ihrer hydrologischen Eigenschaften und ihrer möglichen Stau- oder Haftwasservernässung erzeugenden oder verstärkenden Rolle.
- b) Untersuchung der Beziehung zwischen Hydromorphiegrad und den Horizontierungs- und Schichtungsverhältnissen.



- c) Untersuchung des Bodenfeuchteganges an verschiedenen Meßpunkten um Auskunft über die Aktualität der beobachtbaren Hydromorphie zu bekommen, andererseits um über den Verlauf der Bodenfeuchte-Änderungen Information zur Bedeutung verschiedener Straten und Horizonte für Stauwasser und Quellhorizonte zu erarbeiten.

Zu a: Von 19 Profilen wurden horizont- bzw. schichtweise folgende bodenphysikalische Parameter erhoben (punktweise ebenfalls Feld-pf-Kurve):

TRD	Trockenraumdichte
GPV	Gesamtporenvolumen
GP1	Grobporen pF 0-1.3
GP2	Grobporen pF 0-1.8
GP3	Grobporen pF 1.8-2.5
MP1	Mittelporen pF 2.5-4.2
MP2	Mittelporen pF 1.8-4.2
PWP	Wassergehalt, permanenter Welkepunkt
FWK	Feldwasserkapazität
Kf	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit
Ku <sub>20,50,100</sub>	ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei 20, 50, 100 cm WS
T	% Ton
GU	% Grobschluff
FMS	% Fein- und Mittelsand

Die erhobenen Parameter sind in Tab. 1, die mittleren pF-Kurven und Leitfähigkeiten der Horizonte und Schichten in Abb. 5 wiedergegeben. Als wichtigste Ergebnisse können herausgestellt werden:

Die Sw-Horizonte sind gegenüber den ÄI-, Bv-Horizonten verdichtet und lassen dies in allen relevanten Parametern erkennen. Der verringerte Grobporenanteil dürfte sich auf den Gasaustausch und die Sauerstoffversorgung der Wurzeln auswirken.

Bt- und Sd-Horizonte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer pF-Kurve nicht, hinsichtlich ihrer Leitfähigkeit nur im Saugspannungsbereich 50-100 cm WS. Auch wenn letztere Verschiebung sicher Auswirkung auf die Pegler-Funktion des Bodens hat, so scheint doch die Möglichkeit, der Bt-Horizont könne die Funktion des Staukörpers übernehmen (MÜCKENHAUSEN, 1962).

Tab. 1: Mittelwerte und Streuung bodenphysikalischer Parameter der Horizonte sowie lehmiger (Fl) und toniger (Ft) Fließerde

	TRD	GPV	GP1	GP2	GP3	MP1	MP2	PWP	FWK	Ks	Ku20	Ku50	Ku100	TON%	GU%	FMS%	
Ah n=11	1.25 0.16	51.2 6.1	6.5 4.4	9.6 5.6	8.0 3.6	19.9 2.7	27.9 3.4	13.7 2.3	39.7 3.6	50.8 19.2	4.044 2.861	1.685 1.734	0.684 0.695	13 3	47 3	9 4	$\bar{x}$ s
Al n=11	1.37 0.12	48.0 4.4	-8.2 4.2	11.1 4.8	6.4 3.4	17.0 4.5	23.3 6.7	13.5 4.1	35.4 4.0	32.0 20.2	2.627 2.842	1.377 1.768	0.555 0.672	13 5	43 14	12 10	$\bar{x}$ s
Sw n=10	1.52 0.11	42.1 3.9	4.8 2.6	7.3 3.5	4.6 1.6	13.4 2.9	18.0 2.9	16.7 3.0	33.4 2.2	32.5 16.9	2.224 1.254	0.532 0.284	0.176 0.11	15 5	39 11	13 7	$\bar{x}$ s
Bt1 n=5	1.53 0.05	42.2 1.7	4.9 1.1	6.4 1.6	3.4 1.6	12.6 2.0	16.0 1.1	19.8 1.1	35.0 1.2	9.2 4.5	0.956 0.697	0.571 0.337	0.330 0.170	20 2	51 2	4 2	$\bar{x}$ s
Bt2 n=6	1.55 0.04	41.1 1.4	2.7 1.8	3.6 1.9	2.2 0.6	15.1 2.6	17.4 2.9	20.0 2.7	37.0 2.0	4.1 3.7	0.272 0.192	0.183 0.120	0.133 0.093	23 3	43 5	7 2	$\bar{x}$ s
Bt n=11	1.54 0.04	41.5 1.5	3.7 1.8	4.9 2.2	2.7 1.2	14.0 2.6	16.8 2.3	19.9 2.0	36.1 1.8	6.4 4.7	0.580 0.581	0.360 0.306	0.220 0.162	22 4	47 5	6 2	$\bar{x}$ s
Sd n=4	1.59 0.06	41.1 2.1	2.9 1.3	4.7 1.6	3.5 1.7	13.0 3.2	16.4 4.1	19.9 3.9	35.6 5.7	7.8 4.8	0.555 0.277	0.180 0.175	0.120 0.119	26 9	43 5	5 2	$\bar{x}$ s
Fl n=13	1.68 0.05	37.3 1.7	2.6 1.5	3.6 1.9	2.6 1.4	9.6 2.9	12.1 3.0	21.4 3.5	32.9 3.1	2.9 4.9	0.306 0.430	0.140 0.227	0.060 0.039	20 7	29 11	22 15	$\bar{x}$ s
Ft n=11	1.67 0.15	38.9 4.3	2.3 1.2	3.0 1.3	1.4 1.1	8.4 3.0	9.9 2.6	26.1 3.4	35.6 4.7	2.7 4.3	0.200 0.325	0.110 0.157	0.050 0.059	33 10	15 11	16 14	$\bar{x}$ s

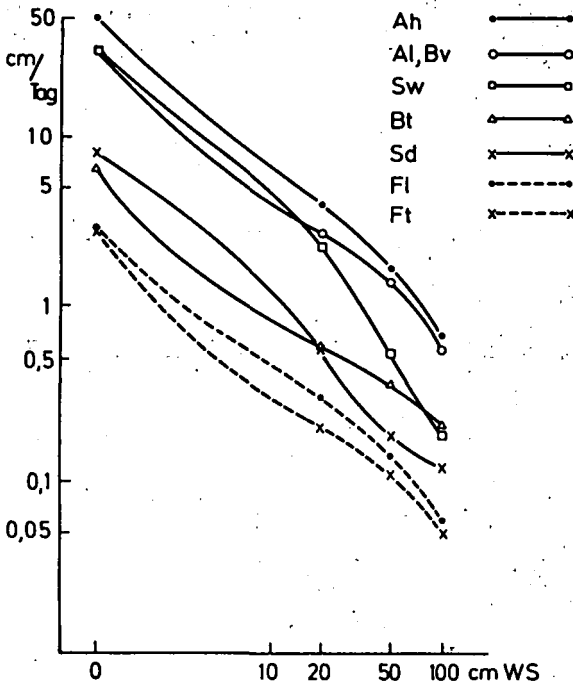
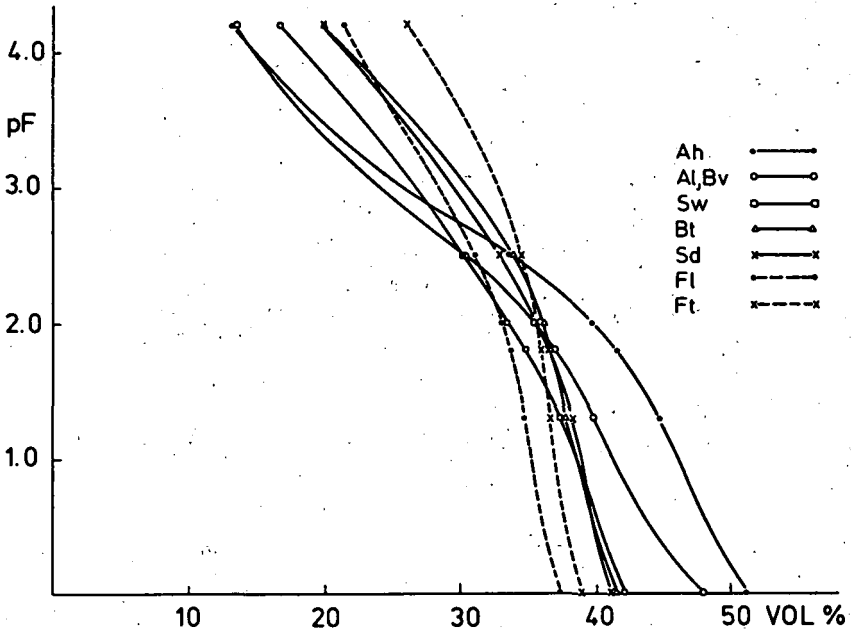


Abb. 5:

Mittlere pF-Kurven und Leitfähigkeiten der Schichten und Horizonte (Fl und Ft: lehmige und tonige Fließerde - II, III).

zumindestens in Frage gestellt.

Dagegen heben sich die Fließerden II und III von den Bt- und Sd-Horizonten durch eine deutliche zusätzliche Verdichtung ab.

In der schrittweisen Abnahme der Leitfähigkeit (Ah - F) kommt - abgesehen von der pedogenen Differenzierung (Al/Bt) - sowohl die Tiefenlage (Vergleich z.B. Bt1 und Bt2) zur Geltung (abnehmende Durchwurzelung und Gefügedynamik) wie andererseits die Art und Vorgeschichte des Materials (feuchtere Periglazialbedingungen für die Fließerden). Die Daten selbst können dabei zunächst nur relativ bewertet werden, da sie in ihrer absoluten Höhe stark methodisch bedingt sind (OPARA NADI, 1979). Korrekturen auf Grund von Validierungen durch Simulationsmodelle oder durch Auswertung von Gleichgewichts-Sickerströmungen im Gelände konnten nicht vorgenommen werden, da (s.u.) der Einfluß gesättigter lateraler Zu- und Abflüsse über dem Staukörper (Aquifers) zu groß ist.

Zu b: Hierzu wird in Tab. 2 die punktweise Beziehung zwischen vertikaler Schichtungsfolge und Hydromorphiegrad im Gebiet der Detailkarte wiedergegeben. Als Ergebnis kann zusammengefaßt werden:

- daß größere Lößmächtigkeiten eine stärkere Ausgleichsfunktion haben (58 % gegenüber 74 % Pseudogleye),
- daß gewisse Schichtungsfolgen zwar Verschiebungen im Hydromorphiegrad bewirken, aber eine eindeutige Zuordnung zu vertikalen Schicht- bzw. Horizont-Zonierungen nicht möglich ist,
- daß jedoch eine Abhängigkeit besteht zu Reliefsituationen der heutigen Oberfläche bzw. besonders dem Relief der Löß/Fließerde-Grenze.

Da diese Grenze - mit oder ohne Spülsand - als deutlicher Aquifer auch an Profilwänden zu identifizieren ist, muß der horizontalen Umverteilung des Wassers durch gesättigtes Fließen eine besondere Bedeutung zukommen. Die Unschärfe der untersuchten Beziehung (Schichtungsfolge/Hydromorphie) beruht dann darauf, daß ein Aquifer potentielles Stauwasser ab- und zuführen kann.

**Tab. 2:** Beziehung zwischen Schichtungsfolge und Hydromorphiegrad: Die Ziffern stellen die Zahl der Bohrpunkte dar, an denen bei gegebener vertikaler Schichtfolge jeweils die Hydromorphiestufen 9 - 12 (mächtige Lößdecke, Parabraunerde bis Pseudogley - obere Tabelle) bzw. 3 - 6 (geringe Lößüberdeckung, Braunerde bis Pseudogley - untere Tabelle) registriert wurde. Rechts jeweils die prozentuale Verteilung der Hydromorphiestufen innerhalb der Schichtungstypen.

bis 2 m	Bohrpunkte				% - Verteilung			
	9	10	11	12	9	10	11	12
a) Löß (+FI)	3	1	1	1	50	16	17	17
b) Löß über Spülsand	5	2	1	1	56	22	16	16
c) Löß über Spülsand + grauer FII	0	4	2	0	0	66	34	0
d) Löß über grauer FII	4	3	7	11	16	12	28	44
e) Löß über Spülsand + toniger FIII	0	0	4	1	0	0	80	20
f) Löß über toniger FIII	0	0	1	1	0	0	50	50
Summe	12	10	16	15	23	19	30	28

	Bohrpunkte				% - Verteilung			
	3	4	5	6	3	4	5	6
a) Löß + FI über sandiger Wechselfolge	2	7	4	1	14	50	29	7
b) Löß + FI über toniger Fließerde III oder toniger Wechselfolge	3	18	27	42	3	20	30	47
c) wie b), aber mit eingeschaltetem Spülsand	2	7	12	25	5	15	26	54
Summe	7	32	43	68	5	21	29	45

**Zu c:** Der Bodenfeuchtegang wurde 3 Vegetationsperioden (1977-79) an 9 ausgewählten Punkten durch Tensiometerfelder ermittelt. Abb. 6 und 7 geben die Saugspannungsisoplethen für 3 Profile mit > 80 cm Lößdecke (F3: Parabraunerde, F1: Pseudogley-Parabraunerde, F2: Pseudogley - Profilbeschreibung im Anhang) für die Jahre 1977 (relativ trocken) und 1978 (relativ feucht) wieder.

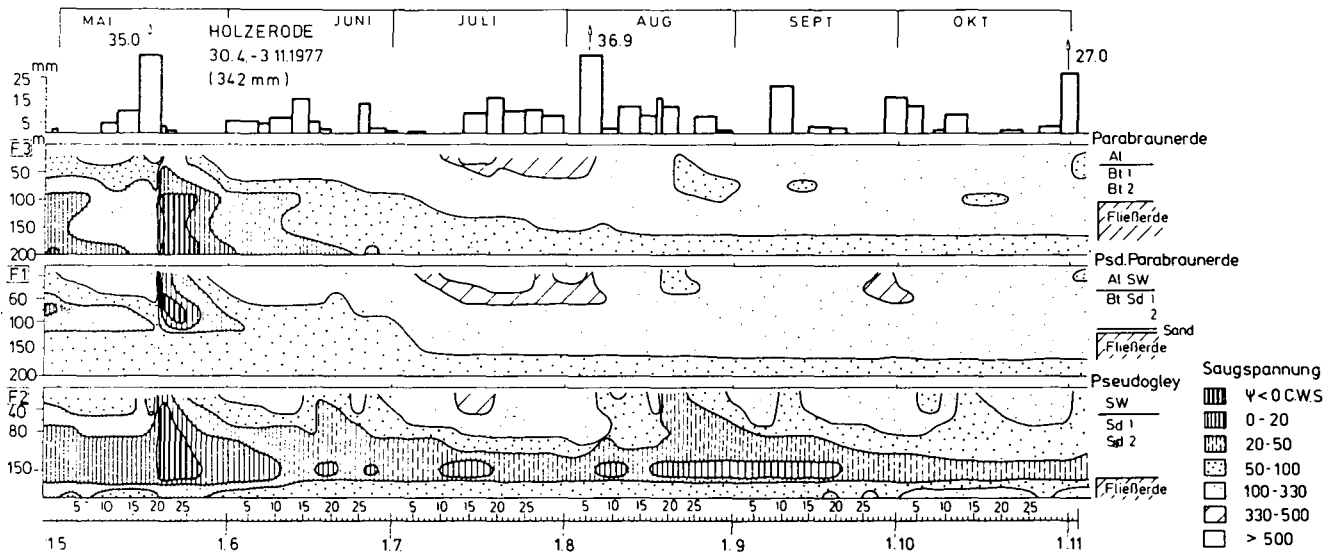


Abb. 6: Saugspannungs-Isoplethen (1977) von Parabraunerde (F3), Pseudogley-Parabraunerde (F1) und Pseudogley (F2).

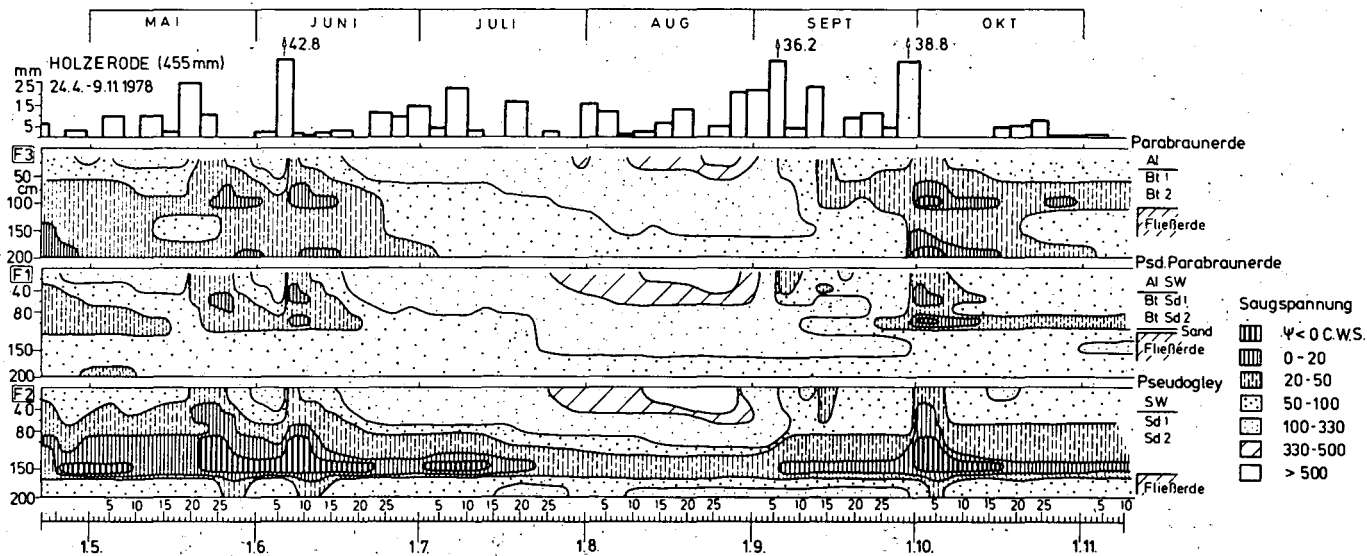


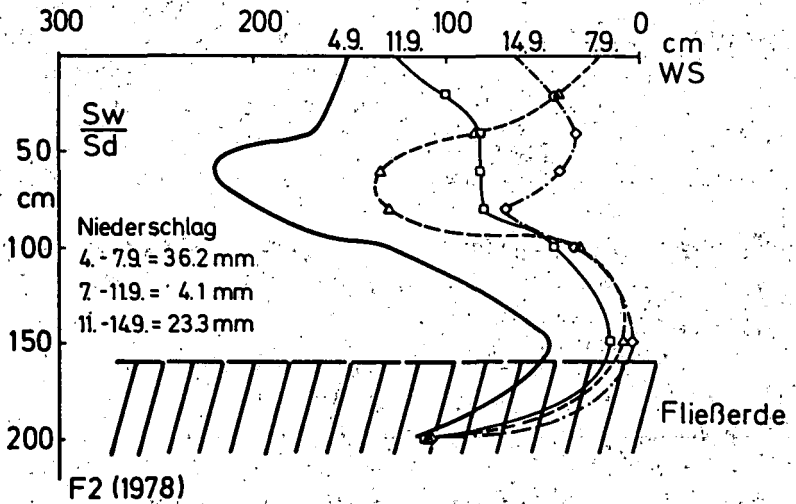
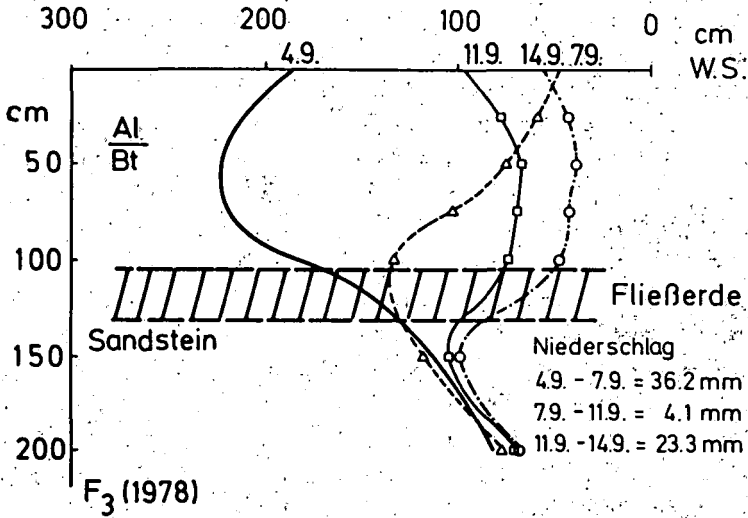
Abb. 7: Saugspannungs-Isoplethen (1978) von Parabraunerde (F3), Pseudogley-Parabraunerde (F1) und Pseudogley (F2).

Was die Intensität der Austrocknung in der Sommerperiode anbelangt, so scheinen die Unterschiede zwischen den 3 Bodenstandorten recht gering, zumindestens wenn man die oberen 60 - 80 cm betrachtet. Der auffälligste und durchgängigste Unterschied ist der, daß sich in F3 und 1 die Abtrocknung über 100 mbar hinaus kontinuierlich vertieft über den Löß hinaus bis auf 150 cm (Fließerde, Gestein), während im Pseudogley F2 die 100 mbar-Grenze meist nur bis 80 cm Tiefe wandert. Hier bilden sich dann steile Gradienten zur meist recht hoch gesättigten Grenzzone zur Fließerde aus. Fast-Sättigungsphasen sind in dieser Zone in F2 ausgesprochen dominant, während sie in F3 und F1 zeitlich begrenzt sind. In allen 3 Profilen bildet die Fließerde ganz offensichtlich den primären Staukörper, der allerdings in F3 durch einen weiteren Staukörper (Gesteinschicht) unterlagert wird.

Auffällig ist, daß der Bt/Sd-Horizont demgegenüber nur selten - und auch nur schwach und untergeordnet - als kurzfristig stauendes Hindernis der Wasserleitung in Erscheinung tritt, so in F1 Ende Mai, Anfang Juni und wieder Anfang September 1978 und in F2 Ende Mai 1978. In anderer Form zeigt dies auch die Abb. 8, in der jeweils für F3 (Parabraunerde) und F2 (Pseudogley) die Tiefenfunktionen der Saugspannung für die Wiederbefeuchtungsphase vom 4. - 14.9.1978 dargestellt wird. Während die Tiefenfunktion in F3 einen gleichmäßigen Verlauf durch den Bt-Horizont zeigt, verzögert der Sd-Horizont den Ausgleich der Feuchtefront.

In allen 3 Fällen baut sich wenig gespanntes bzw. freies Wasser während der Feuchtphasen regelmäßig vom Staukörper (Fließerde II) her auf. Die Profile unterscheiden sich darin, wie häufig dieser Fall eintritt, wie stark die Grobporen-Auffüllung ist und wie hoch im Profil sich dieser Zustand auswirkt. Erklärbar werden diese Unterschiede nur durch Umverteilung von ungespanntem Wasser in Aquifers oberhalb der Stauschicht, durch die in F1 und F3 Wasser abgeführt, in F2 zugeführt wird. Wasserfluß erfolgt längerfristig (in F3 beobachtet) als die Sättigungsphasen in Abb. 6, 7 erkennen lassen, da die Aquifers von den Tensiometern nicht direkt erfaßt wurden. Für eine Zeitspanne (8. - 26.5.78) wurden für die drei Profile aus  $\Delta \theta$  (aus gravimetrischen





**Abb. 8:** Tiefenfunktion der Saugspannung in Parabraunerde (F<sub>3</sub>) und Pseudogley (F<sub>2</sub>) in einer Wiederbefeuchtungsperiode 4. - 14.9.1978.

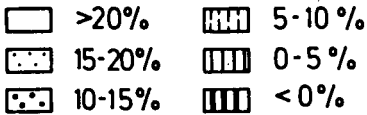
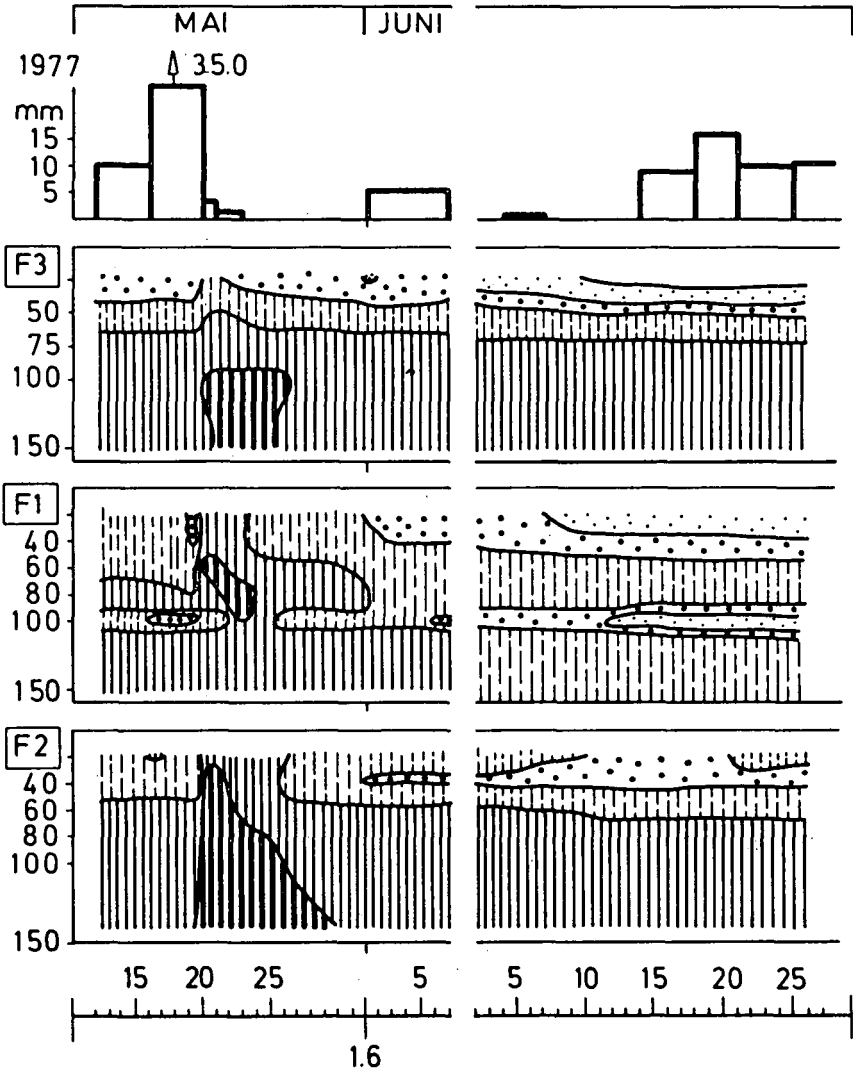


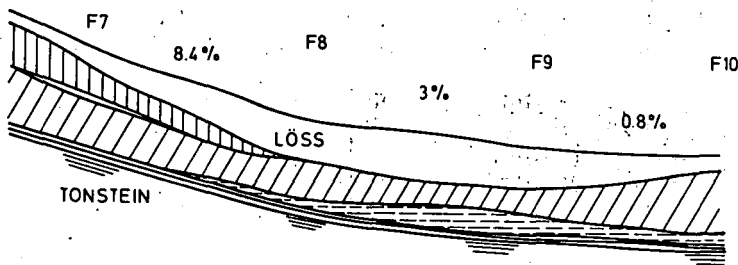
Abb. 9:

Aktuelle Luftkapazität von Parabraunerde (F3), Pseudogley-Parabraunerde (F1) und Pseudogley (F2) in 2 Perioden (1977: Mai/Juni und Juli), berechnet aus Saugspannung und Labor-pF-Kurve.

Wassergehaltsbestimmung), Bestandesniederschlag und angenommener ET von 0.5 mm/Tag bei Nichtberücksichtigung der Versickerung durch den Staukörper für F1 und F3 Verluste von etwa 10 mm und für F2 ein Gewinn von 19 mm errechnet.

Was die Hauptdurchwurzelungszone (0-50 cm) anbelangt, geben die Isoplethen-Diagramme wenig Anhaltspunkte für eine Differenzierung zwischen Parabraunerde und Pseudogley. Die Unterschiede werden etwas deutlicher, wenn man die aktuelle Luftkapazität berechnet (s. Abb. 9).

In Gebieten mit geringerer Lößüberdeckung, also oberflächennäherer Stauzone, spielen Aquifers eine noch wichtigere Rolle, weil ungespanntes Wasser häufiger auftritt. Wiedergegeben werden hier nur die Saugspannungs-Isoplethen des Jahres 1979 (Abb. 11) einer vierstufigen Meßfeld-Sequenz an einem etwas stärker geneigten Hang. 2 - 3 Fließerden liegen über dem anstehenden Ton des sm 1e, davon zeigt die mittlere durchgehende Graufärbung (Abb.10).








-  FLIESSERDE, SKELETTREICH, PLATTIG EINGEREGLT
  -  FLIESSERDE GRAU
  -  FLIESSERDE ROT
- MASSTAB: 1m   
SCHICHTUNG:  25cm

Abb. 10: Schichtenverlauf am Hang der Meßstellen F7 - 10.

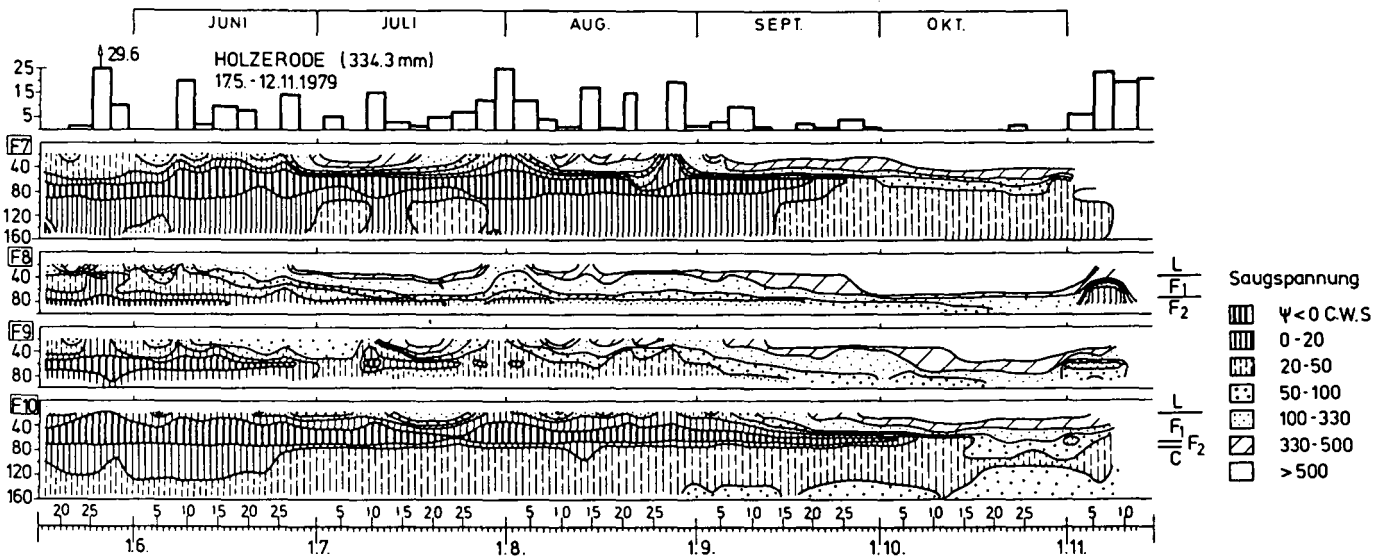


Abb. 11: Saugspannungs-Isoplethen (1979) entlang einer Hangsequenz Pelosol-Pseudogley (F7 - F10).

Insgesamt fallen in diesen Böden mit ihrer gedrängten Schichtenfolge die gerade während der Austrocknungsphasen meist sehr steilen Tiefengradienten der Matrixspannung auf. Dies ist einerseits eine Funktion der geringen Durchwurzelungstiefe, welche zu einer schnellen Wassererschöpfung des Oberbodens führt und andererseits oberflächennaher Sättigungszonen.

Diese Stauwasserzonen sind gerade in F7 und F10 recht beständig. Stauwasser tritt zu Anfang der Meßperiode 79 in allen 4 Profilen auf, klingt bis Ende Juni in den beiden mittleren Hangprofilen ab, dagegen in F7 erst Mitte September, in F10 Anfang Oktober, zur Zeit der starken Austrocknung. Während jedoch in diesem Profil der Ebene die hohe Sättigung noch im Juni bis fast zur Oberfläche durchschlägt, beschränkt sie sich in F7 auf die zweite Fließerde (50 - 90 cm).

Der Unterschied zwischen den 4 Meßstellen wird wohl im wesentlichen dadurch erklärt, daß ab F8 eine steinreiche basale Fließerde auftritt, welche als Aquifer sehr leistungsfähig ist und eine relativ schnellere Durchleitung von dem auf dem Gestein gestauten Wasser gestattet als in F7, in dem die Wasserleitung in den Spalten der gut strukturierten oberen Fließerde (über der dichten 2. Fließerde) langsam erfolgt.

Trotz der komplizierenden Hangsituation ähnelt das Wasserregime der Böden F7 - 10 dem der Böden mit geringer Lößüberdeckung in ebener Lage sowohl hinsichtlich der Länge und Häufigkeit von Stauphasen und der Niederschlagshöhe, durch welche sie ausgelöst werden können, wie auch hinsichtlich der Bedeutung von Aquifers. Über der Wechselfolge (sm 1a,b) trägt allerdings die wechselnde Staukörper-Eignung des Ausgangsgesteins zur kleinräumigen Variabilität der Hydromorphie bei.

#### Schlußfolgerungen zur Diskussion

- 1) Ob Stauwasser über einem potentiellen Staukörper auftritt, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab (BLUME, 1968). Auf der klimatisch und vegetationsmäßig relativ homogenen Untersuchungsfläche sind in erster Linie 4 Faktoren bestimmend:
  - Die Mächtigkeit der Bodendecke über dem Staukörper und ihre zum Zeitpunkt des Auftretens von Überschußwasser vorhandene, unausgeschöpfte Speicherreserve.

- Die Jahreszeitlich-witterungsbedingte Beanspruchung des Infiltrationswassers durch Evapotranspiration.
- Die hydraulische Leitfähigkeit des Staukörpers.
- Die laterale Umverteilung von ungespanntem Wasser auf dem Staukörper.

Hervorgehoben werden soll hier nur der letzte Faktor, da uns scheint, daß er in der bisherigen Behandlung der Pseudogleye zu wenig Berücksichtigung erfahren hat. Quellhorizonte lassen sich morphologisch schlecht quantifizieren, da die notwendige laterale gesättigte Leitfähigkeit nicht im ganzen Hangenden, sondern u.U. nur entlang begrenzten Ebenen (Schichtgrenzen, Steinsohlen) realisiert zu sein braucht. Selbstverständlich erschweren Quellhorizonte alle Versuche einer ein- oder zweidimensionalen Modellierung des Wasserhaushalts, aber auch schon die Auswahl repräsentativer Meßpunkte. In ihrer Funktion lateraler Wasser-Umverteilung können sie je nach Standortssituation sowohl als ständiger Ab- oder Zufluß wirken, aber diese Wirkung je nach Wasserangebot auch zeitlich wechseln.

- 2) Die Ergebnisse bestätigen die überragende Bedeutung primärer (Fließerden, Gestein) gegenüber der fast vernachlässigbaren Rolle potentieller sekundärer (Bt/Sd-Horizonte) Staukörper. Der Ausgleich von Befeuchtungsfronten wird durch den Bt gar nicht, durch den Sd nur wenig behindert. Aufsättigungen erfolgen stets vom primären Staukörper her. Das bodenkundliche Textbuch-Verständnis (MÜCKENHAUSEN, 1962, BLUME, 1968, SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1976) sekundärer Pseudogleye (Parabraunerde — Pseudogley) erscheint ebenso revisionsbedürftig wie die Suffixe w und d der Horizontsymbole. Ihre unterschiedliche Morphologie läßt sich aus ihrer gefügebedingt unterschiedlichen Fe-,Mn-Beweglichkeit (BLUME, 1968) sowie der mit der Tiefe abnehmenden Beeinflussung durch organische Komponenten erklären.
- 3) Obwohl eine quantitative Vorstellung über die Beziehung zwischen Vernässungsdauer und morphologischer Prägung fehlt, scheint zumindest die Hydromorphie der Pseudogley-Oberböden in mächtigeren Lößdecken ein reliktes Merkmal zu sein, auch wenn die Pseudogleye in der stärkeren Verdichtung insbesondere des Sw-Horizontes ein bleibendes Merkmal erhalten haben,

welche auch heute noch die verfügbare Luftkapazität wie die Durchwurzelungstiefe (ÖJOUEDERIE, 1980) nachhaltig beeinflusst.

Falls es Perioden ausgeprägterer Pseudovergleyung gegeben hat, so könnten diese durch anthropogene Einflüsse (Entwaldung) oder klimatisch ausgelöst worden sein. Die Ergebnisse eines Freiland-Wald-Vergleichs machen den ersteren Einfluß weniger wahrscheinlich. Klimatische Einflüsse scheinen auch deshalb überzeugender, weil diese sich bereits seit dem Spätglazial kumulativ über wiederkehrende Phasen verstärkt haben können.

### Profile

F 3 Schwach podsolige Parabraunerde

Zu Kartiereinheit: 9

Humusform: Moder

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Plateau (schwache Hangneigung)

0-3	Aeh	graubraun (10YR 5/3 f.), 1U, offen plattig bis kohärent.
3-40	Al	braungelb (10YR 6/6 f.-10YR 7/3 tr.), 1'U-1U, lockeres Kohärentgefüge, stark durchwurzelt.
40-50	AlBt	als zungenförmiger Übergang, 1U, heterogen braun (7.5YR 5/4 f.) bis blaß braungelb (10YR 6/4 f.), schwach Fe-Mn-fleckig, kohärent bis schwach subpolyedrisch.
50-80	Bt1	braun (7.5YR 5-4/4 f.-7.5YR 6/4-6 tr.), oben noch mit zungenförmigen Eingriffen des hellen Al, uL, prismatisch bis geschlossen grobpolyedrisch, wenig durchwurzelt.
80-100	IIBt2	braun wie Bt1, feinfleckig, uL, mit schwacher Feinsandkomponente und etwa 10% angewittertem Sandsteinskelett, geschlossen grobpolyedrisches Gefüge. Untere 5cm graufleckig und reich an Manganflecken.
100-130	IIIS	großfleckig grüngrau (5Y 6/2 f.) und graubraun (10YR 5/3 f.) mit rotbraunen (5YR 5/6 f.) Feinflecken, sLU mit 30% Sandstein-Skelett, dicht, plattig-kohärent.
130	IVC	grau gebleichter Sandstein, plattig.

F 1 Pseudogley-Parabraunerde

Zu Kartiereinheit: 10

Humusform: feinhumusreicher Moder (gestört)

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Plateau

0-6	Ahe	grau gelbbraun fleckig (10YR 6/2 - 4/2 - 4/4), 1'U, Plattengefüge.
7-40	Al	graugelb (7.5YR 6/4), feinfleckig, 1'U, plattig bis kohärent.
40-60	SBt1	weißgrau (7.5YR 8/2 f) bis rotbraun (5YR 4/4 f) stark fleckig, 1'U, prismatisch-grobpolyedrisch.
60-100	SBt2	graubraun (5YR 6/3 - 5/3 f), weißgrau bis rotbraun fleckig.
100-117	IIC	rotbrauner feiner Spülsand, 1fS, dicht gelagert.
117	IIIC	olivgraue (7.5Y 6/2 tr.) skelettfreie Fließerde, suL.

F 2 Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 12

Humusform: feinhumusreicher Moder (gestört)

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Plateau (flache Senke)

0-7	Ahe	z.T. gestört
7-30	Sw	weißgrau (10YR 8/1 tr., 6/1 f) mit feiner Rostfleckung und großen Fe-Mn-Konkretionen, 1U, plattig-kohärent, dicht; Stark zungenförmiger Übergang zu:
30-75	Sd1	stark marmoriert, weißgrau (10YR 8/2 tr.), grau orange (7.5YR 7/3 tr.) und Braun- bis Rostfleckung, mit typischer Leitbahnen-Ausbildung, uL, dicht prismatisch bis geschlossen polyedrisch.
75-95	Sd2	wie Sd1, mit abgeschwächten Leitbahnen, uL, geschlossen grobpolyedrisch.
105-125	IISd3	stark großfleckig, marmoriert, uL mit 10% Sandsteinskelett und 15 % Feinsand.
125-175	IIISd4	braungelb (10YR 6/6 tr.) mit hellgrauen (10YR 7/1 tr.-6/1 f) Strukturflächen, stL, skeletthaltige Fließerde, sehr dicht.



		TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
F 3	Ahe	1.155	2.548	79.800	1.560	0.687	0.411
	Al	1.381	2.605	45.200	1.156	0.845	0.371
	AlBt	1.468	2.655	24.954	0.605	0.501	0.402
	Bt1	1.564	2.653	3.770	0.152	0.129	0.115
	IIBt2	1.631	2.657	0.936	0.170	0.150	0.095
	IIIS	1.704	2.679	0.333	0.043	0.032	0.023
	IVC	1.653	2.689	-	0.174	0.109	0.066
-----							
F 1	Al	1.360	2.605	25.252	3.772	1.710	0.606
	Bt1	1.471	2.626	13.265	1.997	1.018	0.509
	Bt2	1.524	2.621	0.888	0.262	0.161	0.096
	IIC	1.657	2.651	9.346	3.023	1.561	0.507
	IIIC	1.661	2.653	0.593	0.069	0.056	0.045
-----							
F 2	Ahe	1.273	2.508	67.798	5.562	2.894	1.331
	Sw	1.468	2.639	50.597	1.441	0.376	0.125
	Sd1	1.510	2.652	47.500	0.613	0.314	0.167
	Sd2	1.622	2.653	2.707	0.446	0.157	0.048
	IISd3	1.593	2.644	9.831	0.871	0.366	0.258
	IIISd4	1.720	2.703	2.868	0.151	0.116	0.097

F 7. Pelosol - Braunerde

Zu Kartiereinheit: 13

Humusform: Mullartiger Moder (mit Grasswurzelfilz)

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Oberhang

0-2	Ah	schwarzgrau
2-20	Bv	blaß bräungelb, sL, lockeres subpolyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt.
20-50	IIP1	rotbraun (5YR 5/4 f) mit vereinzelt grauen Strukturelementen, stL, skeletthaltig, mäßig offenes, entwickeltes Polyedergefüge.
50		Spülsandschicht, 1-2 cm, braun
50-70	IIIP2	grüngraue (7.5GY 6/1) Fließerde, utL, geschlossen polyedrisch bis plattig, dicht, mit vereinzelt Spülsandlinsen und Tonsteinskelett.
70-90	IIIP3	gemischt rotgraue Fließerde, sonst wie P2 mit Ausnahme eines höheren Anteils an Tonsteinskelett.
90	Cv	Tonstein, plattig, rot-grau

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Bv	1.454	2.629	53.986	0.954	0.169	0.023
IIP1	1.748	2.697	3.869	0.037	0.019	0.009
IIIP2	1.716	2.746	0.388	0.011	0.008	0.006
IIIP3	1.753	2.749	0.388	0.065	0.054	0.028

F 9 Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 16

Humusform: feinhumusreicher Moder

Vegetation: Fichten-Jungwuchs (sehr offen)

Lage: Hangfuß

0-6	Ahe	dunkel- bis hellgrau mit stark gebleichten Mineralkörnern
6-25	Sw	hellgrau (10YR 7/1 f.), suL - t'L, subpolyedrisch dicht.
25-60	IISd1	grüngrau (2.5 GY 6/1 f) mit diffuser braungelber (10 YR 7/4-6f) Fleckung, lT, skeletthaltig, grobpolyedrisch, geschlossen, dicht.
60-80	IIISd2	ähnlich wie Sd1, aber skelettreicher, mit kleinen Spülsandlinsen, Gefüge stark plattig.
80	IVCv	plattiger Tonstein, grau.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Sw	1.298	2.564	47.089	3.248	0.524	0.021
IISd1	1.407	2.689	0.127	0.074	0.018	0.008
IIISd2	1.383	2.675	0.126	0.043	0.006	0.004

### Literaturverzeichnis

- Blume, H. 1968. Stauwasserböden. Arbeiten der Univ. Hohenheim, Band 42. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Boigk, H. 1965. Vorläufige Mitteilung über eine neue Gliederung des mittleren Buntsandsteins im Raum Südhannover. Geol. Jahrbuch 72, pp 325-340.

- Delgadillo, C.A. 1981. Räumliche Verteilung von bodenphysikalischen Parametern in einer Plateaulandschaft mit wechselfeuchten Böden und ihre Wirkung auf die Wasserdynamik.
- Figge, K. 1959. Der mittlere Buntsandstein und untere Muschelkalk im Raum Spanbeck-Gillersheim-Renshausen. Dipl. Arbeit, Göttingen.
- Mückenhausen, E. 1962. Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. DLG Verlag, Frankfurt am Main.
- Ojuederie, P. 1980. Wurzelbiomasse und Wurzelverteilung von Fichtenbeständen auf Parabraunerde-Pseudogley-Standorten. Dipl. Arbeit, Göttingen.
- Opara-Nadi, O. 1979. A comparison of some methods for determining the hydraulic conductivity of unsaturated soil in the low suction range. Göttinger Bodenkdl. Berichte 57, pp 1-99.
- Rexhäuser, H. 1957. Zur Stratigraphie und Tektonik des mittleren Buntsandstein zwischen Gelliehausen und Holzerode. Dipl. Arbeit, Göttingen.
- Rohdenburg, H. 1965 b. Untersuchungen zur pleistozänen Formung am Beispiel der Westabdachung des Göttinger Waldes. Giessener Geogr. Schr. 7.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P. 1976. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

Exkursion

W E N K I R C H E N

von

Bork, H.-R., H. Rohdenburg,  
J. Bauer, A. Beblík, G. Benckiser, H. Braden,  
B. Dieckrüger, U. Henk, H. Hensel,  
J. v. Hoyningen-Huene, U. Maniak, G. Marxen,  
D. Sauerbeck, H. Söchtig, K. Urland, A. Westing

Inhalt:

- Rohdenburg, H. u. H.-R. Bork  
Ziele und Struktur des Forschungsvorhabens "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete unter besonderer Berücksichtigung von Substrataufbau, Relief und Nutzungsform".
- Bork, H.-R., H. Hensel u. H. Rohdenburg  
Die Rekonstruktion der jungquartären Relief- und Substratgenese als Voraussetzung für die Analyse der rezenten Wasser- und Stoffdynamik im Versuchsgebiet Neuenkirchen.
- Bork, H.-R., G. Marxen, W. Max, H. Rohdenburg, u. K. Urland  
Untersuchungen zur Bodenwasserdynamik im Versuchsgebiet Neuenkirchen.
- Bork, H.-R., U. Henk, H. Hensel u. H. Rohdenburg  
Untersuchungen zur rezenten Bodenerosion im Untersuchungsgebiet Neuenkirchen.
- Rohdenburg, H., J. Bauer, A. Beblin, H.-R. Bork, H. Hensel u. K. Urland  
Parameteraufbereitung für deterministische Gebietswassermodelle.
- Bork, H.-R., B. Dieckrüger u. H. Rohdenburg  
Applikation deterministischer Standorts- und Gebietsmodelle der Wasser- und Stoffflüsse.
- Bräden, H.  
Ein Energiehaushalts- und Verdunstungsmodell für Wasser- und Stoffhaushaltsuntersuchungen landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete.
- Söchtig, H., A. Westing, G. Benckiser u. D. Sauerbeck  
Erfassung der Nährstoffdynamik, der Durchwurzelung und der gasförmigen N-Verluste im Rahmen des Forschungsvorhabens "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete".

Ziele und Struktur des Forschungsvorhabens  
"Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich  
genutzter Einzugsgebiete unter besonderer  
Berücksichtigung von Substrataufbau,  
Relief und Nutzungsform"

von

ROHDENBURG, H. u. H.-R. BORK \*

Das Ziel der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschergruppe "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete ..." ist die interdisziplinäre Erarbeitung von Methoden zur Analyse von Agrarökosystemen.

Um Aussagen nicht nur über die heutige Belastung, sondern insbesondere auch über die Belastbarkeit und die langfristige Entwicklung von Agrarökosystemen treffen zu können, ist zunächst die systematische und grundlegende Erforschung der Prozesse des Wasserkreislaufs erforderlich. Zu untersuchen sind demgemäß

- Niederschlag, Interzeption, Evaporation, Transpiration,
- Oberflächenabfluß auf Hängen,
- Bodenwasserfluß im ungesättigten Bereich,
- Bodenwasserfluß im gesättigten Bereich und
- oberirdischer Abfluß in Vorflutern.

Der gewählte methodische Weg zur Ökosystemanalyse besteht in dem Versuch, sämtliche genannten Prozesse durch integrierte Modellsysteme zu beschreiben, die gemäß dem heutigen Forschungsstand weitgehend aus deterministischen physikalischen Ansätzen bestehen und dementsprechend nicht nur eine formale Systembeschreibung erlauben, sondern auch zur erforderlichen Kausalanalyse beitragen und Prognosen erlauben.

Neben isolierten Standorten und Hängen werden von der o. g. Forschergruppe komplexe Landschaftseinheiten untersucht, um Aussagen für eine breite Standortvarianz treffen zu können. Die Beschränkung auf Wassereinzugsgebiete hat lediglich technische Bedeutung, da dadurch die einfachere Beschreibung von Randbedingungen ermöglicht wird.

Den physikalischen Standorts- und Gebietsmodellen der Wasserflüsse sollen die Stofftransport-Prozesse überlagert werden, so daß auch die Stoff-Flüsse innerhalb eines Agrarökosystems beschrieben werden können.

Der erste Arbeitsschritt der Ökosystemanalyse ist die Isolierung von Teilsystemen, deren Umweltbeziehungen kontinuierlich erfaßbar sind. Diese Teilsysteme können durch Eigenschaften der zu beschreibenden Objekte (Zustandsvariablen) sowie durch andere Systemeigenschaften beschrieben werden, die die quantitativen Beziehungen zwischen den Zustandsvariablen bzw. Außenwirkungen (Randbedingungen) bestimmen und die wir Relationsvariablen oder Modellparameter nennen.

---

\* Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie  
Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 19c  
D-3300 Braunschweig

Der zweite Arbeitsschritt besteht in der Kopplung der Teilsysteme, der dritte in ihrer Validierung. Das Arbeitsprogramm der Forschergruppe zur Realisierung dieses Vorgehens gliedert sich in

- 1) ein laufendes Meß- und Kartierprogramm zur Ermittlung von Anfangs- und Randbedingungen,
- 2) Experimente zur Bestimmung von Modellparametern,
- 3) Anwendung von Spezialmodellen zur Ermittlung der Modellparameter, die komplexe Systemreaktionen beschreiben und nicht durch einfache Auswertungen direkt bestimmbar sind,
- 4) Datenaufbereitungsroutinen für die Modellsysteme,
- 5) die Dateneingabeverwaltung sowie
- 6) die Erstellung und Validierung der Integrierten Modellsysteme.

Entsprechend der o. g. Zielsetzung und des komplexen Arbeitsprogramms setzt sich die Forschergruppe aus Arbeitsgruppen verschiedener Fachgebiete zusammen (vgl. Fig. 1).

Die Federführung des Gesamtprojektes und die Realisierung zentraler Arbeiten erfolgt durch die Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie der TU Braunschweig. Dieser als "Gruppe Gesamtvorhaben" bezeichnete Arbeitsbereich setzt sich zusammen aus den Untergruppen "Datenerfassung und Datenorganisation" (unterstützt durch die Abteilung für Datenbanken und Informationssysteme der TU Braunschweig), "Regionalisierung und Fernerkundung" sowie "Integrierte Wasser- und Stofftransport-Modelle" (unterstützt durch das Institut für Bodenkunde der Universität Hannover).

Mit Fragen des Oberflächen-, Drainage- und Gerinneabflusses beschäftigt sich das Teilprojekt Hydrologie (Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, TU Braunschweig).

Interzeption, Evaporation, Transpiration und Bodenklima sind Gegenstand der Untersuchungen des Teilprojektes Gebietsverdunstung (Zentrale Agrarmeteorologische Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes Braunschweig).

Die Wasserbewegung im Boden und der Feststofftransport auf der Bodenoberfläche werden vom Teilprojekt Bodenwasser und Bodenerosion analysiert (Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie, TU Braunschweig). Im Vordergrund des Teilprojektes Nährstoffdynamik (Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft) steht die Analyse des Nährstoffeintrages, der Nährstoffumsetzung im Boden und des Nährstoffaustrages.

Zur Durchführung der für die komplexen Prozeßanalysen erforderlichen Felduntersuchungen wurde von den Teilprojekten der Forschergruppe ein etwa 1 qkm Oberfläche umfassendes Wassereinzugsgebiet im nördlichen Harzvorland ausgewählt. Es befindet sich etwa 1 km südlich des Ortsteiles Neuenkirchen der Gemeinde Liebenburg. Der wesentliche Vorteil dieses Testgebietes besteht darin, daß die untere Randbedingung in diesem Agrarökosystem bekannt ist, da in 3 bis 7 m Tiefe unter der Geländeoberfläche undurchlässige Tonmergel anstehen. Diese günstige Situation vermindert den Meßaufwand erheblich und läßt genauere Bilanzierungen der Wasserkreislauf-Komponenten zu.

Im folgenden werden die o.g. Arbeitsschritte und der Arbeitsstand erläutert (Abkürzungen: GES = Gruppe Gesamtvorhaben, HYD = Teilprojekt Hydrologie, MET = Teilprojekt Gebietsverdunstung, BWE = Teilprojekt Bodenwasser und Bodenerosion, NST = Teilprojekt Nährstoffdynamik).

## 1) Meß- und Kartierprogramm

Von den einzelnen Teilprojekten werden u.a. folgende Messungen im Versuchsgebiet Neuenkirchen ausgeführt (mit hoher raumzeitlicher Auflösung am Meßhang, mit deutlich geringerer Auflösung im übrigen Gebiet):

Niederschlag (HYD),

digitale meteorologische Messungen (alle MET):

Globalstrahlung, reflektierte und diffuse Strahlung, Strahlungsbilanz, Lufttemperatur, Feuchtttemperatur, Differenztemperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung, Temperatur der Bodenoberfläche durch Infrarotsensor, Bodentemperatur und Bodenwärmestrom,

analoge meteorologische Messungen (Registrierung auf Schreibstreifen; MET): Lufttemperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Verdunstungsmessungen mit Keramikscheiben-Evaporigraphen,

bodenphysikalische Messungen (BWE): Bodenwasserspannung mit Druckaufnehmer- und Einstichtensiometern, Bodenwassergehalte (gravimetrisch und mit Neutronensonde), Grundwasserstand, Porenverteilung (Stechzylindermessungen im Labor), gesättigte und ungesättigte Wasserleitfähigkeit (Stechzylindermessungen im Labor),

Oberflächenabfluß auf Hangparzellen (HYD, BWE),

Gerinneabfluß (HYD),

Drainageabfluß (HYD),

Stoffgehaltsanalysen (NST):

Stoffeintrag durch Atmosphäre und Düngung, Bodenmatrix (KAK, Basensättigung, org. Substanz, usw.), Bodenluft, Bodenwasser,

Durchwurzelungs- und Biomassenanalysen (NST).

Diese Messungen werden in Abhängigkeit von der Dynamik des zu untersuchenden Parameters in sehr unterschiedlichen Zeitschritten ausgeführt (z.B. 15 sec. bei einigen meteorologischen Parametern, einige Tage bei bestimmten Nährstoffen).

Darüberhinaus werden zahlreiche Kartierungen realisiert, wie z.B. Anbaufrüchte (MET), Blattflächenindex (MET), Bodenbearbeitung (BWE, NST, GES), Erosionsschäden (BWE, GES), detaillierte Substrat- und Bodenaufnahmen (GES). Diese Kartierungen erfolgen ereignisabhängig (z.B. Erosionsschäden), vegetationszustandsabhängig oder einmalig (Substrataufnahme).

Die wichtigsten von den Teilprojekten Bodenwasser, Bodenerosion und Nährstoffdynamik durchgeführten Messungen und Kartierungen werden in getrennten Aufsätzen im vorliegenden Band vorgestellt.

## 2) Parameterermittlung durch Experimente

Während die Modell-Randbedingungen weitestgehend kontinuierlich gemessen werden, können nur wenige Modell-Parameter direkt bestimmt werden, zumal nicht hinsichtlich ihrer räumlichen Verbreitung. Dafür werden umfangreiche Experimente durchgeführt. Besonders gilt das für den Bereich Infiltration und Oberflächenabfluß bei Starkregen. Beregnet werden einerseits lange Hänge (HYD), um Versickerungen bis zur Drainage erfassen zu können und um die jahreszeitlichen Veränderungen zu untersuchen. Die bisherigen Ergebnisse erfordern eine besondere Berücksichtigung des zeitvariablen Einflusses von Makroporen. Andererseits wird zur Untersuchung verschiedener Substrate und Reliefpositionen eine Feldberegnungsanlage für 22 lange und 3 m breite Meßparzellen



eingesetzt (BWE).

Untersuchungen der Oberflächenveränderungen - auch des  $k_s$ -Wertes - durch die Aufprallwirkung der Regentropfen werden mit einer Laborberechnungsanlage (BWE) an ungestörten Proben von 30 x 30 cm Oberfläche und 14 cm Mächtigkeit unternommen. Dabei kann auch der Wasserfluß in 14 cm Tiefe gemessen werden, so daß zwischen Hysterese- und Makroporeneinflüssen unterschieden werden kann. Simulationsmodelle haben gezeigt, daß für Fragen des Oberflächenabflusses und besonders für den Transport und die Akkumulation von erodiertem Bodenmaterial die Oberflächenrauigkeit außerordentlich große Bedeutung hat. Deshalb wurde ein Hangquerschnitts - Meßgerinne für variable Hangneigung erstellt (BWE), mit dem entsprechende Untersuchungen realisiert werden können.

3) Parameterermittlung durch Spezialmodelle

Zur Ermittlung der aktuellen Verdunstung an einem Standort wurde vom Teilprojekt Gebietsverdunstung ein Modell entwickelt und auf die laufend anfallenden Meßdaten angewandt.

Zur Beschreibung der Wasserbewegung im Boden wurden vom Teilprojekt Bodenwasser mehrere Modelle in verschiedenen Versionen erstellt und angewandt. Das eindimensionale Modell wurde zur Optimierung der bodenphysikalischen Parameter aufgrund von Berechnungsversuchen eingesetzt. Die bodenphysikalischen Beziehungen zwischen Wasserspannung, Wassergehalt und -leitfähigkeit entsprechen dem Mualem-Theorem. Zur Parameterschätzung wurde dafür ein getrenntes Programm fertiggestellt. Für die Simulation der Bodenwasserdynamik an Hängen im Einzugsgebiet wurde das "Koppelsäulenmodell" geschrieben, das laterale Wasserflüsse nicht nur im Grundwasser, sondern auch im ungesättigten Bereich zu modellieren gestattet. Eine Variante dieses Modells wurde für den Einsatz zur Modellierung isolierter Hangpunkte entwickelt und eingesetzt. Eine weitere Modellvariante erlaubt die Berücksichtigung von Hysterese und Makroporeneinflüssen.

Die Anwendbarkeit verschiedener, in den USA entwickelter Erosionsmodelle auf mitteleuropäische Verhältnisse wird vom Teilprojekt Bodenerosion überprüft.

Das Teilprojekt Nährstoffdynamik erstellt eindimensionale Modelle zur Beschreibung des Nährstofftransportes im Boden.

4) Datenaufbereiteroutinen (Präprozessoren):

Jedes deterministische Modell benötigt eine große Zahl von Parametern, die entsprechend der räumlichen Differenzierung an allen Gitterpunkten bekannt sein müssen. Für die Randbedingungen gilt ähnliches, auch sie müssen für jeden Zeitschritt und für alle Gitterpunkte bestimmt werden. Dies kann nicht durch Messung, sondern nur durch Methoden der Parameterschätzung geschehen. Es wurden daher von der Gruppe Gesamtvorhaben und vom Teilprojekt Bodenwasser mehrere Aufbereitungsverfahren entwickelt.

Eine wichtige Grundlage für Modellanwendungen bietet das Digitale Reliefmodell, das nicht nur eine Höheninterpolation liefert wie die in der Geodäsie üblichen Digitalen Höhenmodelle, sondern ökologisch wichtige Parameter, wie Hangneigung, Exposition, Krümmung in Gefällsrichtung, Oberflächenkonvergenz/-divergenz (= Krümmung der Höhenlinie), Größe des Einzugsgebietes beliebiger Höhenpunkte, berechnet.

Das Dreidimensionale Digitale Substratmodell ermittelt die Schicht- und Horizontgrenzen an sämtlichen notwendigen Rasterflächen sowie die Basiskennwerte der Schichten und Substrate.

Zur flächendeckenden Bereitstellung der Bodenwassergehalte, Bodenwasserspannungen und Grundwasserstände wurden Parametrisierungsverfahren entwickelt.

Schließlich wurden mit Hilfe des Präprozessors Flächendaten verschiedene Kartierungen aufbereitet. Diese Kartierdaten wurden für sämtliche diskretisierten Teilflächen bereitgestellt.

Die erwähnten Routinen sind im dem Aufsatz "Parametereaufbereitung für deterministische Gebiets - Wassermodelle" im vorliegenden Band ausführlich erläutert.

5) Dateneingabeverwaltung:

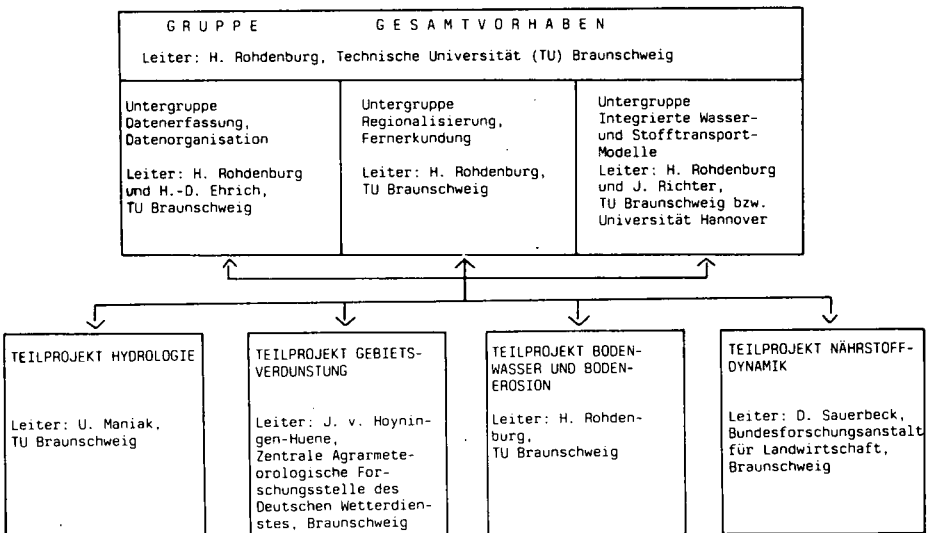
Die Dateneingabe und -verwaltung erfolgt anhand eines relationalen Datenbanksystems.

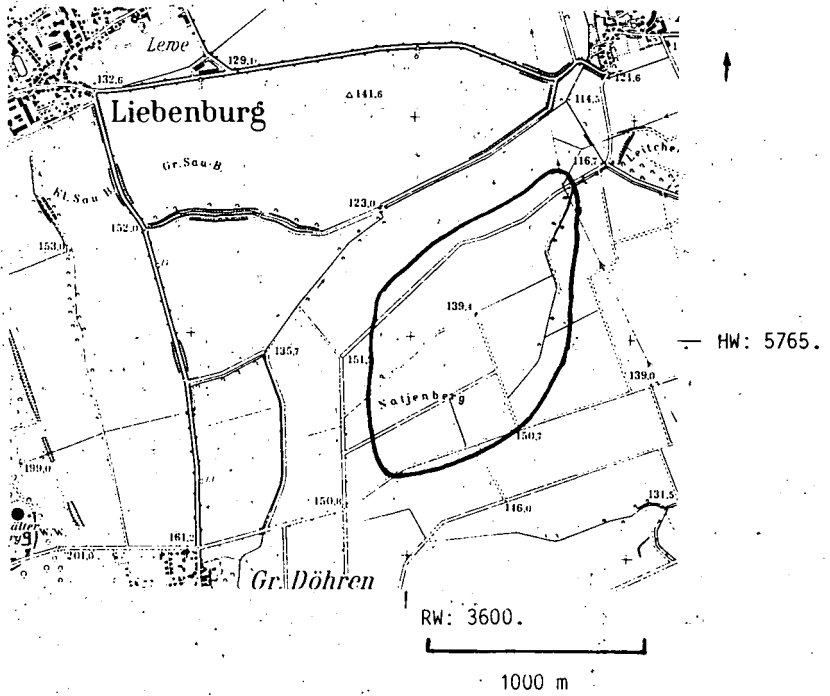
6) Erstellung und Validierung Integrierter Modellsysteme:

Zur Simulation der Wasserflüsse in einem Agrarökosystem wurden von der Gruppe Gesamtvorhaben der Forschergruppe in enger Zusammenarbeit mit den einzelnen Teilprojekten verschiedene Modellsysteme unterschiedlicher räumlicher Diskretisierung. (Standort, Hang, differenziertes Gebiet) entwickelt und angewandt oder es wurden von anderen Arbeitsgruppen erstellte Modelle eingesetzt, überprüft und ggf. modifiziert.

Ein von der Forschergruppe entwickeltes Modellsystem zur Beschreibung der Wasserflüsse an isolierten Hangstandorten ("Integriertes Punktmodell") und ein auf der Basis des Systeme Hydrologique Europeen (SHE) weiterentwickeltes Gebietsmodell werden im vorliegenden Band in dem Aufsatz "Applikation deterministischer Standorts- und Gebietsmodelle der Wasser- und Stoffflüsse" vorgestellt und die Anwendbarkeit dieser Modellsysteme wird diskutiert.

Figur 1: Struktur der Forschergruppe "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete unter besonderer Berücksichtigung von Substrataufbau, Relief und Nutzungsform"





Figur 2: Lage des Untersuchungsgebietes Neuénkirchen  
Kartengrundlage: Verkleinerung der Topographischen  
Karte.1 : 25 000, 3928 (1982)  
Vervielfältigt mit Erlaubnis des Herausgebers:  
Nds. Landesverwaltungsamt - Landesvermessung -  
AZ.:B4 - 287/85

Die Rekonstruktion der jungquartären Relief- und Substratgenese als Voraussetzung für die Analyse der rezenten Wasser- und Stoffdynamik im Versuchsgebiet Neuenkirchen

von

Bork, H.-R., H. Hensel u. H. Rohdenburg \*

## 1. Einführung

Eine wesentliche Voraussetzung für die Untersuchung und insbesondere die Bedeutung der rezenten Wasser- und Stoffdynamik in einem Agrar-Ökosystem ist nicht nur die detaillierte Kenntnis der rezenten Sediment- und Bodenverbreitung, sondern vor allem auch ein möglichst umfassendes Wissen über die Entwicklung des Reliefs, der Sedimente und der Böden im jüngeren Quartär zu dem heutigen Zustand. So kann man z.B. das Ausmaß der rezenten Bodenerosion anhand nur wenige Jahre dauernder Messungen nicht exakt beurteilen, wenn man nicht wenigstens ungefähr das Abtragsgeschehen der letzten Jahrhunderte kennt.

Zur Analyse der jungquartären Relief- und Substratentwicklung und als Grundlage für ein boden-sedimenthydrologisches Digitales Substratmodell (vgl. dazu ROHDENBURG et al. 1985, im vorliegenden Band sowie HENSEL et al., 1985) wurden im Versuchsgebiet Neuenkirchen der Forschergruppe "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete ..." zahlreiche Bohrungen niedergebracht (über 200 an dem intensiv untersuchten Meßhang, weitere 320 in Fig.1 dargestellte und im Mittel 5 m tiefe Bohrungen im übrigen Einzugsgebiet).

## 2. Lage und Kurzbeschreibung des Versuchsgebietes Neuenkirchen

Das untersuchte Gebiet liegt im nördlichen Harzvorland etwa 35 km südlich von Braunschweig, 15 km nördlich des Harzes und 3 km östlich des Salzgitterer Höhenzuges. Das in Höhen zwischen 110 m und 150 m ü NN gelegene und etwa einen Quadratkilometer große Wassereinzugsgebiet wird vom Ohebach entwässert. Letzterer mündet in den östlichen Krumbach, der zusammen mit dem nördlichen Krumbach das Versuchsgebiet zangenförmig umfließt.

---

\* Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie  
Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 19c  
D-3300 Braunschweig

Geologisch liegt das Untersuchungsgebiet in der Nord-Süd streichenden Barumer Mulde, in der mehrere 100 m mächtige, strukturlose Tonmergel des Santon anstehen. Diese Mulde wird im Westen vom Salzgitterer Sattel, im Süden vom Vienenburger Sattel und im Osten vom Oderwaldsattel umrahmt. Die Santonmergel werden im Bereich des Untersuchungsgebietes von 3 bis 7m mächtigen quartären Sedimenten überlagert.

### 3. Ergebnisse der Substratanalysen

Im folgenden werden die Resultate der Substrataufnahmen zusammenfassend vorgestellt. In Figur 2 sind die wichtigsten Substrat- und Reliefeinheiten ausgegliedert. Demnach wird der Südwesten des Untersuchungsgebietes von einer Abtragungsfußfläche eingenommen, im Osten schließt sich eine breite Rinne sowie eine viergliedrige Terrassentreppe an. Die jüngere Zertalung hat im nördlichen Teil des Versuchsgebietes zur vollständigen Aufzehrung dieser Formen geführt.

#### 3.1 Mittel- und jungpleistozäne Relief- und Substratgenese

Prä- und ältestpleistozäne Formen und Sedimente wurden im Versuchsgebiet nicht gefunden. Im Südwesten des Gebietes wurden auf einer Fläche von etwa 25 ha Relikte einer pleistozänen Abtragungsfußfläche erbohrt. Diese Fläche dacht mit einer mittleren Neigung von 0.7 Prozent nach Nordosten ab und schneidet die liegenden kretazischen Sedimente diskordant. Die Fußfläche war zwischen dem Salzgittersattel im Westen (Wasserscheide) und einer Tiefenlinie unmittelbar östlich des Versuchsgebietes aufgespannt. Sie wurde durch heterogene Sedimentkörper - gelisolifluidal verlagerte Santon-Tonmergel und plänerkalkreiche fluviale Rinnensedimente - überdeckt. Auf diesen Sedimenten wurde eine - vermutlich drenthezeitliche - Grundmoräne abgelagert. Anschließend tiefte sich ein in nördlicher Richtung entwässernder Vorfluter etwa 4 bis 5 m in diese Sedimentfolge ein und akkumulierte schließlich einen bis zu 2 m mächtigen Schotterkörper, der ganz überwiegend aus schwach kantengerundeten Plänerkalken besteht.

Es folgte die fluviale Eintiefung einer ebenfalls Süd-Nord verlaufenden Rinne im Randbereich Schotterterrasse - Fußflächensedimente. Ein am Rinnenboden erhalten gebliebener Humushorizont belegt eine (kurze) Bodenbildungsphase und läßt gleichzeitig eine glazifluviale Genese der Rinne als ausgesprochen unwahrscheinlich erscheinen. Die 100 bis 200 m breite Rinne wurde mit heterogenem Material plombiert. Es dominieren gelisolifluidal akkumulierte Tonmergeldecken mit teilweise hohen Plänerkalkschotteranteilen und geringen Gehalten an umgelagerten nordischen Sedimenten. Danach schnitt sich der Vorfluter mehrere Meter tief in den erwähnten Schotterkörper ein, abschließend sedimentierten erneut Schotter. Diese Prozeßfolge wiederholte sich mindestens zweifach, so daß heute Relikte von vier plänerzeitlichen Schotterkörpern im Gebiet vorliegen. Diese Schotterkörper, die fast ausschließlich aus Plänerkalken bestehen, dachen nach Norden mit einer durchschnittlichen Neigung von 1 Prozent ab. Ihre Mächtigkeiten schwanken zwischen wenigen Zentimetern und über 2 Metern, die Reliktkörper weisen heute Breiten zwischen etwa 30 und 300 m auf.

Die anschließende Zertalung führte zur vollständigen Abtragung der Fußflächensedimente und Terrassenkörper im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Auf den Hängen, im Süden auch auf den Schot-

terkörpern, sedimentierten mergelige Gelisolifluktuionsdecken und Löß. Letzter wurde überwiegend fluvial umgelagert und anschließend stark pedogen überprägt (eemzeitliche Bodenbildung?). Dieser Boden wurde verlagert, es sedimentierten erneut mergelige Gelisolifluktuionsdecken und Löß. Eine Bodenbildung führte zur starken Verbraunung des Lösses (Lohner Boden?). Schließlich sedimentierte im Jungwürm das letzte Lößpaket. Dieser Löß nahm an der Wende Spätglazial/ Holozän das gesamte Versuchsgebiet ein. Die Mächtigkeiten schwankten zwischen wenigen Dezimetern und mehreren Metern.

### 3.2 Holozäne Relief- und Substratgenese

Mit dem Ende des Spätglazials begann eine geomorphodynamische Stabilitätszeit, die durch Wiederbewaldung, intensive Bodenbildung und fehlende Umlagerungen geprägt war. An der Bodenoberfläche bildete sich durch die einsetzende Humifizierung aus den Ai-Cv Profilen der jungtundrenzeitlichen Rohböden allmählich ein Ah-Cv Profil mit zunächst geringmächtigem Humushorizont (Bodentyp Pararendzina) aus. Die kontinuierlich fortschreitende Humifizierung und biogene Durchmischung führte zur sukzessiven Erhöhung der Mächtigkeit des Humushorizontes. Schließlich erreichte der Humushorizont Mächtigkeiten von etwa 35 bis 40 cm.

Es folgte eine Degradierung der Schwarzerde, die über die Stadien verbrauchte und durchschlammte Schwarzerde zum Parabraunerde-Stadium fortschritt. Der Humushorizont wurde vollständig entkalkt und verbraunte. Die Entkalkung schritt im liegenden Schwemmlöß allmählich fort, bis - abgesehen von Bereichen größerer Schwemmlößmächtigkeiten an Unterhängen und in Tiefenliniennähe - der gesamte Schwemmlöß entkalkt, verbraunt und schließlich lessiviert war. Die Lessivierung (Tonverlagerung) führte zur Verlagerung schwarzer Ton-Humus-Komplexe bis über 50 cm tief in den unter dem ebenfalls lessivierten Humushorizont ausgebildeten braunen Tonanreicherungs-horizont hinein. Dieser Tonanreicherungs-horizont (Bt-Hor.) kann dadurch in einen oberen Teil mit dominierender schwarzer Tondurchschlammung (Bts-Hor.) und einen unteren Teil mit wenigen bis fehlenden schwarzen Tonbelägen (Btp-Hor.) gegliedert werden.

Die holozäne Bodengenese, die auf Lößstandorten zur Ausbildung von Pseudogley-Parabraunerden bis Parabraunerden-Gleyen (Unterhänge) sowie auf Mergelstandorten mit nur geringmächtigem Lößschleier zur Pelosolbildung führte, wurde wahrscheinlich kurzzeitig und kleinflächig vom Neolithikum bis zur Eisenzeit unterbrochen.

Die vollständige Rodung des Versuchsgebietes im Frühmittelalter führte zur Beendigung der stabilitätszeitlichen Pedogenese. Auf den beackerten Flächen verursachten erosive Starkregen flächenhafte Bodenerosion. Im frühen Spätmittelalter führten extrem intensive Starkregen zur Einschneidung des Ohebachs (Eintiefungsbetrag 2-3 m) und zu starker flächenhafter Bodenerosion. Diese lineare Erosion, insbesondere in der Umgebung des Meßhanges, ist in BORK (1985) beschrieben. Eine zweite - schwächere - Phase mit linearer Erosion konnte für die jüngere Neuzeit nachgewiesen werden.

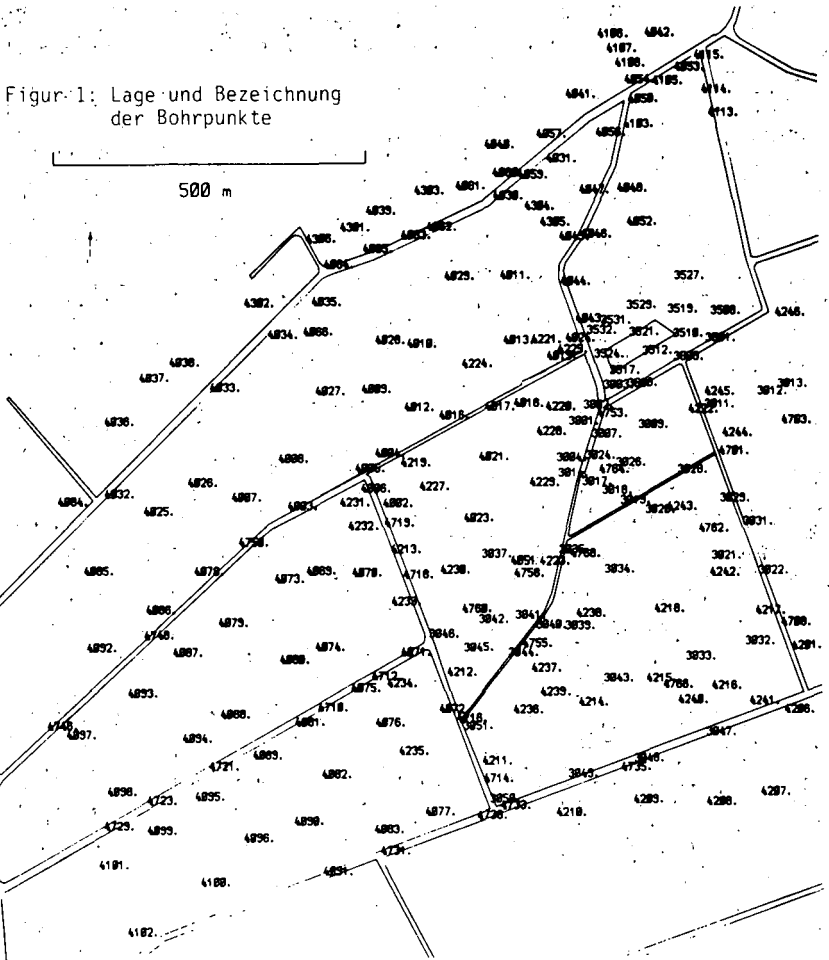
Im Verlauf des Mittelalters und der Neuzeit erodierten erosive Niederschläge flächenhaft im Mittel mehr als die obersten 50 cm des Holozänbodens im Versuchsgebiet. Dies entspricht einem mittleren jährlichen Abtrag von über 10 Tonnen pro Hektar an den Hangstandorten des Versuchsgebietes.

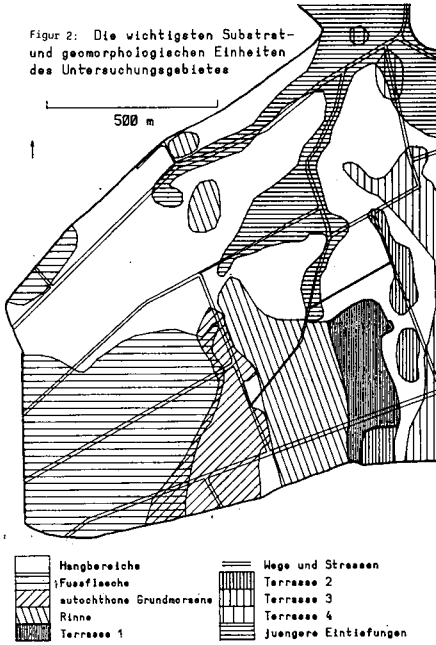
Figur 3 veranschaulicht die rezente Substratverteilung am mittleren, in Gefällsrichtung verlaufenden Profil des Meßhanges im Versuchsgebiet Neuenkirchen. Das auf über 200 Bohrungen basierende Profil verdeutlicht die für das nördliche Harzvorland charakteri-

stischen, einerseits durch die pleistozäne Sedimentgenese, andererseits durch die jungholozäne Bodenerosion verursachten, kleinräumig stark wechselnden Bodenverhältnisse.

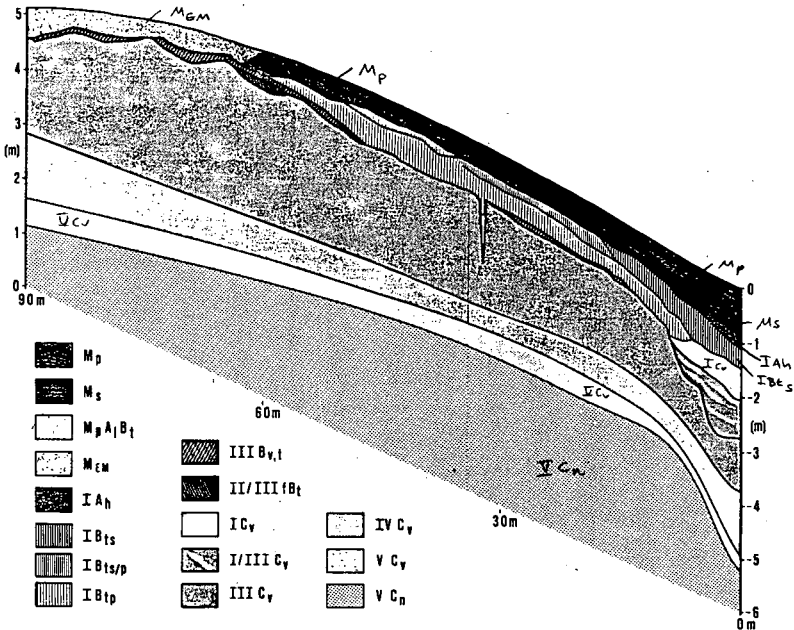
Literatur

- BORK, H.-R. (1985): Mittelalterliche und neuzeitliche lineare Bodenerosion in Südniedersachsen. *Hercynia* N.F. 22 (3), S.259-279, Leipzig.
- HENSEL, H., ROHDENBURG, H. & BORK, H.-R. (1985): Ein dreidimensionales Digitales Substratmodell als Voraussetzung für die Anwendung von deterministischen Gebietsmodellen der Wasserflüsse. *Landschaftsgenese und Landschaftsökologie*, 10, 17-62.
- ROHDENBURG, H., BAUER, J., BEBLIK, A., BORK, H.-R., HENSEL, H. & URLAND, K. (1985): Parametereaufbereitung für deterministische Gebiets-Wassermodelle. Im vorliegenden Band.





Figur 3: SUBSTRATE UND BODENHORIZONTE IM MITTLEREN MESSHANGPROFIL





Erläuterungen zum Substrataufbau des mittleren Meßhangprofils

Horizont- Erläuterungen  
abkürzungen

- Mp mittelalterlich-neuzeitliches Kolluvium, überwiegend aus umgelagertem braunem Tonanreicherungshorizont (IBtp)
- Ms mittelalterlich-neuzeitliches Kolluvium, überwiegend aus umgelagertem Humushorizont (IAh)
- MpAlBt Kolluvium aus umgelagertem braunem Tonanreicherungshorizont (IBtp) mit schwacher Tonanreicherung und flächenhafter Tonverarmung (wahrscheinlich mittelalterliche Bodenbildung)
- MEM überwiegend neuzeitliches Kolluvium aus umgelagerten solifluidal verlagerten Tonmergeln (IIIBv,t und IIICv)
- IAh Humushorizont, ausgebildet in stark hydromorphem, in der Jüngeren Tundrenzeit akkumuliertem Schwemmlöß
- IBts Tonanreicherungshorizont, ganz überwiegend mit schwarzen Tonbelägen, ausgebildet in stark hydromorphem, jungtundrenzeitlichem Schwemmlöß
- IBts/p brauner Tonanreicherungshorizont mit zahlreichen schwarzen Tonbelägen, ausgebildet in hydromorphem, überwiegend jungtundrenzeitlichem Schwemmlöß
- IBtp brauner Tonanreicherungshor., ausgebildet in Schwemmlöß
- IIIBv,t verbraunter Horizont mit lokal schwacher Tonverlagerung, ausgebildet in einer plänerkalkschutthaltigen, ganz überwiegend aus umgelagerten Tonmergeln bestehenden Gellisolifluktuationsdecke
- II/III fBt fossiler, stark erodierter Kalksteinbraunlehm, ausgebildet in schuttreicher Gellisolifluktuationsdecke (Skelett: Plänerkalkschutt, Matrix: umgelagerte Tonmergel)
- ICv stark hydromorpher, oben jungtundrenzeitlicher Schwemmlöß
- I/IIICv Wechsellagerung aus stark hydromorphem Schwemmlöß (im oberen Teil dominierend) und solifluidal umgelagerten Tonmergeln (im unteren Teil dominierend)
- IIICv Gellisolifluktuationsdecke, überwiegend aus umgelagerten Tonmergeln mit meist geringen bis mittleren Plänerkalkschuttgehalten
- IVCv Gellisolifluktuationsdecke aus umgelagerten Tonmergeln mit meist sehr geringen Kalkschuttgehalten
- VCv schwach verwitterte anstehende Tonmergel (Santon)
- VCn unverwitterte anstehende Tonmergel (Santon)

Untersuchungen zur Bodenwasserdynamik  
im Versuchsgebiet Neuenkirchen

von

Bork, H.-R., G. Marxen, W. Max, H. Rohdenburg u. K. Urland \*

Die Validierung von Standorts- und Gebietsmodellen der Bodenwasserflüsse (vgl. dazu BORK, DIEKKRÜGER & ROHDENBURG 1985, im vorliegenden Band) sowie der Einsatz von Parametrisierungsverfahren (vgl. RHODENBURG et al. 1985, im vorliegenden Band) verlangt ein umfangreiches Meß- und Analysenprogramm. Es wurden daher im Einzugsgebiet Neuenkirchen die im folgenden genannten Untersuchungen durchgeführt.

Ein Hang im Versuchsgebiet, der sog. Meßhang, wurde in hoher räumlicher und zeitlicher Dichte analysiert. An diesem etwa 3500 m<sup>2</sup> Fläche umfassenden Hang wurden an drei etwa 100 m langen und in Gefällsrichtung verlaufenden Reihen zahlreiche Sensoren installiert. Diese werden von einer stationären automatischen Meßdatenerfassungsanlage abgefragt. Diese Anlage besteht aus einem Steuerrechner, der für den Meßablauf sowie die Abspeicherung der erfaßten Daten auf Disketten sorgt. Die Anlage ist so konzipiert, daß in einem Rechnergehäuse ein Analog-Digital-Wandler mit programmierbarem Vorverstärker sowie eine programmierbare Speisequelle zur Speisung der unterschiedlichsten Sensoren untergebracht sind.

Die Relais-Multiplexer sind in Schaltkästen auf dem Meßhang installiert. Die Meßdatenerfassungsanlage fragt derzeit etwa 130 Sensoren ab. Davon sind über 60 Druckaufnehmer-Tensiometer. Die übrigen sind im wesentlichen meteorologische Sensoren. Zur genauen Temperaturmessung kalibriert sich die Anlage selbst. Das Meßdatenerfassungsprogramm "MESY", das auf dieser Anlage läuft, stellt eine komfortable Möglichkeit zur Benutzung und Bedienung des Datenerfassungssystems dar. Der Benutzer definiert in einer Tabelle die Anforderungen hinsichtlich zeitlicher Abfolge, Skalierung, Mittelwertbildung etc.. Die erfaßten Daten können auf einem Drucker protokolliert werden.

Spezielle Routinen ermöglichen die Berechnung z. B. der relativen Feuchte und der aktuellen Verdunstung. Neben einer festen zeitlichen Abfolge können ereignisabhängige Messungen durchgeführt werden, um z. B. Oberflächenabfluß zu erfassen und mit Hilfe eines Probennehmers eine Beprobung des Abflusses durchzuführen. Daneben kann der Benutzer durch Bildschirmeingaben z. B. einzelne Messungen durchführen, die Disketten wechseln, Datum und Uhrzeit kontrollieren ohne den Meßablauf zu unterbrechen.

---

\* Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie  
Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 19c  
D-3300 Braunschweig

Die in Tiefen von 10 bis 400 cm eingebauten Druckaufnehmer-Tensiometer werden im 15-Minuten-Rhythmus von der Meßdatenerfassungsanlage abgefragt. Jede dieser Abfragen besteht aus sieben Einzelmessungen, die zunächst der Größe nach geordnet werden. Anschließend werden Minimal- und Maximalwert eliminiert und die fünf verbliebenen Werte arithmetisch gemittelt, schließlich wird der Mittelwert abgespeichert. Dieses Verfahren ermöglicht die Ausschaltung von Meßwert-Ausreißern. Figur 1 veranschaulicht die von zwei Druckaufnehmer-Tensiometern in 200 cm bzw. 300 cm Tiefe von September 1983 bis zum Oktober 1984 gemessenen Bodenwasserspannungen. Neben den erwähnten Druckaufnehmer-Tensiometern sind am Meßhang Einstich-Tensiometer, Grundwasser-Beobachtungsrohre und Aluminiumrohre für Wassergehaltsmessungen mit einer Neutronensonde installiert. Drei Grundwasser-Beobachtungsstellen sind mit Druckaufnehmern ausgerüstet. Sie werden im 15-Minuten-Rhythmus abgefragt. An den übrigen Rohren wird der Wasserstand einmal wöchentlich, nach Ereignissen auch häufiger gemessen.

Einige Ergebnisse dieser Grundwassermessungen am mittleren Längsprofil des Meßhanges zeigt Figur 2. Demnach ist ganzjährig am Meßhang ungespanntes Wasser vorhanden. Nach stärkeren Niederschlagsereignissen treten ausgesprochen rasche Wasserspiegelschwankungen auf.

Die Einstich-Tensiometer bestehen aus PVC-Rohren unterschiedlicher Länge mit am unteren Ende angesetzten Keramikkerzen. Sie werden mit Wasser gefüllt und sind oben mit einem Septum verschlossen. Entsprechend der Wasserspannung im Boden stellt sich zwischen Septum und Oberfläche der Wassersäule ein Unterdruck ein. Dieser kann mit einem Meßkopf bestimmt werden, mit dessen Nadel das Septum durchstoßen und über dessen eingebauten Druckaufnehmer der Unterdruck gemessen wird. Die Messwertanzeige erfolgt in cm Wassersäule in einem Meßgerät, das an den Meßkopf angeschlossen ist. Da der Raum zwischen Nadelspitze und Membran des Druckaufnehmers mit Wasser gefüllt ist, kann hieraus unter Berücksichtigung der Wassersäule im Tensiometer die Wasserspannung in entsprechender Bodentiefe berechnet werden.

Zur Beurteilung der Meßgüte unterschiedlicher Tensiometertypen wurde ein Laborversuch realisiert. In einem Behälter mit schluffigem Boden wurden drei verschiedene Tensiometer installiert:

- ein Druckaufnehmer-Tensiometer,
- ein Einstich-Tensiometer mit fest installiertem und direkt verbundenem Meßkopf und
- ein Einstich-Tensiometer mit permanent aufgestecktem Meßkopf (Verbindung Tensiometer-Meßkopf über eine Nadel, die durch das Septum des Tensiometers eingestochen wird).

Die Austrocknungsphase wurde in hoher zeitlicher Auflösung registriert. Das Ergebnis dieses Versuchs ist in Figur 3 wiedergegeben. Bis zu Saugspannungen von 400 cm WS treten nur sehr geringe Unterschiede auf. Anschließend nehmen die Differenzen stark zu. Unmittelbar vor dem Erreichen des Luftdurchtrittspunktes der Keramikkerzen weisen die Tensiometer folgende Wasserspannungen auf:

Druckaufnehmer-Tensiometer:	905 cm WS
Einstich-Tensiometer mit direkt verbundenem Meßkopf:	790 cm WS
Einstich-Tensiometer mit aufgestecktem Meßkopf:	600 cm WS

Offensichtlich verursachen die vergleichsweise sehr viel größeren Wassermengen in einem Einstich-Tensiometer bei höheren Wasserspannungen eine weitaus stärkere Befeuchtung der nächsten Keramikkerzenumgebung und damit eine erhebliche Verfälschung der tatsächlichen Bodenwasserspannung - zumindest bei dem untersuchten schluffigen Substrat.

Neben den Intensivmessungen von Bodenwasserparametern am Meßhang wurden im übrigen Versuchsgebiet Neuenkirchen in geringerer räumlicher und zeitlicher Dichte Bodenwasseruntersuchungen durchgeführt (vgl. Fig. 4). Im Jahre 1984 erfolgte die Messung der Wasserspannungen und Wassergehalte im Boden an 25 Meßstationen, welche sich hinsichtlich ihrer Substrat- und Reliefeigenschaften unterschieden und mit verschiedenen Anbaufrüchten (Zuckerrüben, Winter-, Sommerweizen, Wintergerste) bestellt waren. Zur Messung der Bodenwasser-spannung während der Hauptvegetationszeit an jeder Meßstelle 6 bis 10 Einstich-Tensiometer in verschiedenen Tiefen zwischen 10 und 180 cm eingebaut. Die Messungen erfolgten ein- bis zweimal pro Woche. In Figur 5 sind für den 16. Mai 1984 die Tiefenprofile der Wasserspannung an verschiedenen Standorten dargestellt. Nach einem nassen Frühjahr traten zu diesem Zeitpunkt im Oberboden Wasserspannungen bis 300 cm WS auf und nahmen mit der Tiefe kontinuierlich ab. Aufgrund des zu diesem Zeitpunkt noch relativ hohen Grundwassers befinden sich an verschiedenen Standorten die untersten Tensiometer im Grundwasserkörper und zeigen dementsprechend positive hydrostatische Drücke. Die Wassergehalte wurden im 2- bis 3-Wochen-Rhythmus bis 100 cm Bodentiefe gravimetrisch bestimmt, wobei eine Unterteilung in 10 cm-Kompartimente erfolgte. An jedem Standort wurden 3 Parallelen auf 1 m Tiefe, 6 Parallelen im Oberboden bis 30 cm Tiefe bestimmt.

Zur Messung des Grundwasserstandes waren bis Frühjahr 1984 im Einzugsgebiet Ohebach bei Neuenkirchen an mehr als 100 Stellen Grundwasserpegel eingerichtet worden. Die Grundwasserstände wurden durchschnittlich einmal wöchentlich gemessen. Im gesamten Einzugsgebiet ist ein kontinuierlicher, flacher Grundwasserkörper vorhanden, dessen Grundwassersohle die in 3.5 bis 5.5 m Tiefe anstehenden autochthonen, undurchlässigen Tonmergel bilden. Die Grundwasserstände liegen räumlich und zeitlich variierend im Bereich von wenigen dm bis über 4 m unter Geländeoberfläche. Im Jahresablauf treten räumlich differenziert stark unterschiedliche Grundwasserstandsschwankungen auf, welche in der Tiefenlinie bei wenigen Dezimetern liegen, an Hangstandorten über 200 cm betragen. In Figur 6 ist für den 23. Mai 1984 der nach dem nassen Frühjahr noch relativ hohe Grundwasserstand im 25m -Gebietsraster (vgl. URLAND, BORK & ROHDENBURG 1985) dargestellt.

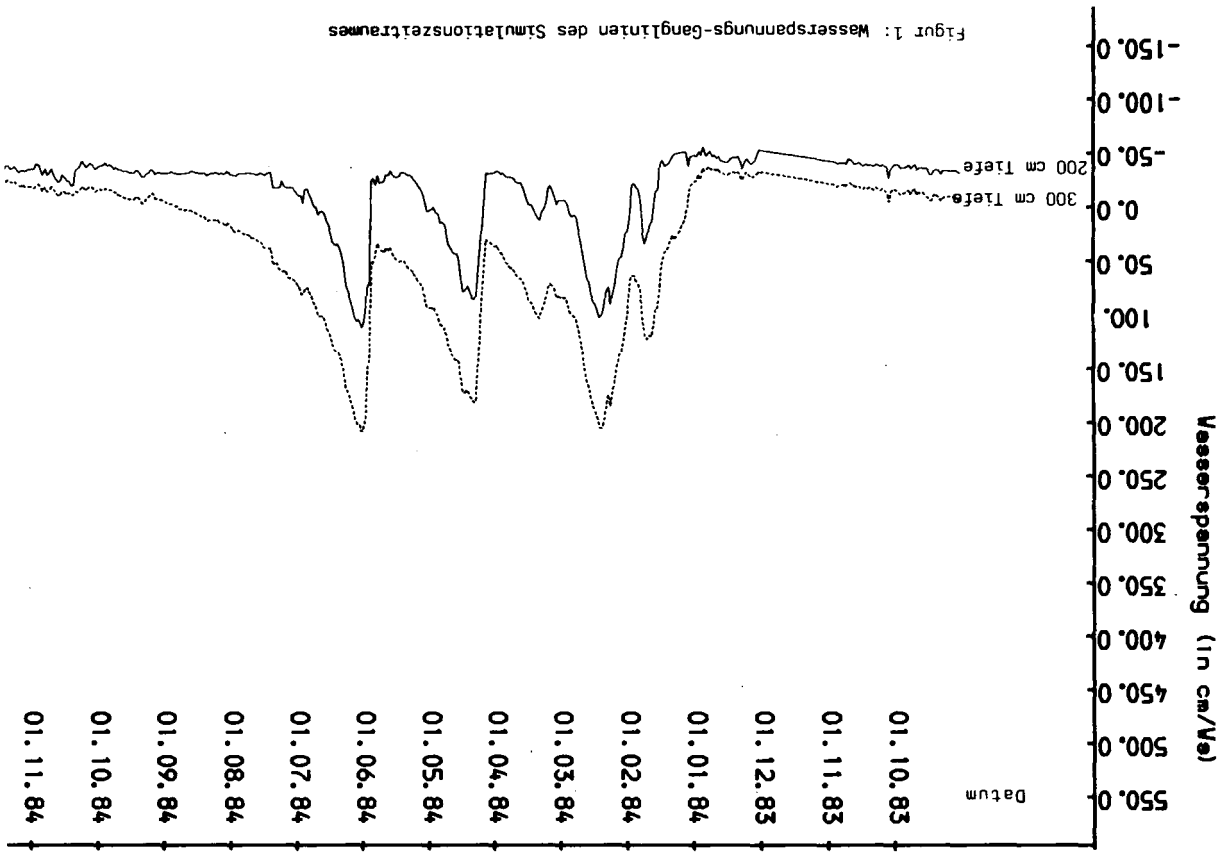
1985 wurden zur Messung der Bodenwasserparameter sechs Intensivuntersuchungsstandorte eingerichtet, die mit Meßstationen des vorangegangenen Jahres identisch waren. Die Wassergehalte wurden an diesen Standorten alle zwei Wochen getrennt nach 10 cm-Kompartimenten bis 1 m Tiefe gravimetrisch bestimmt, wobei pro Standort 5 Parallelen genommen wurden. Zur Messung der Wasserspannung im Boden wurden während der Hauptvegetationszeit Druckaufnehmer-, Einstich-Tensiometer und Gipsblockelektroden eingesetzt. Die Tensiometer waren in Tiefen zwischen 20 cm bis 155 cm installiert, während die Gipsblockelektroden mit je 3 Parallelen in 10 cm und 25 cm Tiefe eingebaut waren. Die Druckaufnehmer-Tensiometer waren zum Teil an Datalogger (netzunabhängige Meßdatenerfassungsanlage, vgl. MAX und ROHDENBURG 1985) angeschlossen und wurden im 4-Stunden-Rhythmus abgefragt. Andererseits wurden sie parallel zu den Einstich-Tensiometern und Gipsblockelektroden mit einem Handmeßgerät gemessen. Diese Messungen wurden zwei- bis dreimal wöchentlich durchgeführt. Die Grundwasserstandsmessungen wurden 1985 fortgeführt, wobei auch direkt an jedem Intensivuntersuchungsstandort Pegel angelegt wurden.

An vier repräsentativen Standorten wurden mehrfach im Jahr ungestörte Bodenproben entnommen und mit einer Laborberegungsanlage

berechnet (vgl. MARXEN, ROHDENBURG & BORK 1984). Es wurden dabei im Jahresgang die Splash-, Oberflächenabfluß- und Infiltrationsraten, die Wasserspannungen und Bodenwasserflüsse ermittelt und die Wasserleitfähigkeiten berechnet. Figur 7 zeigt einige Ergebnisse eines Versuchs, der an einer ungestörten Probe mit Kolluvium aus umgelagerten Emschermergeln durchgeführt wurde. Diese unbewachsene, gepflegte und außerhalb des Fahrspurbereichs entnommene Probe wurde mit einer Niederschlagsintensität von 0.79 mm/min 180 Minuten berechnet. Dargestellt sind die Wasserspannungen, die in drei verschiedenen Tiefen mit stabförmigen Keramikkörpern gemessen wurden. Etwa 30 Minuten nach Versuchsbeginn ist der berechnete Boden weitgehend aufgesättigt. Anschließend nimmt - bedingt durch die zunehmende Verschlammung an der Probenoberfläche und dadurch verringerte Wasserleitfähigkeiten - die Wasserspannung wieder deutlich zu. Vergleichbare Resultate erbrachte die Berechnung einer Probe, die aus dem Fahrspurbereich entnommen wurde (vgl. Fig. 8). Die Aufgliederung der Wasserbewegung in ihre Komponenten während der erwähnten Berechnungen veranschaulichen die Figuren 9 und 10. Deutlich ist der Unterschied zwischen unbefahrenem und befahrenem Standort zu erkennen. Während im nicht befahrenem Bereich deutlicher Oberflächenabfluß erst nach weitgehender Aufsättigung und zunehmender Verschlammung etwa 90 Minuten nach Beregnungsbeginn einsetzt, bildet sich in der Fahrspur bereits nach etwa 10-minütiger Beregnungszeit Oberflächenabfluß. Den Jahresgang der Ku-Werte nahe Sättigung im Pflughorizont von vier verschiedenen Standorten zeigt Figur 11. Die tendenzielle Abnahme der Ku-Werte im Jahresverlauf wird deutlich.

## Literatur

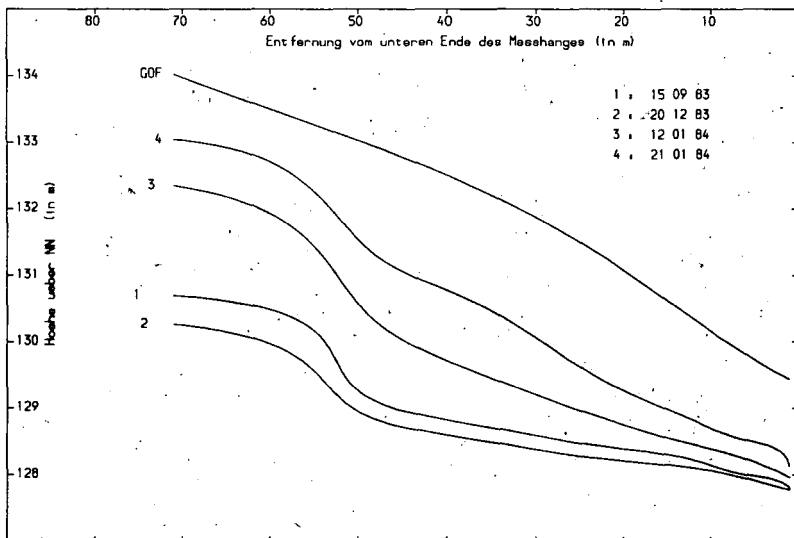
- BORK, H.-R., DIEKKRÜGER, B. & ROHDENBURG, H. (1985): Applikation deterministischer Standorts- und Gebietsmodelle der Wasser- und Stoff-Flüsse. Im vorliegenden Band.
- MARXEN, G., ROHDENBURG, H. & BORK, H.-R. (1984): Eine Laborberechnungsanlage zur Untersuchung von Bodenwasser, Oberflächenabfluß und Bodenerosion. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten 1.1, 49 - 56.
- MAX, W. & ROHDENBURG, H. (1985): Das ökologger-System, landschaftsökologisches Messen auch unter erschwerten Umweltbedingungen, Teil 1 Hardware. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten 1.2/3, 199 - 208.
- ROHDENBURG, H., BAUER, J., BEBLIK, A., BORK, H.-R., HENSEL, H. & URLAND, K. (1985): Parametereaufbereitung für deterministische Gebiets-Wassermodelle. Im vorliegenden Band.
- URLAND, K., BORK, H.-R. & ROHDENBURG, H. (1985): Übertragung von Punktmessungen des Grundwasserstandes auf ein regelmäßiges Gebietsraster für die Kalibrierung eines deterministischen Gebietsmodells der Wasserflüsse. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten 1.2/3, 169 - 178.



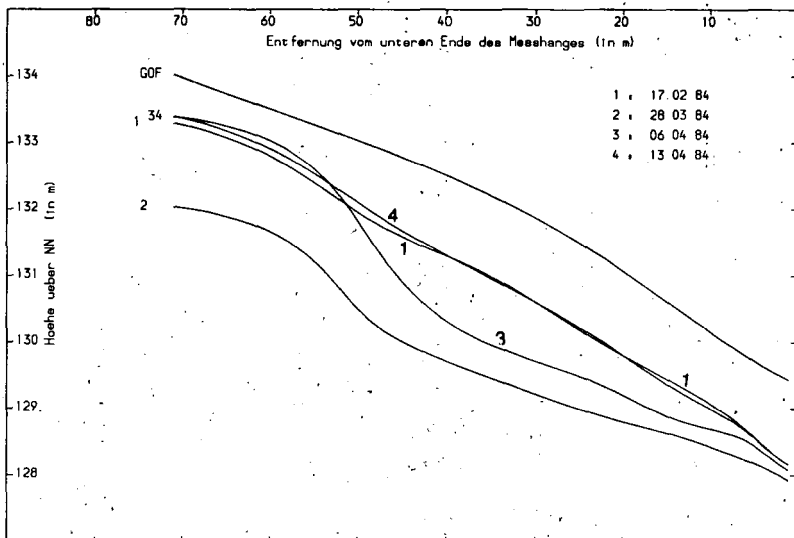
Figur 1: Wasserspannungs-Ganglinien des Simulationszeitraumes

Figur 2: Lage der Grundwasseroberfläche zu verschiedenen Terminen am Meß-  
hang des Versuchsgbietes Neuenkirchen.

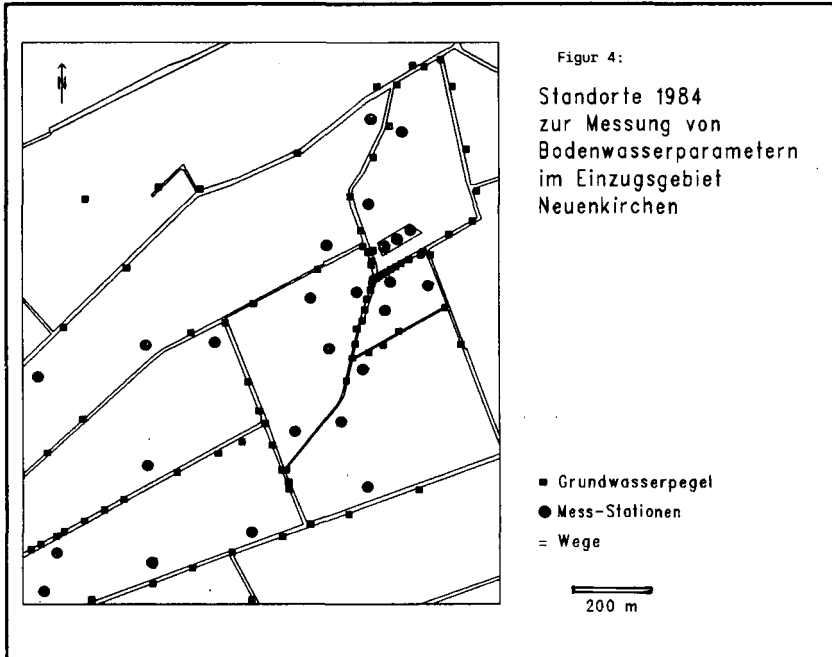
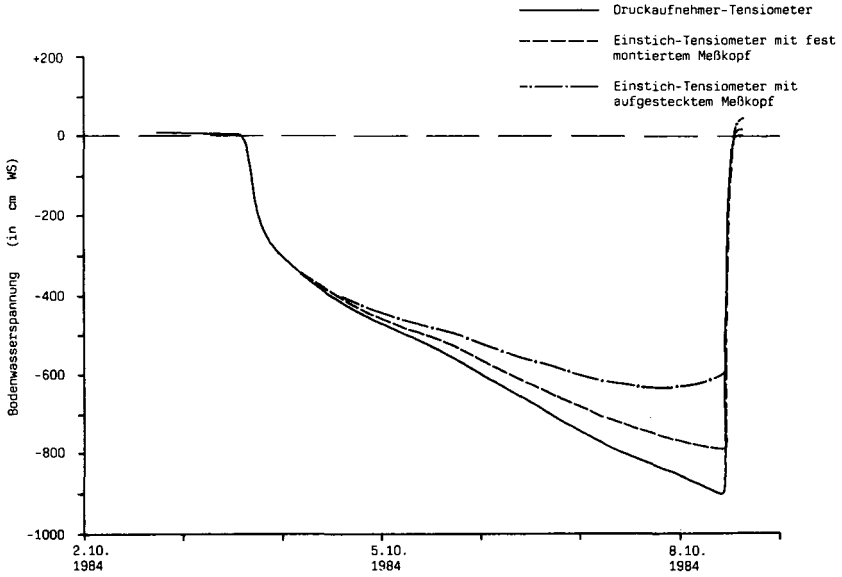
a) September 1983 bis Januar 1984



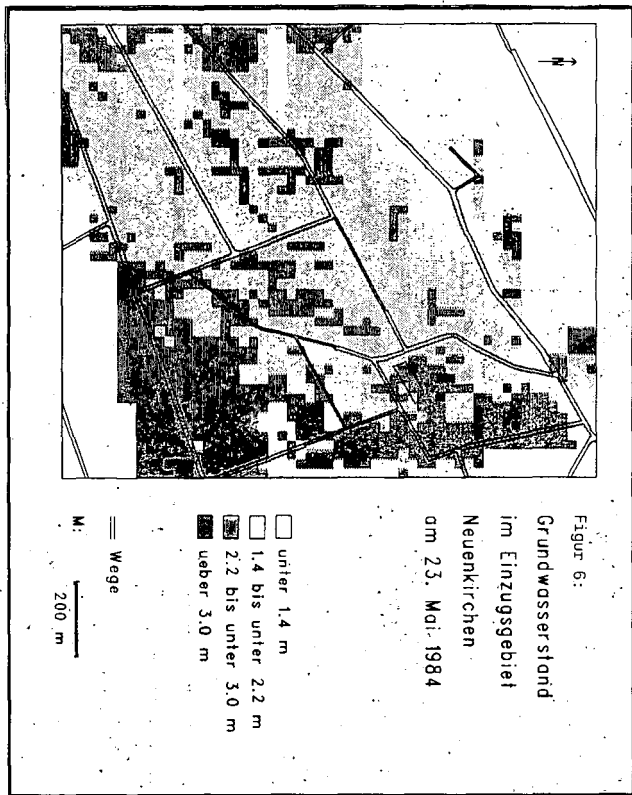
b) Februar bis April 1984



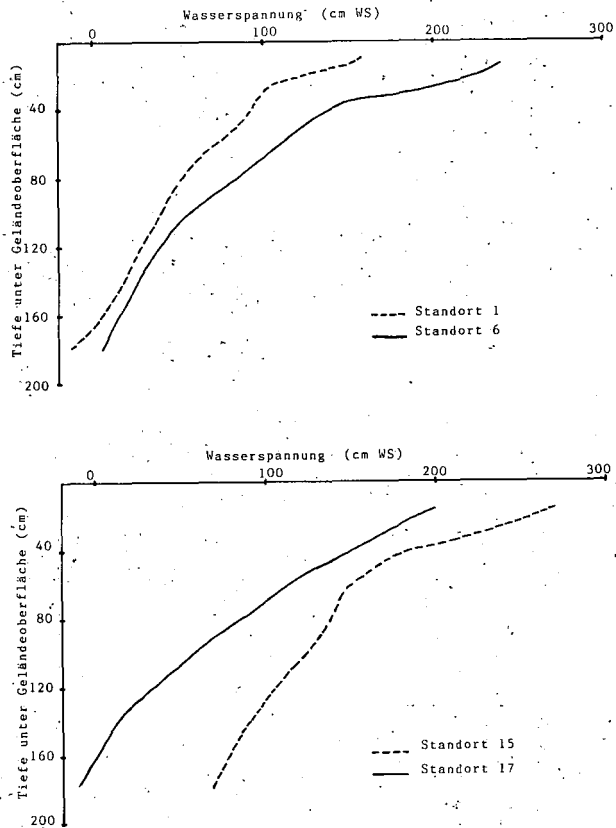
Figur 3: Vergleich verschiedener Tensiometertypen







Figur 5: Bodenwasserspannungsprofile verschiedener Standorte im Einzugsgebiet Neuenkirchen am 16. Mai 1984

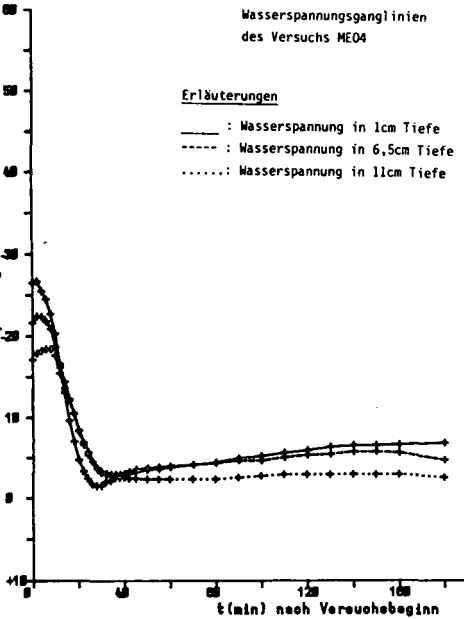


Figur 7:

Wasserspannungsganglinien  
des Versuchs ME04

Erläuterungen

- : Wasserspannung in 1cm Tiefe
- - - : Wasserspannung in 6,5cm Tiefe
- ..... : Wasserspannung in 11cm Tiefe

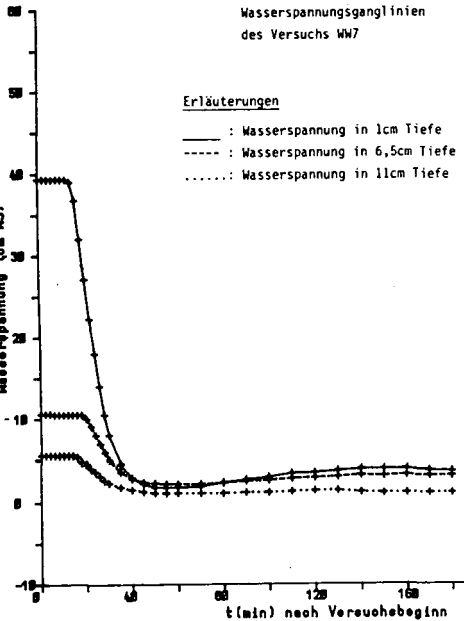


Figur 8:

Wasserspannungsganglinien  
des Versuchs WW7

Erläuterungen

- : Wasserspannung in 1cm Tiefe
- - - : Wasserspannung in 6,5cm Tiefe
- ..... : Wasserspannung in 11cm Tiefe

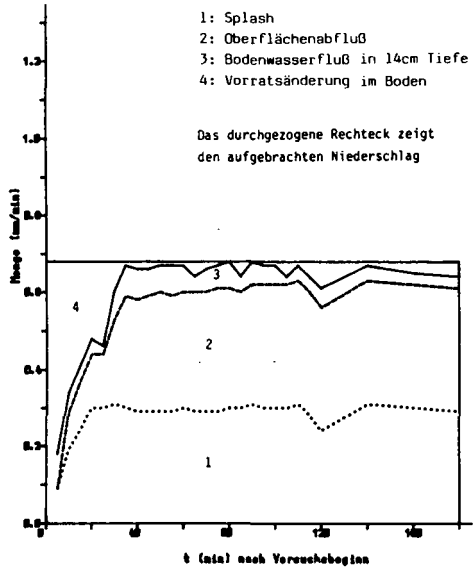


Figur 9: Aufsummarion der  
Wasserverhältnisse im  
Verlauf des Versuchs ME04

Erläuterungen

- 1: Splash
- 2: Oberflächenabfluß
- 3: Bodenwasserfluß in 14cm Tiefe
- 4: Vorratsänderung im Boden

Das durchgezogene Rechteck zeigt  
den aufgebrauchten Niederschlag



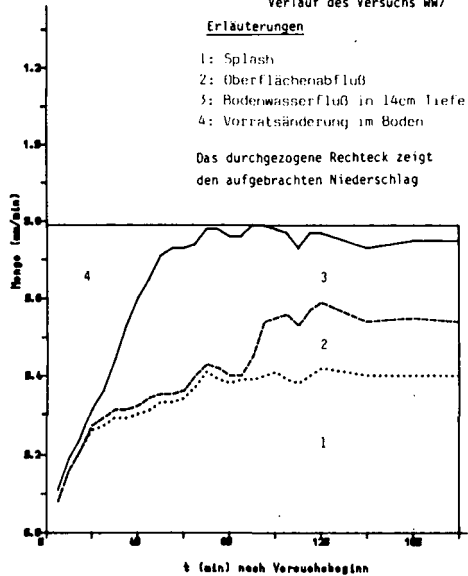
Figur 10:

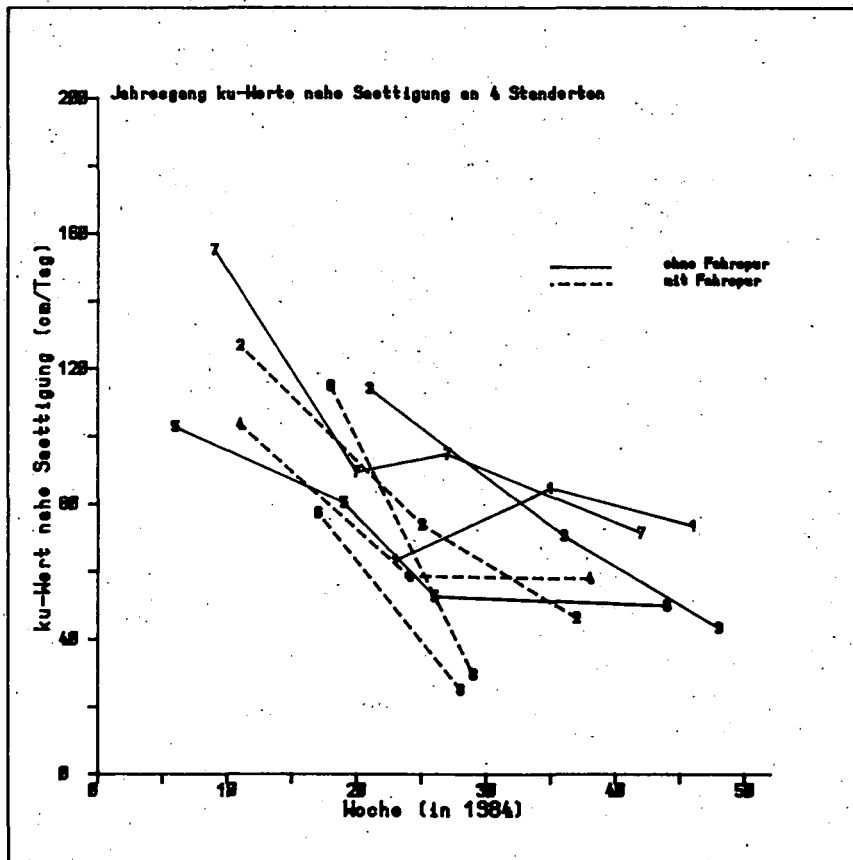
Aufsummarion der  
Wasserverhältnisse im  
Verlauf des Versuchs WW7

Erläuterungen

- 1: Splash
- 2: Oberflächenabfluß
- 3: Bodenwasserfluß in 14cm Tiefe
- 4: Vorratsänderung im Boden

Das durchgezogene Rechteck zeigt  
den aufgebrauchten Niederschlag





Figur 11: Jahresgang ku-Werte nahe Sättigung an 4 Standorten

Erläuterungen

- 1 und 2 : ME0, Standort Meßhang oben,  
Substrat : Kolluvium aus umgelagerten Emscher-Mergeln bzw. umgelagertem Löß-Bt, Anbaufrucht : Zuckerrüben
- 3 und 4 : MEU, Standort Meßhang unten,  
Substrat : Kolluvium aus umgelagertem Löß-Bt, Anbaufrucht : Zuckerrüben
- 5 und 6 : Standort UH,  
Substrat : Kolluvium aus umgelagertem Löß-Bt, Anbaufrucht : Winterweizen
- 7 und 8 : Standort WW,  
Substrat : Kolluvium aus Umgelagerten Emscher-Mergeln, Anbaufrucht : Winterweizen

Die durchgezogenen Linien zeigen jeweils Versuche mit Proben aus dem Interrill-Bereich, die gestrichelten Linien Versuche mit Fahrspur-Proben.

Untersuchungen zur rezenten Bodenerosion  
im Untersuchungsgebiet Neuenkirchen

von

Bork, H.-R., U. Henk, H. Hensel u. H. Rohdenburg \*

1. Einleitung

Seit März 1982 werden vom Teilprojekt Bodenerosion der Forschergruppe "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete ..." umfangreiche Untersuchungen zur rezenten Bodenerosion in dem 80 ha umfassenden Einzugsgebiet Ohebach bei Neuenkirchen im nördlichen Harzvorland sowie in den Labors der Abt. für Physische Geographie und Landschaftsökologie durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen ist die Analyse der Bodenumlagerungsprozesse, die Beschreibung der Prozesse durch physikalisch begründete Modelle sowie die Überprüfung und Kalibrierung verschiedener, vor allem in den USA entwickelter Erosionsmodelle.

2. Untersuchungen zur Bodenerosion unter natürlichen Niederschlägen

Im Einzugsgebiet Neuenkirchen wurden offene Hangparzellen eingerichtet. Die Mehrzahl dieser Hangparzellen ist mit einfachen Meßeinrichtungen ausgerüstet, an denen die Bodenfracht aufgefangen, der Maximalabfluß gemessen und Schwebproben des aufsteigenden Astes eines Abflußereignisses genommen werden (vgl. BORK 1983: 127f.). Einige Hangparzellen wurden mit automatischen Abfluß-Erosionsmeßstationen bestückt. Diese besitzen eine Bodenfrachtfalle, ein Meßgerinne mit einem Sensor zur Wasserstandsmessung (Druckaufnehmer, Widerstandskette oder Ultraschall-Echolot) und einen automatischen Probenehmer zur Erfassung der Schwebgehalte. Die Sensoren sind an eine automatische Meßdatenerfassungsanlage angeschlossen. Auf den Meßflächen sind Splash-Auffangbehälter installiert, deren Inhalt nach einem Niederschlag entnommen und analysiert wird. Auf diesen Parzellen werden u.a. folgende Kartierungen durchgeführt:

a) Vor Erosionsereignissen:

Pflanzenbedeckungsgrad und -höhe, Verschlammungsgrad der Bodenoberfläche und Dispergierungsgrad, Aggregatgrößenverteilung, Mikrorelief, Steinbedeckungsgrad,

Gefügekartierung des Ap:

- Breite, Abstand und Tiefe von Schrumpfrissen
- Bioporenzahl pro Flächeneinheit
- für einzelne Schichten des Ap: Aggregatgrößenklasse, Lagerungsart, Dispergierungsgrad, Poren auf den Aggregaten, Aggregatform.
- Pflugsohlentiefe und -gefüge.

---

\* Abt. f. Physische Geographie und Landschaftsökologie  
Technische Universität, Langer Kamp 19c, 3300 Braunschweig

- b) Während bzw. nach Erosionsereignissen: Größe des Einzugsgebietes, Größe, Mächtigkeit und Aggregatgrößenverteilung des Akkumulationsbereiches, Erosion für einzelne Hangquerschnitte (Messung des Hohlformvolumens), Abschätzung von Ertragsverlusten.
- c) Einmalige Kartierungen: Letzte Bodenbearbeitungsart, -richtung und -tiefe, Drillreihenabstand, Abstand der Pflanzen in der Reihe, Pflanzendichte, Fahrspurabstand und -breite.

Nach den Starkregen im Mai/Juni 1984 wurden auf Rübenschlägen mit Hangneigungen von 3 bis 16 Prozent und Hanglängen von 90 bis 340 m Bodenabträge zwischen 40 und 180 t/ha kartiert. 1984 und 1985 wurden in 28 Niederschlagsintervallen im Durchschnitt an 52 Stellen im Gebiet Splashmessungen durchgeführt (1470 Einzelmessungen), wobei Splashmengen zwischen 0.1 und 16.2 g/0.01 qm registriert wurden.

### 3. Untersuchungen der Bodenerosion unter simuliertem Niederschlag

Aufgrund ihrer Seltenheit und für Spezialuntersuchungen zur Bodendynamik sowie zum Stofftransport auf der Bodenoberfläche ist es zweckmäßig, Starkregen zu simulieren. Es wurde eine Feldberegnungsanlage entwickelt, die die Beregnung einer Fläche von mehr als 100 qm ermöglicht. Auf dieser Fläche wird eine mit Stahlblechen begrenzte Abflußparzelle mit einer Länge von 22.13 m (US-Standardmaß) und einer Breite von 3 m und parallel dazu ein 1 m breiter Meßstreifen eingerichtet. In diesem Meßstreifen werden die benötigten Sensoren installiert (Druckaufnehmer-Tensiometer, Bodenluft-Druckaufnehmer, Bodenwasser-Saugsonden, Rohre mit Druckaufnehmern zur Messung des Grundwasserstandes, Splash-Auffangbehälter, Niederschlagsmesser, Tropfenspektrum-Meßgerät, u.a.m.). Die Beregnung erfolgt durch Düsen. Der sich auf der Abflußparzelle bildende Oberflächenabfluß wird durch ein Sedimentationsbecken und ein Meßgerinne geleitet (hier Messung von Abflußrate, Leitfähigkeit, Bodenfrachtvolumen, automatische Probenahme). Die Sensoren werden an eine mobile automatische Meßdatenerfassungsanlage angeschlossen (NIEDER, BORK & ROHDENBURG 1984).

Die zeitliche und räumliche Variabilität des Mikroreliefs wurde auf über 25 Standorten mit einer einfachen Rauigkeitsmeßanlage bestimmt. Diese Messungen liefern die für die Validierung physikalischer Modelle erforderlichen Rauigkeitswerte.

Ergänzend werden in den Labors Spezialuntersuchungen vorgenommen. Mit einer Laborberegnungsanlage werden an ungestörten Bodenmonolithen die jahreszeitlichen Veränderungen des Bodenwasser-, Abflußbildungs- und Bodenerosionsverhaltens (vor allem Aufprallwirkung der Regentropfen) in Ap-Horizonten untersucht (MARXEN, ROHDENBURG & BORK 1984). Mit einem 4 m langen Erosionsgerinne werden Fragen der Hydraulik des Oberflächenabflusses und der Entstehung von flächenhafter und linearer Bodenerosion an unterschiedlich bearbeiteten Oberflächen analysiert (SCHOLLES et al. 1985).

### 4. Anwendung der modifizierten Universal Soil Loss Equation (USLE)

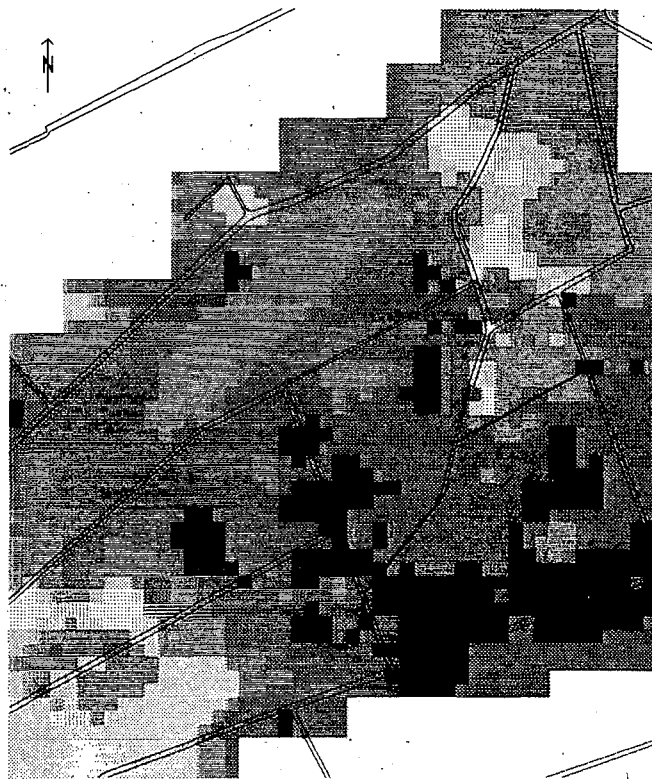
Die USLE wurde zur Abschätzung des Bodenabtrages auf das Untersuchungsgebiet Neuenkirchen angewandt. Weiterhin wurde eine modifizierte Modellversion erstellt, die es ermöglicht, Erosion und Akkumulation zu simulieren.

Zunächst wurde zur Berechnung der einzelnen USLE-Faktoren unter Verwendung der bekannten Algorithmen und Tabellen EDV-Programme er-

stellt (nach SCHWERTMANN 1981). Es wurde für die Jahre 1974 bis 1983 ein mittlerer R-Faktor von 41 berechnet. Grundlage für die Ermittlung des K-Faktors bildeten die im 25m-Raster vorliegenden Daten des Digitalen Substratmodells (vgl. HENSEL, ROHDENBURG & BORK 1985). Dieses Modell stellte die Parameter Ton-, Schluff-, Sand- und Humusgehalt für jede Rasterfläche bereit. Aus diesen Daten wurden die benötigten Parameter und anschließend der K-Wert berechnet (vgl. Fig. 1). Die Parameter Hangneigung und Hanglänge des Digitalen Reliefmodells (BAUER, ROHDENBURG & BORK 1985) wurden zur Bestimmung des LS-Faktors verwandt. Die ermittelten LS-Werte veranschaulicht Fig. 2. In Abhängigkeit vom Relief konvergiert oder divergiert das hangabwärts fließende Wasser. Das Digitale Reliefmodell berechnet den Divergenz-/Konvergenzwert für jede Rasterfläche. Unter Verwendung dieses Faktors und des LS-Wertes kann für jede Rasterfläche ein Zu- oder Abschlagswert berechnet werden. Durch die Einbeziehung dieses relativen Relief Faktors in die Berechnung der USLE kann in Erweiterung der USLE auch Akkumulation prognostiziert werden (s.u.). Der P- und C-Faktor wurde für jedes Feld bestimmt und durch ein EDV-Programm auf das gewünschte Raster übertragen. Durch Multiplikation der USLE-Einzelfaktoren wurde für jede Rasterfläche der mittlere langjährige Gesamtabtrag berechnet (vgl. Fig. 3). Anschließend wurden diese Werte mit dem o.g. Relieffaktor multipliziert. Als Resultat liegt für jede Teilfläche die Erosions-Akkumulations-Bilanz vor. Figur 4 ist zu entnehmen, daß insbesondere konvexe Unterhangbereiche stärkeren Abtrag erwarten lassen, während in den Tiefenlinien die Akkumulation dominiert - eine gute Übereinstimmung mit den Meß- und Kartierergebnissen.






## 5. Literatur


- BAUER, J., ROHDENBURG, H. & BORK, H.-R. (1985): Ein Digitales Reliefmodell als Voraussetzung für ein deterministisches Modell der Wasser- und Stoff-Flüsse. Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 10, 1-15.
- BORK, H.-R. (1983): Die quantitative Untersuchung des Oberflächenabflusses und der Bodenerosion. Eine Diskussion der an der Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie der TU Braunschweig entwickelten Meßverfahren und Meßeinrichtungen. GEOMETHODICA, 8, 117-147, Basel.
- HENSEL, H., ROHDENBURG, H. & BORK, H.-R. (1985): Ein dreidimensionales Digitales Substratmodell als Voraussetzung für die Anwendung von deterministischen Gebietsmodellen der Wasserflüsse. Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 10, 17-62.
- MARXEN, G., ROHDENBURG, H. & BORK, H.-R. (1984): Eine Laborberegnungsanlage zur Untersuchung von Bodenwasser, Oberflächenabfluß und Bodenerosion. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten, 1.1, 49-56.
- NIEDER, H., BORK, H.-R. & ROHDENBURG, H. (1984): Eine Feldberegnungsanlage zur Untersuchung von Bodenwasser, Oberflächenabfluß und Bodenerosion auf 50qm Parzellen. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten, 1.1, 39-47.
- SCHOLLES, U., ROHDENBURG, H. & BORK, H.-R. (1985): Ein Versuchsgewinne zur Simulation von Oberflächenabfluß und Bodenerosion von Hangausschnitten. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten, 1.2/3, 159-168.
- SCHWERTMANN, U. u.a. (1981): Die Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser in Bayern. Lehrst. f. Bodenkunde, T.U. München.

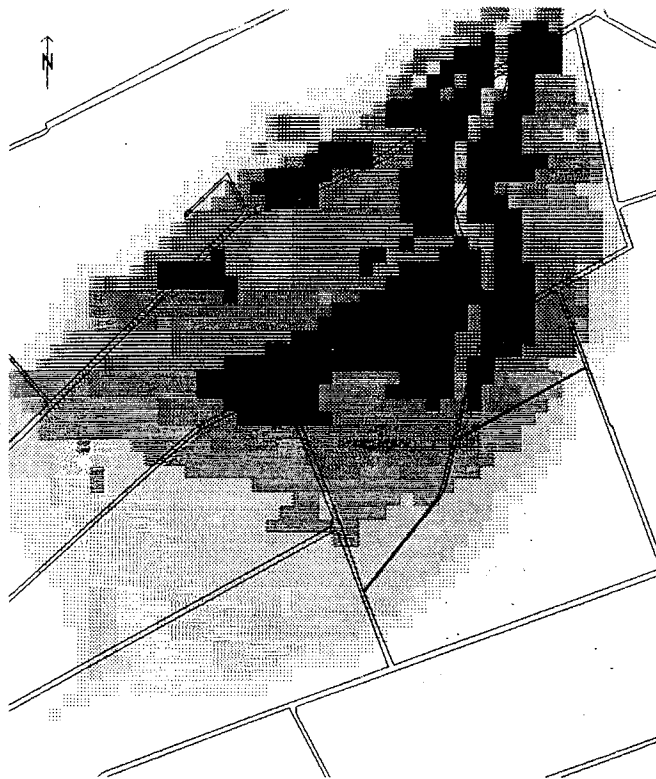


Figur 1:

UNTERSUCHUNGSGEBIET NEUENKIRCHEN  
K-FAKTOR (USLE)

-  UEBER 0.0. BIS 0.4
-  UEBER 0.40 BIS 0.5
-  UEBER 0.5 BIS 0.6
-  UEBER 0.6 BIS 0.7
-  UEBER 0.7


 WEGENETZ





Figur 2:


UNTERSUCHUNGSGEBIET NEUENKIRCHEN

LS-FAKTOR (USLE)


 UEBER 0.0. BIS 0.3

 UEBER 0.3 BIS 0.9

 UEBER 0.9 BIS 1.2

 UEBER 1.2 BIS 5.0

 UEBER 5.0

 WEGENETZ

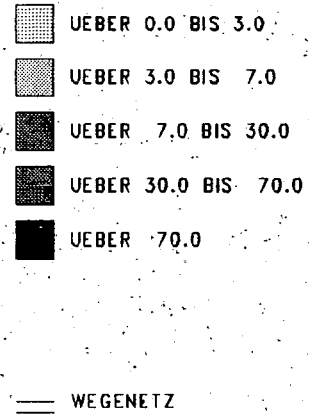
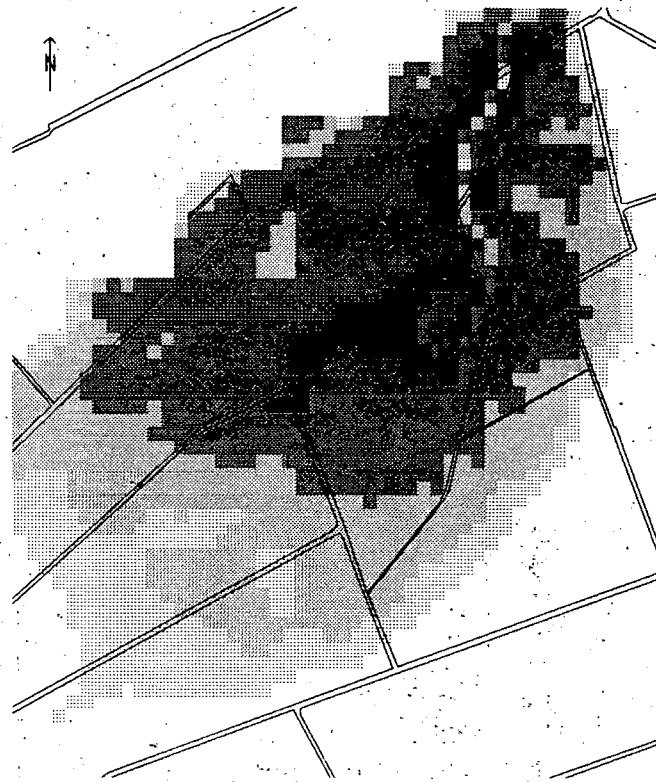


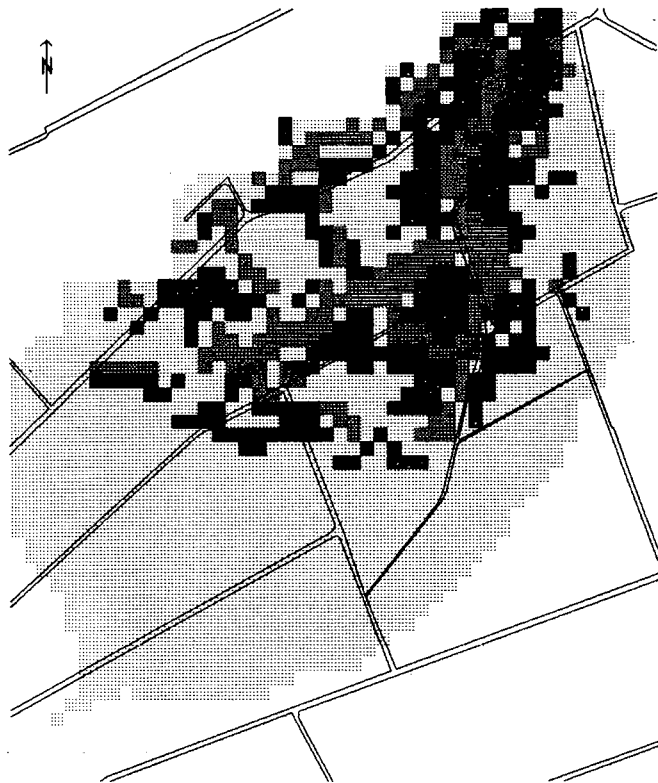
Figur 3:

UNTERSUCHUNGSGEBIET NEUENKIRCHEN

EROSION NACH DER USLE

(T/HA\*A)

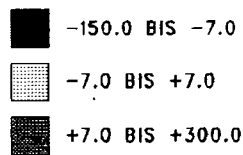




Figur 4:


UNTERSUCHUNGSGEBIET NEUENKIRCHEN

EROSIONS- AKKUMULATIONS- BILANZ NACH  
DER MODIFIZIERTEN USLE (T/HA\*A)



NEGATIVE WERTE: EROSION

POSITIVE WERTE: AKKUMULATION

 WEGENETZ

Parameteraufbereitung für deterministische  
Gebiets-Wassermodelle

von

Rohdenburg, H., J. Bauër, A. Beblik, H.-R. Bork, H. Hensel u. K. Umland \*

## 1. Einführung

Aufgrund des erforderlichen großen Aufwandes können experimentelle Arbeiten zur Charakterisierung der Wasser- und Stofftransporte in Wassereinzugsgebieten nur an wenigen Standorten realisiert werden. Die Ergebnisse dieser Standortuntersuchungen müssen anschließend auf das Standortskontinuum der Einzugsgebiete übertragen werden. Zur Beschreibung des Prozeßgeschehens in Einzugsgebieten können differenzierte raumzeitlich-kontinuierliche physikalische Modelle eingesetzt werden. Derartige dynamische Wasser- und Stofftransport-Modelle benötigen im Vergleich zu empirischen Ansätzen eine große Zahl von Informationen. Die Modellparameter für sämtliche miteinander gekoppelte Gleichungen müssen für jedes Kompartiment der räumlichen Diskretisierung bestimmt werden. Desweiteren müssen auch die Randbedingungen für alle Diskretisierungselemente zeitkontinuierlich vorgegeben werden. Allein dafür ist der Aufwand um mehrere Größenordnungen höher als die Parameteraufbereitung für empirische Modelle. Schließlich müssen die Anfangsbedingungen - ebenfalls für sämtliche Kompartimente - vorliegen. Zur Bereitstellung der umfangreichen Datensätze mit begrenzbarem Aufwand wurden von der Gruppe Regionalisierung/Fernerkundung der Forschergruppe "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete" verschiedene übertragbare Regionalisierungsverfahren ausgearbeitet. Aufgrund von topographischen und bodenkundlich-geologischen Basisdaten werden in der gewünschten räumlichen Diskretisierung ökologisch relevante Reliefparameter anhand des Digitalen Reliefmodells sowie ökologisch relevante Substratparameter anhand des Digitalen Dreidimensionalen Substratmodells abgeleitet. Anhand einer begrenzten Stichprobe von Bodenwasserspannungs-, Bodenwassergehalts- und Grundwasserstandsdaten läßt sich die räumliche Differenzierung dieser Werte aufgrund relativ enger Korrelation mit Relief- und Substratparametern abschätzen (Präprozessor Parametrisierung von Bodenwasserdaten). Schließlich werden anhand des Präprozessors Flächendaten verschiedene Oberflächeninformationen bereitgestellt. Die erwähnten Verfahren werden im folgenden kurz beschrieben.

## 2. Das Digitale Reliefmodell (DRM)

Der Präprozessor DRM dient zur Bereitstellung landschaftsökologisch relevanter morphographischer Parameter für die Anwendung verschiedener deterministischer Gebietsmodelle.

---

\* Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie.  
Technische Universität, Langer Kamp 19c, D-3300 Braunschweig

Das DRM benötigt als Eingabe unregelmäßig verteilte Höhendaten. Anhand dieser Werte werden die Höhen für ein regelmäßiges Raster interpoliert (sind die Höhenwerte bereits in einem regelmäßigen Raster vorhanden, so können diese direkt zur Weiterverarbeitung verwendet werden). Das Raster muß rechtwinklig sein, kann aber einen unregelmäßigen Rand besitzen, um sowohl Speicherplatz und Rechenzeit einzusparen als auch überflüssige Belegungen mit missing values zu vermeiden.

Folgende Reliefparameter können vom DRM berechnet werden:

a) Exposition und Gefälle:

In Abhängigkeit der ersten partiellen Ableitungen eines zweidimensionalen Polynoms um jeden Gitterpunkt werden die Exposition und das Gefälle bestimmt.

b) Horizontal- und Vertikalkrümmung:

Das DRM bietet zwei Krümmungskomponenten an. Die Horizontalkrümmung (Krümmung der Höhenlinie) und die Vertikalkrümmung (Krümmung in Gefällsrichtung) lassen sich mittels der ersten beiden partiellen Ableitungen der Näherungspolynome bestimmen (vgl. Fig. 1).

c) Größe und durchschnittliches Gefälle der Einzugsgebiete oberhalb einer Rasterfläche:

Zur Berechnung der Einzugsgebietsgröße bedarf es nur der Kenntnis der Expositionen und des Gefälles in jedem Rasterpunkt. Die Größe eines Einzugsgebietes entspricht der Abflußmenge, die bei gleichmäßigem Regen und undurchlässiger Geländeoberfläche über dem gesamten Gebiet und glatter Oberfläche über die jeweilige Rasterfläche strömt (vgl. Fig. 2).

d) Relative Hangposition:

Die relative Hangposition wird bestimmt durch

- die Entfernung zur Tiefenlinie (vgl. Fig. 3),
- die Entfernung zur Wasserscheide (vgl. Fig. 4).

Die Identifizierung einer Tiefenlinie ist abhängig vom Konvergenzverhalten des Oberflächenabflusses und von der Größe des oberhalb liegenden Einzugsgebietes. Die Wasserscheide wird vom DRM in Abhängigkeit von der Tiefenlinie und dem Rand eines Einzugsgebietes definiert.

Das Digitale Reliefmodell ist in BAUER, ROHDENBURG & BORK (1985) detailliert beschrieben.

### 3. Digitales Substratmodell

Das dreidimensionale Digitale Substratmodell setzt sich aus den Komponenten Datenerfassung, Klassifikation und Interpolation zusammen. Eine ausführliche Beschreibung des Digitalen Substratmodells ist in HENSEL, ROHDENBURG & BORK (1985) enthalten.

Die Erfassung von Nominal-, Ordinal- und metrischen Daten erfolgte auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung und wurde bereits im Gelände möglichst computergerecht vorgenommen. Die Lage des bearbeiteten Gebietes und der in den Figuren 6 bis 8 dargestellten Profile zeigt Figur 5.

Klassifiziert wurden Horizonte und Schichten. Eine Vorgruppierung fand bereits im Gelände statt. Die eigentliche Klassifikation wurde durch ein halbautomatisches Verfahren erreicht, das mit Hilfe von automatisch erzeugten Hangquerschnitten geomorphologische, bodenkundliche und räumliche Gesetzmäßigkeiten berücksichtigt. Vollautomatische Klassifikationsverfahren (wie z.B. die Clusteranalyse) führten nicht zu verwertbaren Ergebnissen.

Zur Bestimmung der Mächtigkeiten sowie der Verbreitung der Schichten und Horizonte diente ein Interpolationsverfahren, das auf der

Berechnung gewichteter Durchschnittswerte unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Umgebungspunkte beruht. Durch Überschneiden der interpolierten Horizont- und Schichtmächtigkeiten könnten Horizont-/ Schichtkombinationen bestimmt werden. Die substratbeschreibenden Parameter (wie z.B. die Korngrößenzusammensetzung) wurden vor ihrer Interpolation nicht klassifiziert. Sie lehnen sich aber an die Horizont-/ Schichtkombinationen insoweit an, als daß sie nur innerhalb der Horizont-/ Schichtkombinationen interpoliert werden. Die Interpolation erfolgte auch hier mit Hilfe gewichteter Durchschnittswerte unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Umgebungspunkte.

Für die (vor allem für die Klassifikation sowie die Beurteilung der Ergebnisse wichtige) graphische Darstellung der Daten standen eine Reihe von Graphikprogrammen zur Verfügung bzw. wurden entwickelt, die das automatische Zeichnen von Hangquerschnitten sowie die flächenhafte Darstellung der Daten ermöglichte.

Einige mit dem Digitalen Substratmodell erzielte Ergebnisse veranschaulichen die Figuren 6 (E-W-Schnitt durch das Untersuchungsgebiet), 7 und 8 (Vergleich Bohrprofil mit interpoliertem Profil).

#### 4. Präprozessor Parametrisierung von Bodenwasserdaten

Als Startdaten für Gebietssimulationen müssen die Bodenwassergehalte, die Bodenwasserspannungen und die Grundwasserstände für sämtliche Kompartimente vorliegen. Zur Bereitstellung dieser Informationen wurden im Einzugsgebiet Neuenkirchen 1983/84 an 25 Meßstationen die Wasserspannungen und Wassergehalte mit Druckaufnehmer- und Einstichtensiometern bzw. gravimetrisch gemessen (vgl. URLAND, BORK & ROHDENBURG, 1985, Fig.3 und 5). Zur Erfassung der Grundwasseroberfläche waren im Gesamteinzugsgebiet über 100 Pegel vorhanden, welche mindestens einmal pro Woche abgelesen wurden.

Nach Zusammenstellung der Datensätze für jeden erforderlichen Meßtermin wurden stochastische Verfahren zur Schätzung der Randbedingungen bzw. Anfangszustände aus den Basisrelief- und Basissubstratdaten eingesetzt. Über multiple lineare Regressionsanalysen wurden für die Bodenwasserparameter Wasserspannung, Wassergehalt und Grundwasserstand zeitpunktbezogene Regressionsgleichungen aufgestellt. Diese Regressionsmodelle (vgl. URLAND, BORK & ROHDENBURG, 1985, Tabelle 2-4) ermöglichen grundsätzlich für jeden Punkt im Gebiet, dessen Basisdaten bekannt sind, die Schätzung der genannten Bodenwasserparameter.

Gemäß den Anforderungen deterministischer Gebietsmodelle werden diese Daten in bestimmten, je nach Modell und Ziel der Simulation oft unterschiedlichen Flächenrastern benötigt. Entsprechend der Verfügbarkeit der Basisdaten erfolgt die Schätzung der Bodenwasserdaten zunächst in der für das Untersuchungsgebiet höchst möglichen Diskretisierung. Diese ist im Einzugsgebiet Neuenkirchen, bedingt durch die Substratdaten, mit dem 25m-Gebietsraster vorgegeben. Aus diesem Grundraster heraus lassen sich die Werte der Bodenwasservariablen für weniger hoch diskretisierte Flächenraster berechnen, indem aus allen Werten innerhalb der größeren Rasterflächen über Mittelwertbildungen die neuen Daten berechnet werden. Die Figuren 9 und 10 zeigen exemplarisch die Ergebnisse der Parametrisierungen von Bodenwassergehalten und Bodenwasserspannungen an zwei Terminen.

## 5. Präprozessor Flächendaten

Die flächenbezogenen, diskreten Kartierdaten müssen zur Eingabe für Gebietsmodellrechnungen auf regelmäßige Rasterflächen bezogen sein. Die Verarbeitung von Flächendaten gliedert sich in geometrische und logische Verarbeitungsschritte, die im folgenden erläutert werden. Für das gesamte Untersuchungsgebiet Neuenkirchen wurden die Flurgrenzen digitalisiert. Sie liegen in grafikfähigen Datensätzen feldbezogen vor und dienen als Bezugsflächen für die applizierten Daten. In einem zweiten Schritt werden aufgrund der jeweils aktualisierten Flurgrenzen die Felder in Vorgewende und Hauptflächen unterteilt, denen später die aus Luftbildern und Begehungen kartierten Bearbeitungsrichtungen zugeordnet werden.

Um die vektoriiellen Daten auf Raster beziehen zu können, wird ein beliebiges rechtwinkliges Raster definiert. Es können durch jeweils in X- und Y-Richtung beliebig wählbare Rasterweiten und die Wahl eines Ursprungs und Drehwinkels die Rasterflächen an jedes Gelände bzw. jede Fragestellung angepaßt werden. Sowohl die Rastergeometrie als auch die Abbildungsmaßstäbe für die Video- und Papierbildausgaben werden in Steuerdateien definiert und von allen Flächendatenprogrammen gemeinsam genutzt.

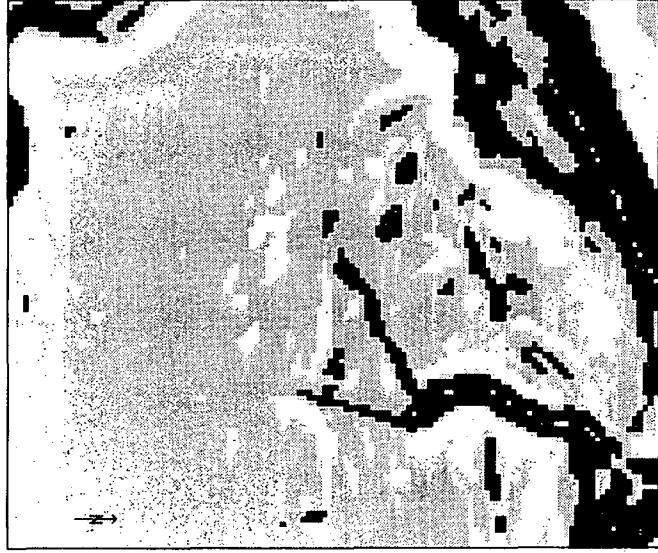
Auf diesen Grunddaten bauen geometrische Verarbeitungsschritte wie die Zuordnung von Rasterflächen zu Flurstücken bzw. Vorgewenden auf. Dabei werden statistische Merkmale zu Hilfe genommen, um in Grenzlagen die durch applizierte Daten bestimmte sinnvolle Rasterzuordnung zu erhalten.

Das in der Datenbank gespeicherte Beziehungsgefüge von Raster- und Polygonflächen wird durch die Applikationsdatensätze ergänzt. Sie enthalten die im unterschiedlichen Rhythmus erhobenen Beobachtungen über Bearbeitungsrichtung, Anbaufrüchte, Bestandeshöhe, phänologisches Stadium, Pflanzenbedeckungsgrad und Blattflächenindex mit ihren Gültigkeitszeiträumen.

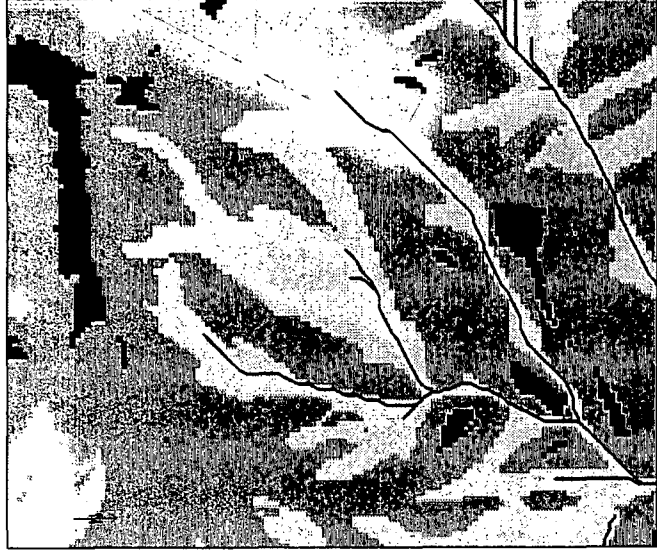
Datenbanksoftware gestattet dann die Sammlung aller Flächendaten für beliebige Stichtage bzw. Zeiträume als Eingangsdaten für die Kalibrierung der Gebietsmodelle. Mithilfe einiger lokaler Prozessoren können die Flächendaten in einem Bildspeicher gespeichert und per Videoschirm dargestellt werden. Mit einfachen arithmetischen Prozeduren lassen sich durch Verknüpfung verschiedener Flächendaten neue flächenbezogene Kennwerte ermitteln.

## 6. Literatur

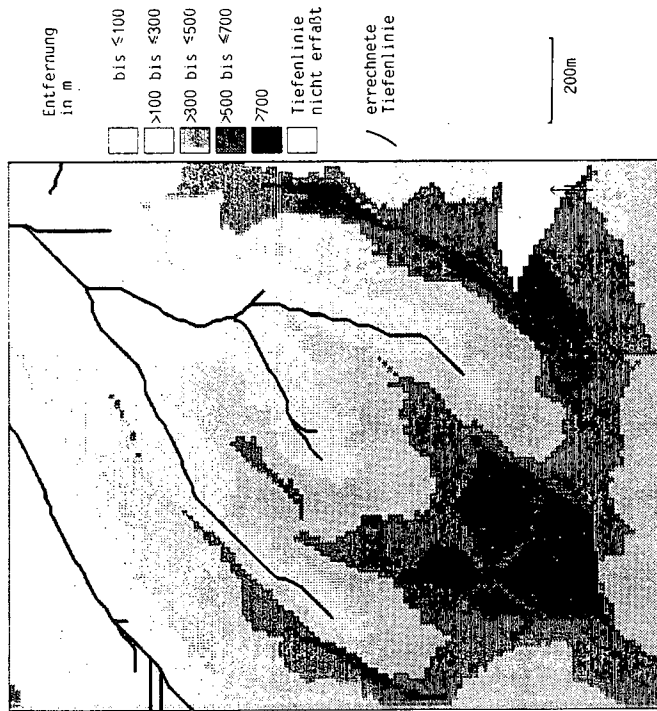
- Bauer, J., Rohdenburg, H. & Bork, H.-R. (1985): Ein Digitales Reliefmodell als Voraussetzung für ein deterministisches Modell der Wasser- und Stoff-Flüsse. Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 10, 1-15, Braunschweig.
- Hensel, H., Rohdenburg, H. & Bork, H.-R. (1985): Ein dreidimensionales Digitales Substratmodell als Voraussetzung für die Anwendung von deterministischen Gebietsmodellen des Wasserflüsse. Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 10, 17-62, Braunschweig.
- Urland, K., Bork, H.-R. & Rohdenburg, H. (1985): Die flächenhafte Ermittlung von Bodenwasserdaten als Voraussetzung für die Kalibrierung eines deterministischen Gebietsmodells der Wasserflüsse. Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 10, 63-81, Braunschweig.



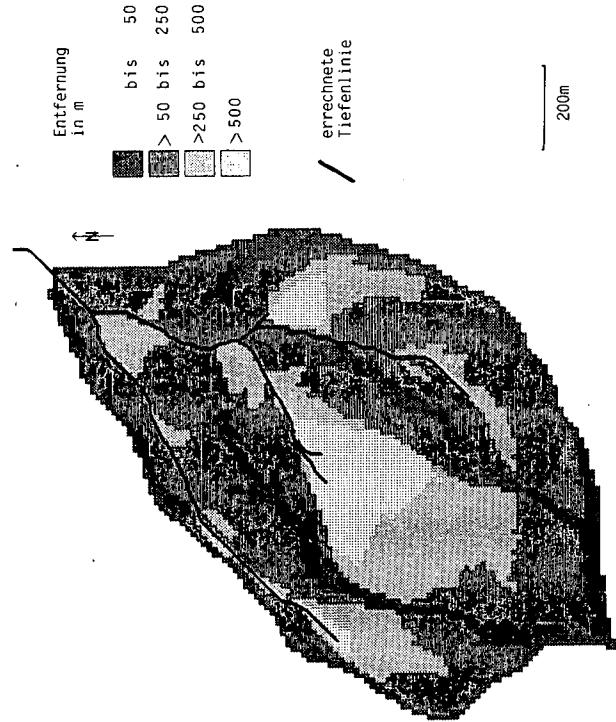
Figur 1: Untersuchungsgebiet Neuenkirchen (Krümmung in Gefällsrichtung)



Figur 2: Untersuchungsgebiet Neuenkirchen  
Größe der Einzugsgebiete

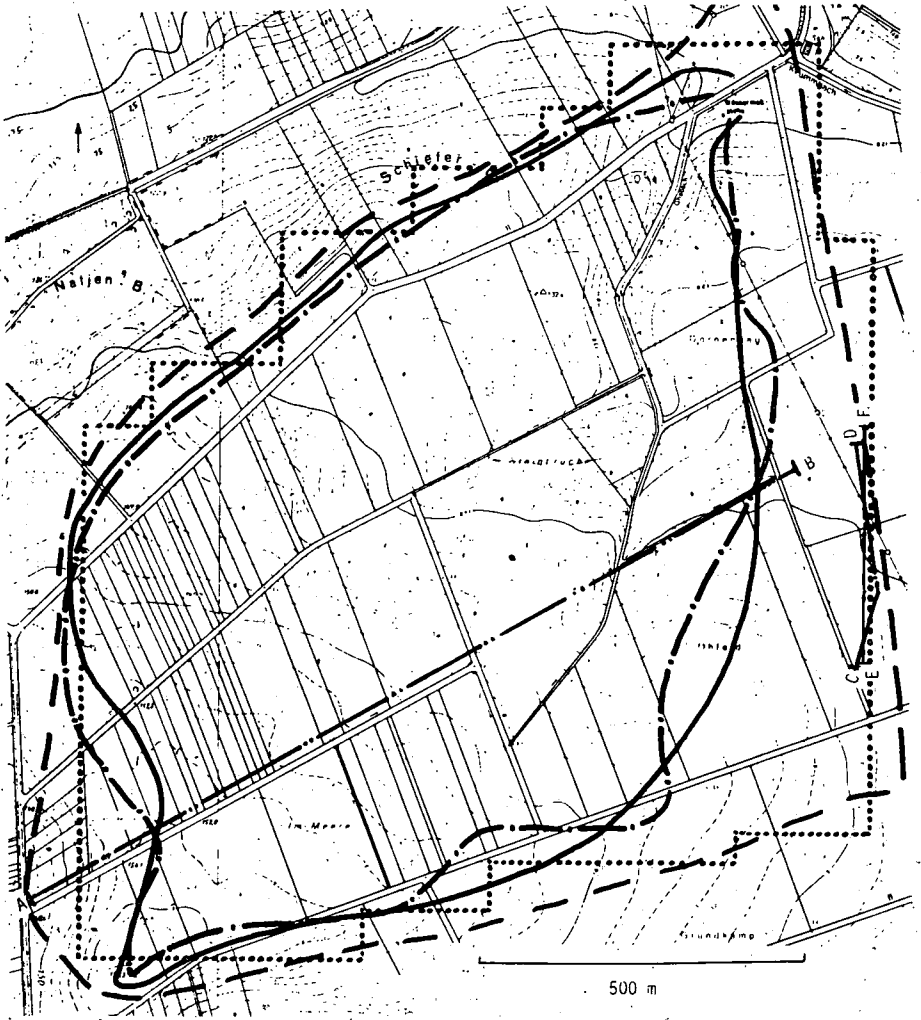


Figur 3: Untersuchungsgebiet Neuenkirchen  
Entfernung zur Tiefenlinie



Figur 4: Untersuchungsgebiet Neuenkirchen  
Einzugsgebiet Ohebach  
Entfernung zur Wasserscheide





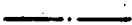




Figur 5: Untersuchungsgebiet Neuenkirchen

Quelle: Deutsche Grundkarte, Blatt Neuenkirchen-Süd und Blatt Liebenburg-Süd, mit nicht-amtlichen Höhenlinien

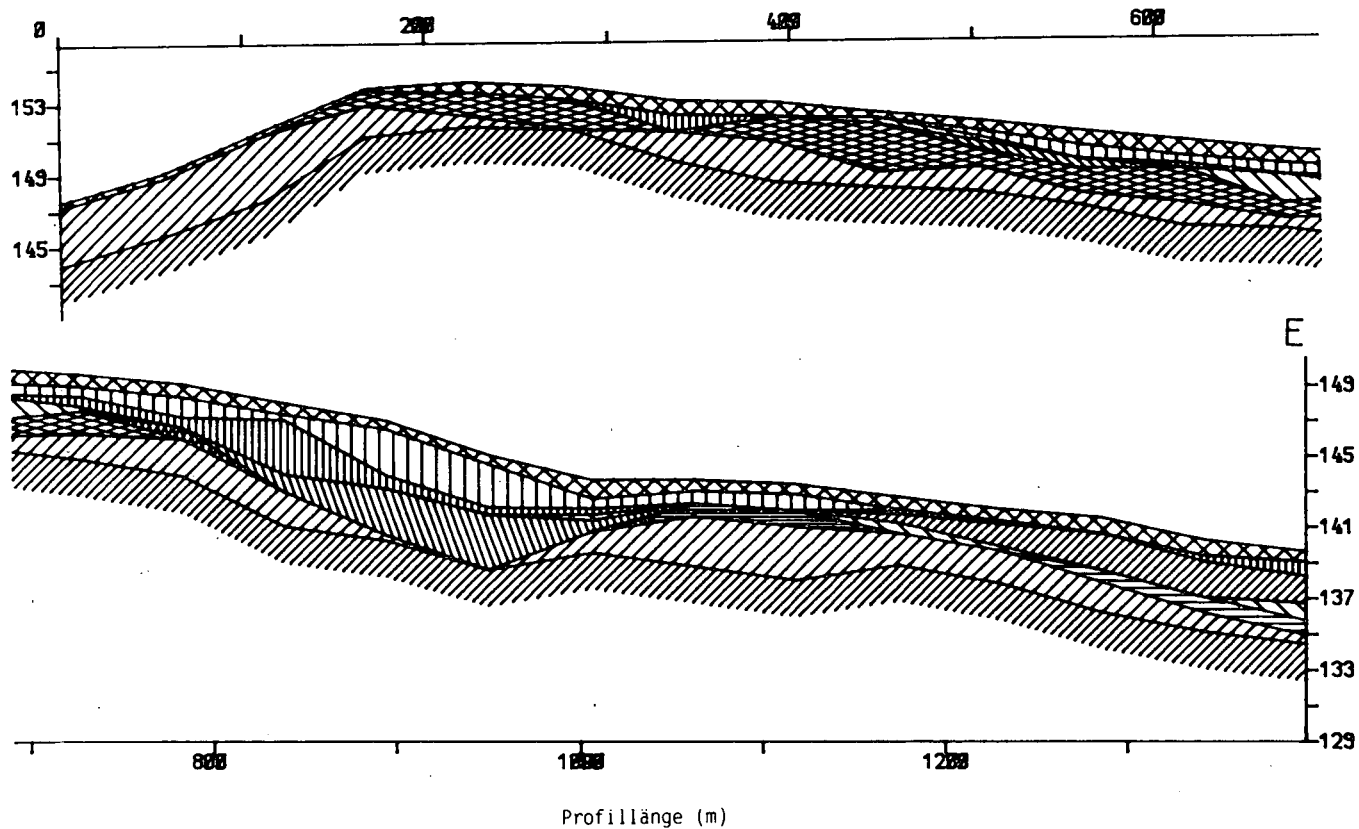
Vervielfältigungserlaubnis vom Katasteramt Goslar erteilt (AZ: A1 - 1790/83)

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  | Profilgrenzen A - F   |  | Grenze des erbohrten Bereiches                   |
|  | Grenze des Gesamteinzugsgebietes (oberirdische Wasserscheide) |  | Grenze der dargestellten interpolierten Bereiche |
|  | Grenze der unterirdischen Wasserscheide                       |   |  |

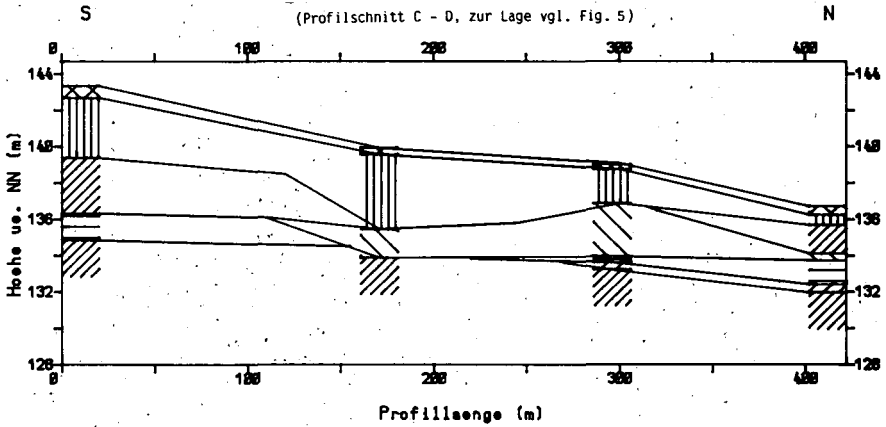
Höhe ü. NN (m)

Fig. 6: West - Ost - Profil durch das Untersuchungsgebiet

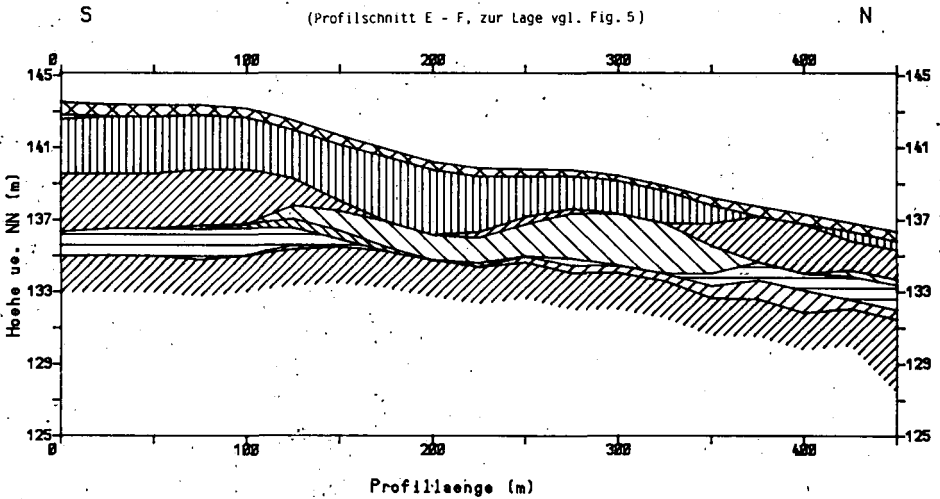
(Profilschnitt A - B, zur Lage vgl. Fig. 5)



Figur 7: Profil durch die Bohrpunkte 4201, 4202, 4203 und 4204  
(Profilschnitt C - D, zur Lage vgl. Fig. 5)

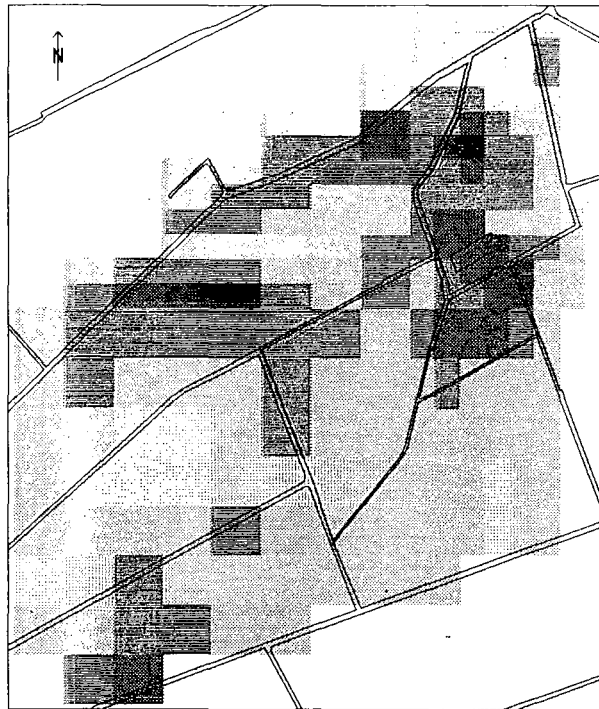


Figur 8: Profil durch Terrasse 3 in Süd - Nord - Richtung  
(Profilschnitt E - F, zur Lage vgl. Fig. 5)

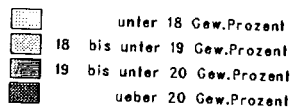


Legende (Schichten)

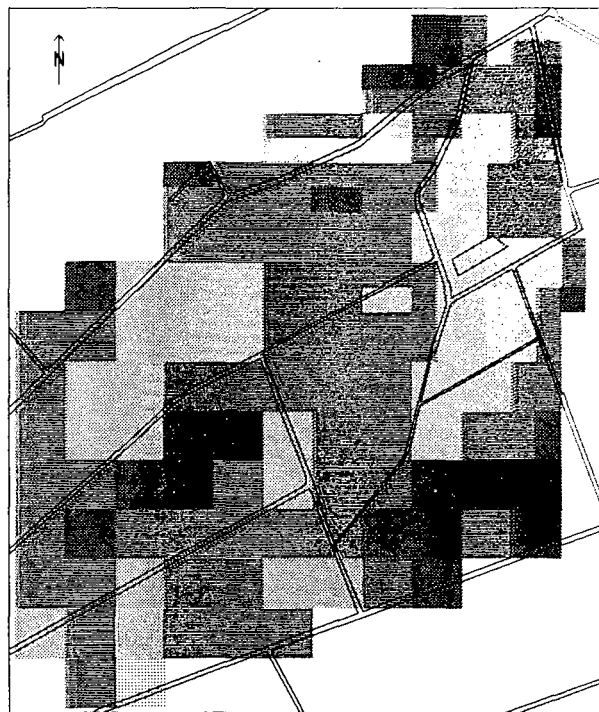
- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li> Kolluvium</li> <li> umgelagerter Loess</li> <li> schwacher pedogen ueberpraegter Loess</li> <li> allochthoner Emschermergel</li> <li> staerker pedogen ueberpraegter Loess (Sk<sub>1</sub> ≤ 10 %)</li> <li> staerker pedogen ueberpraegter Loess (Sk<sub>1</sub> &gt; 10 %)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Schotter auf Terrasse 4</li> <li> Schotter auf Terrasse 3</li> <li> Schotter auf Terrasse</li> <li> Sedimente der Rinne</li> <li> nordische Sedimente</li> <li> Schotter auf Terrasse 1</li> <li> Sedimente der Fuessflaeche</li> <li> umgelagerter Emschermergel</li> <li> autochthone Emschermergel</li> </ul> |
|---|--|



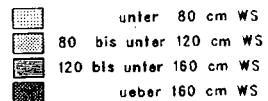
Figur 9:  
 Bodenwassergehalt  
 im SHE-Gebietsraster  
 Tiefe im Boden: 42cm  
 Zeitpunkt: 28.Juni 1984



== Wege



Figur 10:  
 Bodenwassergehalt  
 im SHE-Gebietsraster  
 Tiefe im Boden: 42cm  
 Zeitpunkt: 16.Mai 1984



== Wege

200 m

Applikation deterministischer Standorts- und  
Gebietsmodelle der Wasser- und Stoff-Flüsse

von

Bork, H.-R., B. Dieckrüger u. H. Rohdenburg.\*

## 1. Einführung

Zur Simulation der Wasserflüsse in der Atmosphäre, auf der Geländeoberfläche und im Boden wurden von der Forschergruppe "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete unter besonderer Berücksichtigung von Substrataufbau, Relief und Nutzungsform" physikalisch begründete Wassertransportmodelle für verschiedene räumliche Diskretisierungsstufen (Standort, Hang, differenziertes Gebiet) entwickelt und angewandt, oder es wurden von anderen Arbeitsgruppen erstellte Modelle eingesetzt, überprüft und falls erforderlich auch modifiziert. Im folgenden wird je ein Standorts- und Gebiets-Wassertransportmodell vorgestellt.

## 2. Das 'Integrierte Punktmodell'

Von der o.g. Forschergruppe wurde das 'Integrierte Punktmodell' (IPM) entwickelt. Es setzt sich aus folgenden Modellkomponenten zusammen:

- Evapotranspiration und Interzeption (entwickelt durch das Teilvorhaben Gebietsverdunstung der o.g. Forschergruppe),
- Bodenwasserdynamik in den Matrixporen,
- Bodenwasserdynamik in den Makroporen,
- Bodenphysikparameter-Beziehungen ( $\Theta - \Psi$ ,  $\Psi - k$ , Hysterese),
- Krustenbildung an der Geländeoberfläche,
- Drainage (erstellt vom Teilvorhaben Hydrologie der Forschergruppe) und
- Laterale Kopplung

Die vertikale Bodenwasserbewegung wird durch die numerische Lösung der Fokker-Planck-Gleichung nach dem Quasi-Newton-Verfahren beschrieben. Dadurch werden numerisch bedingte Bilanzfehler vermieden. Zur Beschreibung der bodenphysikalischen Charakteristiken wurde ein Modell nach dem Ansatz von MUALEM (1976) in der Durchführung nach VAN GENUCHTEN (1980) integriert.

---

\* Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie  
Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 19c  
D-3300 Braunschweig

Das Bodenwasser-Teilmodell, das eine getrennte Beschreibung der Bodenwasserbewegung in Matrix- bzw. Makroporen ermöglicht, ist mit dem Evapotranspirationsmodell gekoppelt (vgl. BRADEN 1985, im vorliegenden Band und BRADEN 1982). Ein wesentlicher Vorteil des Integrierten Punktmodells liegt in der lateralen Kopplung, durch die eine Einbeziehung beliebiger, gering bis extrem stark geneigter isolierter Standorte ermöglicht wird. Diese Einbindung in die Umgebung erfolgt, indem für jedes Kompartiment Transmissivitätswerte für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone errechnet werden. Die Ermittlung der Gradienten erfolgt aus dem in den vier Richtungen der quadratischen Säule als bekannt vorausgesetzten Oberflächengefälle und den in den gleichen Richtungen anzugebenden Grundwasserständen. Das Modell erlaubt demzufolge auch die Berücksichtigung von konvergierenden und divergierenden lateralen Bodenwasserflüssen, die für gewölbte Hänge kennzeichnend sind (DIEKKRÜGER & RÖHDENBURG 1984).

Zur Überprüfung des Integrierten Punktmodells wurden verschiedene Simulationen realisiert, darunter die Berechnung der Wasserbewegung während einer 14-monatigen Periode vom September 1983 bis zum November 1984. Dazu war es erforderlich, die folgenden Daten bereitzustellen:

Allgemeine Informationen:

- Höhe über NN
- Exposition
- Gefälle
- Kompartimentmächtigkeiten
- Substratverteilung
- Zeitschritte für die Berechnung der Teilmodelle
- Zeitschritte für die Ausgaben der Teilmodelle

Teilmodell Evaporation-Transpiration-Interzeption-Bodenwärme  
(Teilprojekt Gebietsverdunstung, s.o.):

- Bestandesart
- Wurzelverteilung je Messzeitpunkt
- Bestandeshöhen
- Blattflächenindex
- Abstände zwischen den Pflanzreihen
- Bodentemperatur je Kompartiment zu Beginn der Simulation
- Bodenwärmeleitfähigkeiten je Substrat
- Anteil organisches/anorganisches Material im Boden
- Pflanzenleitfähigkeiten
- Stomatawiderstände
- Blattwasserpotentiale
- max. Speicherkapazität zur Berechnung der Interzeption
- Reflexionskoeffizienten der Bodenoberfläche
- Rauhigkeit der Bodenoberfläche
- je Zeitschritt: Temperatur, Dampfdruck, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Globalstrahlung, Niederschlag, Bedeckungsgrad des Himmels in 1/8 Einheiten und Luftdruck

Teilmodell Evapotranspiration (nach SPONAGEL 1980):

- Bestandesart
- Monatskorrektur je Bestand nach SPONAGEL
- je Zeitschritt (Tag): Niederschlag, Temperatur und Relative Feuchte um 14.00 Uhr

Teilmodell Bodenwasser (Matrix und Grobporen):

- Wasserspannung bzw. Wassergehalt je Kompartiment

zu Beginn der Simulation  
Bodenphysikparameter je Substrat:  
untere Randbedingung (Wasserspannung oder Fluß je Zeitschritt)

Bodenphysikparameter (MUALEM-Ansatz):

Wassergehalt gesättigt  
Restwassergehalt  
Wasserleitfähigkeit vertikal  
Wasserleitfähigkeit lateral  
Formparameter a, b  
Hystereseparameter  
Wasserleitfähigkeit Grenzschicht Grobporen-Matrix

Teilmodell Krustenbildung:

Verkrustungsneigung (aus Diagramm, abhängig vom Tongehalt)  
Summe der Niederschlagsenergie zu Beginn der Simulation  
Summe der Niederschlagsenergie nach Bearbeitung (=0)

Teilmodell Drainage:

Tiefe der Drainage unter Geländeoberfläche  
Drainageabstand  
Wasserleitfähigkeit über und unter der Drainage  
Rohrdurchmesser  
Dicke der durchströmten Schicht

Teilmodell laterale Kopplung:

Höhe der Randpunkte über NN  
Entfernung der Randpunkte zur Säule  
Divergenz-Konvergenzparameter je Randpunkt  
Grundwasserstand unter Geländeoberfläche je Meßzeitpunkt

Diese Daten wurden für den Mittelhang des mit größter räumlicher und zeitlicher Intensität untersuchten Bereiches des Versuchsgebietes Neuenkirchen, dem sog. Meßhang, aufbereitet. Die meteorologischen Daten wurden von den Teilprojekten Hydrologie (Niederschlag) und Gebietsverdunstung der Forschergruppe zur Verfügung gestellt, die bodenphysikalischen Informationen vom Teilprojekt Bodenwasser. Das Digitale Reliefmodell und das Dreidimensionale Digitale Substratmodell der Gruppe Gesamtvorhaben der Forschergruppe wurden eingesetzt, um die für die Simulation benötigten Oberflächendaten und Substrat-/Bodengrenzen zu ermitteln. Anhand des Präprozessors 'Parametrisierung der Bodenwasserdaten' wurden für sämtliche Kompartimente (über 2500) die benötigten umfangreichen Startdaten bereitgestellt (vgl. ROHDENBURG et al. 1985, im vorliegenden Band).

Während des 14-monatigen Simulationszeitraumes führten intensive Niederschläge (dargestellt in Fig. 1) mehrfach zu außerordentlich starken Bodenwasserbewegungen (Änderung des Bodenwassergehaltes in 5 cm Tiefe von 9. auf über 40. Prozent) und zum Anstieg des Grundwasserpegels am Simulationsstandort von über 400 cm Tiefe auf minimal 60 cm Tiefe. Eine relativ niederschlagsarme Zeit im Sommer 1984 ließ den Grundwasserspiegel allmählich auf über 350 cm Tiefe sinken (vgl. BORK, MARXEN, ROHDENBURG & URLAND 1985, im vorliegenden Band).

Diese extremen Verhältnisse stellen an die Kalibrierung eines physikalischen Wasserflußmodells außerordentlich große Anforderungen, da sie die maximal im Untersuchungsgebiet gemessenen Schwankungen repräsentieren - Änderungen, die sich bei einigen Ereignissen innerhalb weniger Stunden bis Tage vollziehen, zu anderen Zeitpunkten

jedoch mehrere Wochen benötigen.

Figur 2 ist zu entnehmen, daß die gemessenen Bodenwassergehalte eine gute Übereinstimmung mit den simulierten Werten zeigen. Auch die in Figur 3 dargestellten Grundwasserverhältnisse belegen die guten Simulationsergebnisse. Den anhand des Modells simulierten lateralen Zufluß durch den östlichen Rand und den lateralen Ausfluß aus dem westlichen Rand der Bodensäule zeigen die Figuren 4 und 5. Diese und andere Kalibrierungen demonstrieren die Qualitäten der Wasserflußkomponenten des IPM-Systems und damit auch ihre besondere Eignung für deterministische Simulationen der Stoffbewegungen.

### 3. Das Gebietsmodell der Wasser- und Stoff-Flüsse

Neben dem Integrierten Standortmodell - einer vollständigen Eigenentwicklung der Forschergruppe - wurde ein Gebietsmodell der Wasser- und Stoff-Flüsse entworfen. Eine Analyse bestehender bzw. in der Entwicklung befindlicher Gebietsmodelle zeigte, daß das Modellsystem SHE (Systeme Hydrologique Europeen/European Hydrological System) den Anforderungen am nächsten kommt. Das SHE-Modell wurde gemeinsam vom Danish Hydraulic Institute (Horsholm, Dänemark), der SOGREAH (Frankreich) und dem Institute of Hydrology (Wallingford, Großbritannien) entwickelt (vgl. BEVEN 1985). Das Europäische Hydrologische System ermöglicht die deterministische, räumlich differenzierte Beschreibung des gesamten hydrologischen Kreislaufes. Ein zweidimensionales Oberflächen- und Gerinneabflußmodell ist zum einen über eindimensionale Säulen in der ungesättigten Bodenzone mit einem zweidimensionalen Grundwassermodell und zum anderen mit den Interzeptions- und Evaporationsmodellen verbunden.

Ein übergeordnetes Programmsystem, 'Frame' bzw. 'Chef d'Orchestre' genannt (DHI 1984), koordiniert und kontrolliert die Rechenoperationen und die anderen Interaktionen zwischen den Teilmodellen.

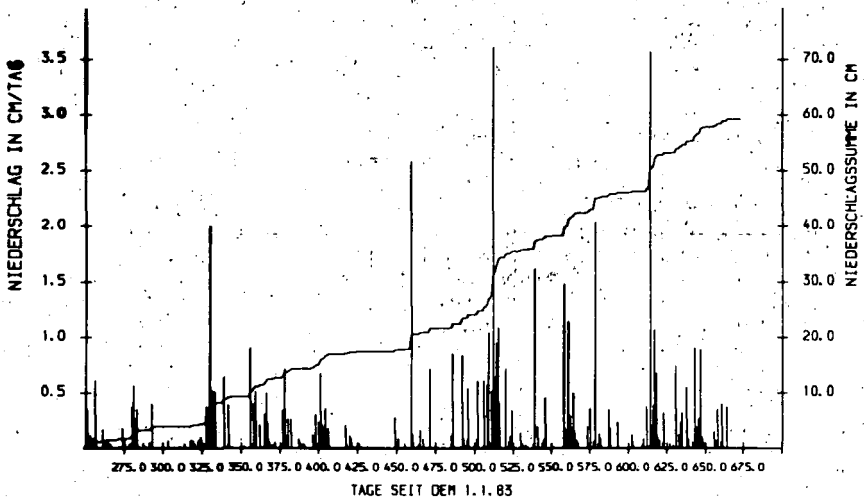
Das SHE-Modell wurde von der Gruppe Gesamtvorhaben der Forschergruppe getestet. Ein wesentliches Resultat dieser ersten, in Zusammenarbeit mit dem Danish Hydraulic Institute realisierten Anwendungen war die Definition der erforderlichen Änderungen des SHE-Modells. Der modulare Aufbau des SHE-Modells erlaubte den einfachen Austausch von Programmteilen. So wurde von der Gruppe Gesamtvorhaben der Forschergruppe zunächst das eindimensionale Modell zur Beschreibung der Bodenwasserbewegung in der ungesättigten Zone ausgetauscht. Desweiteren wurde ein geeigneteres Modell zur Beschreibung der bodenphysikalischen Charakteristiken in das SHE-System integriert. Mit diesen und weiteren Modifikationen wurden erneut Simulationen durchgeführt. Als wichtigstes Ergebnis dieser von BORK, DIEKKRÜGER und RÖHDENBURG (1985) beschriebenen Anwendungen ist die gute Übereinstimmung von Meß- und Modellergebnissen sowohl für die Abflußganglinien als auch für das Bodenwasserverhalten festzustellen (vgl. Fig. 6, 7). Diese Simulationen zeigten aber auch, daß eine Integration der im IPM-System bereits enthaltenen Modellkomponenten "Laterale Kopplung in der ungesättigten Bodenzone", "Dränageabfluß" und "Substratabhängige Differenzierung der k-Werte des Grundwasserkörpers" in das SHE-Modell erforderlich sind. Nach dem Einbau dieser Modellkomponenten in das Gebietsmodell ist damit zu rechnen, daß das stark modifizierte Modellsystem in der Lage sein wird, auch die wesentlichen Teilprozesse im ungesättigten Bodenbereich differenziert für das gesamte Einzugsgebiet zu beschreiben. Damit wäre dann eine wichtige Voraussetzung zur Modellierung von Stofftransporten in Ökosystemen erfüllt.



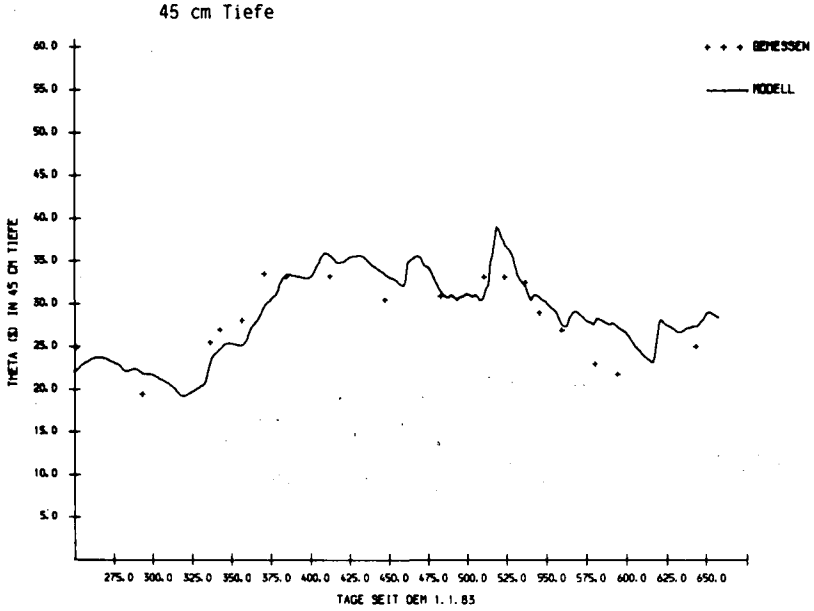
#### 4. Literatur

- BEVEN, K. (1985): Distributed models. In: M.G. Anderson & T.P. BURT, Hydrological Forecasting, 405-435. Wiley.
- BORK, H.-R., DIEKKRÜGER, B. & ROHDENBURG, H. (1985): Applikation eines deterministischen Gebietsmodells zur Beschreibung der Wasserflüsse in Agrarökosystemen, Landschaftsgenese und Landschaftsökologie 10, 83-95, Braunschweig.
- BORK, H.-R., MARXEN, G., ROHDENBURG, H. & URLAND, K. (1985): Untersuchungen zur Bodenwasserdynamik im Versuchsgebiet Neuenkirchen, im vorliegenden Band.
- BRADEN, H. (1982): Simulationsmodell für den Wasser-, Energie- und Stoffhaushalt in Pflanzenbeständen. Berichte Inst. Meteor. Klimat, Hannover. Univ. Hannover, 23.
- DHI (Danish Hydraulic Institute) (1984): Toward a deterministic distributed approach to hydrology. Danish Hydraulics 5, 4-8.
- DIEKKRÜGER, B. & ROHDENBURG, H. (1984): Ein Modell zur Beschreibung der Bodenwasserdynamik isolierter Hangstandorte (ISOKOP) und seine Bedeutung für ökologische Standortanalysen sowie deterministische Einzugsgebietsmodelle. Landschaftsökologisches Messen und Auswerten, 1.1, 9-11, Braunschweig.
- MU'ALEM, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Res. Research 12, 513-522.
- ROHDENBURG, H., BAUER, J., BEBLIK, A., BORK, H.-R., HENSEL, H. & URLAND, K. (1985): Parametereaufbereitung für deterministische Gebiets-Wassermodelle, im vorliegenden Band.
- SPONAGEL, H. (1980): Zur Bestimmung der realen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Geol. Jahrb. F9, 3-87, Hannover.
- VAN GENUCHTEN, M.T. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sc. Soc. of Am. J., 44/5, 892-898.

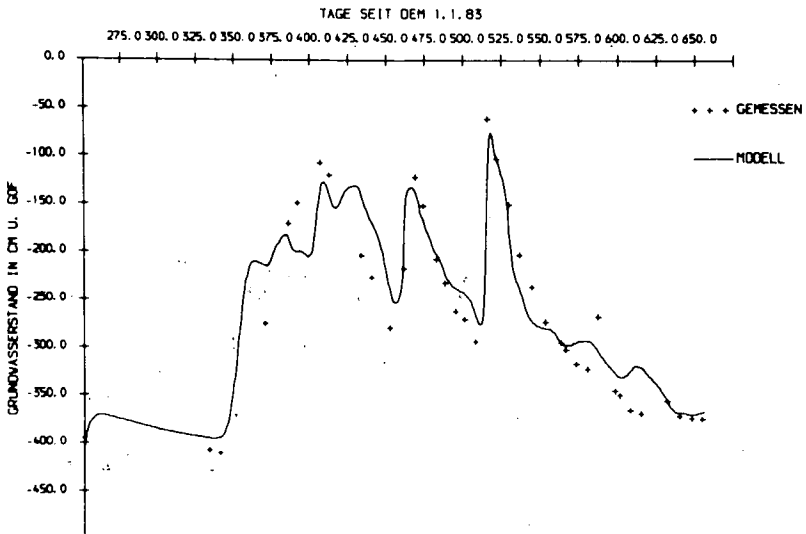
Figur 1: Niederschlag während des Simulationszeitraumes (9/83-11/84)



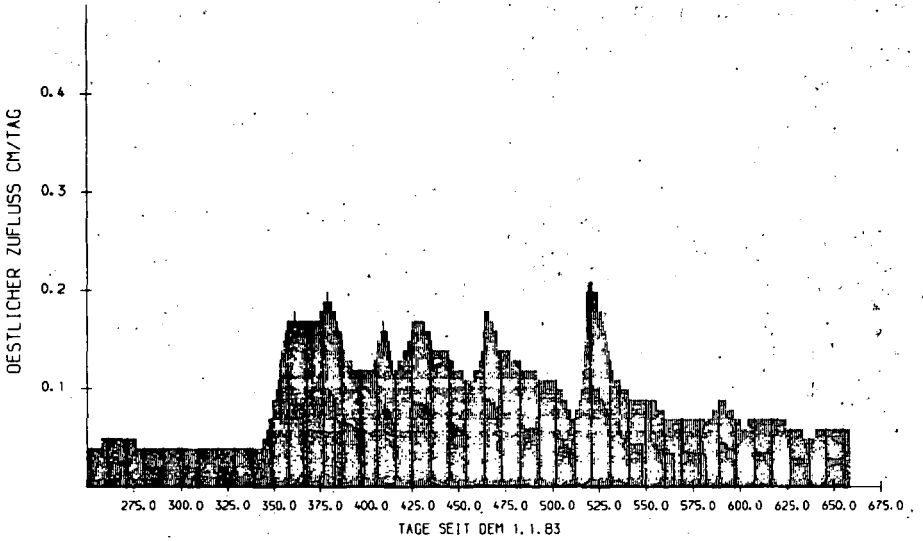
Figur 2: Simulation der Bodenwasserdynamik am Meßhang  
Vergleich der gemessenen (+) und simulierten (-) Bodenwassergehalte



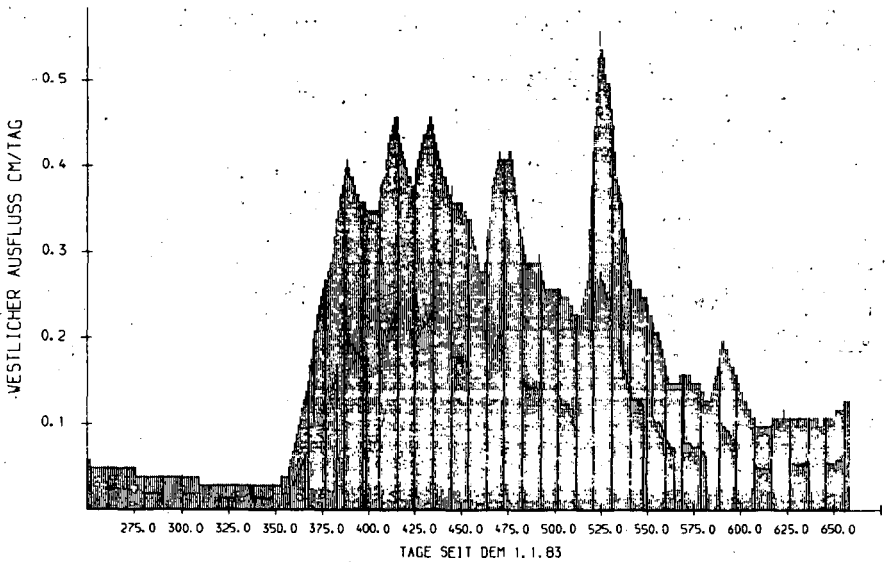
Figur 3: Simulation der Bodenwasserdynamik am Meßhang  
Vergleich der gemessenen (+) und simulierten (-) Grundwasserstände



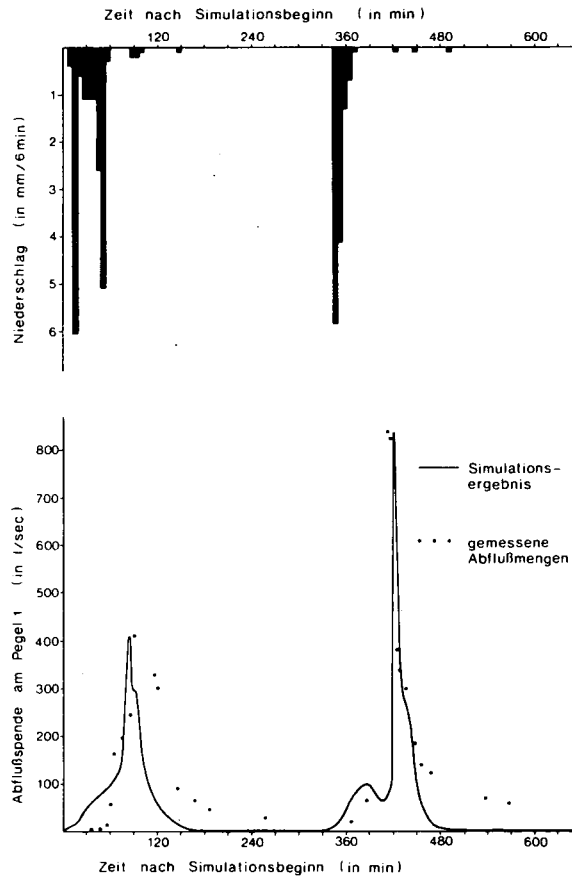
Figur 4: Lateraler Zufluß in die simulierte Bodensäule durch den östlichen Rand



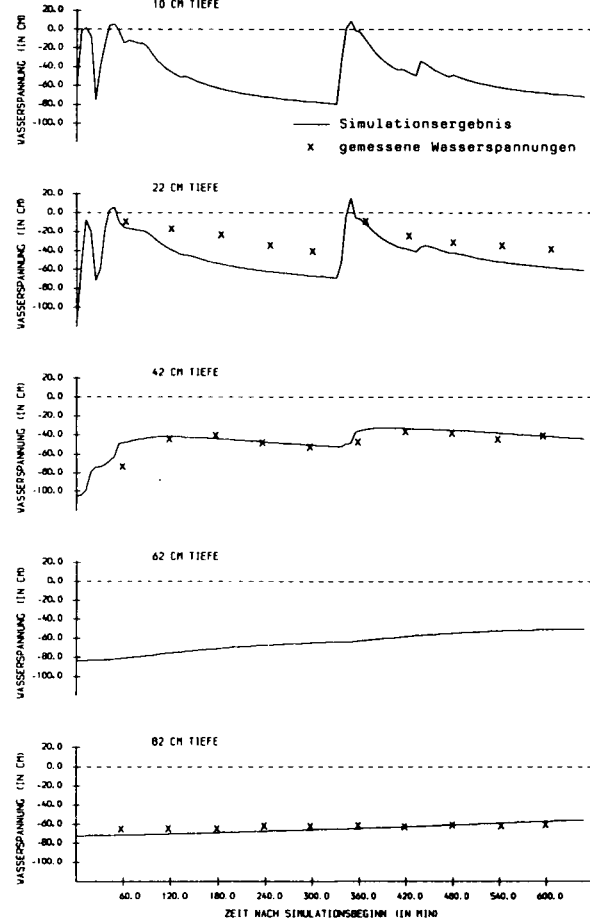
Figur 5: Lateraler Ausfluß aus der simulierten Bodensäule durch den westlichen Rand



Figur 6: Niederschlagsraten der Simulationsperiode (27.5.1984, 13.06 bis 24.00 Uhr) sowie gemessene und simulierte Abflüßmengen am Pegel 1



Figur 7: Änderung der Bodenwasserspannungen in 10 cm, 22 cm, 42 cm, 62 cm und 82 cm Tiefe (Resterfläche 12/12)



Ein Energiehaushalts- und Verdunstungsmodell  
für Wasser- und Stoffhaushaltsuntersuchungen  
landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete

von

H. Braden \*)

## Einleitung

Im Rahmen der Wasser- und Stoffhaushaltsuntersuchungen an landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten ergeben sich für die agrarmeteorologische Arbeitsgruppe als Hauptaufgabe die Bestimmung der täglichen aktuellen Verdunstung der unterschiedlich genutzten Flächen. Darüberhinaus müssen den anderen Arbeitsgruppen weitere Größen wie Bodentemperatur und Niederschlagsinterzeption zur Verfügung gestellt werden. Zur Lösung dieser Aufgaben werden zwei unterschiedliche weitgehend deterministische Methoden eingesetzt, nämlich einerseits die möglichst direkte Messung der Größen und andererseits ihre modellmäßige Bestimmung.

## Material und Methoden

### A Messung der Verdunstung

Da eine direkte Messung des Verdunstungsstroms nicht möglich ist, die Verdunstung aber über die Verdunstungswärme mit dem Energiehaushalt verknüpft ist, erfolgt stattdessen die Bestimmung der zugehörigen Wärmeströme, wobei sich der Verdunstungsstrom als Restglied der Energiebilanz aus der Strahlungsbilanz, dem Bodendenwärmestrom und dem Strom fühlbarer Wärme ergibt. Nach der Bestimmung des Stroms fühlbarer Wärme lassen sich dabei mehrere Methoden unterscheiden, von denen hier die Bowenratio-Methode (Sverdrup-Methode) und die aerodynamische Energiebilanz-Methode eingesetzt werden (v. Hoyningen-Huene und Braden, 1978).

Beide Methoden erfordern hochgenaue Messungen der vertikalen Temperaturdifferenzen, bzw. Feuchttemperaturdifferenzen über den jeweiligen Flächen, die darüberhinaus eine möglichst große horizontale Ausdehnung in Luv-Richtung (fetch) aufweisen sollen. Für die Verdunstungsbestimmung der meist inhomogenen landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiete sind diese Methoden daher nicht gut geeignet. Sie wurden nur vorläufig zur Abschätzung der Gebietsverdunstung benutzt, solange keine bessere Methode zur Verfügung stand.

---

\*) Deutscher Wetterdienst, Zentrale Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig

## B Modellmäßige Bestimmung

Demgegenüber ist die aus den gleichen physikalischen Beziehungen, nämlich der Energiebilanz- und den Transportgleichungen kombinierte Penman-Monteith Formel (Monteith, 1981) nicht auf die Differenzmessungen über den jeweiligen Beständen angewiesen. Das kommt dem Bestreben entgegen, ganz von Dauermessungen über den jeweiligen Beständen unabhängig zu werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, können die Strahlungsbilanz, der Bodenwärmestrom, ein aerodynamischer Transportwiderstand und ein Bestandswiderstand individuell für jede Bestandsart, phänologische Phase und Wasserversorgung bestimmt werden (v. Hoyningen-Huene, Löpmeier, und Braden, 1986). Von der agrarmeteorologischen Arbeitsgruppe der Forschergruppe wurde zu diesem Zweck das Agrarmeteorologische Modell zur Berechnung von Evaporation, Transpiration und Interzeption (AMBETI) als Teil des Gesamtmodells des Wasser- und Stoffhaushalts entwickelt. Das Modell AMBETI besitzt folgende erwünschte Eigenschaften:

- 1.) Es ermöglicht die getrennte Berechnung von Evaporation, Transpiration, Interzeption sowie der Bodentemperaturen.
- 2.) Der weitgehend deterministische Modellaufbau, bei dem nahezu jeder Modellparameter eine physikalische Bedeutung besitzt, hat eine realistische Reaktion auf Veränderungen von Randbedingungen und anderen Einflußgrößen zur Folge.
- 3.) Durch die Abhängigkeit der berechneten Evapotranspiration von der Bodenwasserverteilung wird nach erfolgten Kalibrierungen eine zumindest langfristige Genauigkeit erreicht, die keine andere (meteorologische) Methode bietet.
- 4.) Gegenüber anderen meteorologischen Methoden ist das Modell auf meßtechnisch weniger anfällige meteorologische Meßdaten angewiesen.
- 5.) Im Gegensatz zu anderen Methoden erlaubt das Modell räumliche Extrapolationen.
- 6.) Es läßt sich so erweitern, daß es auch bestandsklimatische Größen berechnet.

Die Struktur des Modells (siehe Abb. 1)

Das Modell AMBETI berechnet die Punktverdunstung aus meteorologischen Randbedingungen, die für Intervalle von 10 Minuten bis 1 Stunde vorliegen sollten; die Ausdehnung der Rechnungen auf benachbarte Flächenelemente ist vorbereitet. Die meteorologischen Modelleingabegrößen sind kontinuierliche Werte der Globalstrahlung, der langwelligen Gegenstrahlung, der Lufttemperatur und -feuchte, der Windgeschwindigkeit sowie des Freilandniederschlags.

Die langwellige Gegenstrahlung wird entweder aus Strahlungsmessungen (Gesamteinstrahlung auf oberer Seite von Schulze Strahlungsbilanzmesser - Globalstrahlung + Emission) oder durch Parametrisierungen aus Lufttemperatur, Dampfdruck und Bewölkungsgrad berechnet.

Die gemessene Globalstrahlung wird in sichtbare und nah-infrarote Strahlung, sowie bei Vorliegen von Bewölkungsdaten in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe in direkte (solare) und diffuse Strahlung (sonst gemessene Himmelsstrahlung) zerlegt.

Für das einzelne Flächenelement werden dann die Ströme der einfallenden sichtbaren und nah-infraroten Strahlung in Abhängigkeit von Hangneigung und -richtung sowie dem Sonnenstand berechnet. Die Umrechnung der über einem Flächenelement gemessenen Windgeschwindigkeit auf eine andere Parzelle wird aufgrund der jeweiligen aerodynamischen Parameter Nullpunktverschiebung und Rauigkeit vorgenommen.

Die Aufteilung der Strahlungsströme für Pflanzenbestand und Boden sowie die Berechnung der jeweiligen aerodynamischen Widerstände erfolgt nach Ergebnissen eines weitgehend deterministischen Bestandsmodells (Braden, 1982).

Zur Berechnung der von den Pflanzenbeständen interzipierten Niederschlagsmenge  $N_i$  in Abhängigkeit vom Freilandniederschlag  $N_o$  wird die vom Verfasser entwickelte Beziehung (Abb. 2)

$$N_i(R) = a \text{ LAI} \left( 1 - \frac{1}{1 + N_o \cdot b / (a \text{ LAI})} \right) \quad (1)$$

benutzt, aus der sich der Niederschlag am Boden  $N_o - N_i(R)$  ergibt. Diese Beziehung besitzt gegenüber Regressionspolynomen eine Reihe entscheidender Vorteile:

- 1.) Für wachsende Niederschläge strebt der interzipierte Niederschlag gegen den Sättigungswert  $a \text{ LAI}$ , der nur vom Blattflächenindex und einem pflanzenspezifischen Sättigungsinterzeptionswert  $a$  je Blattfläche abhängt.
- 2.) Die Interzeption verläuft nach (1) zwanglos für  $N_o = 0$  durch den Nullpunkt und besitzt dort die maximale Steigung, die durch den Bodenbedeckungsgrad  $b$  bestimmt wird.
- 3.) Diese Beziehung enthält keinerlei Parameter ohne physikalische Bedeutung, sondern mit der Sättigungsspeicherkapazität  $a$  nur einen experimentell gezielt zu bestimmenden Parameter.

Damit ist diese Form der Interzeptionsbeziehung Regressionsbeziehungen überlegen und wird wegen ihrer Einfachheit im Rahmen dieses Modells benutzt.

Die Verdunstung der Pflanzenteile wird aus den zugrundeliegenden Energiebilanz- und Transportgleichungen berechnet. Falls die Pflanzenteile noch von vorangegangenen Niederschlägen oder Tau benetzt sind, wird dabei zwischen Transpiration und Interzeptionsverdunstung unterschieden und die Stomatawiderstände werden der Benetzung entsprechend verringert. Bei der reinen Transpirationsberechnung hängen die Stomatawiderstände von der Blattfläche, der Pflanzenart, dem Pflanzenalter, der absorbierten sichtbaren Strahlung (PAR) sowie der pflanzlichen Wasserversorgung ab. Das pflanzliche Leitsystem dient dabei auch zur Berechnung der aus den einzelnen Bodenschichten entnommenen Wassermengen.

Die Boden evaporation wird aus der Energiebilanz- und den Transportgleichungen für die Bodenoberfläche bestimmt, wobei

zur Berechnung des Bodenwärmestroms der Wärmehaushalt mehrerer Bodenschichten berechnet wird.

Darüberhinaus verfügt das Modell AMBETI über ein eindimensionales mehrschichtiges Bodenwasserhaushaltsmodell, das wahlweise durch aufwendigere Teilmodelle (z.B. Koppelsäulenmodell) ersetzt werden kann.

### Modellkalibrierung

Soweit wie möglich wurden bei der Modellierung die zugrundeliegenden physikalischen Vorgänge dargestellt, so daß das Modell weitgehend unabhängig von einflußreichen empirischen Parametern ist. Eine wesentliche Ausnahme macht hier allerdings Bestandswiderstand. Seine Abhängigkeit von Pflanzenart, Blattflächenindex, phänologischer Phase, absorbiertes photosynthetisch aktiver Strahlung und der Wasserverfügbarkeit muß empirisch bestimmt werden.

An der Zentralen Agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Braunschweig bietet sich dazu eine sehr gute Möglichkeit, weil neben den meteorologischen Messungen zwei wägbare Unterdrucklysimeteranlagen mit jeweils  $3\text{m}^2$  Oberfläche auf Versuchsflächen zur Verfügung stehen, die im Laufe der Jahre mit den gängigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen bestellt wurden (v.Hoyningen-Huene und Bramm, 1978).

Zur Modellkalibrierung wurden für diese Anbauflächen mit dem Modell AMBETI Verdunstungsverläufe aus in der Nähe gemessenen meteorologischen Randbedingungen und Bestandseigenschaften sowie den Bodenfeuchten und -temperaturen als Anfangswerten berechnet. Durch Vergleich dieser Verdunstungen mit den Verdunstungen der Lysimeter wurden die Bestandswiderstände iterativ so angepaßt, daß sich eine möglichst gute Übereinstimmung ergab. Da bereits Erfahrungen mit einem ähnlichen aber einfacheren Modell vorlagen (Löpmeier und Vogelgesang, 1986), konnte bereits nach wenigen Kalibrierungsläufen gute Übereinstimmung erzielt werden (Abb. 3).

Bisher liegen aber noch keine unabhängigen Vergleichsmessungen vor, an denen sich die Qualität der Modellierung letztlich erweisen muß. Eine eingehendere Beschreibung des Modells AMBETI, in der auch weitere Ergebnisse vorgestellt werden, befindet sich in Vorbereitung (Braden, 1986).

### Zusammenfassung

Es wurden unterschiedliche Methoden der Verdunstungsbestimmung skizziert: die Messung und die modellmäßige Bestimmung, die in inhomogenen Einzugsgebieten vorteilhaft ist. Das vorgestellte Modell AMBETI berechnet darüberhinaus Bodenevaporation und Transpiration getrennt sowie Niederschlagsinterzeption und Bodentemperaturen. Durch die Ankopplung sowohl der Evaporation als auch der Transpiration an die Wassergehalte der Bodenschichten wird eine Langfriststabilität erreicht, die für viele Wasserhaushaltsuntersuchungen erforderlich ist.

Die Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützt.



Literatur

- Braden, H., 1982: Simulationsmodell für den Wasser-, Energie- und Stoffhaushalt in Pflanzenbeständen.- Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover, Nr. 22, ISSN 0440-2820.
- Braden, H., 1986: Das Agrarmeteorologische Modell zur Berechnung von Evaporation, Transpiration und Interzeption (AMBETI) und einige seiner Ergebnisse.- In Vorbereitung.
- v. Hoyningen-Huene, J. und H. Braden, 1978: Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturen mit Hilfe mikrometeorologischer Ansätze.- Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 26, 5-20.
- v. Hoyningen-Huene, J. und A. Bramm, 1978: Die wägbare Unterdrucklysimeteranlage in Braunschweig-Völkenrode - Aufbau und erste Erfahrungen.- Landbauforschung Völkenrode 28, 95-102.
- v. Hoyningen-Huene, J., F.-J. Löpmeier und H. Braden, 1986: Methoden zur Bestimmung der Verdunstung.- Promet, Offenbach, im Druck.
- Löpmeier, F.-J. und R. Vogelgesang, 1986: Ein agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung (AMBAV).- in Vorbereitung.
- Monteith, J.L., 1981: Evaporation and surface temperature.- Quart. J. R. Met. Soc. 107, 1-27.

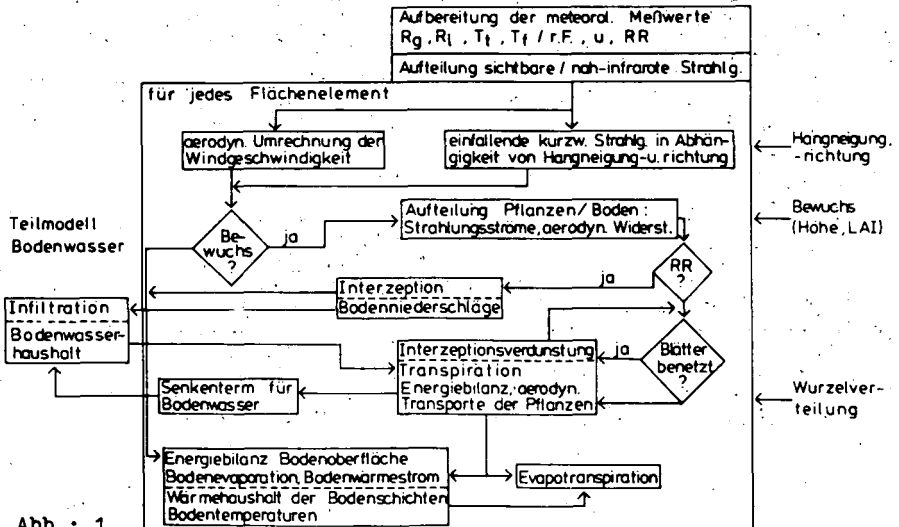


Abb.: 1

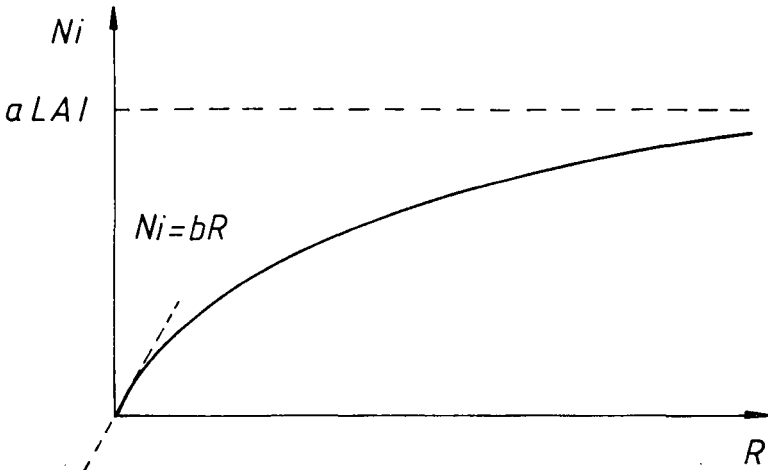


Abb.: 2 *Abhängigkeit der Interzeption  $Ni$  vom Freilandniederschlag  $R$  (Skizze)*

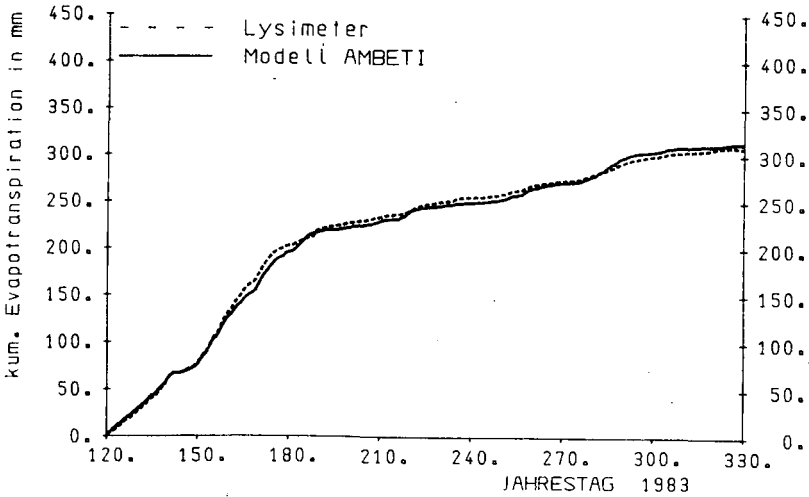


Abb.: 3 Vergleich der gemessenen und berechneten Evapotranspiration Wi.-Gerste bis zum 189.Tag (Ernte) 1983 Lysimeter West

Erfassung der Nährstoffdynamik, der Durchwurzelung  
und der gasförmigen N-Verluste im Rahmen des  
Forschungsvorhabens "Wasser- und Stoffhaushalt  
landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete"

von

Söchtig, H.; A. Westing, G. Benckiser u. D. Sauerbeck\*

1: Einleitung

Die Arbeitsgruppe Nährstoffdynamik im Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft arbeitet seit 1982 am DFG-Forschungsvorhaben "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete" mit. In dieser Zeit wurden im Wassereinzugsgebiet "Ohebach" (Abb. 1 a) Messungen in zwei Intensitätsstufen durchgeführt. Während sich in den Jahren 1982 und 1983 die Arbeiten auf den Untersuchungsstandort "Meßhang" konzentrierten, sind in den Jahren 1984 und 1985 die Untersuchungen auf das gesamte Einzugsgebiet ausgedehnt worden. Hierfür wurden 6 Intensiv-Untersuchungsstandorte unter Einbeziehung des Standortes "Meßhang Mitte" eingerichtet (Abb. 1 b), an denen der Nährstoffeintrag, -umsatz und -austrag durch mehrfache Probenahmen während der Untersuchungsjahre verfolgt wurden. Daneben wurden vor Vegetationsbeginn und nach der Ernte der jeweiligen Feldfrüchte Boden- bzw. Pflanzenproben von allen Flächen des Einzugsgebietes entnommen, um eine Stoffbilanzierung im Einzugsgebiet zu ermöglichen. Die Messungen wurden ergänzt durch Erhebungen bei den im Wassereinzugsgebiet wirtschaftenden Landwirten über Düngeraufwand und erzielte Erträge.

2.1 Nährstoffbilanz aufgrund von Erhebungen und Messungen

Die Fruchtartenverteilungen im ca. 90 ha großen Einzugsgebiet werden seit 1981 aufgezeichnet und sind für die Jahre 1984 und 1985 in der Abb. 1 a und b dargestellt. Es kann zwischen "Zuckerrübenjahren" (1984), "Weizenjahren" (1985) sowie "Gerstenjahren" (1983) unterschieden werden. Diese Unterschiede werden

---

\* Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50, D-3300 Braunschweig.

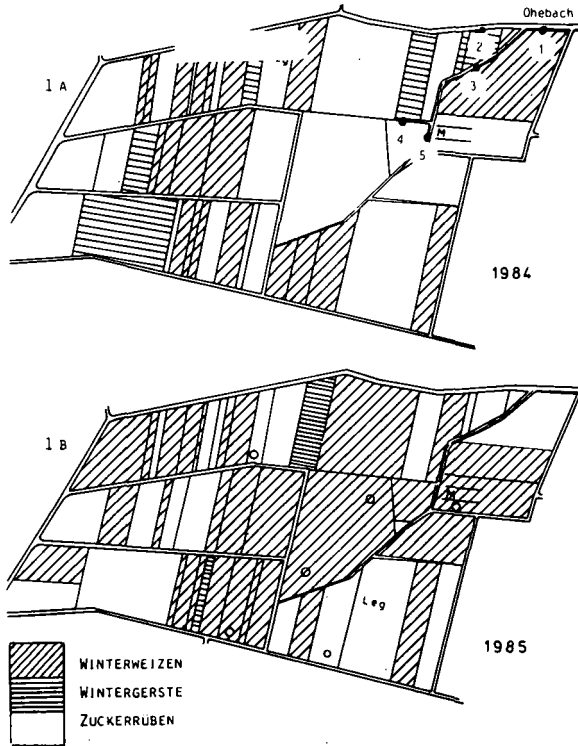


Abb. 1 a: Fruchtartenverteilung im Einzugsgebiet im Untersuchungsjahr 1984;  
● Pegel 1 - 5; M = Meßhang

Abb. 1 b: Fruchtartenverteilung im Einzugsgebiet im Untersuchungsjahr 1985;  
○ = Intensivuntersuchungsstandorte; M = Meßhang

besonders deutlich in den Kreisdiagrammen (Abb. 2), in denen die prozentualen Fruchtartenanteile dargestellt sind. Diese Diagramme zeigen, daß auch in "Zuckerrübenjahren" ein Zuckerrübenanteil von 55 % nicht überschritten wird. Dagegen nimmt in "Weizenjahren" der Anteil dieser Frucht bis auf 66 % (1985) zu. Selbst im "Gerstenjahr" 1983 (Wintergerstenanteil 27 %) betrug der Winterweizenanteil immer noch 51 %.

Der Leguminosenanbau beträgt im Einzugsgebiet maximal 5, im Mittel 3,6 % und steht nicht in der Fruchtfolge. Nur einige Landwirte bauen als Leguminosen Busch- oder Ackerbohnen an.

In der Abb. 3 sind neben den Fruchtartenverteilungen in weiteren Kreisdiagrammen die N-Düngereinträge für jede Anbaufrucht dargestellt. Der N-Aufwand zu Zuckerrüben nahm von 8,9 t im Jahre 1981 auf 6,0 t im Jahre 1984 ab. Zugleich wurde die N-Düngung zu Winterweizen von 8,2 t im Jahre 1982 auf 9,3 t in 1985 erhöht.

Dadurch verwischten sich die in den Jahren 1981 und 1982 beobachteten fruchtfolgebedingten Unterschiede im Gesamt-N-Eintrag. Diese Verschiebung ist auf die landwirtschaftliche Beratung in dieser Region zurückzuführen, die in den letzten Jahren verstärkt auf eine qualitätsbezogene Zuckerrübenbindung hinwirkte. Die N-Düngung zu Winterweizen hingegen nahm zu, wobei Düngermengen bis 230 kg N/ha/a in 5 und mehr Gaben ausgebracht wurden. Die dritte Hauptfrucht Wintergerste erhielt dagegen nur eine relativ geringe N-Gabe von durchschnittlich 100 kg/ha/a.

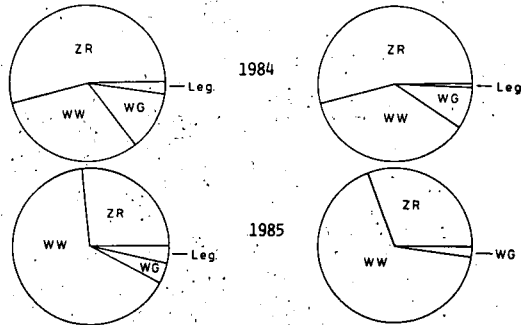


Abb. 2: Fruchtartenanteile in % der Anbaufläche im Einzugsgebiet

Abb. 3: N-Düngereintrag pro Fruchtart in % vom N-Düngereintrag

Die Nährstoffaufnahme wurde im Vergleich zu regelmäßigen  $N_{min}$ -Untersuchungen (Abb. 4 u. 5) durch Zeiternten auf den 6 Intensiv-Untersuchungsstandorten ermittelt. Der N-Entzug (Abb. 6) durch die drei Hauptfruchtarten zeigte den erwarteten Verlauf, und die entzogenen N-Mengen entsprachen dem hohen N-Düngungsniveau. Zusätzlich wurden im gesamten Einzugsgebiet Ernteproben genommen und die Gehalte an Nährstoffen in Korn und Stroh bzw. Rübe und Blatt bestimmt. In Abb. 7 wird dieser Entzug dem N-Angebot gegenübergestellt. Das Säulendiagramm zeigt durch die Breite der Säulen gleichzeitig den Anteil der jeweiligen Flächen am Einzugsgebiet, so daß die Inhalte der Säulen auch den N-Entzug bzw. das N-Angebot pro Fläche darstellen. Damit wird auch gleichzeitig der prozentuale Anteil einer Fläche am N-Eintrag wiedergegeben. Über 50 % der Flächen wiesen 1984 ein größeres N-Angebot auf als durch die Pflanzen entzogen wurde. Bei einem kleineren Flächenanteil überstieg der Entzug das N-Angebot.

## 2.2. Verlagerung von Nährstoffen

Für die Entnahme von Bodenlösungen wurden am Meßhang zwei Saugkerzensysteme eingebaut (Abb. 8), die eine kontinuierliche Probenahme ohne Störung des Bodens ermöglichen. Als Beispiel für die seit mehreren Jahren erhaltenen Ergebnisse sind in den Abb. 9 und 10 die Veränderungen der Gehalte an  $NO_3-N$  und Cl in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen.

In den verhältnismäßig trockenen Jahren 1982 und 1983 wurden unter Getreide in keiner Bodentiefe erhebliche Veränderungen in der  $\text{NO}_3$ -Konzentration gefunden (Abb. 9). Erst in den ersten Monaten des Jahres 1984 kam es bei stärkeren Niederschlägen und noch nicht bestellten Z-Rüben zu einem Gehaltsanstieg in der Tiefe 40 - 55 cm. Dieser erschien mit einer zeitlichen Verzögerung auch in den tiefer gelegenen Saugkerzen, z. B. ab April auch in 90 - 105 cm Tiefe. Die Stickstoffaufnahme durch die Z-Rüben und den nachfolgenden Weizen führten wieder zu einer Abnahme des Nitratgehaltes in den genannten Tiefen. Die Frühjahrsdüngung zu Wi-Weizen und die stärkeren Niederschläge im Jahr 1985 erbrachten einen erneuten Anstieg und auch eine deutlichere Verlagerung von  $\text{NO}_3\text{-N}$  bis zu einer Tiefe über 105 cm. Die wachsenden Pflanzen verhinderten jedoch eine weitere Verlagerung, denn in einer Tiefe von 140 - 155 cm konnte keine Gehaltsänderung in der Bodenlösung mehr festgestellt werden.

Ein anderes Bild wird bei der Bestimmung des ebenfalls nicht im Boden sorbierbaren Cl erhalten (Abb. 10). Ein Anstieg machte sich vor allem nach der Düngung zu Z-Rüben im Herbst 1983 bemerkbar. So wurde eine erhebliche Konzentrationszunahme in den Kerzen bei 40 - 55 cm beobachtet, die sich ebenfalls

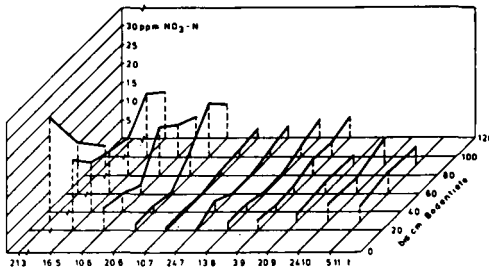


Abb. 4: Nitrat-Stickstoffgehalte im Boden in Abhängigkeit von der Bodentiefe und der Zeit unter Winterweizen. Standort 9, Einzugsgebiet Ohebach, 1984

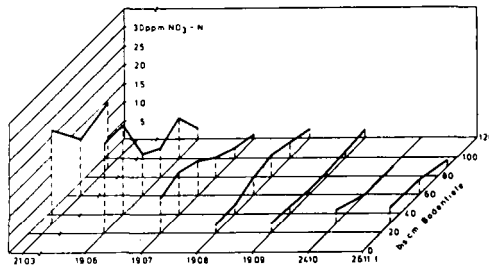


Abb. 5: Nitrat-Stickstoffgehalte im Boden in Abhängigkeit von der Bodentiefe und der Zeit unter Zuckerrüben. Standort 1, Einzugsgebiet Ohebach, 1984

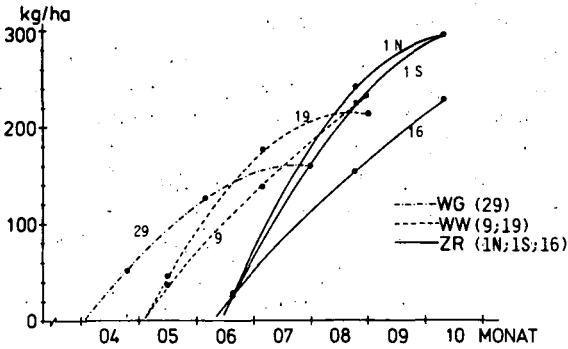


Abb. 6: N-Entzüge während der Vegetationszeit 1984 durch Wintergerste (WG), Winterweizen (WW) und Zuckerrüben (ZR) an den Standorten 29, 9, 19, 1 und 16

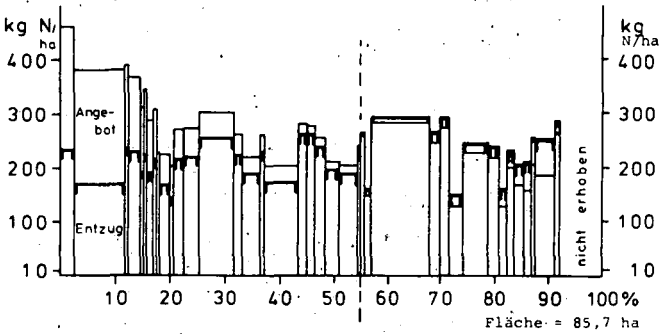
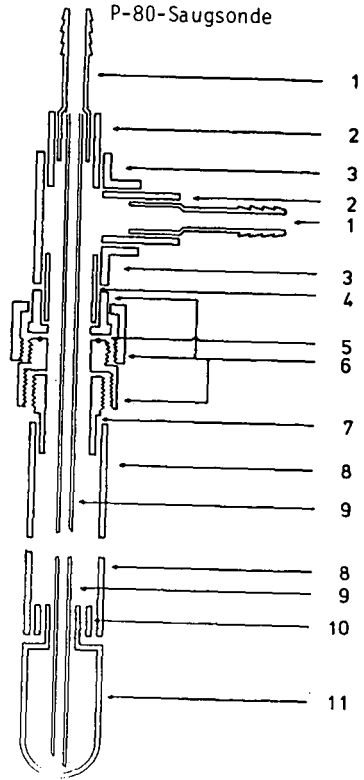
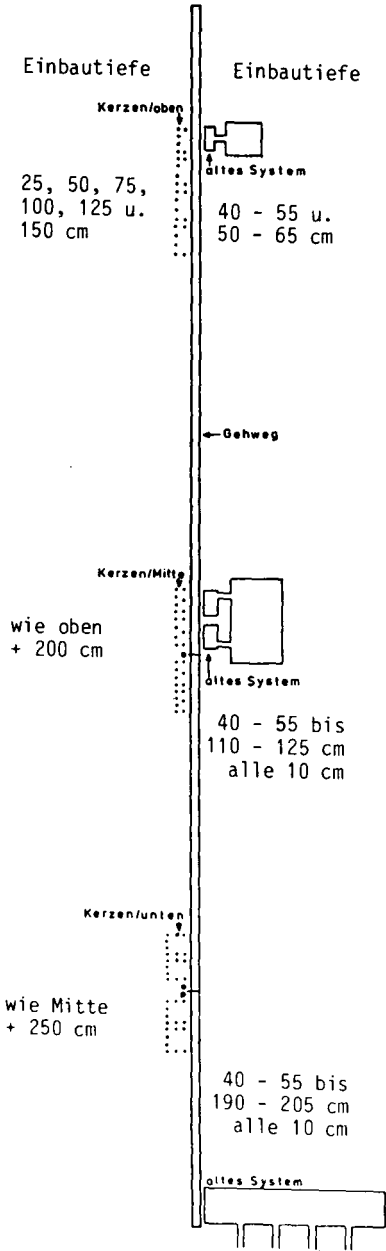


Abb. 7: Gegenüberstellung von N-Angebot und -Entzug der erfaßten Flächen des Einzugsgebietes, 1984

in der Tiefe von 90 - 105 cm bemerkbar machte. In den Jahren des Getreideanbaus. 1982 und 1983 schien dagegen eine Verdünnung durch die Frühjahrsniederschläge in der Tiefe 40 - 55 cm eingetreten zu sein. Gegenüber diesen mehr oder weniger rhythmischen Änderungen blieben die Konzentrationen an Cl in größerer Tiefe, z. B. 140 - 155 und 190 - 205 cm, weitgehend unverändert.

Vergleichbare Ergebnisse wurden auch mit Hilfe der P-80-Saugsonden für die beschriebenen Ionen und in beiden Systemen auch für die anderen untersuchten Stoffe gefunden.



Bauteile einer Saugsonde

- |                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 1 - Schlauchanschluss        | 10 mm        |
| 2 - Reduzierung              | 16 - 10 mm   |
| 3 - T-Stück                  | 16 mm        |
| 4 - Adapter                  | 16 mm        |
| 5 - Gummidichtung            |              |
| 6 - Verschraubung            | 16 mm - 3/8" |
| 7 - Übergangsstück           | 16 mm - 3/8" |
| 8 - PVC-Rohr                 | 20/1,5 mm    |
| 9 - PVC-Rohr                 | 6/1 mm       |
| 10 - Adapter                 | 16 mm        |
| 11 - P - 80 Tensiometerzelle |              |
| A - Reduzierung - kurz       | 20 - 16 mm   |
| B - Rohrmuffe                | 20 mm        |

Abb. 8: Einbauplan der Saugkerzen nach Czeratzki (altes System) und der P-80-Saugsonden am Maßband



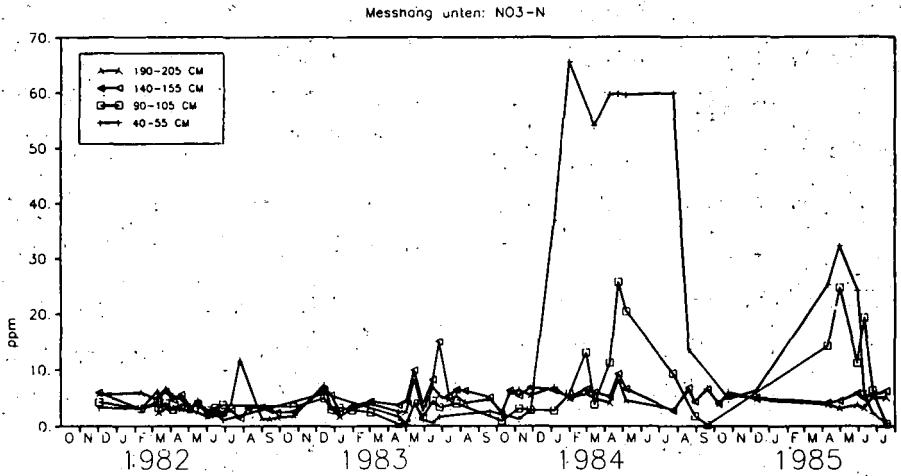


Abb. 9: Gehalte der mit Saugkerzen aus verschiedenen Tiefen entzogenen Bodenlösungen an NO<sub>3</sub>-N in Abhängigkeit von der Zeit am Meßhang unten

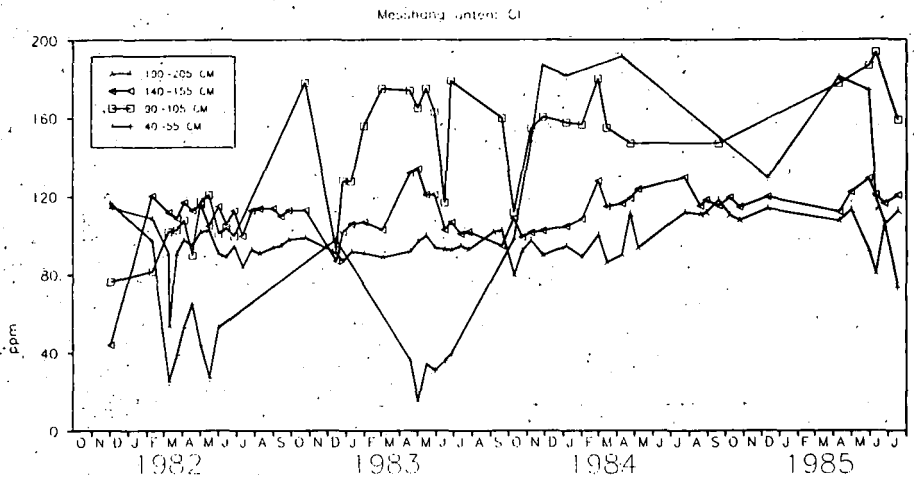


Abb. 10: Gehalte der mit Saugkerzen aus verschiedenen Tiefen entzogenen Bodenlösungen an Cl in Abhängigkeit von der Zeit am Meßhang unten

### 2.3 Stoffaustrag über den Vorfluter

Das untersuchte Wassereinzugsgebiet kann in Näherung als Großlysimeter mit einem Abfluß über den Ohebach aufgefaßt werden. Damit sollte sich der Gebietsaustrag durch Messung der Stoffgehalte und Wassermengen am Gebietsauslaß erfassen lassen.

Im Verlauf der hier aufgezeichneten 18 Monate (Abb. 11) zeigten die analysierten Stoffe zwar am Gebietsauslaß einige mehr oder weniger ausgeprägte Gehaltsänderungen, die jedoch nur in wenigen Fällen einander parallel verliefen. In der Mehrzahl der Messungen wurde ein weitgehend ähnlicher Gehalt unabhängig von der Zeit festgestellt. Auch ließ sich keine Korrelation zwischen Abflußmenge und z. B. der Gehaltsänderung an Cl feststellen (Abb. 12). Es kann deshalb angenommen werden, daß die Stoffgehalte im Vorfluter annähernd konstant sind, der Austrag also quasi aus einem überlaufenden größeren Reservoir erfolgt

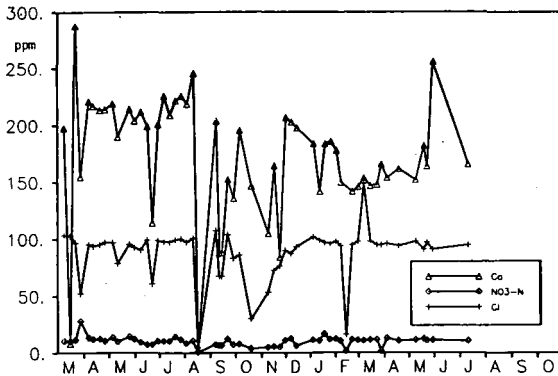


Abb. 11: Gehalte an Ca, NO<sub>3</sub>-N und Cl im Ohebach am Gebietsauslaß in ppm

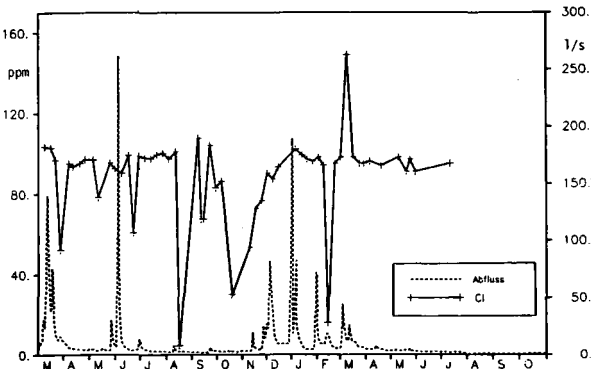


Abb. 12: Gehalte an Cl im Bachwasser am Gebietsausfluß in ppm und der Abfluß in l/s nach Messungen der Arbeitsgruppe Hydrologie der Forschergruppe

und die ausgetragene Stoffmenge in erster Linie von der abfließenden Wassermenge abhängt. Unter diesen Voraussetzungen ließ sich für das Wasserwirtschaftsjahr 1984 bei einer Abflußgröße von ca. 96.000 m<sup>3</sup> Wasser ein Gebietsaustrag von 958 kg N oder von 10,7 kg N/ha Anbaufläche berechnen.

Werden die an 5 verschiedenen Pegeln im Einzugsgebiet (Abb. 1 a) gemessenen Gehalte in der gesamten Meßzeit von 5 Jahren zusammengefaßt und als Maß für die Streuung über alle Pegel Standardabweichungen berechnet (Tab. 1), so dürfte die geringe Größe dieser Abweichungen diese Auffassung bestätigen. Ein wesentlicher Einfluß von Niederschlagsereignissen sollte sich andernfalls in einer stärkeren Abweichung bemerkbar gemacht haben.

Neben den Gehalten in ppm wurden diese auch in meq. aufgeführt. Die für die Anionen und Kationen errechneten Summen zeigten eine ausgeglichene Ionenbilanz.

Tab. 1: Stoffgehalte im Ohebach in ppm bei den Pegeln 1 - 5

Stoff	Pegel 5	4	3	2	1	(s)
HCO <sub>3</sub>	289	293	295	284	262	(87,00)
Cl	102	114	98	81	89	(22,00)
NO <sub>2</sub> -N	0,06	0,07	0,04	0,06	0,05	( 0,09)
NO <sub>3</sub> -N	12,5	12,5	11,8	9,0	10,0	( 4,10)
PO <sub>4</sub>	0,08	0,10	0,10	0,05	0,11	( 0,43)
SO <sub>4</sub>	160	169	160	144	150	(31,00)
NH <sub>4</sub> -N	0,06	0,08	0,05	0,10	0,11	( 0,24)
K	1,37	0,76	1,04	1,33	1,49	( 1,19)
Na	12,3	12,9	13,6	15,1	12,8	( 3,10)
Ca	193	211	195	171	174	(53,00)
Mg	16,2	12,9	14,1	11,3	12,3	( 3,90)

Stoffgehalte im Ohebach in meq. bei den Pegeln 1 - 5

Eq.-Gew.						
HCO <sub>3</sub>	(61,0)	4,74	4,80	4,84	4,66	4,30
Cl	(35,5)	2,87	3,21	2,76	2,28	2,51
NO <sub>3</sub> -N	(14,0)	0,89	0,89	0,84	0,64	0,71
SO <sub>4</sub>	(48,0)	3,33	3,52	3,33	3,00	3,13
Su. Anionen		<u>11,83</u>	<u>12,42</u>	<u>11,77</u>	<u>10,58</u>	<u>10,65</u>
K	(39,0)	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04
Na	(23,0)	0,53	0,56	0,59	0,66	0,56
Ca	(20,0)	9,65	10,55	9,75	8,55	8,70
Mg	(12,0)	1,35	1,08	1,18	0,94	1,03
Su. Kationen		<u>11,57</u>	<u>12,21</u>	<u>11,55</u>	<u>10,19</u>	<u>10,33</u>
% zu Anionen		97,80	98,30	98,10	96,30	97,00

- Pegel 1 Gebietsauslaß (Hütte 1) (s. a. E 1 Maniak)  
 " 2 kurz vor Gebietsauslaß, nördlicher Entwässerungsgraben  
 " 3 Mitte Ohebach (Hütte 2)  
 " 4 mittlerer, von Westen kommender Entwässerungsgraben  
 " 5 im oberen Drittel des Ohebachs

### 3. Wurzelichte

Die Wurzelichte wurde in Anlehnung an die Methode von TENNANT (1975), verändert von WESTING und SÜCHTIG (1985) bestimmt. Ungestörte Proben wurden mittels eines Spezialstahlrohres von 1 m Länge aus einer am selben Tage abgerenteten Parzelle entnommen. Die Wandung des Stahlrohres läßt sich öffnen, und die darin enthaltene Bodensäule mit einem Durchmesser von 6,3 cm wurde in 10 cm-Abschnitte zerlegt. Die so erhaltenen Proben wurden in Kunststoffbeutel gefüllt und eingefroren. Durch das Einlegen der gefrorenen Proben in 60 °C warmes Wasser ließen sich die Wurzeln auch aus tonreicheren Böden gut in einem Sieb (0,63 mm Maschenweite) auswaschen. Die erhaltenen Wurzeln wurden in dest. Wasser mit einem Zusatz von 10 % Isopropanol fixiert. Die Längenbestimmung der Wurzeln erfolgte durch Schnittpunktzählung auf einem Raster (BOHM 1979).

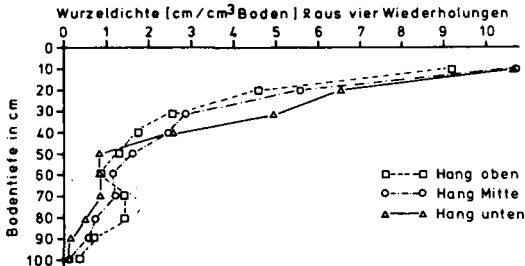


Abb. 13: Wurzelichte in Abhängigkeit von der Bodentiefe und der Hangposition, Meßhang, 1983

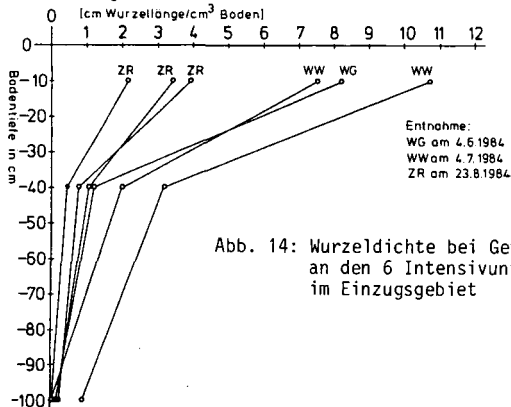


Abb. 14: Wurzelichte bei Getreide und Zuckerrüben an den 6 Intensivuntersuchungsstandorten im Einzugsgebiet

In den Jahren 1982 und 1983 wurde die Wurzelichte in den Böden des Meßhanges unter Winterweizen und Wintergerste gemessen. Diese Böden unterscheiden sich durch die Profiltiefe und in der Horizontierung. Die Ergebnisse (Abb. 13) zeigen, daß sich keine Unterschiede in der Wurzelichte in Abhängigkeit von der Hangposition und damit der Profilmächtigkeit feststellen ließen.

Um einen besseren Überblick über die Wurzelichte auf verschiedenen Standorten zu erhalten, wurden in den Jahren 1984 und 1985 20 Standorte im gesamten Einzugsgebiet untersucht. In der Abb. 14 sind jedoch nur 6 Standorte dargestellt, um die Übersichtlichkeit zu wahren. Aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Auswertung können vorerst lediglich Tendenzen aufgezeigt werden. Mit der angewendeten Methodik lassen sich Unterschiede zwischen Standorten erkennen, die jedoch teilweise von anderen Faktoren, wie Bodenfeuchte und N-Versorgung, überlagert werden.

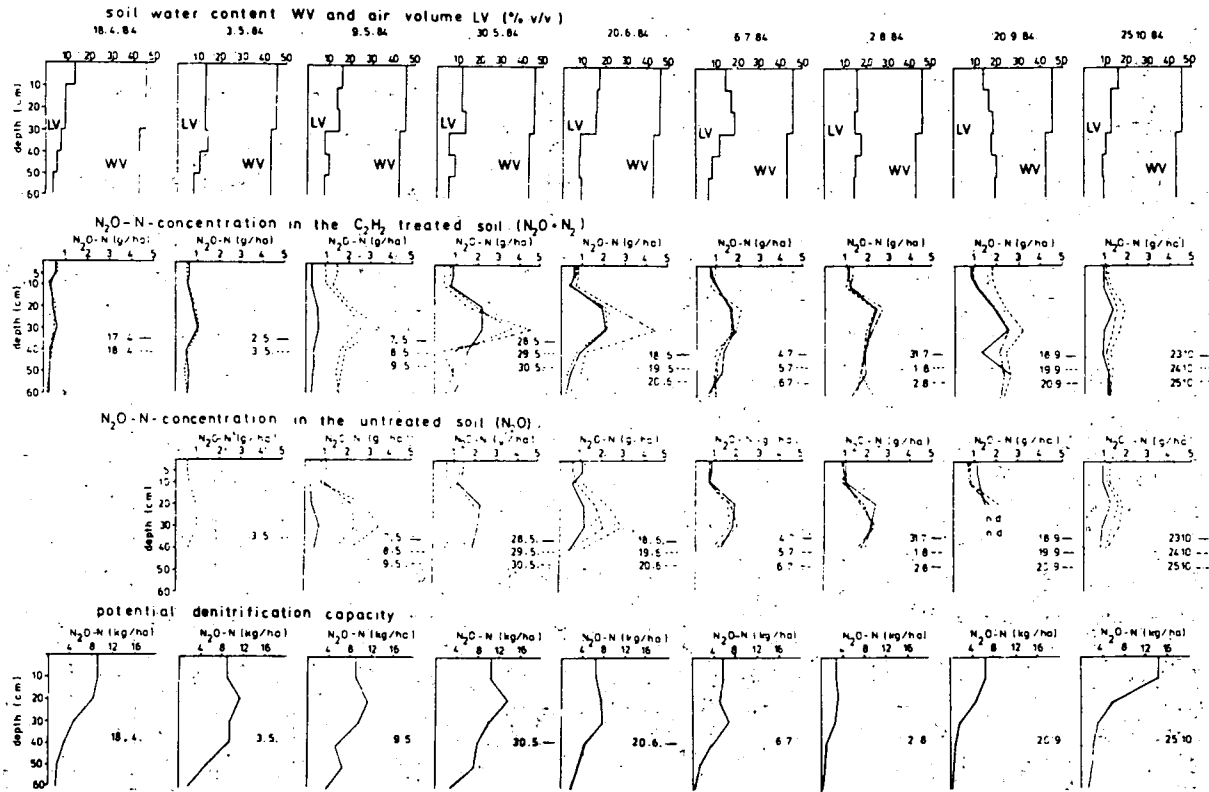


Abb. 16: Luft- (LV) und Wassergehalte (WV, Vol%), N<sub>2</sub>O-Konzentrationen in der Bodenluft sowie die potentielle Denitrifikation in Bodentiefen bis 60 cm einer mit Zuckerrüben bestellten Parabraunerde während verschiedener Meßzeiträume von April bis Oktober 1984.

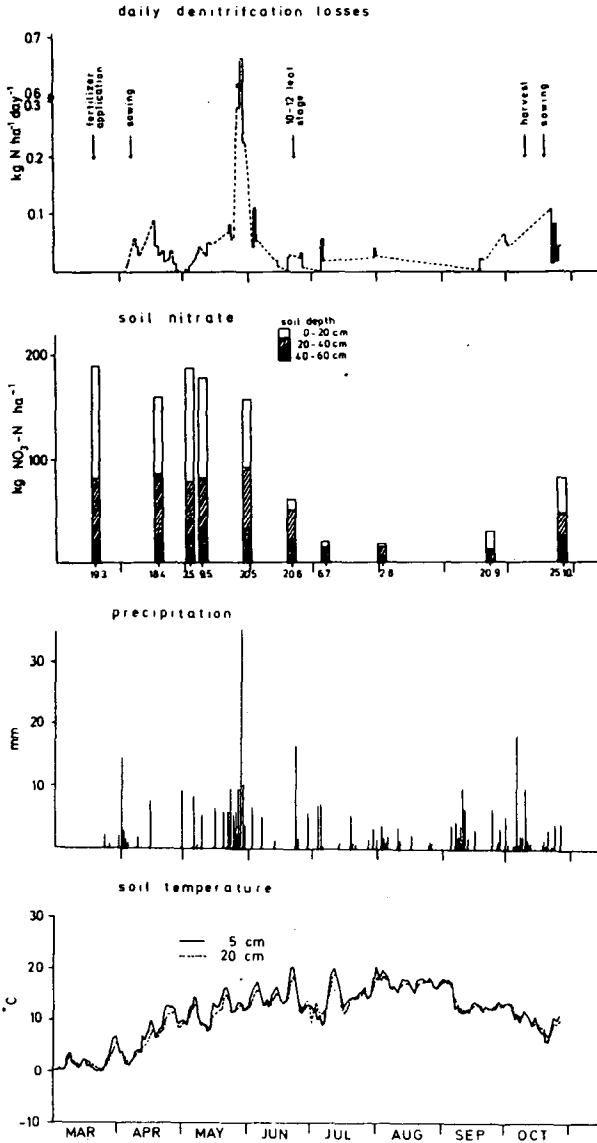


Abb. 15: Tägliche Denitrifikationsraten, Bodennitratgehalte bis 60 cm sowie Niederschläge und Bodentemperaturen in 5 und 20 cm Tiefe einer mit Zuckerrüben bestellten Parabraunerde, April bis Oktober 1984

#### 4. Gasförmige Stickstoffverluste

Unter Verwendung der  $C_2H_2$ -Inhibierungsmethode wurden 1984 im Zuckerrübenbestand des Untersuchungsstandortes "Meßhang" Denitrifikationsmessungen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen ist die Quantifizierung und Modellierung dieses mikrobiellen Prozesses.

Während der Wachstumsperiode (April - Oktober) wurden neben den Niederschlägen, der Bodentemperatur, den Bodenwasser- und Nitratgehalten sowie den potentiellen Denitrifikationskapazitäten (als Maß für den verfügbaren Kohlenstoff) die  $N_2O$ -Flüsse durch die Bodenoberfläche und die  $N_2O$ -Konzentrationen im Bodenprofil verfolgt (Abb. 15).

Mit steigenden Bodenwassergehalten ( $> 30 \% v/v$ ) und Temperaturen ab  $5 - 8 ^\circ C$  nahm die Nitratatmung zu. Der verfügbare Kohlenstoff scheint unter den herrschenden Klimabedingungen kein limitierender Faktor zu sein, da die potentiellen Denitrifikationskapazitäten immer höher lagen als die an der Bodenoberfläche ermittelten  $N_2O$ -Flüsse (Abb. 16). Insgesamt können aus den 1984 gemessenen  $N_2O$ -Flüssen Denitrifikationsverluste von etwa  $12 \text{ kg N ha}^{-1}$  abgeschätzt werden.

Die Messungen machten jedoch gleichzeitig klar, daß bei der Quantifizierung von Denitrifikationsverlusten die Gasdiffusion im Boden selbst noch stärker berücksichtigt werden muß.

#### Literatur

- BENCKISER, G., HAIDER, K. und SAUERBECK, D. (im Druck): Field measurements of gaseous nitrogen losses from a parabrown earth planted with sugar-beets. - Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde.
- BÖHM, E. (1979): Methods of studying root systems. - Springer Verlag, Berlin.
- TENNANT, D. (1975): A test of a modified line intersect method of estimating root length. - J. Ecology 63, 995 - 1001.
- WESTING, A. und SÖCHTIG, H. (1985): Bestimmung der Wurzelichte in Böden unterschiedlicher Profiltiefe unter Weizen, Gerste und Zuckerrüben. - Vortrag DBG, Göttingen, Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. (im Druck).

Exkursion

R E I N S H O F

von

Baeumer, K. u. W. Ehlers



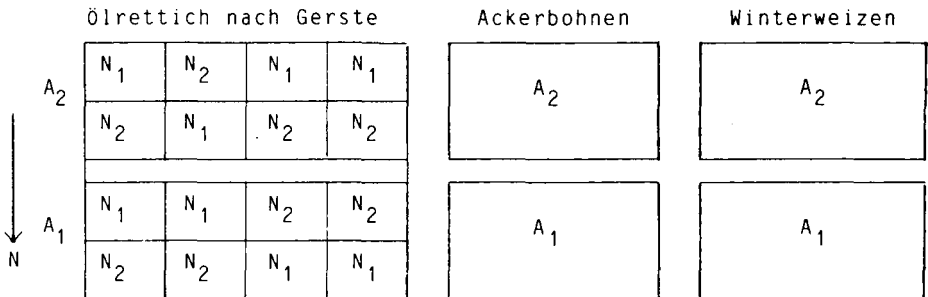


Versuch Hohes Feld/Versuchsgut Marienstein

Wirkung der Festboden-Mulchwirtschaft auf die Ertragsbildung der Fruchtfolge: Z.Rüben - W.Weizen - W. Gerste/Zw.frucht - Hafer (Zw.frucht) (1967-1972), Z.Rüben - W.Weizen - W.Gerste/Zw.frucht (1973-1979) Ackerbohnen - W.Weizen - W.Gerste/Zw.frucht (1980....)

- Varianten: A<sub>1</sub> Lockerbodenwirtschaft  
(Stoppelbearbeitung-Pflügen-Saatbettbereitung)
- A<sub>2</sub> Festboden-Mulchwirtschaft seit 1967  
(Direktdrillen mit Dreischeiben-Drillmaschine, Anwendung von Totalherbiziden, z.Z. Glyphosate, nach Bedarf, Getreidestroh geräumt)
- B<sub>1</sub> Mineralische N-Düngung (kg/ha N)  
A.Bohnen: ohne, W.Weizen: 80; W.Gerste 120
- B<sub>2</sub> A.Bohnen: 40 (z.Zw.frucht im Herbst, W.Weizen 120; W.Gerste 160)

1985



Bodentyp: Kolluvium über Parabraunerde (Hohes F.)

Tiefe (cm)	Horizont	S	U	T	CaCO <sub>3</sub> %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Gefüge	
		---	%	---			unbearb.	bearb.
0- 30	A <sub>p</sub>	16	67	17	0,7	7,1	kru,sub,pla	kru,sub,pol Pflugsohle: 30-35 cm
30- 80	M	11	73	16	0,2	7,3	kru, pol, sub	
80-100	II Ahl	7	81	12	0,0	7,3	sub	
100-130	A <sub>1</sub>	7	80	13	0,0	7,3	sub	
130-200	Bvt	7	70	23	0,0	7,3	sub, koh	
>200	III C	24	56	20	0,0	7,1	sub	

Versuch Lausebrink/Versuchsgut Marienstein

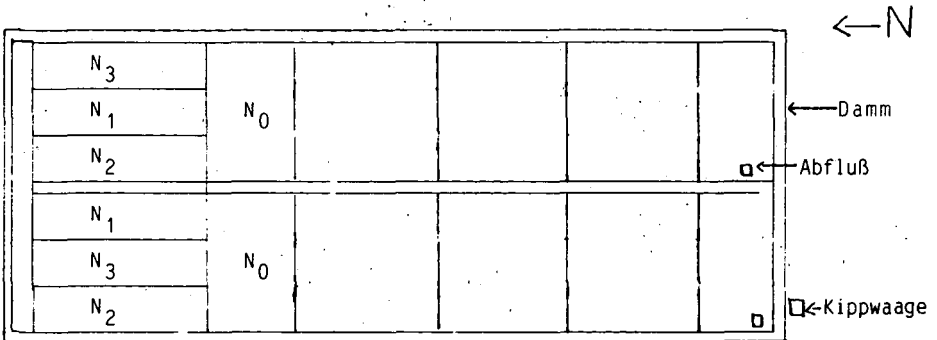
Wirkung einer reduzierten Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Feldfrüchten in einer getreidestarken Fruchtfolge seit 1968.

Varianten: A<sub>1</sub> Lockerbodenwirtschaft (Stoppelbearbeitung-Pflügen-Saatbettbereitung)

A<sub>2</sub> Saatbettbereitung mit Kreiselegge, Aussaat mit Scheibendrillmaschine, Getreidestroh geräumt

B<sub>1</sub> - B<sub>4</sub> Mineralische N-Düngung (kg/ha N)  
 N<sub>0</sub>: ohne; N<sub>1</sub>: 45-60; N<sub>2</sub>: 90-120;  
 N<sub>3</sub>: 135-180, je nach Feldfrucht

1985: W.Weizen nach Ackerbohnen



Bodentyp: Kolluvium (Lausebrink)

Tiefe (cm)	Horizont	S ---	U %	T ---	CaCO <sub>3</sub> %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Gefüge	
							unbearb.	bearb.
0-30	A <sub>p</sub>	17	19	24	0,2	7,0	pla, pol	sub, pol Pflugsohle: 30-35 cm
30-80	M	10	66	24	0,1	7,0	pol, sub	
80-100	II B <sub>t</sub>	23	55	22	0,0	7,1	pol, Tonhäutchen	
100-160	III I Cv	33	44	23	1,5	7,2	koh	
160	IV C	20	65	15	9,0	7,7		

Versuch Torland/Versuchsgut Marienstein und  
Versuch Sauanger/Versuchsgut Reinshof

Wirkung einer konservierenden Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Zuckerrüben nach unterschiedlich dormanter W.Gersten-Vorfrucht und unterschiedlichen Zwischenfrüchten (Problem des Gerstendurchwuchses in Zuckerrüben)

Varianten:

- A<sub>1</sub> W.Gerste Bollo (geringe Neigung zur Keimruhe)
- A<sub>2</sub> W.Gerste Optima (starke Neigung zu primärer und sekundärer Keimruhe)
- B Bodenbearbeitung (nach flacher Einarbeitung des gehäckselten Gerstenstrohs unmittelbar nach der Ernte)
- B<sub>A</sub> August: B<sub>A1</sub> Pflügen 26 cm  
                  B<sub>A2</sub> Grubbern 18 cm
- B<sub>N</sub> November: B<sub>N1</sub> Pflügen 26 cm  
                  N<sub>N2</sub> keine Bearbeitung, Überwintern der Zwischenfrucht
- C Zwischenfrüchte (Bestellung nach B<sub>August</sub>)
- C<sub>1</sub> keine Zwischenfrucht (Kontrolle)
- C<sub>2</sub> Phacelia
- C<sub>3</sub> Ölrettich

Die Zuckerrübenbestellung beginnt im Frühjahr mit einer ganzflächigen, flachen Mulcharbeit (Kreiselegge) und wird nach Ausbringen von N-Dünger und Pflanzenschutz mit einem Arbeitsgang der Saatbettkombination und der Aussaat mit einer üblichen Präzisionsdrillmaschine abgeschlossen.

- 1985 Torland : Anbau der Zwischenfrüchte  
Sauanger: Anbau von Zuckerrüben

Versuch Garte-Nord/Versuchgut Reinshof

Versuchsbeginn: 1974

Wirkung unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren auf die Ertragsbildung von Feldfrüchten in einer getreidereichen Fruchtfolge

- Varianten: A<sub>1</sub> Lockerbodenwirtschaft ohne Mulch (Stoppelbearbeitung, Pflügen, Saatbettbereitung)
- A<sub>2</sub> Lockerboden-Mulchwirtschaft mit Einsatz des Parapfluges (Bodenmeißel) und mit flacher Saatbettbereitung (Kreiselegge)
- A<sub>3</sub> Festboden-Mulchwirtschaft mit flacher Saatbettbereitung (Kreiselegge)

N-Düngung: B<sub>Menge</sub> N kg/ha

B<sub>M1</sub> 0 B<sub>M2</sub> 120 B<sub>M3</sub> 150 B<sub>M4</sub> 180

Bzeitl. Verteilung

B<sub>V1</sub> 3 Gaben von gleicher Höhe

B<sub>V2</sub> 1 Gabe größer als erste

B<sub>V3</sub> 3 Gaben größer als erste

1985 W.Weizen nach Hafer

Bodentyp: erodierte Griserde

A<sub>p</sub> 0- 30 cm (tU)

A<sub>1</sub> 30- 45 cm (tU)

B<sub>1</sub> 45-100 cm (tU)

Versuch Garte-Süd/Versuchsgut Reinshof

Versuchsbeginn: 1970

Wirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung der Feldfrüchte in einer getreidereichen Fruchtfolge, Getreidestroh stets geräumt

- Varianten: A<sub>1</sub> Lockerbodenwirtschaft ohne Mulch  
(Stoppelbearbeitung, Grubbern/Spatenrollegge, Pflügen, Saatbettkombination)
- A<sub>2</sub> Festboden-Mulchwirtschaft mit unterschiedlichen Verfahren der Stoppelbearbeitung bzw. Saatbettbereitung
- A<sub>2 I</sub> mit und ohne Zinkenrotor-Bearbeitung unmittelbar nach der Ernte
- A<sub>2 II</sub> mit und ohne Kreiselegge zur Aussaat

1985 W.Roggen nach W.Gerste, Aussaat mit Direktdrillmaschine

Versuch Garte-Südost/Versuchsgut Reinshof

Versuchsbeginn: 1970

Wirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung der Feldfrüchte in einer getreidereichen Fruchtfolge, Getreidestroh 1985 belassen

- Varianten: A<sub>1</sub> Lockerbodenwirtschaft ohne Mulch
- A<sub>2</sub> Festboden-Mulchwirtschaft mit unterschiedlicher Stoppelbearbeitung
- A<sub>2 I</sub> mit Zinkenrotor-Bearbeitung nach der Ernte, Stroh belassen
- A<sub>2 II</sub> mit Zinkenrotor-Bearbeitung vor der Aussaat, Stroh verbrannt.

1985 W.Gerste/Zwischenfrucht Ölrettich

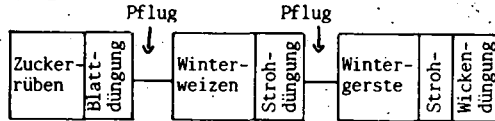
1986 Körnererbsen

# ACKERBAU-SYSTEMVERSUCH REINSHOF 1981-2000

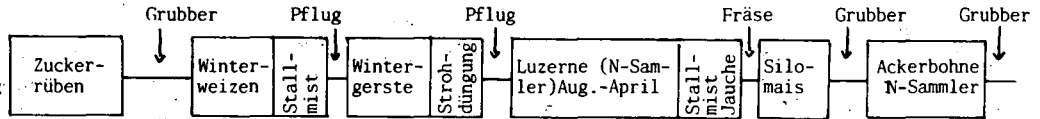
- Versuchsfragen: 1) Einfluß einiger Elemente des Bodennutzungssystems auf die Ertragsbildung der Feldfrüchte in Zusammenhang mit Wild- u. Kulturpflanzenverunkrautung, Krankheits- u.. Schädlingsbefall sowie einiger Kennwerte der Bodenfruchtbarkeit
- 2) Langfristige Entwicklung der Produktivität (Ertragsmenge, Ertragssicherheit, Aufwand-Ertragsrelation) in unterschiedlichen Bodennutzungsverfahren
- Faktoren und ihre Stufen:

## I BODENNUTZUNGSVERFAHREN

- viehlos  
stets intensive  
Bodenbearbeitung



- 1 GVE/ha  
überwiegend reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung



## II PFLANZENSCHUTZ

- mit vollem vorbeugendem chemischen Pflanzenschutz (Beizung, Herbizide, Fungizide, Insektizide)
- ohne chemischen Pflanzenschutz, nur mechanische Unkrautbekämpfung (Striegeln, Maschinenhacke, Handhacke)

## III MINERALISCHE N-DÜNGUNG, vier Stufen (ohne, subopt.,opt.,hyperopt.) 2 Verfahren (Nfix, Nrotierend)

- stets gleiche Düngung auf der gleichen Fläche
- stets nach mittlerer N-Düngung, d.h. jedes 3. Jahr differenzierte N-Düngung (Nrotierend) entsprechend "Sollwert-Npflanzenverfügbar im Boden".

Feldfrucht	N kg/ha			
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
W.-Weizen	0	60	120	180
W.-Gerste *	0	60	120	180
Zuckerrüben	0	70	140	210
Mais**	0	40	80	120

- \*) mit Vieh: 165 dt/ha Stallmist
- \*\*) 165 dt/ha Stallmist 18m<sup>3</sup> Jauche ~35 kg/ha N

Feldfrucht	N rotierend				Sollwert x F			
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
W.-Weizen	0	96	120	144	0	0,80	1,00	1,20
W.-Gerste	0	96	120	144	0	0,80	1,00	1,20
Zuckerrüben	0	150	220	290	0	0,68	1,00	1,32
Mais	0	140	180	171	0	0,78	1,00	1,22

Exkursion

D R A K E N B E R G

von

Ahl, Chr., H.-G. Frede, B. Meyer, V. Thomsen,  
J. Wang u. H. Wildhagen





Agrar-Ökosystem-Mess- und Versuchsflächen auf Rendsina-Terra-Fusca-  
Flächen des oberen Muschelkalks auf dem Drakenberg bei Göttingen

von

Ahl, Chr., H.-G. Frede, B. Meyer, V. Thomsen,  
J. Wang u. H. Wildhagen

Die heute etwa 20 ha große Versuchsfläche auf dem etwa 350 m hohen Plateau des vom oberen Muschelkalk gebildeten Drakenberges liegt in den Gemarkungen der Ortsteile Herberhausen und Roringen der Stadt Göttingen. Sie wurde schrittweise seit 1969 zu einer geschlossenen Fläche zusammengefügt, deren Ackerareal auch Halbtrockenrasen- und Busch-Areale umschließt.

Am Anfang des Versuchsvorhabens standen folgende Überlegungen, die aus der Situation am Ende der 60er Jahre geboren worden waren als das Problem der fortschreitenden Ausdehnung der "Sozialbrache" in der Bundesrepublik aufkam und für 1980 eine Brachfläche von 3,2 Mio. ha vorausgesagt wurde, die aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung entlassen werden würde. Auch Göttingens Umgebung mit seinen in Stadtnähe gelegenen schweren "Grenzböden" war von dieser Entwicklung in beträchtlichem Maße betroffen.

Es erschien erforderlich, kostensparende Methoden der Bodennutzung für solche Grenzböden zu entwickeln, um sie in landwirtschaftlicher Nutzung halten zu können und nicht der natürlichen Sukzessionsvegetation oder der Aufforstung zu überlassen. Nur die landwirtschaftliche Nutzung versprach, auch die anderen neben der pflanzlichen Produktion an die Landschaft gestellten ökologischen Ansprüche der Gesellschaft zu erfüllen wie Deckung des Wasserbedarfs, Erhaltung des landeskulturellen Entwicklungszustandes der Landschaft wie des Wegenetzes, der Vorflut etc. und schließlich Erhaltung der Böden als Nahrungsressource für kommende Generationen.

Es war damals klar abzusehen, daß eine Überlassung von landwirtschaftlichen Kulturböden - und seien es auch nur Grenzböden - an die Forst oder die Sukzessionswildnis deren Ausfall als Produktionsreserve für eine ferne Zukunft mit einer geringeren Verfügbarkeit von käuflichen Nährstoffen und Energie bedeuten würde, weil die in einem Industrieland unvermeidliche Bodenversauerung bei Unterlassung der Kalkung zwangsläufig zu irreparablen Schäden führen würde. Andererseits würde auch der Aufwand für eine Rekultivierung beträchtlich wachsen.

Der zweite Gesichtspunkt war, daß das Zulassen einer Sozialbrach-Sukzessionsvegetation bis hin zur Entwicklung der Wirtschaftsforst eine Schmälerung der Sickerwasserspende bedeuten würde, die im Falle der Grenzböden auf Kalkstein im Bereich der mitteldeutschen Schwelle 40 % betragen würde. Dieser Betrag erschien für viele Gemeinden, die - wie Göttingen damals - auf die Wasserversorgung aus Kalksteingebieten angewiesen waren, untragbar hoch.

Schließlich bedeutete gerade für den Naherholungsraum um Göttingen die Aufgabe der landwirtschaftlichen Bodennutzung den Verfall des erforderlichen Wegnetzes in der Offenlandschaft

Dies alles ließ sich vermeiden, wenn die betreffenden Böden bei einer möglichst reduzierten Flächenproduktion - neben der Wassermenge war die Wasserqualität, z. B. der Nitratgehalt, immerhin schon in ihrer Bedeutung erkannt - in landwirtschaftlicher Nutzung gehalten würden.

Die aus der Sozialbrach-Problematisierung hervorgegangenen Forschungsansätze richteten sich darauf, durch eine kostensparende Produktionstechnik eine ökonomische Optimierung der Produktion zu erreichen. Diese sollte es ermöglichen, selbst in Gebieten, in denen andere Nutzungsinteressen wie z. B. die Wassergewinnung und Fremdenverkehr die Bereitschaft zu Subventionen an die Landwirtschaft förderten, eine sich selbst tragende landwirtschaftliche Bodennutzung aufrecht zu erhalten.

Diese Forschungsansätze erhalten heute neue starke Impulse dadurch, daß die ökonomischen Zwänge des europäischen und des Weltmarktes eine sich fortlaufend verschlechternde Preissituation für landwirtschaftliche Produkte bei steigenden Produktionskosten schaffen und dadurch die Existenz der Landwirtschaft gerade an Standorten mit Problem Böden "Grenzböden" und "Grenzklimaten" gefährden, die auf keinen Fall der unkontrollierten Dauerbrache ausgesetzt werden dürfen.

Dies läßt sich nicht allein durch die Förderung des "Wachsens oder Weichens" in der Landwirtschaft bei gedrosselter Produktion erreichen. Es verlangt vielmehr die Entwicklung kostensparender Produktionstechniken und ökologisch zielgerichteter Subventionen oder Einkommensbeihilfen. Dafür fehlt es auch an Bemessungsgrundlagen. Die "rotierende Brache" kann dabei möglicherweise ein ökologisch wie gesamtwirtschaftlich wirksames und entwicklungsfähiges Instrument der Pflege von Landschaft, Natur, Ressourcen und Böden sein.

Nach nunmehr 10 - 15jähriger flächenhomogenisierender Bodennutzung erscheint die Versuchsfläche auf dem Drakenberg geeignet, als landwirtschaftliches Gegenstück zu der von der DFG in einer Anfangsförderung (SFB 135) errichteten Waldökosystem-Meßfläche am Treppenweg (siehe Exkursion "Göttinger Wald") zu dienen, was im Programm des SFB vorgesehen war.

Die seit 1969 durchgeführten ackerbautechnischen Untersuchungen befaßten sich in erster Linie mit Techniken der Bodenbearbeitung, der Düngung und des Pflanzenschutzes. Die Anwendung der Minimal-Bodenbearbeitung, Flachbearbeitung, erlaubte Wintergetreide - in Monokultur und im Wechsel der Getreidearten bzw. Raps angebaut - auf den schweren, früher zur Saatbettherstellung des winterlichen Frostes bedürftigen Böden, sicher im Herbst zu bestellen.

Die jährlich angelegten Düngungsversuche zeigten bei P und K, die reichlich im Kalkstein vertreten sind, Möglichkeiten der Einschränkung bis zur O-Düngung, beim N einen ökonomisch vertretbaren Maximalaufwand von 80 kg/ha, der etwa in gleicher Höhe wie der jährliche N-Entzug von der Fläche liegt. Die niedrige Jahresdurchschnittstemperatur von nur 6,9° C und der sommerliche Wassermangel der Böden für die Kulturpflanzen begrenzen die Ertragsbilanz auf ein Niveau, das bei etwa 35 dt für Weizen liegt und zwingt, den Produktionsaufwand so weit wie möglich zu reduzieren. Dies gilt insbesondere für den Pflanzenschutz aufwand. Immerhin haben seit nunmehr maximal 16 Jahren laufende Versuche gezeigt, daß die Verminderung der Produktionskosten auf diesen Standorten einen Gewinn und damit eine sich selbst tragende Landwirtschaft zuläßt.

Die begleitenden ökologischen Untersuchungen bestanden bislang in der standörtlichen Inventur, der Erfassung von Veränderungen der Böden und der Untersuchung des Wasserhaushaltes und der Bio-Element-Bilanzen. Die Produktion von Wasser nach Menge und Qualität steht - wie einleitend dargestellt - in Konkurrenz mit der pflanzlichen Produktion.

LITERATUR:

- 1.) Thöle, R. und B. Meyer, 1979: Bodengenetische und ökologische Analyse eines Repräsentativ-Areals der Göttinger Muschelkalkscholle als landschaftsökologische Planungsgrundlage. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 59, 230 S. (1979). -
- 2.) Thomsen, V., 1975: Sickerwasser-Quantität und -Qualität von Muschelkalk-Böden (Braunlehm-Rendsina) unter Sozialbrache- und Rekultivierungsflächen. - Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 22, 271 - 276 (1975). -
- 3.) Thomsen, V., 1978: Wasserhaushalt von Rehmrendsinen unter landwirtschaftlicher Nutzung und verbuschte Sozialbrache auf dem oberen Muschelkalk im südlichen Niedersachsen. - Diss. Landwirtschaftl. Fakultät., Univers. Göttingen. -

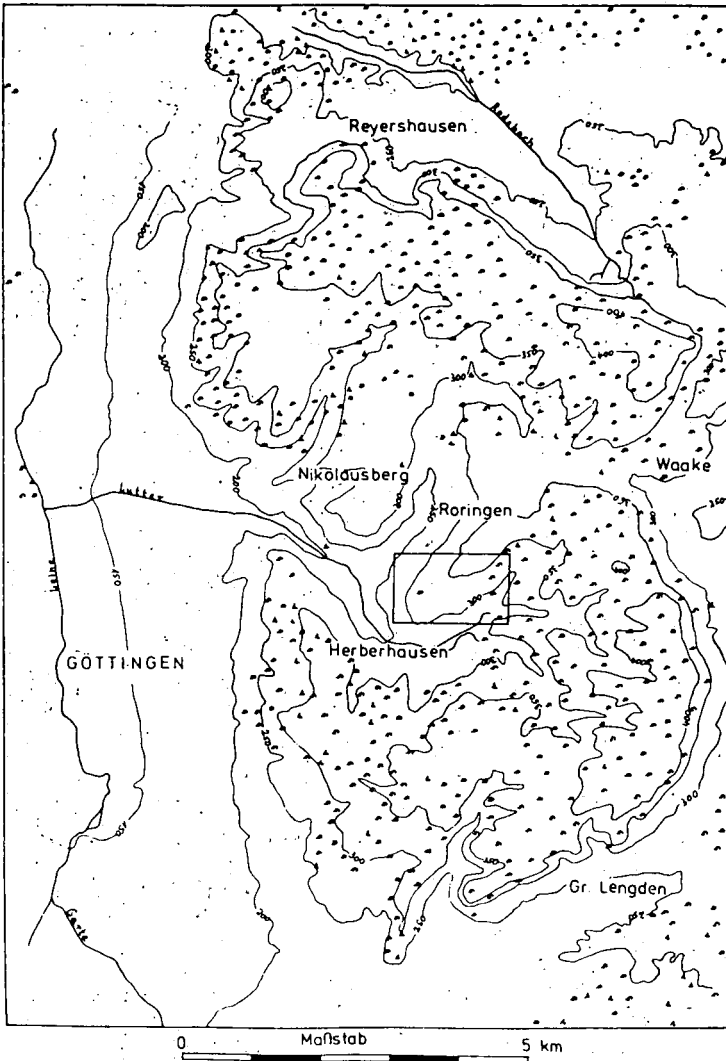


Abb. 1 Lage des Untersuchungs-Gebietes



-  Abgrenzung des Repräsentativ-Untersuchungs-Gebietes
-  Kennzeichnung der Waldflächen

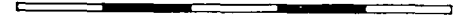
Abb. 2 : Geologischer Bau des Untersuchungs-Gebietes











Keuper	unterer (Lettenkohle)	Lettenkohle 45 m
Muschelkalk	oberer (Hauptmuschelkalk)	Tonplatten (Ceratitenschichten) 40 m  Trochitenkalk 12 m
	mittlerer (Anhydritgruppe)	dolomitische Mergel 35 m
	unterer (Wellenkalk)	Orbicularissch. 5 m Schaumkalk 5 m Wellenkalk <sup>+</sup> 20 m Terebratelbänke 5 m Wellenkalk <sup>+</sup> 25 m Oolithbank 5 m Wellenkalk <sup>+</sup> 35 m
Buntsandstein	oberer (Röt)	Myophoriensch. 10 m Rötton 100 m

+ mit dolomitischen Gelbkalk-Einschaltungen

LEGENDE FÜR DIE KARTE AUF DER NÄCHSTEN SEITE

0 5 km



-  Holozän
-  Pleistozän
-  Lias
-  Keuper
-  oberer Muschelkalk
-  mittlerer Muschelkalk
-  unterer Muschelkalk
-  oberer Buntsandstein
-  mittlerer Buntsandstein
-  tektonischer Sprung

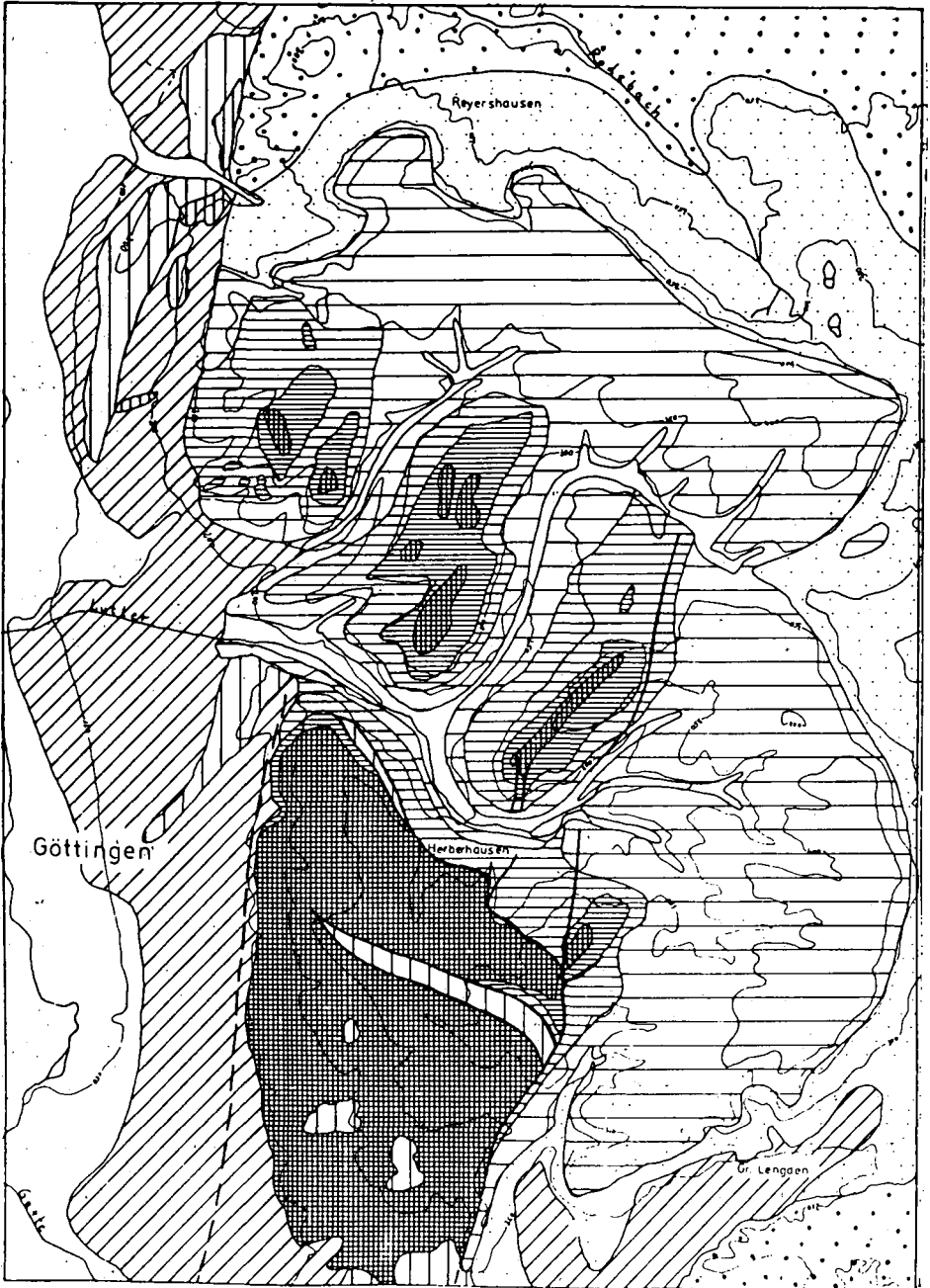


Abb.3:Geologischer Bau des Untersuchungsgebietes.  
Legende auf der vorhergehenden Seite.

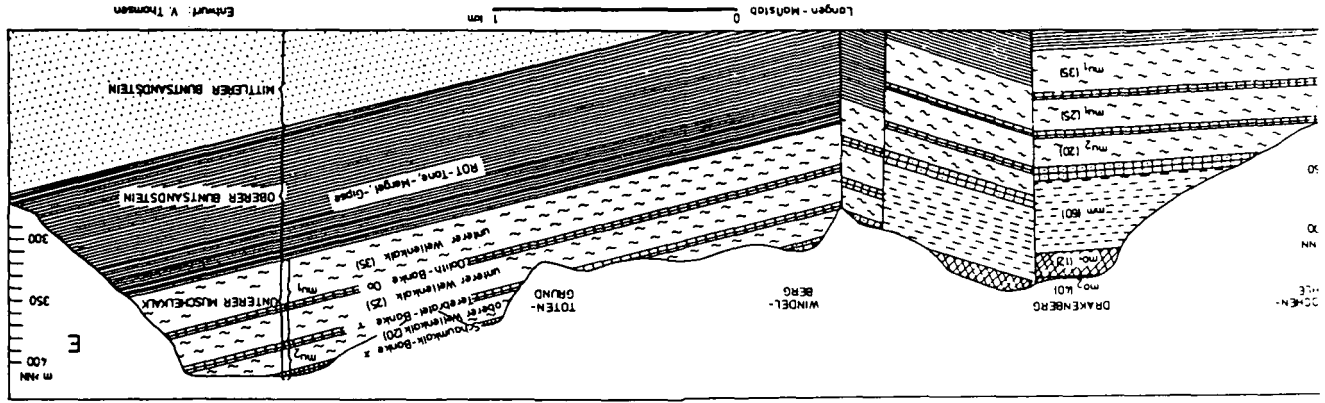
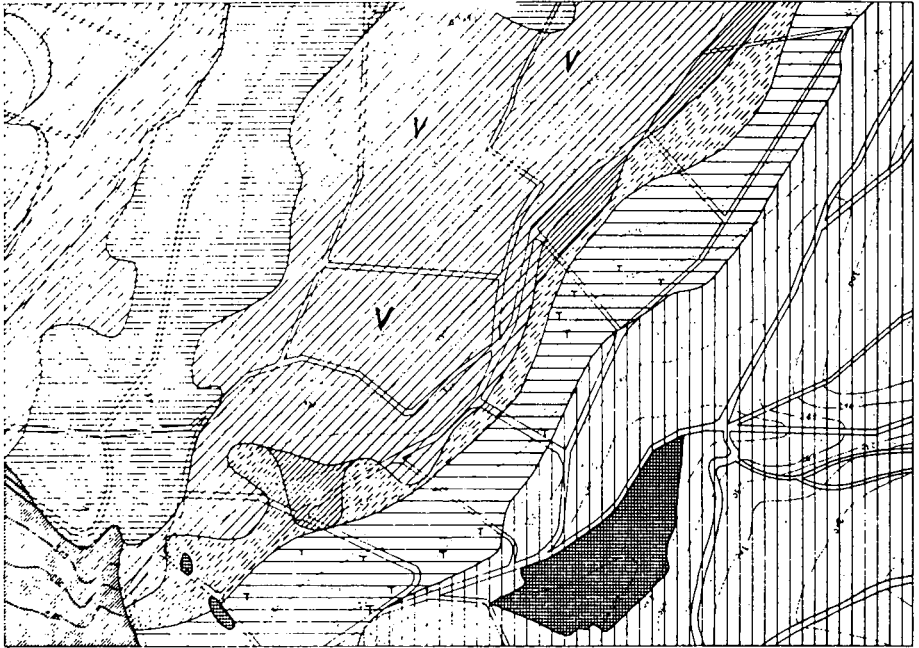


Abb. 4 Geologisches Profil GÖTTINGER WALD

Entwurf: V. Thommen














0 Maßstab 500 m

V VERSUCHSFLÄCHE

Abb. 5: SOLUM-SCHICHTUNG A  
 Beteiligung von Kalkstein der verschiedenen geologischen  
 Formationen am Schicht-Aufbau des Solums (ohne Unterscheidung  
 von anstehendem Gestein oder Frostlager- bzw. -wanderschutt)

- |   |      |   |  |
|---|------|---|--|
|   | no 2 | CERATITEN-SCHICHTEN   |  |
|  | no 1 | TRUCHITEN-BÄNKE   | Frostschutt-Decke mind.<br>60 cm mächtig oder<br>anstehendes Gestein |
|  | no 1 | bzw. TEREBRATEL-<br>LUMACHELLE-                               |  |
|  | no-1 | BÄNKE   | Frostschutt-Decke<br>60-35 cm mächtig                                |
|  | no 1 | LESESTEINE  | Frostschutt-Decke<br>35-15 cm mächtig                                |
|  | mm   | MERGEL  |  |
|  | mu   | SCHAUMKALKBÄNKE, WELLENKALK, gelegentlich<br>GELBKALKE        |  |
|  |      | ANTHROPOGENE SCHÜTTUNGEN                                      |  |
|  |      | PLEISTOZÄNER und HOLOZÄNER MISCH-SCHUTT<br>aus no 2, no 1, mm |  |

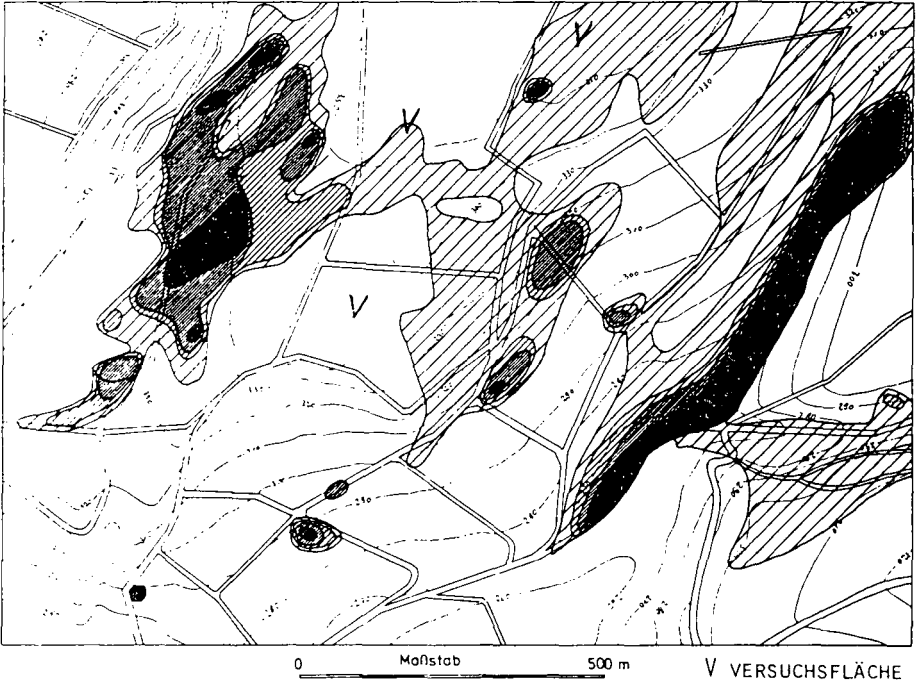


Abb. 6: SOLUM-SCHICHTUNG B

Beteiligung von Löß am Schicht-Aufbau des Solums



Löß-Beimengung im A- und B-Horizont ohne wesentliche Beeinflussung des Kalksteinbodentyps, primäre Löß-Mächtigkeit schätzungsweise geringer als 15 cm



A-Horizont in einer bis zu 30 cm mächtigen, körnungsmäßig deutlich vom Kalkstein-Verwitterungs-substrat abgesetzten Lößauflage ausgebildet, Löß-Beimengungen auch noch im B-Horizont



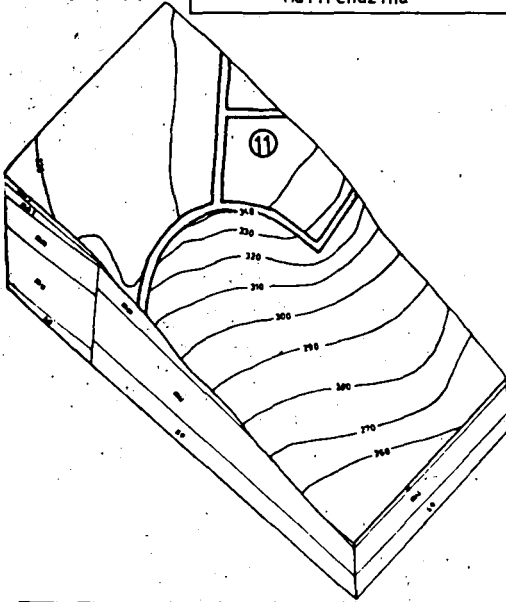
Löß-Auflage auf dem Kalkstein-Frostlager- und Frostwander-Schutt 30-60 cm mächtig, Bodentyp: (Löß-)Parabraunerde-(Kalkstein-)Braunlehm und (Löß/Braunlehm)-Pseudogley bzw. -Stagnogley



Löß-Auflage 60-90 cm mächtig (stellenweise über 90 cm), Bodentyp: Löß-Parabraunerde bzw. Löß-Pseudogley oder Löß-Stagnogley

Abb. 7:

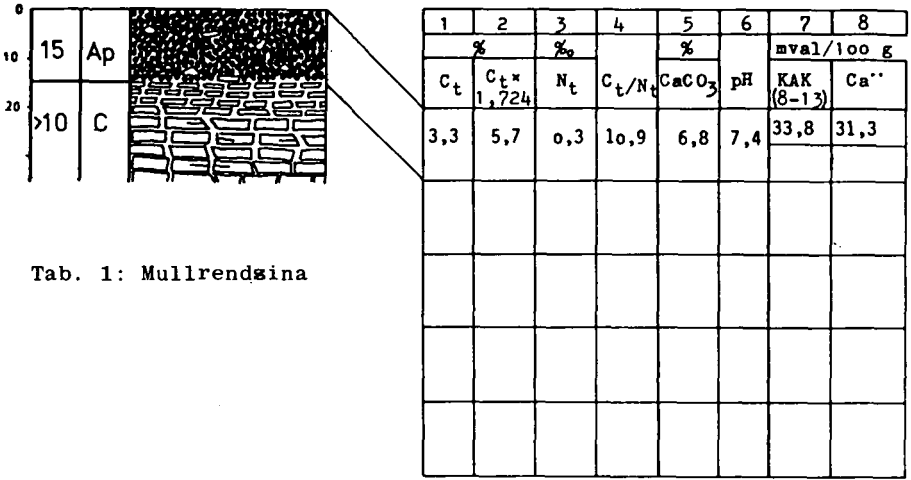
Mullrendzina



Mullrendzina aus Kalkstein  
 FS : (normale) Mullrendzina (Acker)  
 FAO: Calcic Lithosol  
 ST : Lithic Rendoll  
 D : Rendzina a Mull

LAGE/RELIEF	ebene Plateau-Lage auf dem Drakenberg
VEGETATION	Acker (1975 Bestand Weizen)
GESTEIN	Frost-Lager-Schutt des mo 1 (Trochitenkalk)

HOR.	MUNSELL-FARBWERT		PROFIL-BESCHREIBUNG
	trocken.	feucht	
Ap	10 YR 5/2	10 YR. 4/2	dunkler Mull, mit einigen Kalkstein-Brocken
C			Kalkstein-Detritus des mo 1 mit etwas verbrauchtem Lösungs-Rückstand auf den Klüften



Tab. 1: Mullrendszina

KÖRNING

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
GEW.-% GES.-BODEN (OBERE ZEILE), GEW.-% FEINERDE (<2 mm Ø) (UNTERE ZEILE)													
>10 mm	10- 6,3	6,3- 3,55	3,55- 2	2000- 630	630- 355	355- 200	200- 63	63- 36	36- 20	20- 6	6- 2	2- 0,6	<0,6 µm
g, m G	rG		gS	mS		fS	gU		mU	fU	gT	m, fT	
8,2	2,5	2,2	1,1	1,3	0,5	0,4	2,1	8,6	7,5	15,1	7,3	3,0	29,7
							2,9	11,8	10,2	20,6	10,0	4,1	40,5

55	25,0
%	
Fe <sub>d</sub>	

56	4,0
%	
FeOOH (d)	

57	64,5
mg/100g	
P <sub>t</sub>	

58	50,9
C <sub>t</sub> /P <sub>t</sub>	

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
mval/100 g BODEN-MATERIAL							% KAK							mval/mval	dt/ha
Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	H	S (8-12)	Ca aus CaCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	H	Ca Mg	K NH <sub>4</sub>	KALK- BED.
1,4	0,2	0,8	0,1	0	33,8	4,1	92,6	4,0	0,6	2,4	0,3	0	23,2	8,0	0

39	40	41	42	43
GEW. %				KÖR- NUN- GS- ART
GRUS	SAND	SILT	TON	
G	S	U	T	
-	2,9	52,6	44,6	u'T

PORUNG

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
VOL. % GESAMT-BODEN										
pF	1,0	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,7	4,2
LP	s	1	DP							
8,1	5,1	1,7	1,5	1,4	2,1	1,1		28,7		
NFK										

63	1,33
TrD	

59	109,0
mg/100g	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (t)	

60	62,4
mg/100g	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (DL)	

61	18,5
mg/100g	
K <sub>2</sub> O (DL)	

62	15,9
mg/100g	
K (DL)	

Tab. 1:

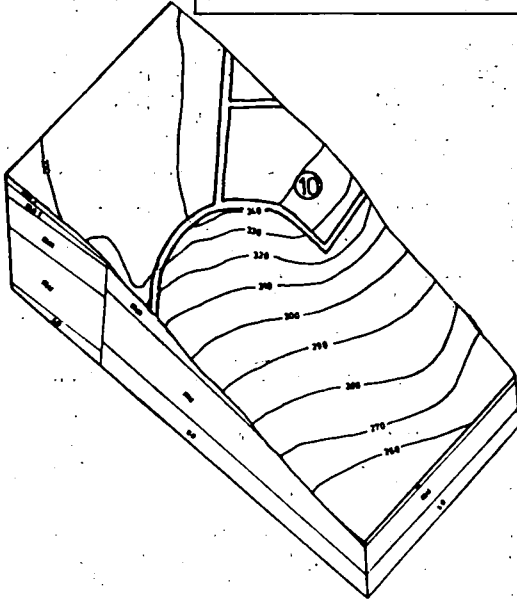
HORIZONT: Ap

FRAKTION	Q	F	K	G	I	HO	P	P1	C	ERG	S	O	Σ
> 63 μm	22	3	0	4						0	0	0	29
63-36 μm	85	25	0	5						2	1	0	118
36-20 μm	80	19	0	1						2	0	0	102
20- 6 μm	140	46	0	10						6	2	2	206
6- 2 μm	57	26	0	11						2	4	0	100
< 2 μm	78	62	22		91	15	48	104	25				445
Σ	462	181	22	31	91	15	48	104	25	12	7	2	1000
Σ	643				326								

FRAKTION	Q	F	K	G	I	HO	P	P1	C	ERG	S	O	Σ
> 63 μm	70	3	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	73
63-36 μm	7	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	7
36-20 μm	16	3	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	19
20- 6 μm	57	28	0	5	-	-	-	-	-	0	0	0	90
6- 2 μm	101	60	0	57	-	-	-	-	-	2	2	0	222
< 2 μm	113	0	0	-	95	54	89	149	89	-	-	-	589
Σ	364	94	0	62	95	54	89	149	89	2	2	0	1000
Σ	458				540								

Abb. 8:

Kalkstein-Braunlehm



Kalkstein-Braunlehm aus Kalkstein  
 FS :Parabraunerde-  
 Terra fusca (im  
 GgStz. zu MÖCKEN-  
 HAUSEN (62))  
 FAO:Brunic Luvisol  
 ST :Lithic Hapludalf;  
 D :Sol brun lessive  
 complexe

LAGE/RELIEF	Plateaukante-Oberhang an der Süd-Ost-Seite des Drakenberges
VEGETATION	Acker (1975 Bestand Weizen)
GESTEIN	Löß über Frost-Schutt des mo 1 (Trochitenkalk)

HOR.	MUNSELL-FARBWERT		PROFIL-BESCHREIBUNG
	trocken	feucht	
Ap	1o YR 5/3	1o YR 3-4/4	dunkler Ap-Horizont, Mull, mit einigen Kalkstein-Brocken
B	1o YR 6/4	1o YR 4/4	schluffig, schmutzig grau-braun, mit taschenförmigen Eintiefungen
Bt	1o YR 5-4/4	1o YR 4/4	rötlich brauner Löß mit dunkelbrauner Ton-Infiltration
Cv	1o YR 7/4	1o YR 6/6	Trochiten-Kalk mit braunem Lehm als Lösungs-Rückstand

Tab. 2: Kalksteinbraunlehm

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
mval/100 g BODEN-MATERIAL							% KAK					mval/mval		dt/ha	
Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	S (8-12)	Ca <sup>++</sup> aus CaCO <sub>3</sub>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup> /Mg	K <sup>+</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	KALK-BED.
1,5	0,5	0,2	0,1	1,1	23,4	1,3	86,1	6,1	1,0	0,8	0,4	4,5	14,1	2,0	14
1,0	0,2	0,2	0,1	0,6	18,7	1,4	89,1	5,2	1,1	1,0	0,5	3,1	17,2	2,0	9
1,9	0,4	0,3	0,05	0,5	37,3	6,6	91,7	5,0	1,0	0,8	0,1	1,3	18,2	6,0	6
1,4	0,2	0,4	0,1	0	25,7	12,3	91,8	5,4	0,9	1,6	0,4	0	16,9	4,0	0

39	40	41	42	43
GEW. %				KÖR- NUN- GS- ART
GRUS	SAND	SILT	TON	
G	S	U	T	
-	3,2	66,4	30,5	ü T
-	2,2	67,5	30,4	ü T
-	2,1	36,9	61,1	u' T
-	4,5	34,1	61,4	u' T

PORUNG

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
VOL. % GESAMT-BODEN										
pF	1,0	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,7	>4,2
LP	s	1	DP				MP			FP
3,2	6,3	0,5	1,6	0,6	0,3	3,4		31,2		
NFK										
4,0	13,1	1,2	2,7	2,3	2,2	1,7		25,2		
NFK										
4,0	3,7	1,9	3,3	2,7	2,9	1,6		41,2		
NFK										
NFK										

63	1,40
TrD	1,49
	1,36

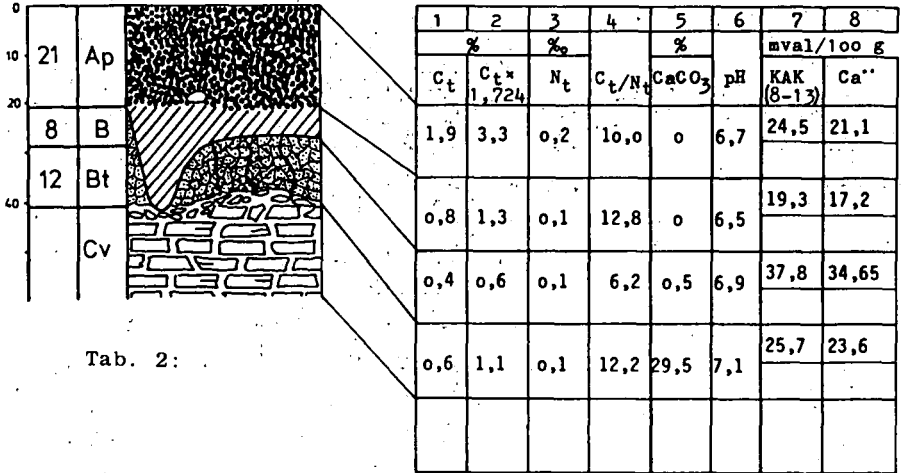
59	78,8
mg/100g	41,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (t)	55,4
	41,7

60	3,3
mg/100g	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (DL)	0,7
	0,6

61	11,5
mg/100g	8,5
K <sub>2</sub> O(DL)	12,8
	8,7

62	9,5
mg/100g	7,0
K(DL)	10,6
	7,2





Tab. 2:

KÖRNUMG

GEW.-% GES.-BODEN (OBERE ZEILE), GEW.-% FEINERDE (<2 mm Ø) (UNTERE ZEILE)													
>10 mm	10-6,3	6,3-3,55	3,55-2	2000-630	630-355	355-200	200-63	63-36	36-20	20-6	6-2	2-0,6	<0,6 µm
g, m G	fG			gS	mS		fS	gU		mU	fU	gT	m, fT
			1,9				3,0	18,2	23,6	15,2	6,0	3,3	25,6
							3,2	19,1	24,9	16,0	6,4	3,5	27,0
							2,2	12,0	30,1	17,5	6,9	3,2	26,8
							2,2	12,2	30,5	17,8	7,0	3,3	27,1
							2,1	2,7	19,9	8,8	5,0	10,8	49,6
							2,1	2,8	20,1	8,9	5,1	10,9	50,2
29,9	7,3	7,3	3,7	4,9	2,0	1,2	1,4	1,2	1,8	3,1	4,2	4,9	13,7
							4,5	3,9	6,1	10,2	13,9	16,3	45,1

55	9,5
%	9,9
Fe <sub>d</sub>	11,7
	35,4

56	1,5
%	1,6
FeOOH (d)	1,9
	5,6

57	46,6
mg/100g	24,7
Pt	32,8
	24,7

58	40,8
	31,2
Ct/Pt	11,3
	24,6

Tabl. 2:

HORIZONT: C*													
FRAKTION	Q	F	K	G	I	HO	P	P1	C	ERG	S	O	Σ
> 63 μm	35	6	0	3									45
63-36 μm	27	6	0	3									39
36-20 μm	49	8	0	2									61
20-6 μm	70	16	0	11									102
6-2 μm	61	24	0	42									139
< 2 μm	67	67	37										614
Σ	309	127	37	61									1000
Σ	436												

HORIZONT: C*													
FRAKTION	Q	F	K	G	I	HO	P	P1	C	ERG	S	O	Σ
> 63 μm	88	9	0	0									97
63-36 μm	8	1	0	0									9
36-20 μm	32	9	0	2									43
20-6 μm	48	19	0	4									71
6-2 μm	80	50	0	31									164
< 2 μm	80	0	0	-	87	61	68	184	135	-	3	0	615
Σ	336	88	0	37	87	61	68	184	135	3	0	0	999
Σ	424												

HORIZONT: Ap

FRAKTION	Q	F	K	G	I	HO	P	P1	C	ERG	S	O	Σ
> 63 μm	26	3	0	2						0	0	0	31
63-36 μm	137	32	0	8						6	0	8	191
36-20 μm	193	42	0	2						10	0	2	249
20-6 μm	100	37	0	17						5	1	0	160
6-2 μm	34	13	0	13						3	1	0	64
< 2 μm	61	0	27		33	74	0	77	33				305
Σ	551	127	27	42	33	74	0	77	33	24	2	10	1000
Σ	678					283							

HORIZONT: B

FRAKTION	Q	F	K	G	I	HO	P	P1	C	ERG	S	O	Σ
> 63 μm	19	2	0	1						0	0	0	22
63-36 μm	85	21	0	10						5	0	1	122
36-20 μm	232	52	0	6						15	0	0	305
20-6 μm	113	32	0	23						7	3	0	178
6-2 μm	32	15	0	15						6	2	0	70
< 2 μm	46	0	30		33	73	0	88	33				303
Σ	527	122	30	55	33	73	0	88	33	33	5	1	1000
Σ	649					315							

HORIZONT: Bt

FRAKTION	Q	F	K	G	I	HO	P	P1	C	ERG	S	O	Σ
> 63 μm	18	2	0	1						0	0	0	21
63-36 μm	21	5	0	2						0	0	0	28
36-20 μm	153	36	0	4						6	0	2	201
20-6 μm	55	19	0	11						3	1	0	89
6-2 μm	24	11	0	11						4	1	0	51
< 2 μm	67	37	43		49	167	0	173	74				610
Σ	338	110	43	29	49	167	0	173	74	13	2	2	1000
Σ	448					505							

Tab. 3 : Carbonatische Komponenten der Kalksteine %  
 Verteilung des Eisens auf oxidische Ton-Bindung und  $\text{CaCO}_3^+$

PRO-FIL	Gesamt-Carbonat	$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	$\text{FeCO}_3$ ( $\text{FeOOH}$ )	stöchiometr. Dolomit	mol Ca mol Mg	Mg	auf 100 T.Lösgs.-Rückst. fallen				
								Fe aus:		FeOOH aus:		$\Sigma$ FeOOH
								$\text{FeCO}_3$	FeOOH	$\text{FeCO}_3$	FeOOH	
1	950	945	2	3,4 (2,6)	3,4	52	0,4	3,1	0,4	5,0	0,6	5,6
2	966	962	2	1,7 (1,3)	3,5	51	0,5	2,4	0,3	3,8	0,4	4,2
7	914	906	2	5,9 (4,5)	4,5	38	0,6	3,1	0,5	5,0	0,8	5,8
8	934	926	3	5,0 (3,8)	7,2	24	1,0	3,4	0,7	5,5	1,2	6,7
9	986	982	2	1,7 (1,3)	4,0	45	0,5	5,4	0,3	8,6	0,5	9,1
10	966	962	2	1,5 (1,1)	4,8	37	0,6	2,1	0,3	3,3	0,5	3,8
11	972	968	2	1,8 (1,4)	4,0	45	0,5	3,1	0,3	4,9	0,5	5,4
12	974	970	2	1,5 (1,1)	3,8	47	0,5	2,6	0,1	4,2	0,1	4,3
13	984	980	2	1,9 (1,4)	4,3	42	0,6	5,4	0,1	8,5	0,2	8,7
14	946	942	2	1,6 (1,2)	4,6	38	0,6	1,4	0,2	2,3	0,3	2,6
15	987	984	2	1,2 (0,9)	5,4	34	0,7	4,2	0,2	6,7	0,3	7,0
16	960	952	4	3,3 (2,9)	9,8	18	1,3	4,3	0,2	6,8	0,4	7,2
17	952	949	2	0,9 (0,7)	3,2	32	0,7	0,9	0,1	1,4	0,1	1,5

\* einschließlich  $\text{FeOOH}$ , das aus der Fällung des mit  $\text{HCl}$  gelösten  $\text{FeCO}_3$  stammt.

Tab. 4: Anteil, Färbung (Eisenoxid-Gehalt) und Körnung des Kalkstein-Lösungs-Rückstandes

PRO-FIL	GEOLOGISCHE		IN-DEX	FORM, FARBE	NICHTCARBONAT. ANTEIL	
	STU-FE	ZONE			GEW.-%	FARBE
1	unterer Muschelkalk	Schaumkalk und Wellenkalk (Bereich der Schaumkalkzone-Mischung)	mu 2	plattig, grau-gelb	5,0	hellgrau
2		wie 1, doch mehr Wellenkalk	mu 2	dünnpplattig, sehr viel Muschelschill	3,4	hellgrau
7		Wellenkalk, Bereich Schaumkalk/Orbicularis-Schichten	mu 2	plattig, grau	8,6	hellgrau
8	mittl.	Frost- und Bearbeitungsschutt aus mittlerem Muschelkalk	mm	dünnpplattig	6,6	hellbraungelb
9	oberer Muschelkalk	"Trochitenkalk"-Komplex (und mittl. Muschelkalk)	mo 1 mm	blockig	1,4	dunkelbraun
10		"Trochitenkalk"-Komplex	mo 1	blockig	3,4	mittelbraun
11		Trochitenkalk	mo 1	blockig, mit Trochiten	2,8	mittelbraun
12		"Trochitenkalk"-Komplex	mo 1	blockig, meist verbackener Muschelschill	2,6	dunkelbraun
13		"	mo 1	blockig, wenig Schill	1,6	dunkelbraun
14		Ceratitenkalk	mo 2	blockig, wenige, stark detrit. Organismenreste	5,4	hellbraungelb
15		"	"	"	1,3	"
16	"	"	"	4,0	"	
17	"	"	"	4,8	"	

PRO-FIL	Korngrößen ( $\beta$ $\mu$ m) in % nichtcarbonatischer Anteil							KORN-ART	Fe <sub>d</sub> (% KLR)
	>200	200-63	63-36	36-20	20-6	6-2	<2		
1	1	2	8	39	129	153	668	T	4,05
2	3	1	8	92	223	118	550	UT	2,77
7	5	1	4	37	202	231	522	UT	4,84
8	2	21	12	278	203	113	371	UT	7,27
9	62	79	53	121	169	149	367	UT	2,95
10	76	21	9	43	71	164	615	IT	3,18
11	54	19	7	19	90	222	589	UT	3,11
12	47	105	138	193	113	90	314	UT	0,43
13	34	23	17	61	122	147	597	UT	1,47
14	11	36	77	170	168	133	404	UT	1,34
15	3	30	14	83	151	158	561	UT	1,84
16	1	89	73	135	111	109	482	UT	2,37
17	5	32	127	250	169	111	306	UT	0,90

Tab. 5 Fruchtfolge und Erträge (dt/ha bei 14% H<sub>2</sub>O (Getreide) bzw. 10% (Raps))

Jahr	A	B	C	D	E	F	G	H
1972	W. Weizen 32,4							
1973	W. Weizen 30,0							
1974	W. Weizen 28,5							
1975	W. Weizen 24,8	W. Wei. Rogg. 40,1	W. Weizen 47,5	W. Weizen 40,1				
1976	Roggen 18,4	W. Weizen 13,4	W. Weizen 13,4	Roggen 13,4				
1977	W. Weizen 28,4	Rogg. W. W. 38,0	W. Weizen 31,0	W. Weizen 31,0	W. Weizen 31,0	W. Weizen 31,0	W. Weizen 31,0	W. Weizen 31,0
1978	W. Weizen 34,1	Rogg. W. W. 39,7	W. Weizen 37,1	Roggen 39,7	Roggen 39,7	W. Weizen 36,0	W. Weizen 36,0	W. Gerste 41,7
1979	Roggen 24,1	Rogg. W. Wei. 24,3	W. Weizen 26,3	W. Weizen 26,3	W. Weizen 22,4	W. Weizen 22,4	W. Weizen 22,4	Roggen 24,1
1980	Roggen 29,9	Rogg. W. Wei. 26,4	W. Weizen 28,4	W. Weizen 28,4	W. Weizen 18,2	W. Weizen 19,8	W. Weizen 19,8	W. Weizen 24,2
1981	W. Weizen 34,3	W. Weizen 28,0	W. Weizen 28,0	W. Weizen 22,0	W. Weizen 22,0	W. Weizen 25,0	W. Weizen 23,0	W. Weizen 27,6
1982	W. Weizen 24,3	Brache	W. W. Brache 24,3	Brache	Brache	S. Weizen 30,2	S. Weizen 30,2	S. Gerste 36,0
1983	S. Gerste 27,0	Raps 31,5	Raps 31,5	W. Weizen 30,0	W. Weizen 29,3	W. Gerste 31,5	W. Gerste 31,5	W. Weizen 36,0
1984	Raps Brach. 12,5	W. Weizen 53,2	W. Weizen 53,2	W. Gerste 30,0	W. Gerste 30,0	Raps 12,5	--	W. Gerste 36,6

Tab. 6:

## Drakenberg

## A U F W E N D U N G E N ( DM/ha) nach Maschinenringsätzen

	+	1976/77	1977/78	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83	1983/84	Ø
Bodenbearbeit.		122,25	112,07	112,07	143,28	152,74	221,45	199,77	260,87	165,56
Einsaat		246,00	256,51	256,51	247,20	248,44	196,00	176,26	223,68	231,32
Düngung		173,40	280,69	159,80	192,40	271,40	294,75	192,16	269,61	229,77
Pflanzenschutz		142,40	226,13	168,80	215,60	140,36	89,30	103,21	167,06	156,61
Ernte		215,56	232,62	219,72	253,38	259,93	212,17	342,41	324,21	257,50
Pacht		42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00

insges. 1082,76

+ vor 1976 keine genauen Aufzeichnungen

## WASSER- UND STOFFHAUSHALT FLACHGRÜNDIGER KALKSTEINBÖDEN (DRAKENBERG)

Flachgründige Kalksteinböden verfügen über geringes Wasserspeichervermögen und damit über hohe Raten der Grundwasserneubildung. Damit nehmen diese Standorte eine Vorzugsstellung im Hinblick auf die Wassergewinnung ein. Auf der anderen Seite werden sie wegen ihres häufigen Wassermangels zu Problemstandorten für die Landwirtschaft.

Größenordnungen einzelner Glieder des Wasserhaushaltes sind weitgehend unbekannt, weil konventionelle Meßverfahren auf solchen Standorten nicht anwendbar sind. Mit Hilfe einer für diese Standorte angepaßten Lysimetertechnik sollte versucht werden, Wasserbilanzdaten zu gewinnen.

### METHODEN

#### Bilanzierung des Wasserhaushaltes

Der Wasserhaushalt von drei Vegetationsformen (Getreide, Wiese, Busch) wird mit Hilfe von Lysimetern ermittelt. Nach Messung von Niederschlag und Sickerwasser wird als Residualgröße die Gesamtverdunstung bestimmt.

Für jede Vegetationsvariante ist eine Lysimeteranlage von  $4 \times 1 \text{ m}^2$  Oberfläche und 1 m Tiefe vorhanden. Unter den Büschen sind 2 Lysimeter à  $2 \text{ m}^2$  eingebaut. Der Gesteinsverband (20 - 100 cm Tiefe) unter der 20 cm mächtigen Krume ist so wieder aufgebaut worden, daß ein spannungsfreier Abfluß des Sickerwassers möglich ist.

Die Niederschlagsmessung erfolgte in vierfacher Wiederholung (Aufangflächen 200 und  $760 \text{ cm}^2$ ). Die Meßgefäße waren in unmittelbarer Nachbarschaft der Lysimeter sowie im Windschatten der Hecke platziert.

#### Stoffverlagerung

Zur Kennzeichnung der Stoffverlagerung wurden die Gras- und Getreidelysimeter einmalig mit  $20 \text{ g Cl/m}^2$  beschickt. Danach erfolgte für die Dauer von 3 Monaten eine tägliche Wassergabe von 4 mm.

Während dieser Zeit blieben die Lysimeter abgedeckt. Sickerwasserproben wurden täglich genommen.

Parallel hierzu wurden Cl-Verlagerungsversuche auf ungestörten Flächen durchgeführt. Über diese Versuche wird an anderer Stelle berichtet.

Quellwässer am Fuß des Drakenberges und Lysimetersickerwässer wurden über längere Zeit auf Inhaltsstoffe hin untersucht.

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt Untersuchungsergebnisse wieder zur Wasserbilanzierung, Stoffverlagerung, Nährstoffbilanzierung und Stoffkonzentration im Sicker- und Quellwasser.

## ERGEBNISSE

### Wasserkapazität

Die Bodenmächtigkeit beträgt im Versuchsgebiet und in den Lysimeterparzellen 20 cm. Nach Tab. 7 hat der Boden eine Wasserkapazität von 37 Vol%, von denen 15 Vol% auf das Totwasser entfallen. Die nutzbare Wasserkapazität beläuft sich auf 22 Vol% - bei 20 cm Bodentiefe ist das eine Wassermenge von 44 mm. In Abb. 10 ist angegeben, wie der Wassergehalt des Oberbodens, im Verlaufe einer Vegetationszeit kontinuierlich gravimetrisch gemessen, zwischen den genannten Grenzwerten pendelt.

Zu den 44 mm nFK der Krume ist noch diejenige Wassermenge hinzuzurechnen, die im Übergangsbereich Boden/Festgestein in einer Tiefe von 20 bis 100 cm pflanzennutzbar gespeichert werden kann. Diese Menge wurde im Bewässerungsexperiment im Lysimeter mit 20 mm festgestellt, so daß die gesamte nFK der Lysimeter 64 mm beträgt.

### Wasserbilanz

In Tab. 8 sind die 11-jährigen Mittelwerte der Wasserbilanz aufgeführt (große Zahlen). Beim Vergleich Getreide/Wiese zeigt das Getreide hinsichtlich der Sickerwasserspende einen um 18 % höheren Wert als die Wiese; die Differenz beträgt rund 50 mm. Sie erklärt sich aus der höheren Transpirationsleistung der Wiese im Herbst und im zeitigen Frühjahr. Relativ zum Niederschlag liegt die Versickerung bei allen Varianten mit über 50 % recht hoch; damit ist die Rendzina als ein hydrologisch günstiger Standort mit hoher



Rate der Grundwasserneubildung einzustufen.

Auch in der Variante "Busch" liegt die relative Versickerung mit 53 % in der gleichen Größenordnung wie bei Getreide und Wiese. Allerdings sind die absoluten Werte sowohl des Sickerwassers als der ETI höher - dies beruht darauf, daß die Buschlysimeter in einem Heckenstreifen liegen, der in seiner Breitseite windexponiert ist und durch "Auskämmen" des herandriftenden Niederschlages einen um ca. 30 % höheren Wassereintrag hat als das Freiland. Die Ermittlung dieses Mehrbetrages erfolgte durch Niederschlagsmessung im Windschatten der Hecke sowie über die in der verdunstungsarmen Zeit des Winters aufgetretenen Sickerwasserüberschüsse über die Freilandniederschläge.

Die angegebenen erhöhten Niederschlags- und Versickerungswerte haben ausschließlich Gültigkeit für Heckenstreifen. Erhöhter Niederschlag in der Hecke führt zu verringertem Niederschlag im Windschatten der Hecke. Gleiches ist für das Sickerwasser anzunehmen.

Große Areale des Drakenberges haben einen geschlossenen Buschbestand. Für diese Flächen darf natürlich lediglich der Freilandniederschlag als Eintrag zugrunde gelegt werden. Unter der Annahme, daß die Gesamtverdunstung sich nur unwesentlich verändert, würde sich die Verringerung des Niederschlages zu Lasten der Sickerwasserspense auswirken, wie es die Berechnung in der letzten Zeile von Tabelle 8 zeigt.

Die kleinen Ziffern der Tab. 8 kennzeichnen die Schwankungsbreite der Wasserhaushaltsglieder während der 11-jährigen Meßperiode. Hierbei ist zu beachten, daß das niederschlagärmste Jahr nicht automatisch das Jahr höchster aktueller ETI ist und umgekehrt. Bei einer Betrachtung einzelner Jahre zeigt sich vielmehr, daß in den Jahren extrem niedriger wie extrem hoher Niederschläge die ETI (bei Wiese und Getreide kaum abweichend) den Betrag von 320 mm/Jahr nicht überschreitet: im Fall der Trockenheit bedingt durch die Verminderung der Transpiration bei Wassermangel, im Fall zu hoher Feuchte bedingt durch geringen Verdunstungsanspruch der Luft. Höchstwerte der Verdunstung (410 - 420 mm) traten auf in Jahren mittlerer Niederschlagshöhe, jedoch bei optimaler Niederschlagsverteilung während des Sommers mit häufigen, leichten Niederschlägen im Wechsel mit nicht zu langen verdunstungsintensiven Sonnenperioden.

Die Tatsache, daß selbst bei optimalen Witterungsbedingungen bei Getreide und Wiese nie Verdunstungswerte von 410 - 420 mm überschritten werden, kennzeichnet das Untersuchungsareal als einen trockenen Standort.

### Stickstoffhaushalt

Ein Beispiel für den Gang der Nitratkonzentration im Ablauf eines Jahres gibt Abb. 11. Neben den Varianten Wiese und Getreide, gedüngt mit jeweils 160 kg N/ha/a, ist die Nitratkonzentration des Sickerwassers einer Schwarzbrachevariante (ohne Düngung) aufgeführt sowie die einer Quelle, die am Fuß des Drakenberges, ca. 2 km vom Versuchsstandort entfernt und ca. 100 m tiefer, aus dem Muschelkalk austritt.

Markant ist der Unterschied zwischen Wiese und Getreide. Während erstere die Toleranzschwelle für Trinkwasser (50 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ) stets unterschreitet, kommt es beim Getreide zu einem jahreszeittypischen Kurvenverlauf: Spitzenwerte werden erreicht ca. 8 Wochen nach der Düngung, nach ungefähr einmaliger Verdrängung des insgesamt gespeicherten Wassers (s. auch Abb. 41), sowie im späten Herbst/Frühwinter, wenn nach dem Ende der sommerlichen Austrocknung die ersten Sickerwässer austreten. Die Werte liegen dann bei 140 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ; im weiteren Verlauf der winterlichen Durchspülung wird das Wasser nitratärmer und unterschreitet im Spätwinter den genannten Toleranzwert von 50 mg/l. Auch im Hochsommer ist das Sickerwasser nitratarm bis nitratfrei. Die geschilderte Saisonalität des  $\text{NO}_3$ -Konzentrationsverlaufes bei Getreide ist auch in den übrigen Versuchsjahren festgestellt worden.

Aufschlußreich ist das Verhalten der Schwarzbrachevariante. Obgleich ohne Düngung, ist hier die  $\text{NO}_3$ -Konzentration stets höher als 50 mg/l. Während des Sommers ist mangels pflanzlichen Wasserverbrauchs eine durchgehende Sickerwasserabgabe zu beobachten, jedoch ohne daß die ständige Durchspülung des Bodens zu einer Konzentrationsminderung führt. Der bei Getreide beobachtete Peak im Herbst tritt auch bei der Schwarzbrache auf, und zwar auf einem weit höheren Niveau.

Das Quellwasser zeigt kaum saisonale Schwankungen; hier bleibt die Konzentration recht konstant bei 20 mg/l und damit im Bereich der Trinkwassergüte. Nicht dargestellt ist die Nitratkonzentration im Wasser der Buschlysimeter. Sie liegt in gleicher Größenordnung wie die des Quellwassers, aber mit dem Unterschied, daß die Frühjahrs-

und Herbstpeaks etwas deutlicher ausgeprägt sind, ohne jedoch an die 50 mg/l-Marke heranzukommen.

Aus der Verrechnung von Konzentration und Wassermenge ergibt sich die aus Tab. 9 ersichtliche bilanzmäßige Gegenüberstellung von Ein- und Austrag des mineralischen Stickstoffs (Nitrat und Ammonium).

Für Getreide und Wiese ist neben der gedüngten auch die jeweils ungedüngte Variante aufgeführt, dazu wieder die Schwarzbrache und auch die Buschvariante. Die Jahressummen von drei Versuchsjahren sind nebeneinandergestellt.

Bezüglich der N-Auswaschung bestätigt sich die aus den Konzentrationsgängen bekannte Reihung der Varianten: Wiese hat die geringste (unter  $10 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ), Getreide eine deutlich höhere (30 - 60 kg) und Schwarzbrache die höchste Auswaschung (bis 100 kg). Der Vergleich gedüngt/ungedüngt innerhalb einer Variante ergibt eine überraschend geringe Steigerung des N-Austrages durch Düngung: selbst bei einer Düngergabe von 160 kg N/ha betrug die Steigerung nur wenige kg. Es zeigt sich, daß nicht die (maßvoll gehandhabte) N-Düngung verantwortlich an einer Nitrat-Kontamination des Grundwassers ist, sondern unabhängig von der Düngung der Grad der pflanzlichen Bodenbedeckung. Es ist die zeitweilige Bewuchsfreiheit des Ackers, die im Getreidebau Nitratverluste an das Grundwasser bewirkt, wie es in extremer Weise die Schwarzbrachevariante demonstriert, während unter Wiese kaum N-Auswaschung auftritt. Die Buschvariante ist hinsichtlich N-Auswaschung besser als das Getreide, jedoch nicht ganz so vorteilhaft wie die Wiese zu beurteilen; der infolge der Beschattung weniger dichte Gras- und Wurzelfilz verhindert offenbar die vollständige pflanzliche Aufnahme des bei Mineralisationsschüben stoßweise freigesetzten Nitrats.

#### Sulfathaushalt

Die Sulfatkonzentration im Regenwasser liegt bei 10 - 20 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$ , die der Sickerwasser zumeist im Bereich 50 - 150 mg/l. Kurzfristig werden im Herbst - parallel zum Nitrat - Spitzenwerte bis 250 mg/l erreicht; das ist der derzeit gültige Trinkwasser-Grenzwert. Diese Spitzen treten sowohl bei Getreide wie bei Wiese auf, gedüngt und ungedüngt; sie sind bei Buschvegetation gedämpfter (150 mg/l), aber klar vorhanden.

In der Bilanztafel für Sulfat (Tab. 10) zeigt sich, daß der Boden mehr Sulfat abgibt, als ihm im (Feucht-)Niederschlag zugeführt wird. Die Differenz ist auf trockene Deposition, vor allem aber

auf eine nicht unbeträchtliche Lösungsverwitterung von im Kalkstein vorhandenen Gipsbestandteilen zurückzuführen. Ein Vergleich der ungedüngten Varianten in ihrer Sulfatauswaschung ergibt die zu- meist höchsten Werte für die Buschvariante, was auf deren Wind- (und Staub-)exposition und die große Sedimentationsfläche auf den Blättern zurückgeführt wird. Wo mit der Düngung Sulfat zugeführt worden ist, kommt es zu einer merklichen Steigerung der Auswaschung gegenüber ungedüngt. Der Steigerungsbetrag liegt zwar nicht genau, aber doch annähernd in der Höhe der Düngerzufuhr.

#### Wasserwirtschaftlich orientierte Landbewirtschaftung auf Muschelkalkflächen

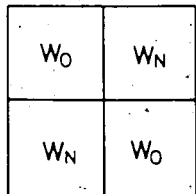
Unter dem Aspekt der Wassermengenwirtschaft ist der Nutzung solcher flachgründiger Böden als Getreide- und Wiesenstandort der eindeutige Vorzug vor der Verbuschung einzuräumen.

Unter dem Aspekt der Wassergütemirtschaft ist für diese Standorte die Forderung zu stellen, im Interesse einer möglichst geringen Nitrat- austragung zum Grundwasser die Ackerfläche nicht beliebig aus- zudehnen, sondern Teilbereiche in Grünlandnutzung zu halten. Scharzbrache bewirkt die höchsten Nitrat- austräge.

Abb. 9 LAGESKIZZE DER LYSIMETERSTATION DRAKENBERG  
(nicht maßstabsgetreu)

WEIZENBESTAND

Weizenparzellen (W)



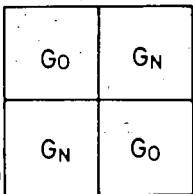
Thermo-  
hygraph

N<sub>H</sub>

N<sub>T</sub>

N<sub>H</sub>

Grünlandparzellen (G)

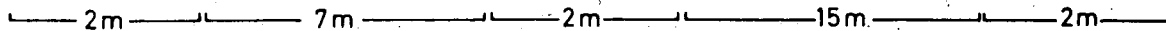
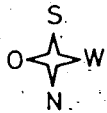
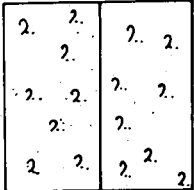


2m

unbewachtet  
(Null)

N<sub>T</sub>

Buschparzellen (B)



TAB. 7: KENNDATEN DES OBERBODENS (0-20 cm)

Munsell	
feucht	trocken
10 YR	
4/2	5/2

Korngrößenverteilung											
[Gew.% d. Ges.amtb.]		[Gew.% d. humus- u. carbonatfreien Feinerde]									
Skelett >2mm	Feine. <2mm	2000	630	355	200	63	35	20	6	2	<0,6 $\mu$
		630 $\mu$	355 $\mu$	200 $\mu$	63 $\mu$	35 $\mu$	20 $\mu$	6 $\mu$	2 $\mu$		-0,6 $\mu$
		1,6	0,7	0,5	1,3	0,9	34,5	14,4	7,4	4,9	33,8
		Sand: 4,1				Schluff: 57,2				Ton: 38,7	

Mineral-Zusammensetzung der Sand- und Schluff-Fractionen						
%						
Quarz	Feldspat	Glimmer	Schwmerz	Schwarzerz	Opak	
69	18	12	0	1		200-63 $\mu$
81	11	8	0	0		63-3 $\mu$

Mineral-Zusammensetzung der Tonfraktion <2 $\mu$ (%)					
Quarz	Kaolinit	Illit	Vermiculit	Smectit	Chlorit
20	5	20	15	30	10

Kationen-Austauschkapazität n. Mehlich (mval/100 g Boden)							
KAK (Ba)	Ca	Mg	K	Na	Ca-Na	H	
35,37	35,93	1,28	1,83	0,37	39,41	0	

Ca	Mg
28	

KAK	Humus
mval	100g
335	

pH	CaCl <sub>2</sub>
7,1	

CaCO <sub>3</sub>	n. Scheibler
2,89	

org. Kohlenstoff	Wästel	Lichterfelde
% C	3,1	3,8

Gesamt-N	% N
0,31	

Corg.	Nges.
10	

Corg. x 1,742	% Hum.
5,4	

Ges.-P	mg/100g B
88,85	

Doppellactat-Ausz. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O	
mg/100g B.	
35,0	41,35

Plact	Pces	x 100
% v. Pges.		
17		

K <sub>act</sub>	K <sub>st</sub>	x 100
% v. K <sub>ges</sub>		
68		

TRG	Tr. Dichte der Festsubstanz	GPV
g/cm <sup>3</sup>	Boden Steine g/cm <sup>3</sup>	Vol. %
1,12	2,57 2,57	56

pF-Charakteristik							
Vol. % H <sub>2</sub> O bei pF-Stufe							
1,0	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	4,2
42	37	35	33	32	30	29	15

FK Totw.	nFK	nFK
A-Horiz. 0-20cm	0-100cm	
mm		
74	30	44
mm		
64		

Kf-Wert <sup>*)</sup>
m <sup>2</sup> sec. cm/d
5·10 <sup>-4</sup> 52

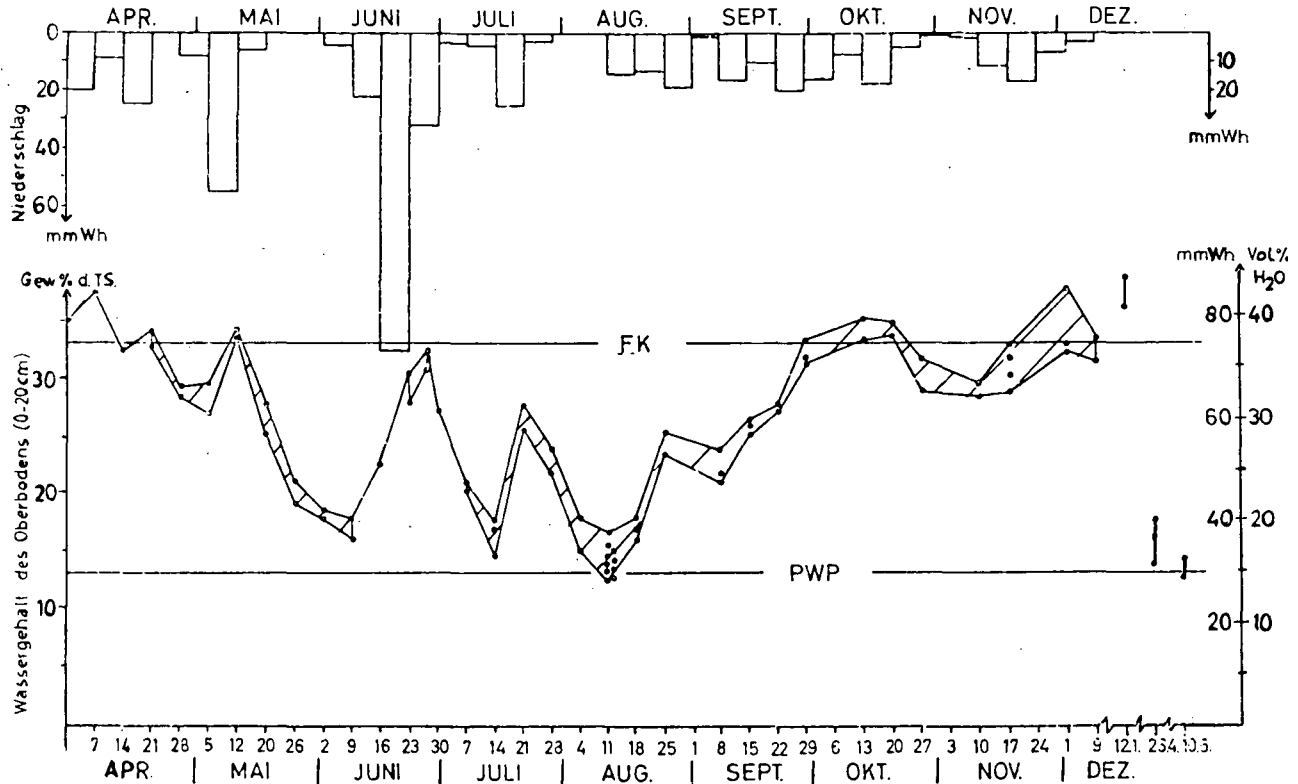
\*) aus: DIETRICH & al. (1973)

Tab. 8: Mittlere Jahreswasserbilanz (Drakenberg)  
 (Zeitraum 1.4.1974 - 31-3-1985)

	N [mm]	= S [mm]	+ ETI [mm]	relative Versickerung [% d. Nied.]
GETREIDE gedüngt	676 (502 - 903)	389 (185 - 602)	287 (202 - 416)	58
WIESE gedüngt	676 (502 - 903)	331 (180 - 553)	345 (212 - 411)	51
BUSCH (Heckenstreifen)	879 <sup>1)</sup> (653 - 1174)	470 (162 - 1108)	409 (280 - 733)	53
BUSCH (geschlossener Bestand)	676	167	409	25

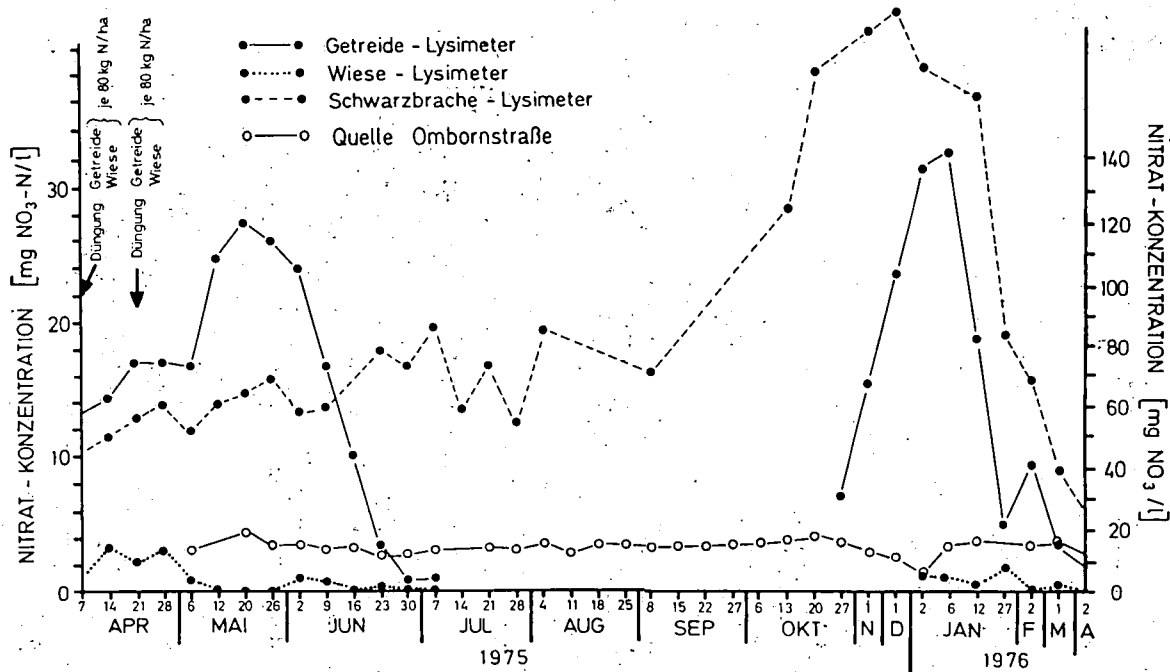
<sup>1)</sup> FN × 1,3

ABB. 1c: NIEDERSCHLAGS- UND BODENFEUCHTEGANG SOMMER/HERBST 1975





**ABB 11:** NITRAT-KONZENTRATION IM SICKERWASSER UND IM QUELLWASSER



	gedüngt						ungedüngt											
	Getreide			Wiese			Getreide			Wiese			Busch			Brache		
Versuchsjahre	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Eintrag Niederschlag	17	16	16	17	16	16	17	16	16	17	16	16	22	21	21	17	16	16
Eintrag Düngung	80	160	40	160	160	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Austrag Sickerwasser	42	54	32	7	4	12	64	51	29	8	2	6	28	22	6	93	105	26
Austrag Erntegut	78	81	71	68	106	0	42	25	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe Eintrag	97	176	56	177	176	96	17	16	16	17	16	16	22	21	21	17	16	16
Summe Austrag	120	135	103	75	110	12	106	76	84	8	2	6	28	22	6	93	105	26
Bilanz	-23	+41	-57	+102	+66	+84	+89	-60	-68	+9	+14	+10	-6	-1	+14	-76	-89	-10

Tab. 9: Stickstoffbilanzen Drakenberg (Nitrat + Ammonium), drei Versuchsjahre 1974/75, 1975/76, 1976/77, Angaben in kgN/ha.Jahr

	gedüngt						ungedüngt											
	Getreide			Wiese			Getreide			Wiese			Busch			Brache		
Versuchsjahre	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Eintrag Niederschlag	24	36	21	24	36	21	24	36	21	24	36	21	31	47	27	24	36	21
Eintrag Düngung	46	109	23	92	125	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Austrag Sickerwasser	125	179	64	159	157	76	89	96	59	90	61	72	115	101	52	93	72	41
Austrag Erntegut	16	19	11	13	21	-	9	6	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe Eintrag	70	145	44	116	161	67	24	36	21	24	36	21	31	47	27	24	36	21
Summe Austrag	141	198	75	172	178	76	98	102	68	90	61	72	115	101	52	93	72	41
Bilanz	-71	-53	-31	-56	-17	-9	-74	-66	-47	-66	-25	-51	-84	-54	-25	-69	-36	-20

Tab. 10: Bilanzen für Sulfat-Schwefel, 3 Versuchsjahre 1974/75, 1976/76, 1976/77, Lys-Drakenberg  
Angaben in kg S/ha.Jahr

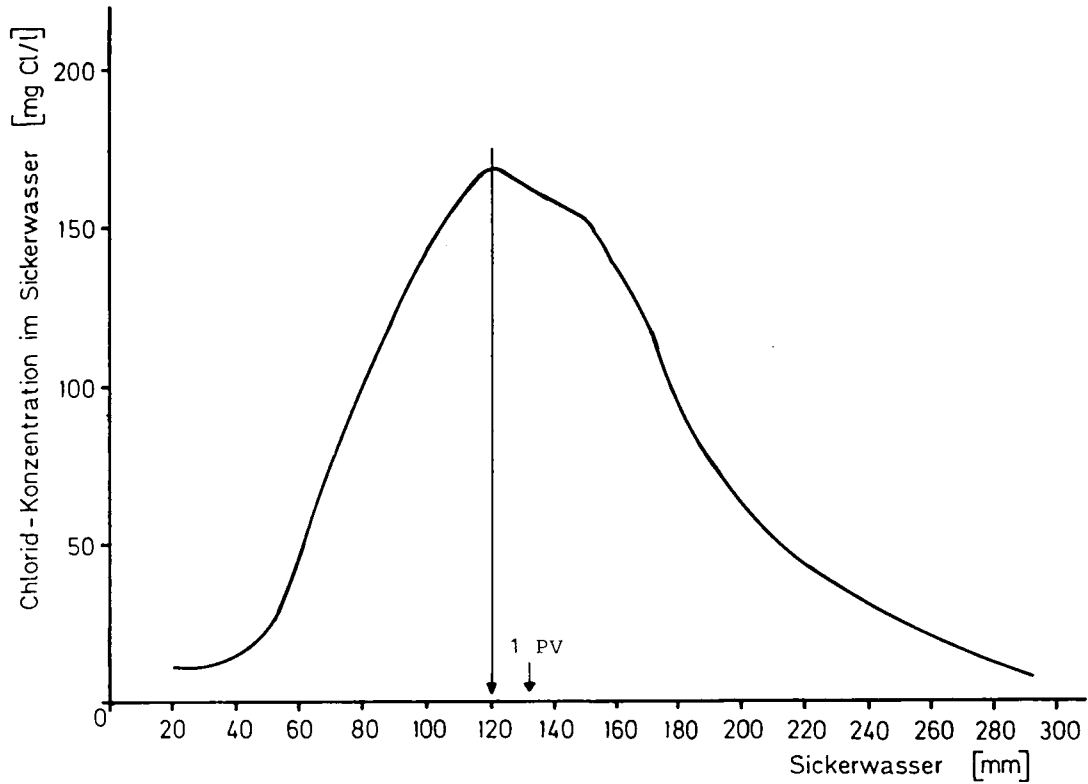


Abb. 11: Chlorid-Durchbruchskurve, Graslysimeter Drakenberg  
 Einmalige Cl-Gabe  $20 \text{ g/m}^2$ , danach 90 Tage 4 mm Beregnung pro Tag,  
 Verdunstung durch Abdeckung unterbunden.



Exkursion

BÖDEN AUS LÖSS

des Leinetalgrabens und seiner Hochflächen-Umrandung

von

Ahl, Chr., H.-G. Frede, S. Gath u. B. Meyer



BÖDEN aus LÖSS im LEINETALGRABEN und seiner HOCHFLÄCHEN-UMRANDUNG

von

Ahl, Chr., H.-G. Frede, S. Gäth u. B. Meyer

Die Besonderheit der Böden aus Löß im Grabenbruch des Leinetals besteht darin, daß sie weit überwiegend zu Beginn des Holozäns eine Phase der Schwarzerde-Bildung durchlaufen haben, in der maximal 55 cm starke dunkle Horizonte entstanden.

Außerhalb des Leinegrabens dagegen begann die Entwicklung mit Braunerden.

In beiden Räumen ist bis heute die Entwicklung der Böden weiter fortgeschritten in der Entwicklungsreihe über die Parabraunerde bis zum Pseudogley.

Das heutige Oberflächen-Mosaik der Böden in dieser Landschaft ist im wesentlichen bestimmt von der unterschiedlichen Geschwindigkeit der Entwicklung oder dem Grad der Konservierung an den verschiedenen Standorten mit ihren unterschiedlichen Standortbedingungen.

Die hier vorgestellten Böden sind in einer Reihe angeordnet, welche die morphogenetische Folge von der Schwarzerde über die Parabraunerde bis zum Pseudogley zumindest widerspiegelt, wenn sie sie naturgemäß auch nicht für jeden Standort darlegen kann. Die Reihe beginnt mit der Schwarzerde, die heute nur noch dort konserviert ist, wo die bodenhydrologischen Bedingungen - Gley und Pseudogley - die Abfuhr des Kalks und damit des wichtigsten konservierenden Faktors verhindert haben.

Solche konservierenden Situationen sind im Leinetalgraben häufig, weil hier die wasserstauenden tonigen Schichten des mittleren Keupers und Lias in weitem Umfang die Unterlage der Lößpakete bilden.

Mit zunehmender Mächtigkeit der Lößdecken und entsprechend größerer Grundwasser-Spiegeltiefe, d. h. zunehmender Sickerwasserspende, hat sich die Schwarzerde über die Griserde (Tschernosem-Parabraunerde) zur Parabraunerde weiterentwickelt, deren Schwarzerde-Vergangenheit durch bis zu 55 cm mächtige Al-Horizonte und mit infiltriertem schwarzem humatumhülltem Ton ausgekleidete Poren dokumentiert wird. Die Reihe endet mit dem Pseudogley, der sich dort aus den Parabraunerden entwickelt, wo in Mulden- oder Hanglage eine Erhöhung der Infiltrationsraten durch Oberflächen- oder oberflächennahes Bodenwasser gegeben ist.



Die Geschwindigkeit der Entwicklung in dieser Reihe hängt ab von

- 1.) Höhe des Grundwasserspiegels im Löß, der über die Jahres-Wasserbilanz  $N = ETI + S$  die Kalkauswaschung steuert.  
Die Böden A, B und D stellen eine solche Sequenz mit fallendem Grundwasserspiegel dar.
- 2.) Zuzug von Oberflächenwasser, davon abhängig bei freier Dränage die Tiefe der Kalkauswaschung und der Erschöpfung der Säurepuffer-Kapazität.  
Die Böden D, E stellen eine  
entsprechende Folge dar.
- 3.) Permeabilität des Lößmaterials. Seit den 60er Jahren beschäftigen wir uns (vgl. die Publikationen von und mit Rohdenburg und neuerdings Ricken, siehe Exkursionsführer Band 34 der Mitteilgn DBG (1982) zur Exkursion Paläoböden in Göttingen) mit der Stratigraphie der Lössе, nicht zuletzt im Hinblick auf die Frage, inwiefern die pleistozäne pedogenetische Präformation die holozäne Pedogenese bedingt.  
Boden C gibt ein Beispiel für die zur obengenannten Reihe parallellaufende Folge der Bodenentwicklung an primären Pseudogley-Standorten mit präholozäner Lößverdichtung.

Die Böden sind im folgenden zusammenfassend in einer Reihe zunehmenden visual-morphologischen Entwicklungsgrades und abnehmender Säurepuffer-Restkapazität (SPRK, "Basensättigung") geordnet. Dabei ist das Glied E, das aus Zeitgründen nicht besichtigt werden kann, ausgelassen worden.

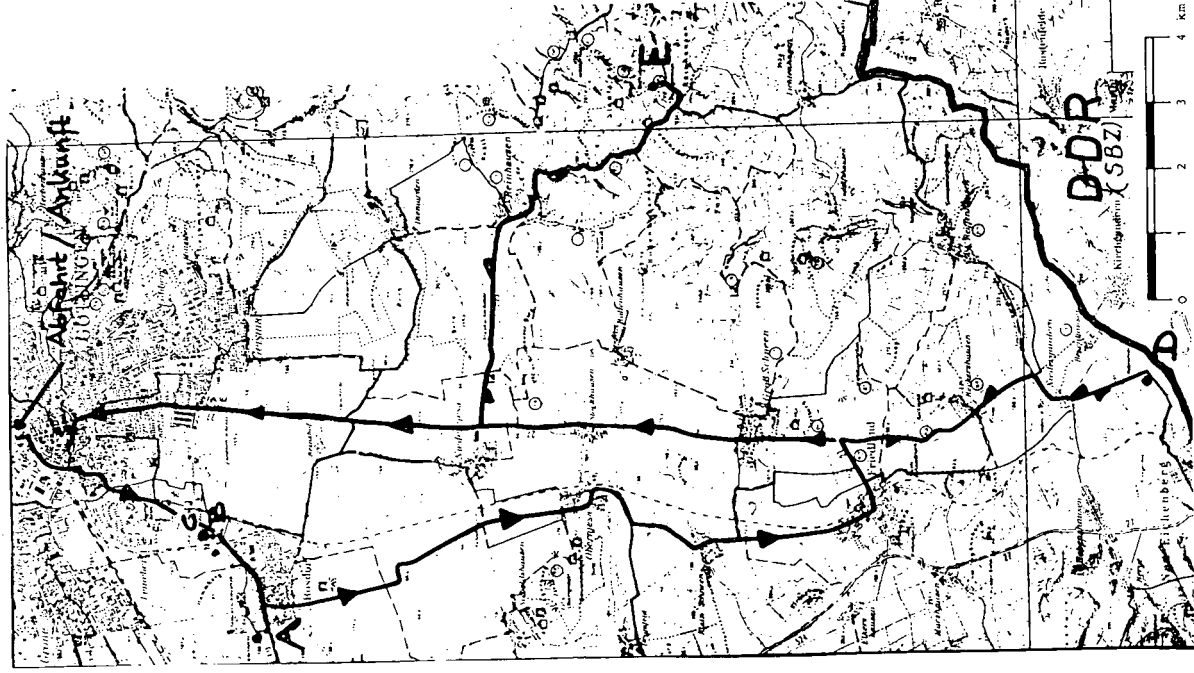
Mit dieser morphologischen Auswahl sind zugleich die Böden einer Bodengesellschaft beschrieben, welche sich in dem für landschaftsökologische Zwecke ausgewählten ÖKOSYSTEM-AREAL ROSDORF befinden.

In diesem rein durch Intensiv-Landwirtschaft genutzten Raum sollen in Zukunft die Teilgrößen und Flüsse des Haushaltes einer Landschaft mit Grundwasser-Austrag verfolgt werden.

Vor dem Abschluß steht eine seit nunmehr 5 Jahren laufende Untersuchung von Stickstoff-Bilanzen bei unterschiedlicher landwirtschaftlicher Betriebsführung.

# BÖDEN AUS LÖSS

LEINETAL-GRABEN UND UMRANDUNG



Führt-Routec:

<h1 style="margin: 0;">BÖDEN AUS LÖSS</h1>	PROFIL <b>A</b>
<b>LEINETAL-GRABEN UND UMRANDUNG</b>	

**BODEN-NAME**

Kartieranleitung: Gley-Schwarzerde <sup>1)</sup>  
 SOIL TAXONOMY: calcareous Aquic Vermudoll <sup>2)</sup>  
 FAO : Calcaric Phaeozem

**STANDORTFAKTOREN**

**AUSGANGSGESTEIN:** 240 cm mächtiger jungwürmzeitlicher Löß über Flußkiesen aus Kalk. Möglicherweise jungtundrenzeitliche Umlagerung des Oberbodens unter Beteiligung von Laacher Bims.

**HYDROREGIME** : Grundwasserspiegel in 2m Tiefe u.O. im Löß, bei höherer Niederschlags-Intensität vorübergehend auf 120 cm ansteigend  
 Vorfluter : Bach in 30 cm Abstand vom Bodeneinschlag

**VEGETATION** : Ackerland (Rüben, Weizen, Gerste)

**RELIEF** : Höhenlage: 168 m üNN  
 Ebener Boden einer breiten Senke, die breit genug ist, um an der Profilstelle eine Erosionsüberdeckung auszuschließen und recht gleichmäßigen Grundwasserzug zu ermöglichen. Grundwasserspiegel kommuniziert mit benachbartem Bachspeigel.

**KLIMA** Temperatur: Luft: Jahresdurchschnitt ca. 8,5°C  
 Boden (50 cm Tiefe): Jahresdurchschnitt min. 8,7°C  
 max. 10,2°C

Niederschlag: Jahresdurchschnitt 613 mm

**MENSCH** Gebiet seit älterer Linienbandkeramik diskontinuierlich in ackerbaulicher Nutzung.

A2

ORT

Rosdorf b. Göttingen, westlicher Ortsrand  
an dem Bach "Beeke" bzw. "Grundbach", ge-  
genüber dem Schießstand.

KARTEN: TK 25: 4425

DGK 5: 4425/26  
(Gr. Ellershausen Süd)

BODENKARTEN:

DGK 5 auf der Grundlage der Bodenschätzung  
1952/1976  
rechts: 3561800    hoch: 5708440

BODENSCHÄTZUNG

L2 Lö 88/92

LITERATUR

A3

1. Scheffer, F., Meyer, B., 1955: Exkursionsführer zur Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Göttingen 1955 - Vervielfält., Selbstverlag DBG. - Profil 2, hier als "kalkreicher Mullgley" angesprochen.
2. Mückenhausen, E., 1959: Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland - Verl. Kommentator, Frankfurt/Main. - Profil Nr. 50, hier als "Schwarzerdeähnlicher Auenboden" angesprochen.
3. Meyer, B., Raddatz, K., Rohdenburg, H., 1963: Eine eisenzeitliche Siedlung in Rosdorf bei Göttingen - ihre stratigraphische Stellung zum Kalksinter-Auelehm-Komplex und ihr keramischer Fundinhalt. - Göttinger Jahrbuch 1963, 33-42.
4. Gebhardt, H., 1964: Bilanzanalytische Untersuchungen zur Silikatverwitterung und zum Stofftransport in feuchten und nassen holozän-Böden aus Löß mit besonderer Berücksichtigung der Feldspatverwitterung. - Diss. Landwirtschaftl. Fakult., Univers. Göttingen
5. Scheffer, F., Meyer, B., 1965: Urgeschichtliche Siedlungsreste in Rosdorf, Kr. Göttingen. IV: Ergebnisse pedologischer Untersuchungen an der Grabungsfäche: Pedogenetische und stratigraphische Phasengliederung und weitere Beiträge zur Herkunft dunkler Grabenfüllungen in Lößgebieten. Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen 2, 72-88 (1965)
6. Scheffer, F., Meyer, B., Gebhardt, H., 1966: Pedochemische und kryoklastische Verlehmung (Tonbildung) in Böden aus kalkreichen Lockersedimenten (Beispiel Löß). - Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde 114, 2, 77-90 (1966)
7. Meyer, B., 1966: Urgeschichtliche Siedlungsreste in Rosdorf, Kreis Göttingen. IV Bodenkundliche Untersuchung an der Grabungsfläche 1965. - Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen 3, 70-81 (1966)
8. Hase, D., Meyer, B., 1969: Feuchte-Jahresgang, Wasserbewegungen und -bilanzen in dicken Würm-Löß-Decken und ihren holozänen Böden (Parabraunerde, Griserde, Feuchtschwarzerde) bei unterschiedlichem Grundwasserstand im Raum Niedersachsen. - Göttinger Bodenkundliche Berichte 11, 85-183 (1969)
9. Helmer, H., 1972: Erstellung einer Bodenübersichtskarte für den Göttinger Leinetal-Graben aufgrund der Daten der Reichsbodenschätzung. Diplomarbeit, Inst. f. Bodenkunde, Landwirtschaftl. Fakultät, Univers. Göttingen. - 31 S., 1 Karte 1 : 50 000
10. Wildhagen, H., Meyer, B., 1972: Holozäne Bodenentwicklung, Sediment-Bildung und Geomorphogenese im Flußauen-Bereich des Göttinger Leinetal-Grabens. - 1: Spätglazial und Holozän bis zum Beginn der eisenzeitlichen Auelehm-Ablagerung. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 21, 1-75 (1972)
11. Mückenhausen, E., 1982: Bodenkunde - DLG-Verlag Frankfurt/M. - Profil-Tafel Nr. 18, hier als "Tschernitzza" angesprochen.
12. Weinzierl, W., 1984: Wasserhaushalt und Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ausgewählter Löß-Standorte im Raum Göttingen. - Diss. Fachber. Agrarwiss., Univers. Göttingen. - 105 S.

A		GLIEDERUNG, GEFÜGE, FARBE, HUMUS											
TIEFE cm	Horizont - Symbole nach				Wur- zel aktiv Gefüge W...	Munsell - Index			organische Substanz				
	Kar- tier- Anteil	Quant. Syst.	FAO	SOIL Tax.		Homogenität	Feucht	Trocken	C <sub>org</sub> x1,724 % TM	C <sub>org</sub> %TM	N <sub>org</sub> %TM	C <sub>org</sub> % N <sub>t</sub>	
													Ziffern: Flächen%
0		4)	A <sub>hp</sub> A <sub>hp</sub> A <sub>h</sub> A <sub>1</sub>	mollic epiped.	5	AGV kot/pd	HOMO	2/1 schwarz	3/2 sehr dunkel graubraun	4,1	2,4	1,8	13
			A <sub>h</sub> A <sub>h</sub> A <sub>h</sub> A <sub>1</sub>		4	AG kot	HOMO			3,9	2,3	1,7	14
-50			A <sub>ch</sub> A <sub>ch</sub> A <sub>kh</sub> A <sub>1ca</sub>	3)	3	AG kot	 CA- TUPFER			6,7	3,9	2,4	16
		5)	A <sub>hkc</sub> A <sub>hkc</sub> A <sub>ck</sub> A <sub>1ca</sub>	hor.?	2	AG AGV kon kot	CA-FLECK W/G/S	7/1 hell grau 5/2 gräul. braun	8/1 weiß 6/2 hell bräunl. gr.	2,2	1,3	1,1	12
100			G <sub>o</sub> G <sub>o</sub> B <sub>wg</sub> C		—	KOM leit 15	REDOX-BIO-FLECKG. G=GRAU(RED),B=BRUN,ROT(OX),S=SCHW(H)	B 80 G 10 S 10		0,6	0,4	0,3	13
			G <sub>o</sub> G <sub>o</sub> B <sub>g</sub> C		—	KOM (leit) 10		G 25 S 70 S 5		0,4	0,3	0,2	15
			G <sub>ro</sub> G <sub>ro</sub> B <sub>g</sub> B <sub>r</sub> C		—	KOM (leit) 5		G 5 S 74 S 4		0,5	0,3	0,2	15
150			G <sub>or</sub> G <sub>or</sub> B <sub>g</sub> B <sub>r</sub> C		—	KOM		B < 5 G > 75 5/6 17 (dunkel) gelb. braun 5/7 4/5 (tief) braun 5/7 5/2 (oliv. grau umben) 5/7 5/2 (gräulich braun (oben)) S: 10 YR 2/1		0,4	0,3	0,2	15
			G <sub>r</sub> G <sub>r</sub> B <sub>r</sub> C		—	KOM		B < 5 G > 75 5/7 5/2 (hell (oliv.) grau hell (bräunl.) grau S: 10 YR 3/2		0,5	0,3	0,2	15
			G <sub>r</sub> G <sub>r</sub> B <sub>r</sub> C <sub>g</sub>		—	KOM		B < 5 G > 75 5/7 5/2 (hell (oliv.) grau hell (bräunl.) grau S: 10 YR 3/2		0,4	0,3	0,2	15
200	GW		G <sub>r</sub> G <sub>r</sub> B <sub>r</sub> C <sub>g</sub>		—	KOM		B < 5 G > 75 5/7 5/2 (hell (oliv.) grau hell (bräunl.) grau S: 10 YR 3/2		0,5	0,3	0,2	15

A4

ANMERKUNGEN zu Seite A1 und A5

- S. A1 1.) Wir bevorzugen "Gley-Schwarzerde" statt "Gley-Tschernosem" wegen der andersartigen Verwendung von "Tschernosem" im FAO-System.
- 2.) Zur Benennung nach der SOIL TAXONOMY:  
 CALCAREOUS AQUIC VERMUDOLL - Der Boden ist im Sinn der suborder ein UDOLL (entsprechend udic moisture regime). Er dürfte dann jedoch keinen "CALCIC HORIZON" haben, der nur dem USTOLL zugesprochen wird. Hat unser Boden einen CALCIC HORIZON? - Rechnen wir den Ahkc-Horizont und den Ahc-Horizont zusammen, so erhalten wir über 15 cm Dicke, die lufttrockenen Fragmente zerfallen in Wasser, der Äquivalent-CaCO<sub>3</sub>-Gehalt liegt über 15 % und ist - jedoch nur im Ahkc-Horizont - um 5 Vol. % höher als im C-Horizont, auch im Hinblick auf feinkörniges Sekundärcarbonat. Danach wäre ein CALCIC HORIZON vorhanden, was für UDOLLS nicht sein darf.  
 Es wäre zur Vermeidung von Irrtümern schon auf dem Niveau der Suborder vorzuschlagen, den CALCIC HORIZON schärfer zu definieren, um sein Vorkommen in UDOLLS auszuschließen, oder das Vorkommen von CALCIC HORIZONS in UDOLLS zuzulassen.  
 Die Great Group VERM ist sicher bestimmbar, aber keine der 4 zulässigen Subgroups (Haplic, Lithic, Entic und Typic) paßt für den vorliegenden Boden. Hier kann von dem Recht auf eigene Namenswahl Gebrauch gemacht werden. Wir schlagen "AQUIC" vor.  
 Als Familienname sollte "CALCAREOUS" verwendet werden, um den im gesamten Profil reichlich vorhandenen und an keiner Stelle gegenüber dem Primärzustand verminderten Gehalt an Kalk zu kennzeichnen.
- 3.) Zur Benennung nach FAO:  
 Statt CALCARIC PHAEOZEM könnte auch MOLLIC GLEYSOL verwendet werden. Die Definitionen sind nicht scharf genug. Wir bevorzugen aus dem gleichen Grund, aus dem die Kartieranleitung nur den Namen "Gley-Schwarzerde" verwendet, nicht aber "Schwarzerde-Gley", den Namen "CALCARIC PHAEOZEM".
- S. A4 4.) Statt Ap wird Ahp verwendet, um zu kennzeichnen, daß Tab. A dieser Ap aus dem Ah-Horizont der Schwarzerde (und nicht z.B. aus einem Al-Hor.) hervorgegangen ist. Vor dem p sollte der ursprüngliche Charakter des A-Horizontes angegeben werden.
- 5.) Die Kombination "kc" ist bislang nur für C-Horizonte verwendbar. Hier ergibt sich die Notwendigkeit einer Kombination mit Ah.
- 6.) AG Aggregat-Struktur  
 AGV Aggregatverbund-Struktur  
 KOM Kompakt-Struktur  
 Aggregat-Formen: kot Kotballen  
 pol Frost- und Austrocknungs-Schrumpfpolyeder  
 Poren-Formen: leit vertikale Leitbahnen  
 ziffern; mittlerer Abstand der Leitbahnen
- 7.) Der CaCO<sub>3</sub>-Anreicherungshorizont ist zwar nicht, zumindest nicht gleichmäßig horizontal durchlaufend, faßt man aber Ahc und Ahkc zusammen, so ergibt sich ein Mischgehalt dieses Horizontes an CaCO<sub>3</sub> der 8,9 Vol. % CaCO<sub>3</sub> entspricht. Primär sind in diesem Horizont höchstens 3,9 Vol. % CaCO<sub>3</sub> gewesen, so daß 5 Vol. % CaCO<sub>3</sub> angereichert worden sind und zwar überwiegend in fein verteilter Form. Damit ist auch auf andere Weise im dichotomen Schlüssel für "Calcic Horizons" die Bedingung für einen solchen erfüllt.

B		DICHTE; PORENMENGEN - VERTEILUNG (Vakuumsättigung) <sup>18)</sup> <sup>19)</sup>												
TIEFE cm	TD g·cm <sup>-3</sup>	GPV Vol. %	Porenklassen-Menge (Äquivalentdurchmesser in µm)									% Boden-Volumen		
			> 300	300-50	50-30	30-15	15-10	10-6	6-3	3-0,6	0,6-0,2	<0,2		
			<small>pf 1,0</small>	<small>pf 1,0 - 1,8</small>	<small>pf 1,8 - 2,0</small>	<small>pf 2,0 - 2,3</small>	<small>pf 2,3 - 2,5</small>	<small>pf 2,5 - 2,8</small>	<small>pf 2,8 - 3,0</small>	<small>pf 3,0 - 3,7</small>	<small>pf 3,7 - 4,7</small>	<small>pf 4,7</small>		
			schnell drainende Grobporen			langsam drainende Grobporen			Mittelporen		Engporen		Engporen Totwasser	
Weitporen			leicht pflanzenverfügbar			schwer pflanzenverfügbar								
0	1,34	47,5	2,2	7,3	1,3	2,0	1,0	1,3	0,8	11,3	2,2	18,1		
			9,5		4,3			15,6				18,1		
			9,5	10,8		5,6		5,1		14,3		13,5	18,1	
			2,4	10,5	2,9	2,3	1,0	1,2	0,7	10,1	2,0	18,1		
			12,9		6,2			14,2		12,1		18,1		
			12,9		15,8		7,4		5,2		12,8		12,1	18,1
	50	0,96	59,6	3,9	12,4	1,6	2,0	1,2	0,9	1,0	14,2	5,2	17,2	
				16,3		4,8			21,3				17,2	
				17,9				5,1		19,4			17,2	
				16,3		5,7			5,1		20,4			17,2
				0	2,0	1,0	1,4	1,3	1,8	1,7	11,0	5,5	16,8	
				2,0		3,0			6,2		20,0		16,5	
100	1,52	42,5	2,0	0,6	0,5	1,2	1,9	1,7	1,8	16,1	3,7	11,9		
			0,6		3,6			23,3				11,9		
			0,6	1,1		4,3		6,6		21,6		19,8	11,9	
			0	0,1	0,1	0,4	1,7	1,2	1,1	15,3	3,0	13,0		
			0,1		2,2			4,4		20,6		18,3		13,0
			0,1		0,2		3,4		4,4		19,4		18,3	13,0
150	1,73	34,7	0	0	0,1	0,3	0,2	1,2	1,1	14,8	4,4	12,6		
			0		0,6			21,5				12,6		
			0		0,1		1,8		2,8		20,3		19,2	12,6
			0	0	0	0	0,5	1,1	1,1	17,6	3,8	12,5		
			0		0,5			2,8		23,6		21,4		12,5
			0		0		1,6		2,7		22,5		21,4	12,5

24)



C KAPILLARWASSER - MENGENVERTEILUNG (Kapillare Sättigung)												
TIEFE cm	Kapillarwasser-Menge (Äquivalentdurchmesser in $\mu\text{m}$ )										nFK	
	> 300 < pF 1,0	300-50 pF 1,0-1,8	50-30 pF 1,8-2,0	30-15 pF 2,0-2,3	15-10 pF 2,3-2,5	10-6 pF 2,5-2,8	6-3 pF 2,8-3,0	3-0,6 pF 3,0-3,7	0,6-0,2 pF 3,7-4,2	< 0,2 > pF 4,2	1,8-4,2	2,3-4,2
0	Weitporen Luftporen			Mittelporen Leicht pflanzenverfügbar			Engporen Schwer pflanzenverfügbar			Engporen Totwasser		
	1,8	8,5	0,9	1,7	0,9	1,2	0,6	11,1	2,0	18,1	18,4	15,8
	11,2		4,4			13,1		18,1				
	10,3		4,7			13,7		18,1				
	1,8	11,1	2,5	2,3	1,0	1,7	0,6	9,9	2,2	18,1	20,2	15,4
	12,9		7,5			12,1		18,1				
	15,4		5,6			12,7		18,1				
-50	6,6	9,9	2,0	1,5	1,2	1,7	1,8	13,0	4,4	17,5	25,6	22,1
	18,5		6,2			17,4		17,5				
	16,5		6,4			19,2		17,5				
-100	2,0	3,2	1,4	1,5	0,5	1,7	1,6	13,6	3,7	11,9	24,0	21,1
	6,6		5,3			17,3		11,9				
	5,2		5,1			18,9		11,9				
-150												
-200												

-370-

A7

D LEITFÄHIGKEIT DES BODENS (kapillare Sättigung), LEITFÄHIGKEIT DER KAPILLAREN

		Leitfähigkeit des Bodens bei Tension p cm H <sub>2</sub> O..										spez Leitfähigkeit zw. den Porendurchmessern (µm)...						
TIEFE cm		+∞ (kf)	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,7	4,2	∞ u.50	50 u.30	30 u.15	15 u.10	10 u.6	6 u.3	3 u.0,6	0,6 u.0,2
		cm·d <sup>-1</sup>	cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>										cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>					
0		31,5	141	75	29	18	6	3,2	0,4	0,1	30410	7333	2706	1222	1000	450	26	15
50																		
100	23)	3,0	78	49	24	15	8	5	0,9	0,3	5610	2071	1000	1800	412	188	30	16
150																		
200																		

ANMERKUNGEN zu Seiten A6, A7 u A8
-----------------------------------

## TABELLEN B, C u D

- S. A6 18.) Porengrößen-Verteilung: Wenn wie üblich Stechzylinder-  
Tab. B proben durch kapillaren Aufstieg und anschließende Über-  
stauung mit Wasser aufgesättigt werden, bleiben etliche  
Anteile des Poren-Volumens mit Luft gefüllt. Dies ist  
auch in der Natur der Fall, und zur Herstellung von  
k- $\phi$ -Funktionen sollten die bei kapillarer Aufsättigung  
gemessenen  $\psi$ - $\phi$ -Beziehungen verwendet werden.  
Für die Beurteilung von Struktur-Phänomenen und damit  
in Zusammenhang stehenden Umverteilungen der Poren ist  
jedoch methodisch die volle Aufsättigung aller Poren  
im Luftvakuum erforderlich.  
Da verschiedene Autoren unterschiedliche Porengruppen  
zusammenfassen, haben wir als Rechenhilfe verschiedene  
Summen gebildet. Mit Hilfe von Markern lassen sie sich  
deutlicher, als es hier geschehen konnte, hervorheben.
- " 19.) Dichte der Grundstruktur (Matrix)  
Die Dichte der Bodenmasse-Grundstruktur (Matrix-Dichte)  
ist hier am ehesten durch das Verhältnis der Poren mit  
Wasser hoher ( $pF$  2,0 bis 3,0) zu Poren mit Wasser ger-  
inger Pflanzenverfügbarkeit ( $pF$  3,0 bis 4,2) zu charakte-  
risieren. Der Anteil ersterer an der Summe aller Poren  
mit pflanzenverfügbarem Wasser beträgt von oben nach  
unten in %: 27, 30, 21, 27, 25, 19, 13, 11. Er zeigt im  
Schwankungsbereich des Grundwassers eine starke Matrix-  
Verdichtung des Lösses an, die nicht durch pleistozäne  
Präformation (niedrige Ton-Gehalte!) erklärt werden kann,  
sondern als Knet-Effekt in Zusammenhang mit Luftein-  
schlüssen gedeutet wird und typisch für viele Gor-Hori-  
zonte in Lössen ist.
- S. A7 20.) Der zur Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser fähige  
Tab. C Porenraum beträgt in Vol.% von oben nach unten: 18.6,  
17.3, 24.5, 22.7, 26.4, 22.7, 22.0, 24.1.
- " 21.) Der Totwasser-Gehalt in Vol.%, bezogen auf den Ton < 2 $\mu$ m  
(+FeOOH) beträgt von oben nach unten: 0.91, 0.83, 0.82,  
0.91, 0.69, 0.92, 0.91; 1.08, was als typisch für nicht  
aggregierte Tone angesehen wird.
- " 22.) Die Zeile 90-110 cm zeigt, daß Luftblockade bis in die  
Matrixporen mit  $pF > 3,0$  möglich ist - jedoch nur im Löss  
mit seiner m.o.w. primären Lagerung.
- S. A8 23.) Die geringe Leitfähigkeit des Go-Horizontes ergibt sich  
Tab D daraus, daß bei der Probenahme die vertikalen Luftleit-  
bahnen ausgeschlossen wurden. Es handelt sich allein um  
die kf-Werte der Bodenmasse-Grundstruktur.

E KORNKLASSEN-MENGENVERTEILUNG, Ca,Mg-CARBONATE, HUMUS, FeOOHdith.																
% humus- u. carbonatfreie Trockenmasse (Ø in µm)																
TIEFE cm	Humus (1,724 C)	CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	>2000	SAND				SCHLUFF				TON			Boden- art	
				2000 - 630	630 - 200	200 - 63	Σ	63 - 20	20 - 6	6 - 2	Σ	<sup>25)</sup> Silikat	<sup>24)</sup> <2 FeOOH <sub>d</sub>	Σ		
0	4,7	96	0	0,6	0,4	2,9	3,9	34,6	32,2	9,5	76,3	18,3	1,5	198	TU	
	4,5	102	0	0,4	0,6	4,8	5,8	36,8	29,1	6,4	72,3	20,2	1,7	219	TU	
-50	8,5	178	0	0	2,4	6,3	8,7	40,7	23,3	6,2	70,2	18,6	2,3	211	TU	
	4,2	87,4	0	4,6	6,1	3,6	14,3	47,2	8,6	11,3	67,1	16,9	1,7	186	TU	
	0,7	11,9	0	0	0,2	0,9	1,1	42,7	30,2	7,5	80,4	17,2	1,3	18,5	TU	
100	0,4	11,7	0	0	0,2	2,5	2,7	55,9	20,2	3,9	80,0	16,7	0,6	17,3	TU	
	0,6	11,7	0	0	0,2	2,6	2,8	56,0	20,5	6,5	83,0	13,8	0,4	14,2	TU	
-150	0,4	11,0	0	0	0,3	3,4	3,7	56,2	21,4	4,9	82,5	13,5	0,3	13,8	TU	
	0,6	10,8	0	0	0,3	2,8	3,1	54,2	26,5	4,6	85,3	11,3	0,3	11,6	TU	
200																

-1/3-

A10

F PUFFERUNGZUSTAND																			
TIEFE cm		pH		(Ca, Mg)	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	KAK <sub>tot</sub>	KAK <sub>min</sub>	Austauschbare Kationen								V-Wert	Ca : Mg		
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	mg:100g Boden	10 <sup>-3</sup> mol IE / 100 g Boden	10 <sup>-3</sup> mol IE / 100 g Ton	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>	%	Ca	Mg	
				% TrM				10 <sup>-3</sup> mol IE / 100 g Boden-Mat. (% KAK)									z)	am-	Aus-
																	Carbonat	taucher	
	0							0,1	0,2	1,1	25,5	0,1	0	0,8	0	97	13	23	
								(0,4)	(0,7)	(4,0)	(92,4)	(0,4)	(0)	(2,9)	(0)				
								0,1	0,1	1,0	24,3	0,1	0	0,4	0	92	13	23	
								(0,4)	(0,4)	(3,6)	(87,4)	(0,4)	(0)	(1,4)	(0)				
	50							0,4	0,1	1,3	31,1	0,1	0	0,5	0	100	21	24	
								(1,3)	(0,3)	(4,4)	(105)	(0,3)	(0)	(1,7)	(0)				
								0,1	0,1	0,7	33,3	0,1	0	1,0	0	100	29	48	
								(0,3)	(0,3)	(2,0)	(96,8)	(0,3)	(0)	(2,9)	(0)				
								0,4	0,3	0,3	13,0	n.b.	n.b.	n.b.	0	100	4	43	
								(3,3)	(2,5)	(2,5)	(107)				(0)				
	100							0,4	0,2	0,2	8,0	n.b.	n.b.	n.b.	0	100	3	40	
								(5,7)	(2,9)	(2,9)	(113)				(0)				
								0,4	0,2	0,2	7,8	n.b.	n.b.	n.b.	0	100	4	39	
								(5,7)	(2,9)	(2,9)	(111)				(0)				
	150							0,4	0,2	0,2	7,6	n.b.	n.b.	n.b.	0	100	4	38	
								(5,8)	(2,9)	(2,9)	(110)				(0)				
								0,4	0,3	0,3	8,0	n.b.	n.b.	n.b.	0	100	4	27	
								(5,7)	(4,3)	(4,3)	(114)				(0)				
											29)								
	200																		

ANMERKUNGEN zu den Seiten A10 und A11

Tab. E u. F

- S. A10 24.) Aus analytischen Gründen - es ist zweckmäßig bei der Korngrößenanalyse die Reduktion der freien Eisenoxide vor der Oxidation des Humus vorzunehmen - und wegen der Bindung der nichtkonkretionären Eisenoxide an den Ton wird hier das freie Eisenoxid zum Ton gerechnet.
- " 25.) Die Zunahme des Gehaltes an Silikat-Ton von 11,2 (unten) auf 16,6 % im Go-Horizont (oben) wird kryoklastischer Verlehmung in den letzten Phasen der Jungwürm-Zeit zugeschrieben, die ohne entsprechende Vermehrung des Gehaltes an freiem Eisenoxid abgelaufen ist. In früheren Untersuchungen wurde darauf hingewiesen, daß auch im A-Horizont kryoklastische Tonbildung stattgefunden hat.
- S. A11 26.) Die Kalkanreicherung zwischen 40 und 57 cm wird nach den durchgeführten Wasser- und Stoffbilanz-Untersuchungen nicht auf Konvektion, sondern auf diffusive Effloreszenz an einer Porositäts- und Temperatur-Sprung-Fläche angesehen. Die Erhaltung des Kalks im A-Horizont ist darauf aufbauend Folge der intensiven Bioturbation (VERMUDOLL).
- " 27.) Einen weiteren Hinweis hierauf liefert das Atom-Verhältnis von Ca : Mg, das im gesamten A-Horizont, dem Kalkanreicherungshorizont, wesentlich größer als im G-Horizont ist.
- " 28.) Die Bestimmung der KAK mit auf pH 8,2 gepufferter BaCl<sub>2</sub>-Lösung führt wegen BaCO<sub>3</sub>-Fällung und Wiederauflösung zu Fehlbestimmungen, besonders bei Bodenproben mit viel feinem Sekundärcarbonat und führt zu ...
- " 29.) methodisch bedingten fehlerhaft überhöhten Werten des Austausch-Ca, selbst wenn das Gips-Ca abgezogen wird.

G EXTRAHIERBARES Fe, Mn, Al, Si (d=Dithionit/Citrat, o=Oxalat)

TIEFE cm	Fe-Mn-Gesamt		Fe				Mn		Verhältnisse		Al		Si		Verhältnisse	
	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>
	%o	ppm	%o		Fe <sub>d</sub>	Ton	ppm		Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	%o		%o		Si <sub>d</sub>	Si <sub>o</sub>
0	29,2	510	8,3	2,5	0,30	5,5	288	274	29	9	12 0	17 19	5,3	3,2	0,23	0,58
	29,1	490	9,3	2,5	,26	5,4	304	269	31	9	13 0	17 20	3,3	3,3	0,39	0,61
-50-	35,4	440	11,4	3,9	,34	8,2	264	200	43	19	18 0	32 30	3,0	3,3	0,60	0,92
	21,2	540	5,5	0,6	,11	6,8	331	75	17	8	0,8	3,8	3,0	3,2	0,26	1,16
-100-	22,9	350	7,3	0,4	,05	5,0	104	44	71	8	0,8	1,2	4,9	2,9	0,17	0,43
	15,9	300	3,1	0,3	,11	1,9	61	34	50	10	0,8	1,1	5,3	2,8	0,14	0,39
	15,1	250	2,2	0,3	,16	1,6	73	40	30	8	1,6	1,5	6,6	3,1	0,24	0,48
-150-	12,5	230	1,6	0,3	,19	1,3	73	40	22	8	1,0	0,8	8,3	2,3	0,13	0,45
	12,6	230	1,7	0,3	,17	1,6	73	46	24	7	0,6	0,3	8,7	3,0	0,07	0,11
			30)	32)			31)	32)			33)	34)				
-200-																

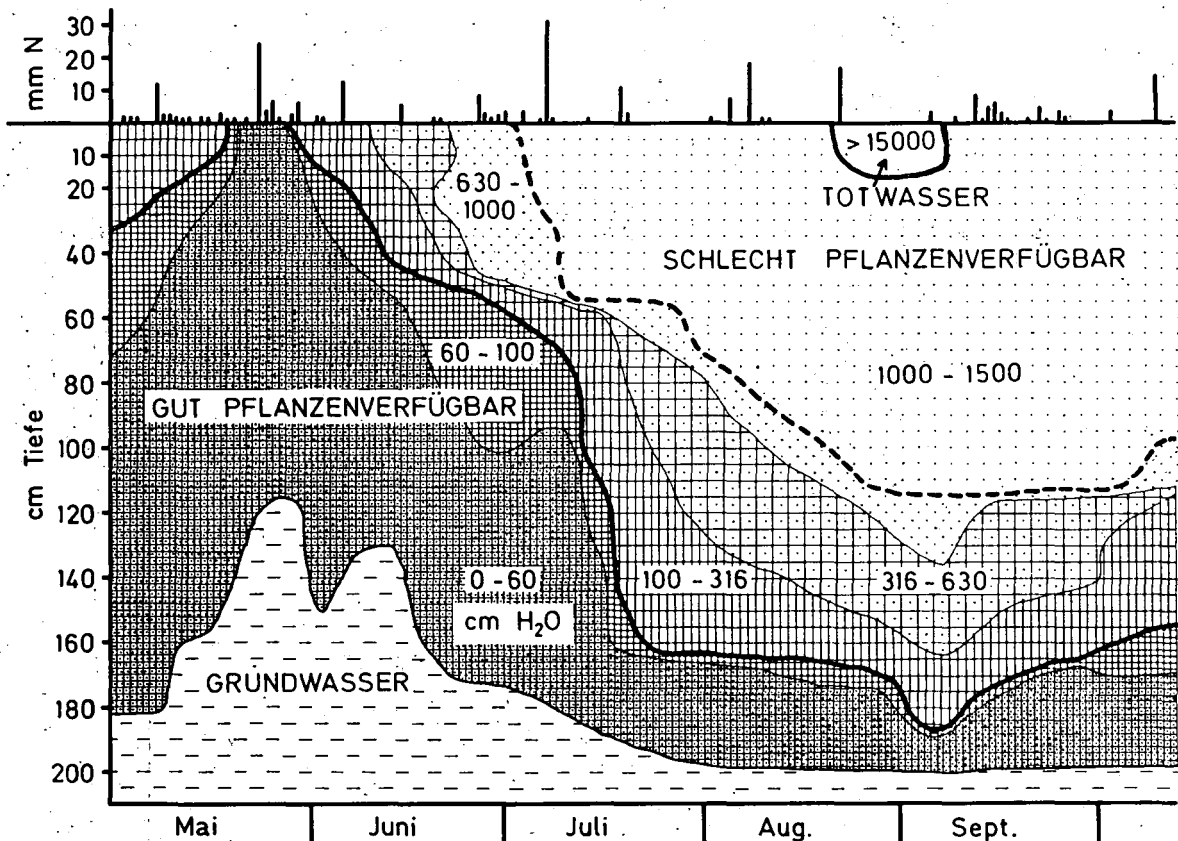
A13

ANMERKUNGEN zu Seite A13

Tab.G

- 30.) Gr-, Gor-, Gro- und unterer Abschnitt des Go-Horizontes sind gegenüber dem bodenbildenden LÖß in seinem ursprünglichen Zustand (vgl. Boden D) stark an dithionitlöslichen freien Eisenoxiden verarmt, der obere Go-Horizont-Abschnitt und der gesamte A-Horizont dagegen angereichert, und zwar über den Betrag, welcher der pedochemischen Tonbildung zuzuschreiben wäre, hinaus.
- 31.) Das dithionitlösliche Mn-oxid ist im gesamten Boden gegenüber dem ehemaligen bodenbildenden LÖß vermindert. Dies gilt besonders für alle G-Horizont-Abschnitte, auch den oberen des Go-Horizontes, in dem Fe<sub>2</sub> angereichert ist. Dies dürfte Folge der höheren Redox-Mobilität des Mn sein. Die Anreicherung von dithionitlöslichem Fe und Mn im Ah-Horizont wird in ähnlicher Weise wie bei der Anreicherung des Kalks so erklärt, daß an und oberhalb der strukturellen Sprung-Fläche zwischen Ah- und Go-Horizont CaCO<sub>3</sub>, FeOOH und MnO<sub>2</sub> ausgefällt und durch Biomixion im A-Horizont mechanisch von unten nach oben eingemischt worden sind: vgl. die im A-Horizont von unten nach oben abnehmenden CaCO<sub>3</sub>- und FeOOH-Gehalte.
- 32.) Der Anteil des oxalatlöslichen Fe und Mn am dithionitlöslichen ist im A-Horizont entsprechend den hohen Humusgehalten hoch.
- 33.) Im A-Horizont sind die mit Hilfe der AAS und der Aluminon-Anfärbung analysierten Gehalte an extrahierbarem Al gesondert aufgeführt (AAS links, Aluminon rechts). Während in allen anderen Horizonten bei Dithionit- und Oxalat-Extraktion keine oder nur geringe Unterschiede im Al-Gehalt bei den beiden Nachweisverfahren auftreten, ergibt die Aluminon-Methode im Dithionit-Extrakt des A-Horizontes keinen Al-Nachweis.
- 34.) Die im A-Horizont höheren Gehalte an oxalatextrahierbarem Al legen die Annahme nahe, daß hier - wie in anderen in Senken- und Hangfußposition gelegenen Schwarzerden z.T. - visuell nachweisbar - Allophan aus ehemaligen Beimischungen von Laacher Bims an der oxalat-extrahierbaren mineralischen Bodenkomponente beteiligt ist.





Boden A, SCHWARZERDE, ZEITGANG DES GRUNDWASSER-SPIEGELS und CHRONOISOPLETEN DER GRUNDWASSER-TENSION  
 Ausgewähltes Beispiel: Feuchter Frühsommer und sehr trockener Hochsommer 1983. - Hohe Dichte und geringe  
 Leitfähigkeit des Gr-Horizontes bedingt Verzögerung des abwärts und des aufwärts gerichteten Tension-  
 Ausgleichs. - Trotzdem sind Trockenjahre auf diesem Standort Hohertragsjahre entsprechend ausreichendem  
 Angebot an pflanzenverfügbarem Wasser.

<b>BÖDEN AUS LÖSS</b>	<b>PROFIL B</b>
<b>LEINETAL-GRABEN UND UMRANDUNG</b>	

**BODEN-NAME**

Kartieranleitung: "haftnässpseudogleyige"<sup>1)</sup> Tschernosem-Parabraunerde (Griserde)  
(m. Gley im Untergrund)

SOIL TAXONOMY : Typic Hapludalf

FAO : Transition Phaezem-Luvisol

**STANDORTFAKTOREN**

AUSGANGSGESTEIN: 7 m Jungwürm-Löß über Lias-Pelit

HYDROREGIME : Grundwasserspiegel in 250 - 400 cm Tiefe schwankend. Verlassene Tongrube und Bundesbahn-Einschnitt mit 5 - 6 m Tiefe wirken als rezent stark entwässernde Vorfluter.

VEGETATION : Ackerland (Rüben-Weizen-Gerste-Rotation)

RELIEF : Höhenlage: 159 m üNN  
Flach auslaufende Fußzone eines Hanges, der mit 3,5 ‰ zum 680 m entfernten Hamberg (183 m ansteigt).

KLIMA : siehe Profil A

MENSCH : siehe Profil A. Linienbandkeramische Großsiedlung in 200 m Entfernung. In der Nachbarschaft des Bodeneinschlages ebenfalls dunkle Siedlungsgruben (Lit. s. Boden A)

B2

ORT

Rosdorf bei Göttingen. Anfahrt: Vor NE-Ortseinfahrt auf der "Göttinger Straße" von Göttingen kommend hinter dem DB-Einschnitt rechts in den Feldweg einbiegen, ehemalige Ziegeleigrube "Meurer" auf der W-Seite.

KARTEN: TK 25: 4425

DGK 5: 4425/27 (Rosdorf)

BODENKARTEN:

DGK 5 auf der Grundlage der Bodenschätzung 1949, mit Nachträgen 1967

rechts: 35 63 160

hoch: 57 09 035

BODENSCHÄTZUNG

L2 LÖ 80/88

LITERATUR

Kersebaum, K.C., 1982: Bodenhydrologische Kenndaten, Wasserumverteilung und Wasserbilanz einer Griserde aus Löß unter Winterweizen im Sommer - Vergleich mit Löß-Lysimetern. - Diplomarbeit, Inst. f. Bodenkunde, Landwirtschaftl. Fakultät, Univers. Göttingen, 44 S.

weitere Literatur zur Siedlungsgeschichte: siehe Boden A!

A GLIEDERUNG, GEFÜGE, FARBE, HUMUS																
TIEFE cm	Horizont - Symbole nach				Wur- zel- aktiv W...	Gefüge	Munsell - Index			organische Substanz						
	Kar- tier- Anteil	Quant- Syst.	FAO	SOIL Tax.			Homogenität	Feucht		Trocken	C org x 1,724 % TM	C org % TM	N org % TM	C org N t		
								10 YR	10 YR						10 YR	
0																
		Al <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	A <sub>p</sub>	A <sub>p</sub>		5	AGV bro	HOMO	4/3	6/3-4	1,1	0,6	0,7	9	
		Al	Al	A <sub>h</sub>	A <sub>21</sub>			KOM		(d) br.	bläß br. - h. gelbl. br.					
		A <sub>h</sub>	A <sub>h</sub>	A <sub>h</sub>	A <sub>22</sub>	FLECKG%	3	AGV sch	HOMO	4/3	6/3	1,0	0,6	0,7	9	
		(?Bt?)	(?t?)	A <sub>h</sub>	A <sub>22</sub>					(d) br.	bläß gelb					
-50		B <sub>t</sub>	A <sub>th</sub>	A <sub>h</sub> B <sub>t</sub>	B <sub>e</sub> A	TON-ELLU 20%	2	AGV pol 5	TON-ELLU- Fleck is dunkle Matrix	3/1 s d grün br.	4/2 d. grau br. 7/3 bl. braun	1,6	0,9	0,8	12	
		2) B <sub>t</sub>	B <sub>t</sub>	B <sub>t1</sub>	B <sub>2t</sub>	S1 15-5 S2 15-0 G 15-30 O 15-30	1	KOM pris 5 lei 5	REDOX-BIO-INF-FLECK G-BRAUN, ROT (ox) SA-TONINFILT (schwarz) G2-2 H-MATRIX Min-Flecks	3/1 s d grün br.	4/2 d. grau br. 7/3 bl. braun	0,6	0,3	0,4	8	
		2) B <sub>v</sub>	B <sub>v</sub>	B <sub>w</sub>	B <sub>3</sub>	S1 5 G 30-50 O 30-50	—	KOM lei 15	REDOX-BIO-INF-FLECK G-GRAU (RED) P-BRAUN, ROT (ox) SA-TONINFILT (schwarz) G2-2 H-MATRIX Min-Flecks	3/1 s d grün br.	4/2 d. grau br. 7/3 bl. braun	0,2	0,1	0,2	4	
100		G <sub>kkc</sub>	G <sub>kkc</sub>	C <sub>g</sub>	C	G 50 O 50	—	KOM lei 10	REDOX-BIO-INF-FLECK G-GRAU (RED) P-BRAUN, ROT (ox) SA-TONINFILT (schwarz) G2-2 H-MATRIX Min-Flecks	3/1 s d grün br.	4/2 d. grau br. 7/3 bl. braun	0,3	0,2	0,1	14	
		Sand		C <sub>g</sub>	C		—	KOM lei 10	HOMO	5YR 4/3-4 rött. br.	2,5YR 5/4 - 5YR 5/4 rött. br.	0,2	0,1	0,1	5	
-150		GoSg	GoSg	C <sub>g</sub>	a		—	KOM lei 10	REDOX-FLECKUNG G-GRAU (RED) P-BRAUN, ROT (ox)	G 80 0 20 6/3 bl. br. 5-6/0 bräunt. gelb	8/2-3 Weiß-bl. br. 7-6/8 gelb-br. gelb	0,1	0,1	0,1	6	
		Go	Go	C <sub>g</sub>	C		—	KOM lei 10	REDOX-FLECKUNG G-GRAU (RED) P-BRAUN, ROT (ox)	G 40 0 60 4/0 6/0	 	0,3	0,2	0,1	13	
		Grundwasser-Spiegel > 400 bis 250 cm					—	KOM lei 10	REDOX-FLECKUNG G-GRAU (RED) P-BRAUN, ROT (ox)	G 40 0 60 4/0 6/0	 					
200																

B3

B		DICHTE, PORENMENGEN - VERTEILUNG (Vakuumsättigung)											
TIEFE cm	TD g·cm <sup>-3</sup>	GPV Vol. %	Porenklassen-Menge (Äquivalentdurchmesser in µm)								% Boden-Volumen		
			> 300 < pf 1.0	300-50 pf 1.0 - 1,6	50-30 pf 1,6 - 2,0	30-15 pf 2,0 - 2,3	15-10 pf 2,3 - 2,5	10-6 pf 2,5 - 2,8	6-3 pf 2,8 - 3,0	3-0,6 pf 3,0 - 3,7	0,6-0,2 pf 3,7 - 4,2	< 0,2 > pf 4,2	
			schnell drainende Grobporen		langsam drainende Grobporen			Mittelporen		Engporen		Feinporen	
			Luftporen		leicht pflanzenverfügbar				schwer pflanzenverfügbar		Totwasser		
0	3)	165	37,8	0,5	3,3	4,7	0,8	0,8	2,0	0,4	9,7	3,1	12,5
				3,8		6,3			15,2				
				8,5		4,0			12,8				12,5
50	4)	158	40,6	0,6	0,2	3,5	0,7	0,8	4,1	1,8	15,1	0,5	13,5
				0,8		5,0			21,5				
				4,3		7,4			15,6				13,5
100	4)	147	44,4	2,8	2,1	0,5	1,1	0,8	1,0	0,5	15,0	2,6	18,0
				4,9		2,4			19,1				
				5,4		3,4			17,6				18,0
150	4)	154	41,8	2,0	2,2	0,9	1,2	0,7	0,8	1,2	14,8	2,0	16,0
				4,2		2,8			18,8				
				5,1		3,9			16,8				16,0
200	4)	160	39,6	1,0	2,0	0,6	1,4	0,9	2,2	1,0	13,8	2,2	14,5
				3,0		2,9			19,2				
				3,6		5,5			16,0				14,5
250	4)	171	35,5	0	0,1	0,2	0,8	1,2	3,3	6,0	12,8	1,5	9,6
				0,1		2,2			23,6				
				0,3		5,5			14,3				9,6
300	4)												
				0,1		5,5			20,3				
				0,1		5,5			20,3				

-382-

B4

C KAPILLARWASSER - MENGENVERTEILUNG (kapillare Sättigung)

TIEFE cm	Kapillarwasser-Menge (Äquivalentdurchmesser in $\mu\text{m}$ )										nFK	
	> 300	300-50	50-30	30-15	15-10	10-6	6-3	3-0,6	0,6-0,2	<0,2	pF	
	<pF 1,0	pF 1,0-1,8	pF 1,8-2,0	pF 2,0-2,3	pF 2,3-2,5	pF 2,5-2,8	pF 2,8-3,0	pF 3,0-3,7	pF 3,7-4,2	> pF 4,2	1,8-4,2	2,3-4,2
	Luftporen			Mittelporen			Engporen					
	leicht pflanzenverfügbar			schwer pflanzenverfügbar			Totwasser					
0	0,8	3,6	5,5	1,2	0,9	2,3	0,5	7,3	3,1	12,5	20,8	15,3
	9,9		4,9		10,4		12,5					
	4,4		9,9		10,9		12,5					
	1,0	0,4	3,9	0,7	0,6	3,5	1,5	15,0	0,5	13,5	25,7	21,1
	5,3		6,3		13,5		13,5					
	1,4		8,7		17,0		13,5					
50	4,0	2,8	0,6	1,0	1,0	1,3	0,4	12,7	2,6	18,0	19,6	18,0
	7,4		3,7		13,3		18,0					
	6,8		3,9		15,7		18,0					
	2,5	2,6	1,0	1,2	0,8	0,8	0,9	14,0	2,0	16,0	20,7	18,5
	6,1		3,7		16,0		16,0					
	5,1		3,8		16,9		16,0					
100	3,7	2,1	0,6	0,5	1,3	0,9	2,2	11,6	2,2	14,5	19,3	18,2
	6,8		4,9		13,8		14,5					
	5,8		3,3		16,0		14,5					
	0,2	0,2	0,3	0,6	1,1	4,2	5,5	12,3	1,5	9,6	25,5	24,6
	0,7		11,4		13,8		9,6					
	0,4		6,2		19,3		9,6					
150												
200												

D LEITFÄHIGKEIT DES BODENS (kapillare Sättigung), LEITFÄHIGKEIT DER KAPILLAREN																		
		Leitfähigkeit des Bodens bei Tension p cm H <sub>2</sub> O..										spez Leitfähigkeit zw. den Porendurchmessern(µm)...						
TIEFE cm		±∞ (kf)	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,7	4,2	∞ u.50	50 u.30	30 u.15	15 u.10	10 u.6	6 u.3	3 u.0,6	0,6 u.0,2
		cm·d <sup>-1</sup>	cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>										cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>					
0		199	276	126	39	18	5,5	2,5	0,2	0,02	452·10 <sup>4</sup>	2727	7250	2333	545	600	32	6
		91	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-50		29	118	60	22	11	4,2	2,1	0,2	0,04	42·10 <sup>4</sup>	9667	3800	1100	523	525	15	6
		4,2	114	60	23	12	4,5	2,4	0,2	0,1	80·10 <sup>3</sup>	5400	3083	1375	937	233	16	5
		3,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-100		8,3	195	106	43	23	10	5,1	0,7	0,2	20·10 <sup>3</sup>	30·10 <sup>3</sup>	11·10 <sup>3</sup>	1818	310	89	36	33
-150																		
200																		

ANMERKUNGEN zu den Seiten B1, B3, B4, B5 u. B6

Tab. A B C u. D

- S. B1 1.) Der Tschernosem (besser: Schwarzerde, um nomenklatorische Widersprüche zur FAO zu vermeiden!), aus dem die Griserde hervorgegangen ist, gehörte dem Subtyp Pseudogley-Tschernosem an (Nach unserer Auffassung: Gley-Tschernosem mit tiefliegendem Gr-Horizont). Da in der Benennung von Subtypen, die sich als Übergangsformen darbieten, nur 2 Typenamen kombiniert werden dürfen, mußte hier der Verbindung von Tschernosem (Schwarzerde) und Parabraunerde der Vorrang gegeben werden.  
Wir schlagen vor, in einem solchen Fall bei der Namensbildung der Varietät dem Kriterium des Subtyps, hier aus Pseudogley-Tschernosem dem "Pseudogley", nomenklatorische Priorität einzuräumen.
- S. B3 2.) Bt- und Bv-Horizont zeigen Redox-Fleckung und MnO<sub>2</sub>-Konkretionen, deren Entstehung im wesentlichen darauf beruht, daß Bt- und Bv-Horizont zugleich oberster Abschnitt des Go-Horizontes eines tiefliegenden Grundwassers sind. Man bedenke, daß die Löß-Matrix immerhin bis zu 3 m Höhe über dem Grundwasserspiegel mit Kapillarwasser gesättigt ist.  
Die Kartieranleitung läßt aber eine Einstufung als Gley wegen der Tiefe des Gr-Horizontes nicht mehr zu.  
Als Hilfskonstruktion mußte daher die Marmorierung im Bt- und Bv-Horizont als Staunässe-Phänomen gedeutet werden. Da Sd und Sg aufgrund der physikalischen Daten (Luftporen, Leitfähigkeit, Dichte) ausscheiden, muß Sw verwendet werden. Dies ist bedingt möglich, da der tieferliegende G-Horizont wenig schnell dränende Poren hat und bewirkt, daß die Einstellung des kapillaren Sättigungsgleichgewichts mit dem Grundwasser bei von oben eindringenden Niederschlägen so stark verzögert wird, daß es im Bt- und Bv-Horizont zu länger anhaltenden Phasen der Vernässung durch niedrig gespanntes Wasser kommt (vgl. Tensionsdiagramm zu Boden A!).
- S. B4 3.) Eine Verdichtung der Matrix (Grundstruktur) ist mit 1,86 nur im Ap festzustellen. Die Matrix-Dichten ( $\text{TrM} \cdot (\text{Bodenvol.} - \text{Porenvol.} > 30 \mu\text{m } \varnothing)^{-1}$ ) betragen von oben nach unten 1.86, 1.69, 1.62, 1.68, 1.70, 1.72.
- " 4.) Der Anteil der Poren pF 2,0 - 3,0 an den Poren pF 2,0 - 4,2 beträgt von oben nach unten in %: 24, 32, 16, 19, 26, 44. Im AhBt- und Bt-Horizont hat in Verbindung mit der Toninfiltration eine beträchtliche Umverteilung der Mittelporen zugunsten der Engporen stattgefunden.
- " 5.) Totwasser (Vol.%)  $\cdot$  Tongehalt (Gew.%)<sup>-1</sup> beträgt von oben nach unten: 1.15, 0.94, 0.78, 1.05, 0.70.



E KORNKLASSEN-MENGENVERTEILUNG, Ca,Mg-CARBONATE, HUMUS, FeOOHdith.																			
% humus- u. carbonatfreie Trockenmasse (Ø in µm)																			
TIEFE	cm	Humus C,1,724	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	>2000	SAND				SCHLUFF				TON			Boden- art			
					2000 - 630	630 - 200	200 - 63	Σ	63 - 20	20 - 6	6 - 2	Σ	Silikat, FeOOH <sub>2</sub>	<2 FeOOH <sub>2</sub>	Σ				
	0				1,1	0	0	0	1,1	28	39	46,7	28,1	6,9	81,7	13,7	0,7	14,4	iU
					1,0	0	0	0	0,9	26	37	43,9	24,1	6,3	74,3	21,1	0,9	22,0	<sup>7</sup> iU
	50				1,6	0	0	0	0,8	1,9	2,7	37,1	26,2	9,8	73,1	23,2	1,0	24,2	iU
					0,6	0	0	0	0,8	2,3	3,1	40,6	28,3	7,3	76,2	19,7	1,0	20,7	iU
					0,1	0,3	0	0	1,3	4,6	5,9	53,3	18,9	8,1	80,3	12,7	1,1	13,8	<sup>6</sup> iU
	100				0,3	10,7	0,4	0,3	2,8	8,0	11,1	59,1	8,7	7,3	75,1	12,7	1,1	13,8	<sup>6</sup> iU
					0,2	6,0	0	0,4	10,9	29,2	40,5	34,8	4,3	4,7	43,8	14,5	1,2	15,7	sL
	150				0,1	11,3	0	0,1	0,8	5,3	6,2	56,9	9,6	5,9	72,4	17,8	3,6	21,4	<sup>8</sup> iU
					0,3	11,9	0,2	0,1	0,3	3,4	3,8	58,5	17,7	3,4	79,6	15,9	0,7	16,6	iU
	200																		

F PUFFERUNGSZUSTAND																	
TIEFE cm	pH		(Ca, Mg)	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	KAK <sub>tot</sub>	KAK <sub>min</sub>	Austauschbare Kationen							V-Wert %	Ca : Mg		
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	mg/100g Boden	10 <sup>-3</sup> mol IE/100 g Boden	10 <sup>-3</sup> mol IE/100 g Ton	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>		H <sup>+</sup>	im Carbondat	am Aus-tauscher
	% TrM			10 <sup>-3</sup> mol IE/100 g Boden-Mat. (% KAK)													
0	7,8	7,3	0	196,0	13,2	73	0,3 (2)	0,2 (2)	1,9 (14)	10,8 (82)	n.b.	n.b.	n.b.	0,1 (1)	100	—	6
	7,5	7,1	0	93,9	15,4	56	1,1 (7)	0,2 (1)	1,0 (6)	12,7 (82)	"	"	"	0,2 (1)	98	—	13
50	7,5	7,0	0	54,1	25,1	84	0,3 (1)	0,3 (1)	1,4 (6)	19,7 (78)	"	"	"	0,9 (4)	87	—	14
	7,8	7,1	0	26,5	18,0	85	0,2 (1)	0,3 (2)	1,5 (8)	12,9 (72)	"	"	"	0,3 (2)	83	—	9
	8,0	7,3	0	26,7	13,0	91	0,1 (1)	0,2 (2)	1,3 (10)	9,6 (74)	"	"	"	0,1 (1)	86	—	7
100	8,0	7,5	9,6	102	13,5	101	0,1 (1)	0,2 (1)	1,2 (9)	12,9 (96)	"	"	"	0,1 (1)	100	7	10
	8,1	7,6	5,6	21	10,0	63	0,1 (1)	0,2 (2)	1,2 (12)	8,4 (84)	"	"	"	0 (0)	99	7	7
150	8,2	7,5	10,1	21	11,4	58	0,1 (1)	0,1 (1)	1,2 (11)	10,2 (89)	"	"	"	0 (0)	100	9	9
	8,2	7,5	10,6	0	15,7	100	0,1 (1)	0,2 (1)	1,5 (10)	13,2 (84)	"	"	"	0 (0)	95	7	9
200																	

B9

G EXTRAHIERBARES Fe, Mn, Al, Si (d=Dithionit/Citrat, o=Oxalat)															
TIEFE cm	Fe				Mn <sup>10</sup>		Verhältnisse		Al		Si		Verhältnisse		
	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>d</sub> Ton	Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub> Mn <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> Mn <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub> Si <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub> Si <sub>o</sub>	
	‰				ppm				‰		‰				
0	4,5	2,0	0,45	3,3	443	436	10,2	4,7	0,5	1,5	1,6	1,4	0,3	1,0	
	5,8	2,7	,47	2,8	524	428	11,0	6,3	0,8	1,3	1,6	1,1	0,5	1,2	
50	6,5	2,4	,36	2,9	443	414	14,7	5,8	0,9	1,8	1,7	1,1	0,6	1,7	
	6,0	0,8	,14	3,1	266	270	22,7	3,0	1,0	1,4	3,0	1,6	0,3	0,9	
	6,6	0,5	,07	5,4 <sup>9)</sup>	263	270	25,1	1,8	0,9	0,6	1,3	1,1	0,7	0,6	
100	5,5	0,4	,06	4,4	523	499	10,5	0,7	1,0	0,6	1,1	1,2	0,9	0,5	
	7,2	0,6	,08	5,1	541	531	13,3	1,1	0,9	0,5	3,4	2,5	0,3	0,2	
150	20,4	0,6	,03	14,2 <sup>8)</sup>	521	388	39,1	1,5	0,9	0,6	2,1	1,5	0,4	0,4	
	3,7	0,2	,06	2,4	196	129	20,0	1,8	0,9	1,0	1,6	1,2	0,6	0,8	
200															

ANMERKUNGEN zu den Seiten B 8, B 9 u. B 10

Tab. E, F, G

- S. B8 6.) Der Ton-Gehalt des Lösses ist höher als normal. Ursache ist die Lokale, durch die Nähe der Lias- und Keuper-Durchragungen der Lößdecke bedingte Beimengung von sandgroßen Tonaggregaten.
- " 7.) Der basale Abschnitt des A-Horizontes der ehemaligen Schwarzerde hat noch den ursprünglichen Ton-Gehalt, doch ist zu bedenken, daß dieser Horizont-Abschnitt sowohl durch Ton-Einwaschung wie Ton-Auswaschung geprägt ist.
- " 8.) Jungwürmzeitliche pedogene Überprägung mit schwacher kryoklastischer Verwitterung und starker Fe-oxid-Anreicherung (Tundrenstagnogley).
- S. B9 9.) Diffusive Anreicherung von Fe-Oxiden im Go-Horizont von unten *her*wirkt sich bis in den Bv-Horizont hinein aus.
- " 10.) Im Gegensatz zum Fe spiegelt das Mn die Zweistufigkeit der von der Grund- und Stauwasser-Dynamik bedingten Redox-Diffusion wider: Mn-Anreicherung im Go-Horizont und oberhalb der Einstauzone im Bt- und Ah-Horizont.

<h1>BÖDEN AUS LÖSS</h1>	PROFIL <b>C</b>
<h2>LEINETAL-GRABEN UND UMRANDUNG</h2>	

**BODEN-NAME**

Kartieranleitung: Parabraunerde-Pseudogley mit Pseudogley Schwarzerde-Vergangenheit

SOIL TAXONOMY: Typic Hapludalf with substituted Ap

FAO: Orthic Luvisol

**STANDORTFAKTOREN**

AUSGANGSGESTEIN: 180 cm jungwürmzeitlicher Löss äolischen Rotsand-Schichten aus den Leinekiesen. Untergrund-Schichten laminär-solifluidal umgelagerter Lias-Bröckelton, in 10 m Tiefe Lias-Pelit anstehend

HYDROREGIME: Grundwasser tiefer als 15 m durch Abpumparbeit in der Ziegelei-Grube "Hente&Spieß". DB-Trasse als starker Vorfluter in 60 m Abstand. Boden dräniert. Hangwasser-Zuzug.

VEGETATION: Ackerland (Rüben - Weizen - Gerste)

RELIEF: ebene W-Hangfuß-Zone eines Lössüberzogenen Lias-Hügels.

KLIMA: Temperatur: siehe Profil A

Niederschlag: siehe Profil A

MENSCH: siehe Profil A und B

**ORT**

Vor Rosdorf, bei Göttingen, W-Seite der Straße Göttingen-Rosdorf, Ascherberg. Ziegelei-grube Hente&Spieß, W.-Wand.

KARTEN: TK 25: 4425      DGK 5: 4425/27 (Rosdorf)

BODENKARTEN: DG 5 auf der Grundlage der Bodenschätzung 1949,  
mit Nachträgen 1967

rechts: 35 63 220

hoch: 57 09 595

BODENSCHÄTZUNG

L3 LÖ 78/81

ANMERKUNGEN

Nur an der hier beschriebenen Stelle ist der Löß von Rotsand unterlagert, der als äolisches Sediment (Vorläufer der Löß-Sedimentation im gesamten Leinegebiet) eine 25 m breite ehemalige Hangrinne in den Bröckelton-Decken füllt.

Trotz freier Drainage nach unten ist die Lößdecke pseudovergleyt. Dazu tragen hier die Dichte des Lösses und der Zuzug von Oberflächen- und oberflächennahem Wasser bei.

A GLIEDERUNG, GEFÜGE, FARBE, HUMUS													
TIEFE cm	Horizont - Symbole nach				Wurzel- aktiv W...	Gefüge	Munsell - Index			organische Substanz			
	Kar- tier- Anleit	Quant- Syst.	FAO	SOIL Tax.			Homogenität	Feucht	Trocken	C <sub>org</sub> x 1,724 % TM	C <sub>org</sub> % TM	N <sub>org</sub> % TM	C <sub>org</sub> N <sub>t</sub>
0					5	AGV schw	HOMO	3/3 dunkel br.	6/4 h. gelbl. br.	2,1	1,2	1,2	10
					3	AGV plat 0,2-0,5	HOMO	5/2 gräul. br.	7/3 sch. blaß br.	2,5	1,4	1,3	11
50					1	KOM leit 8				1,2	0,7	0,6	11
						AGV pol				0,6	0,4	0,5	7
						AGV pris 5 - 15				0,7	0,4	0,5	7
100						KOM lei 10				0,7	0,4	0,5	7
						KONKRE- TIONSLAGE	FLECK			0,5	0,3	0,5	6
150						KOM				0,4	0,2	0,4	5
						KOM				0,5	0,3	0,7	5
200						kompakter fluviatil-solifluidal	HOMO	4/4 d. glb. br.	5/4 glb. br.	0,3	0,2	0,4	5



C3

A		GLIEDERUNG, GEFÜGE, FARBE, HUMUS															
TIEFE cm	Horizont - Symbole nach				GESTEIN	Munsell - Index			organische Substanz								
	Kar- tier- Anlei- g	Quant- Syst.	FAO	SOIL Tax.		Homogenität	Feucht	Trocken	C <sub>org</sub> x1,724 % TM	C <sub>org</sub> % TM	N <sub>org</sub> %oTM	C <sub>org</sub> N t					
						Anteil %	10 YR	10 YR									
200	II	C <sub>v</sub>	2	C <sub>w</sub>	2	C <sub>3</sub>	äolischer ROTSAND m. LÖSS SCHMITZEN	HOMO	5/6 gelbl. br.	4/6 d. gelbl. br.	0,6	0,3	0,4	9			
300	II	C <sub>v</sub>	2	C <sub>w</sub>	3	C <sub>4</sub>	ROTSAND / LÖSS SCHWEMMSCHICHTG FeOOH+MnO <sub>2</sub> -FLECK.	HOMO	7,5YR 5/4 braun	7,5YR 4/6 hell br.	0,2	0,1	0,2	6			
400	III	C <sub>v</sub>	3	C <sub>w</sub>	3	C <sub>5</sub>	BRÖCKELTON	REDDX - FLECKUNG B: OX G: 50	B: 50 gr.-br.	röt. gr. br.	gr.-röt. gr. röt. gr.	0,5	0,3	0,5	6		
500	III	C <sub>v</sub>	3	C <sub>w</sub>	3	C <sub>6</sub>	FLIESSERDE aus zerbroch. PELIT		B: 50 G: 50	1/1-2	6/6 5/4	1/1-2	6/6 5/4	0,5	0,3	0,8	4
800	III	C <sub>v</sub>	3	C <sub>w</sub>	3	C <sub>7</sub>	LIASTON im SCHICHTVERBAND	REDDX - FLECKUNG B: >99 G: <1	B: >99	5/5	6/6 5/5	5/5	6/6 5/5	0,5	0,3	0,6	5
	800	III	C <sub>v</sub>	3	C <sub>w</sub>	3			C <sub>8</sub>	Oxidations- Zone fleckig	B: 60 G: 40	7,5YR 5/5	7,5YR 6/6 5/4	7,5YR 6/6 5/4	7,5YR 6/6 5/4	0,5	0,3
900	III	C <sub>v</sub>	3	C <sub>w</sub>	3	C <sub>9</sub>	LIASTON im SCHICHTVERBAND	dunkelgrau	HOMO	2,5 Y 4/0 dunkel gr.	2,5 Y 5/0 grau	1,0	0,6	0,6	9		
1000																	



B DICHTE, PORENMENGEN - VERTEILUNG (Vakuumsättigung)												
TIEFE cm	TD g·cm <sup>-3</sup>	GPV Vol. %	Porenklassen-Menge (Äquivalentdurchmesser in µm)								% Boden-Volumen	
			> 300 pf 1,0	300-50 pf 1,0 - 1,6	50-30 pf 1,8 - 2,0	30-15 pf 2,0 - 2,3	15-10 pf 2,3 - 2,5	10-6 pf 2,5 2,8	6-3 pf 2,8 3,0	3-0,6 pf 3,0-3,7	0,6-0,2 pf 3,7-4,7	< 0,2 > pf 4,7
			schnell drainierende Grobporen		langsam drainierende Grobporen		Mittelporen		Mittelporen		Feinporen	
			weitporen		leicht pflanzenverfügbare				schwer pflanzenverfügbare		Engporen	
			Luftporen								Totwasser	
0	1,42	45,8	2,5	6,9	1,7	1,9	1,7	1,2	2,3	12,8	1,7	13,1
			9,4			5,3			18,0			
				11,1			6,5	7,1		16,8	14,5	13,1
			9,4									
	1,62	38,9	0,1	4,1	0,6	1,0	1,0	0,9	0,7	10,7	2,9	16,9
			4,2			2,6				15,2		
				4,8							13,6	
50			4,2			3,5		3,6		14,3		16,9
	1,50	43,4	0,6	4,0	1,4	0,6	1,3	1,9	1,5	8,7	2,9	19,7
			4,6			3,3				15,0		
				6,0				5,3			11,6	
			4,6				5,2			13,1		19,7
	1,59	40,2	0	0	0,1	2,5	2,2	4,4	3,2	5,6	3,6	18,6
			0			4,8				16,8		
				0,1							9,2	
100			0			9,2		12,3		12,4		18,6
	1,67	36,9	0	0,9	0,9	1,3	0,9	0,8	1,2	10,0	2,2	18,7
			0,9			3,1				14,2		
				1,8				5,1			12,2	
			0,9				3,9			13,4		18,7
	1,65	37,9	0,1	0,5	0,9	1,5	1,7	0,9	1,4	12,9	0,9	17,1
			0,6			4,1				16,1		
				1,5				5,5			13,8	
150			0,6				5,0			15,2		17,1
	1,72	35,9	0	0,3	0,4	0,6	1,0	1,2	0,9	7,0	2,9	21,6
			0,3			2,0				12,0		
				0,7							9,9	
			0,3				3,2	3,7		10,8		21,6
	1,64											
200												



B

DICHTE, PORENMENGEN - VERTEILUNG (Vakuumsättigung)

TIEFE cm	TD g·cm <sup>-3</sup>	GPV Vol. %	Porenklassen-Menge (Äquivalentdurchmesser in µm) % Boden-Volumen									
			> 300	300-50	50-30	30-15	15-10	10-6	6-3	3-0,6	0,6-0,2	<0,2
			pf 1,0	pf 1,0-1,6	pf 1,8-2,0	pf 2,0-2,3	pf 2,3-2,5	pf 2,5-2,8	pf 2,8-3,0	pf 3,0-3,7	pf 3,7-4,7	pf 4,7
			schnell drainende Grobporen			langsam drainende Grobporen			Mittelporen			Feinporen
			Weilporen		leicht pflanzenverfügbar				schwer pflanzenverfügbar		Engporen	
			Luftporen								Totwasser	
200	1,52	42,6	1,7	11,1	6,9	4,6	1,6	2,5	1,3	4,6	1,7	6,6
					42,8		13,1			10,1		
					42,8		15,6		7,5		7,6	6,3
	1,58	40,5	0,2	0,1	0,1	1,3	1,0	4,0	4,5	0,1	2,1	27,1
					0,3		2,4			10,7		
					0,3	0,4		6,4	10,8		6,7	2,2
500												
750												
1000												

C KAPILLARWASSER - MENGENVERTEILUNG (kapillare Sättigung)													
TIEFE cm	Kapillarwasser-Menge (Äquivalentdurchmesser in $\mu\text{m}$ )									% Boden-Volumen		nFK	
	> 300 < pF 1,0	300-50 pF 10-18	50-30 pF 18-20	30-15 pF 20-23	15-10 pF 23-25	10-6 pF 25-28	6-3 pF 28-30	3-0,6 pF 30-37	0,6-0,2 pF 37-42	< 0,2 > pF 42	18-42	23-42	
0	Weißporen Luftporen			Mittelporen leicht pflanzenverfügbar			Engporen schwer pflanzenverfügbar		Engporen Totwasser				
	3,1	7,0	1,8	2,7	1,4	1,6	2,7	10,7	1,7	13,1	226	18,1	
	11,9			8,4			12,4			13,1			
	10,1			7,5			15,1			13,1			
	1,2	4,2	0,8	1,0	0,6	1,2	0,9	9,7	2,9	16,9	166	14,8	
	6,2			3,7			12,6			16,9			
	5,4			3,6			13,5			16,9			
	1,8	3,7	1,0	1,3	0,7	2,2	1,4	9,0	2,9	19,7	185	16,2	
	6,5			5,6			11,9			19,7			
	5,5			5,2			13,3			19,7			
-100	0,7	1,3	0,6	1,0	0,5	1,4	0,9	9,5	2,2	18,7	161	14,5	
	2,6			3,8			11,7			18,7			
	2,0			3,5			12,6			18,7			
-150	0,7	0,3	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	7,2	2,9	21,6	133	12,1	
	1,6			2,6			10,1			21,6			
	1,0			2,6			10,7			21,6			
200													

C KAPILLARWASSER - MENGENVERTEILUNG (kapillare Sättigung)

TIEFE cm	Kapillarwasser-Menge (Äquivalentdurchmesser in $\mu\text{m}$ )										% Boden-Volumen		nFK	
	> 300	300-50	50-30	30-15	15-10	10-6	6-3	3-0,6	0,6-0,2	<0,2	pF			
	< pF 1,0	pF 1,0-1,8	pF 1,8-2,0	pF 2,0-2,3	pF 2,3-2,5	pF 2,5-2,8	pF 2,8-3,0	pF 3,0-3,7	pF 3,7-4,2	> pF 4,2	1,8-4,2	2,3-4,2		
	Weilporen			Mittelporen			Engporen		Engporen					
	Luftporen		leicht pflanzenverfügbar				schwer pflanzenverfügbar		Feilwasser					
200	4,5	9,0	6,4	4,9	1,9	2,0	1,7	3,9	1,7	6,6	22,5	11,2		
	11,9		10,5			5,6		6,6						
	13,5		15,2			7,3		6,6						
	0,8	3,1	0,8	1,6	0,7	1,0	2,7	1,0	2,1	27,1	9,9	7,5		
	4,7		6,0			3,1		27,1						
	3,9		4,1			5,8		27,1						
500														
750														
1000														

D LEITFÄHIGKEIT DES BODENS (kapillare Sättigung), -LEITFÄHIGKEIT DER KAPILLAREN																			
		Leitfähigkeit des Bodens bei Tension p cm H <sub>2</sub> O..										spez Leitfähigkeit zw. den Porendurchmessern(μm)							
TIEFE cm	±∞ (kf)	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,7	4,2	∞	50	30	15	10	6	3	0,6		
		cm·d <sup>-1</sup>	cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>								μ.50	μ.30	μ.15	μ.10	μ.6	μ.3	μ.0,6		
0		190	410	223	89	49	20	11	1,3	0,3	188	10 <sup>2</sup>	4963	2857	1813	333	91	59	
		21																	
-50		220	312	172	71	39	16	9	1,1	0,3	399	10 <sup>2</sup>	7769	4571	1046	500	88	28	
		0,68																	
-100		0,45	26	20	14	11	7,1	5,5	2,2	1,2	275	10 <sup>2</sup>	1000	600	600	279	178	35	46
		0,20																	
-150																			
		0,55	39	29	19	15	10	7,2	2,7	1,3	511	10 <sup>2</sup>	1667	667	623	467	750	63	48
-200																			
		196																	
-300																			
		0,07																	
-400																			
-500																			

C9

## ANMERKUNGEN zu den Seiten C5 bis C9

## Tab. B, C, D

Im Vergleich zu allen anderen Lössen, die bei dieser Exkursion gezeigt werden, liegt hier eine Verdichtung des Materials vor. Nach den bisherigen paläopedologischen Erkenntnissen hängt das damit zusammen, daß in Hanglage auf tonigem Untergrund in den inner-jungwürmzeitlichen Phasen der Bodenbildung stets eine recht starke solifluidale Umlagerung stattfand.

Dieser Verdichtungsprozeß wird aus der folgenden Auswertungstabelle erkennbar, in der besonders die hohen Matrixdichten an der Basis und der generell geringe Volumenanteil an Poren mit Tensionen zwischen pF 2,0 und 4,2 auffällt.

Der Quotient Totwasser zu Ton ist hier auffällig groß. Er stimmt mit dem der Bröckeltone überein.

Auswertungstabelle

Horizont	Vol. % pF2,0-4,2	(Vol. % pF2,0-3,0) ■ 100	Matrix- (Grundmasse)- Dichte (Ausschluß Poren pF 2,0)	Vol. % Totwasser Gew. % Ton
		Vol. % pF2,0-4,2		
		%		
Alp	21,6	33	1,60	0,92
	17,2	21	1,70	1,34
Al Bt	16,9	31	1,60	1,10
Bt Sd	21,5	57	1,59	1,10
	17,3	30	1,70	1,00
Bt } Bv } Sg	19,3	29	1,68	1,00
I C Sg	13,6	27	1,72	1,00
äol. Sand				1,20
Bröckel ton				1,30

E KORNKLASSEN-MENGENVERTEILUNG, Ca,Mg-CARBONATE, HUMUS, FeOOHdith.																
% humus- u. carbonatfreie Trockenmasse ( $\emptyset$ in $\mu\text{m}$ )																
TIEFE	cm	Humus C1,724	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	>2000	SAND				SCHLUFF				TON		Boden- art	
					2000 -630	630 -200	200 -63	$\Sigma$	63 -20	20 -6	6 -2	$\Sigma$	Silikat, <2 FeOOH <sub>d</sub>	$\Sigma$		
	0	2,2	0	0	0,7	2,4	4,1	7,2	58,0	15,2	5,3	78,5	14,3	0,9	15,2	IU
		2,5	0	0	0,6	2,3	4,3	7,2	60,4	14,7	5,1	80,2	12,8	0,9	13,7	IU
	-50-	1,2	0	0	0,1	1,1	2,3	3,5	55,8	16,5	6,1	78,4	16,9	1,2	18,1	IU
		0,6	0	0	0,1	1,6	3,7	5,4	54,5	15,3	7,6	77,4	15,8	1,4	17,2	IU
		0,7	0	0	0,5	5,4	7,8	13,7	48,3	11,4	7,5	67,2	17,6	1,5	19,1	IU
	100-	0,7	0	0	0,2	2,6	8,2	11,0	53,0	11,9	7,7	72,6	15,0	1,4	16,4	IU
		0,5	0	0	2,3	4,3	9,0	15,6	44,1	11,9	7,8	63,8	18,8	1,8	20,6	IU
	-150-	0,4	0	0	0,6	3,1	7,6	11,3	50,9	14,6	7,1	72,6	14,6	1,5	16,1	IU
		0,5	6,9	0	0,3	3,1	9,5	12,9	38,9	12,8	14,6	66,3	18,8	2,0	20,8	IU
	200-	0,3	2,0	0	0,5	38,9	23,1	62,5	20,5	4,7	4,6	29,8	6,4	1,3	7,7	US

E KORNKLASSEN-MENGENVERTEILUNG, Ca,Mg-CARBONATE, HUMUS, FeOOHdith.																
% humus- u. carbonatfreie Trockenmasse ( $\emptyset$ in $\mu\text{m}$ )																
TIEFE	cm	Humus (-1,724)	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	>2000	SAND				SCHLUFF				TON			Boden- art
					2000 -630	630 -200	200 -63	$\Sigma$	63 -20	20 -6	6 -2	$\Sigma$	Silikat. <2	FeOOH <sub>d</sub>	$\Sigma$	
	200	0,6	6,0	0	0,6	28,5	28,4	57,5	32,8	0,6	3,4	36,8	5,0	0,7	5,7	uS
		0,2	0	0	0,3	30,8	25,6	56,7	28,6	3,0	3,8	35,4	7,1	0,8	7,9	uS
		0,5	0	0	2,6	0,9	2,8	6,3	43,7	18,1	11,1	72,9	18,6	2,2	20,8	fU
	500	0,5	1,5	0	1,3	2,5	4,6	8,4	32,0	25,7	14,8	72,2	16,7	2,7	19,4	fU
		0,5	0	0	9,7	3,8	2,9	16,4	22,0	20,3	12,8	55,1	19,1	9,4	28,5	uL
	750	0,5	0	0	5,5	3,3	2,0	10,8	14,9	31,7	15,1	61,7	24,5	3,0	27,5	uL
		1,0	4,6	0	1,3	2,3	8,6	12,2	55,7	11,2	18,4	85,3	2,1	0,4	2,5	U
	1000															



F PUFFERUNGZUSTAND																	
TIEFE cm	pH		[Ca, Mg] CO <sub>3</sub> % TrM	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O mg:100g Boden	KAK <sub>tot</sub> 10 <sup>-3</sup> mol IE :100 g Boden	KAK <sub>min</sub> 10 <sup>-3</sup> mol IE :100 g Ton-	Austauschbare Kationen								V-Wert %	Ca : Mg	
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>					Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>		in mm	Carbonat
	10 <sup>-3</sup> mol IE / 100 g Boden-Mat. (% KAK)																
0	6,6	5,9	0	282,6	14,3	54	0,1 (0,7)	1,0 (7)	0,6 (4)	7,4 (52)	0,4 (3)	0 (0)	0,5 (4)	3,1 (22)	64	—	12
	7,2	6,4	0	358	14,2	51	0,3 (2)	0,7 (5)	0,7 (5)	9,1 (64)	0,4 (3)	0 (0)	0,5 (4)	2,4 (17)	76	—	13
50	7,5	6,5	0	482	15,1	63	0,4 (3)	0,4 (3)	0,7 (5)	9,8 (65)	0,2 (1)	0 (0)	0,9 (6)	1,3 (9)	75	—	14
	7,4	6,7	0	621	16,5	85	0,6 (4)	0,1 (0,6)	0,8 (5)	11,3 (69)	0,2 (1)	0 (0)	0,8 (5)	1,0 (6)	78	—	14
100	7,5	6,7	0	471	16,2	74	0,6 (4)	0,1 (0,6)	0,9 (6)	10,9 (67)	0,2 (1)	0 (0)	0,5 (3)	0,9 (6)	77	—	11
	7,5	6,8	0	138	14,9	78	0,5 (3)	0,1 (0,7)	1,0 (7)	10,8 (73)	0,2 (1)	0 (0)	0,5 (3)	0,9 (6)	83	—	10
	7,3	6,7	0	478	17,1	75	0,4 (2)	0,1 (0,6)	1,2 (7)	12,3 (72)	0,2 (1)	0 (0)	0,3 (2)	1,3 (7)	82	—	10
150	7,5	6,8	0	881	13,9	79	0,3 (2)	0,1 (0,7)	1,1 (8)	10,8 (78)	0,2 (1)	0 (0)	0,4 (3)	1,0 (7)	88	—	10
	8,1	7,4	6,4	61,6	19,4	91	0,4 (2)	0,2 (1)	1,4 (7)	17,9 (92)	0,1 (0,5)	0 (0)	0,3 (2)	0 (0)	100	16	13
200	8,3	7,3	2,0	26,5	7,9	92	0,6 (8)	0,1 (1)	0,7 (9)	7,1 (90)	0,1 (1)	0 (0)	0,2 (3)	0 (0)	100	8	10

F PUFFERUNGZUSTAND																		
TIEFE cm	pH		(Ca, Mg)	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O mg/100g Boden	KAK <sub>rot</sub> 10 <sup>-3</sup> mol IE 100 g Boden	KAK <sub>min</sub> 10 <sup>-3</sup> mol IE 100 g Ton	Austauschbare Kationen							V-Wert %	Ca : Mg			
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub> % TrM				Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>		H <sup>+</sup>	m	Carbonat	am Aus- taucher
	10 <sup>-3</sup> mol IE / 100 g Boden-Mat. (% KAK)																	
200	8,3	7,6	5,6	17,5	8,0	11,7	0,4 (5)	0,1 (1)	0,7 (9)	7,5 (94)	0,1 (1)	0 (0)	0,3 (4)	0 (0)	100	13	11	
	8,1	7,4	0	30,8	8,2	10,2	0,4 (6)	0,1 (1)	0,7 (9)	6,3 (77)	0,1 (1)	0 (0)	0,3 (4)	0 (0)	91	—	9	
	7,8	7,1	0	0	21,5	9,6	0,2 (0,9)	0,1 (0,5)	1,8 (8)	16,5 (77)	0,1 (0,5)	0 (0)	0,1 (0,5)	0 (0)	87	—	9	
500	8,2	7,3	1,5	20,2	22,0	10,7	0,3 (1)	0,1 (0,5)	2,0 (9)	19,2 (87)	0,1 (0,5)	0 (0)	0,1 (0,5)	0 (0)	98	6	10	
	7,8	7,0	0	28,35	21,5	7,0	0,2 (0,9)	0,1 (0,5)	2,0 (9)	16,2 (75)	0,1 (0,5)	0 (0)	0,1 (0,5)	0,9 (4)	100	—	8	
750	7,7	6,9	0	29,4	22,1	7,5	0,2 (0,9)	0,2 (0,9)	2,9 (13)	15,4 (70)	0,1 (0,5)	0 (0)	0,1 (0,5)	1,0 (5)	85	—	5	
	8,3	7,6	4,4	94,2	8,9	24,6	0,1 (1)	0,2 (2)	2,3 (26)	6,9 (76)	0,2 (2)	0 (0)	0,2 (2)	0 (0)	100	7	3	
1000																		

G EXTRAHIERBARES Fe, Mn, Al, Si (d=Dithionit/Citrat, o=Oxalat)

TIEFE cm	Fe-Mn-Gesamt		Fe				Mn		Verhältnisse		Al		Si		Verhältnisse	
	Fe <sub>t</sub> ‰	Mn <sub>t</sub> ppm	Fe <sub>d</sub> ‰	Fe <sub>o</sub> ‰	Fe <sub>o</sub> / Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>d</sub> / Ton	Mn <sub>d</sub> ppm	Mn <sub>o</sub> ppm	Fe <sub>d</sub> / Mn <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> / Mn <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub> ‰	Al <sub>o</sub> ‰	Si <sub>d</sub> ‰	Si <sub>o</sub> ‰	Al <sub>d</sub> / Si <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub> / Si <sub>o</sub>
0	14,8	420	5,5	2,4	0,43	4,2	361	284	15,3	8,4	12,07	1,6	1,0	1,1	1,2	1,5
	14,5	460	5,9	2,7	,46	5,2	419	299	14,1	9,0	11,05	1,5	0,9	0,9	1,2	1,7
50	17,9	470	7,4	2,4	,32	4,5	430	320	17,2	7,4	14,07	2,2	1,8	1,0	0,8	2,3
	19,8	350	8,8	1,8	,21	5,8	355	299	24,7	6,4	1,8	2,4	1,5	1,0	1,2	2,5
100	20,3	330	9,4	1,8	,19	5,6	324	277	29,1	6,5	1,5	1,8	1,3	0,9	1,2	2,0
	18,1	310	9,0	1,7	,19	6,2	326	277	27,5	6,1	1,4	1,7	0,9	0,8	1,6	2,1
	26,6	400	11,6	1,5	,13	6,5	375	341	31,0	4,3	1,5	1,6	1,2	1,1	1,3	1,5
150	19,0	420	9,4	1,1	,12	6,7	401	296	23,3	3,6	1,3	1,5	2,0	1,1	0,7	1,4
	26,4	460	12,0	0,9	,08	6,9	454	293	26,4	3,2	1,3	1,6	1,5	1,3	0,9	1,2
200	14,9	380	8,0	0,5	,08	13,6	389	284	20,5	1,8	0,9	1,0	1,8	1,4	0,5	0,7

G		EXTRAHIERBARES Fe, Mn, Al, Si (d=Dithionit/Citrat, o=Oxalat)															
		Fe-Mn-Gesamt		Fe				Mn		Verhältnisse		Al		Si		Verhältnisse	
TIEFE cm		Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>
		‰	ppm	‰		‰ Fe <sub>d</sub>	‰ Ton	ppm		‰ Mn <sub>d</sub>	‰ Mn <sub>o</sub>	‰		‰		‰ Si <sub>d</sub>	‰ Si <sub>o</sub>
200		11,9	300	4,5	0,3	,07	9,6	300	234	15,0	1,3	0,7	0,7	1,5	1,1	0,5	0,7
		12,6	360	5,9	0,4	,07	8,9	370	265	15,8	1,4	0,8	0,7	1,1	3,7	0,7	0,3
		30,0	370	13,9	0,8	,06	7,9	368	189	37,9	4,3	1,8	1,4	1,4	1,6	1,3	0,9
500		32,2	490	16,3	0,5	,03	10,4	481	342	33,9	1,5	1,7	1,1	2,1	1,2	0,8	0,9
		79,5	330	59,4	0,8	,01	39,7	313	126	190,2	6,5	2,6	1,1	2,1	1,6	1,2	0,7
750		38,3	240	19,1	0,2	,01	8,2	228	199	83,7	0,9	1,8	0,7	2,1	2,0	0,9	0,4
		26,6	310	2,5	2,5	1,00	13,6	250	158	10,2	15,8	0,6	1,2	2,0	1,7	0,3	0,7
1000																	

c16

ANMERKUNGEN zu den Seiten C 11 bis C16

Tab. E, F, G

S. C11/12 Der Löß ist hier in hängiger Lage bei der Sedimentation  
Tab. E petrographisch vom bereits vorhandenen äolischen Rotsand und den sandkorngroßen Ton-Aggregaten aus den Lias-Bröckeltonen beeinflusst worden, daher die höheren Sand- und Tongehalte (letztere besonders an der Basis des Lösses). Die Menge an verlagertem Ton ist - obwohl wegen der schwarzen Farbe des in der Schwarzerdephase humatumhüllten Tones im ganzen BtSd-Horizont deutlich sichtbar, ja auffällig - mengenmäßig sehr gering. Daher wurde die Entscheidung zugunsten von Parabraunerde-Pseudogley statt Pseudogley-Parabraunerde getroffen.

S. C13/14 Die KAK min-Werte im Untergrund sind genauso unbefriedigend  
Tab. F wie die Tongehalte, die wegen der nur schwer zerstörbaren petrogenetischen Aggregation meist zu niedrig ausfallen. Die Gips-Verteilung spiegelt einerseits den anthropogenen Eintrag von oben, andererseits die Oxidation von Pyrit im Oxidationshorizont der Bröckeltone und der Pelit-Schichtfolge wider.

S. C15/16 In der Lößdecke ist außer der üblichen Erhöhung des oxalat-  
Tab. G löslichen Anteiles keine horizontmäßige Differenzierung in der Verteilung der freien Eisenoxide zu beobachten. Dazu sind - trotz der lösungsschemischen Gegebenheiten - die konvektiven Transportvorgänge offenbar nicht ausreichend. Man beachte den visuell auch nur schwach ausgeprägten horizontalen Transport von Fe aus den Leitbahnen in die Matrix. Im Untergrund fällt die starke Anreicherung von freien Eisenoxiden im Oxidationshorizont auf. Trotz visuell erkennbarer MnO<sub>2</sub>-Konkretionen im Al-, Bv- und C-Horizont, bedingt durch aufwärts und abwärts gerichteten konvektiven Transport (siehe Pseudogley, Profil F), ist die vertikale Umverteilung des Mn mengenmäßig nur recht gering.

ZUSAMMENFASSUNG:

SOWOHL TONVERLAGERUNG ALS AUCH PSEUDOVERGLEYUNG SIND TROTZ VISUELL STARK AUSGEPRÄGTER ERSCHEINUNGSFORMEN SEHR SCHWACH AUSGEPRÄGT.

<h1 style="margin: 0;">BÖDEN AUS LÖSS</h1>	PROFIL <b>D</b>
<b>LEINETAL-GRABEN UND UMRANDUNG</b>	

**BODEN-NAME**

**Kartieranleitung:** Zwischenform <sup>1)</sup> zwischen den Subtypen  
BÄNDERPARABRAUNERDE  
und  
TYP(ischer) PARABRAUNERDE<sup>2)</sup>

**SOIL TAXONOMY:** coarse-silty Typic Hapludalf

**FAO** : Orthic Luvisol

**STANDORTFAKTOREN**

**AUSGANGSGESTEIN:** Ca. 6 m jungwürmzeitlicher Löß über  
älterem Löß Keuper (km)-Bröckelton-  
Solifluktsdecken. Im Solum keine  
jungwürmzeitliche pedogenetische Über-  
prägung einzelner Lößlagen zu erkennen.<sup>3)</sup>

**HYDROREGIME** : Unbehinderte Vertikal-Dränage. Ober-  
flächlicher Zufluß von Wasser wegen  
Unterhang-Lage möglich und - siehe  
große Entkalkungstiefe - sicherlich ge-  
geben.

**VEGETATION** : Ackerland (Rüben - Weizen - Gerste -  
Rotation)

**RELIEF** : Höhenlage: 185 m NN  
Ausgedehnte Hangfläche, Neigung 15%,  
Unterhang-Situation, jährliche Verschwe-  
mung von Ap-Material mit ausgeprägter  
Ton-Schluff-Segregation.

**KLIMA** : siehe Profil A! (Leinetalgraben generell)

**MENSCH** : siehe Profil A! (Leinetalgraben generell!)

Hottenrode b. Friedland, westlicher  
Grubenrand der Abfallkippe des Land-  
kreises Göttingen, 200 m westlich der  
Zonengrenze.

**ORT**

# LITERATUR

D2

- 1.) Thormann, A., Meyer, B., 1976: Beseitigung und Verwertung von Zuckerrüben-Abwasser durch Boden-Bewässerung und -Filtration. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 39, 1-228 (1976)
- 2.) Schnetger, B., 1985: Geochemische Untersuchungen von Löß der Würm-Eiszeit in Südniedersachsen/Nordhessen - Diplomarbeit, Institut f. Geochemie, Fachber. Geowissenschaft., Univer. Göttingen

## ANMERKUNGEN zu Seite D1

- 1.) Die Parabraunerde hat ein Al - Bt - Bbt- Bv - C-Profil und entspricht somit weder der Typischen Parabraunerde noch der Bänderparabraunerde der Kartieranleitung. Es wird vorgeschlagen, in der Kartieranleitung die Definition der Typischen Parabraunerde aufgrund ihrer Horizontkombination zu erweitern, um den hier vorgestellten, in Niedersachsen weit verbreiteten Boden, als Typische Parabraunerde einstufen zu können.  
Die Horizontkombination für die Typische Parabraunerde müßte dann heißen: Ah - Al - Bt - (Bbt) - (Bv) - C.  
Für die Bildung der Varietät sollte dann das Vorhandensein eines Bänder-Bt ausschlaggebend sein:  
"lamellierte (gebänderte) Typ(ische) Parabraunerde".
- 2.) Für die Bildung der Subvarietät wäre ein Kombinationsschema entsprechend der Soil Taxonomy zu empfehlen, in dem folgende Merkmale Verwendung finden:
  - a.) Ausgangsgestein: hier: LÖß (Jungwürm-LÖß)
  - b.) Entwicklungsgeschichte: hier: Schwarzerdevergangenheit, bedingt Aufhellungsgrad und Mächtigkeit des Al-Horizontes.
  - c.) Intensität der Ton-Umlagerung Al/Bt: hier: schwach
  - d.) Entkalkungstiefe: hier: sehr groß
  - e.) Bodennutzung: hier: Acker (bedingt Gefüge und Versauerung)
  - f.) Grad der Versauerung: hier: mäßig (Austausch-Puffer-System)
  - g.) Grad der erosiven Umlagerung: hier: mäßig (nur innerhalb des oberen Al-Horizontes)
- 3.) Das hier vorgestellte Profil wurde ausgewählt, weil es unter den Parabraunerde-Profilen des Leinetalgrabens eines der ganz wenigen ist, bei denen das Solum bis in den C-Horizont hinein aus einem petrographisch sehr gleichmäßig zusammengesetzten Löß hervorgegangen ist.  
Bei dem Löß handelt es sich wahrscheinlich um den wj 4- und wj 5-Löß. Der dazwischen zu erwartende wj 4  $\beta$ -Boden, der an anderen Orten eine relativ schwache kryo-klastische Überprägung des Lößmaterials aufweist, läßt sich hier weder visuell noch analytisch innerhalb des heutigen B-Horizontes nachweisen.  
Aus diesem Grunde ist das Bodenprofil besonders gut geeignet, als Bezugs- und Standardprofil für die Quantifizierung der Bodengenetischen Teilprozesse der holozänen Bodenentwicklung im Leinetalgraben zu dienen.

A GLIEDERUNG, GEFÜGE, FARBE, HUMUS														
TIEFE cm	Horizont - Symbole nach				Wur- zel- aktiv	Gefüge	Munsell - Index				organische Substanz			
	Kar- rier- Art	Du- ral- Syst.	FAO	SOIL Tax.			Homogenität	Feucht	Trocken	C <sub>org</sub> x 1,724 % TM	C <sub>org</sub> % TM	N <sub>t</sub> % TM	C <sub>org</sub> N <sub>t</sub>	
0	A <sub>1p</sub>	A <sub>1p</sub>	A <sub>1p1</sub>	A <sub>1p1</sub>	5	AGV sch	HOMO	4/3 <small>braun dunkel br</small>	5-6/4 <small>(hell) gelb br</small>	1,6	0,9	1,0	9	
	A <sub>1p</sub>	A <sub>1p</sub>	A <sub>1p2</sub>	A <sub>1p2</sub>	4	AGV sch	HOMO	4/3 "	5-6/4 "	1,8	1,0	1,0	11	
50	A <sub>t</sub>	A <sub>t</sub>	A <sub>h</sub>	A <sub>22</sub>	3	KOM leit 5	HOMO	4/3 "	5-6/4 "	1,0	0,6	0,7	8	
	A <sub>1b</sub>	A <sub>1b</sub>	A <sub>1b</sub>	A <sub>1b</sub>	2	AGV pol	SEKT	4/4 <small>dunkel gelb br</small>	4-5/6 <small>(dunkel) gelb br</small>	0,9	0,5	0,5	9	
	B <sub>t</sub>	B <sub>t</sub>	B <sub>t1</sub>	B <sub>211</sub>	1	AGV pol 2-5	HOMO	4/4 " 2/1 <small>schw. Braun</small>	5/6 gelb br 3-2/1 <small>schw. dunkel g</small>	0,6	0,3	0,3	9	
100	B <sub>t</sub>	B <sub>t</sub>	B <sub>t1</sub>	B <sub>22t</sub>	1	AGV pris 5-11	HOMO	4/4 "	5/6 "	0,5	0,3	0,3	8	
	B <sub>bt</sub>	B <sub>bt</sub>	B <sub>t1</sub>	B <sub>23t</sub>	—	KOM leit 30 lam.	HOMO	5/6 gelb br	6/6 braun gelb	0,3	0,2	0,3	7	
150	B <sub>bt</sub>	B <sub>bt</sub>	B <sub>t1</sub>	B <sub>24t</sub>	—	KOM leit 70 lam.	HOMO	5/6 " 2/1	6/6 " 3/2	0,3	0,2	0,3	7	
	B <sub>bt</sub>	B <sub>bt</sub>	B <sub>t1</sub>	B <sub>25t</sub>	—	KOM leit 100 lam.	LAM	5/6 "	6/6 "	0,3	0,2	0,2	7	
200	B <sub>bt</sub>	B <sub>bt</sub>	B <sub>t1</sub>	B <sub>26t</sub>	—	KOM lam.	LAM	5/6 "	6/6 "	0,3	0,2	0,2	6	
	TON-VERARMUNGS-ZWISCHENLAMELLEN						HOMO	5/6 "	6/6 "	0,2	0,1	0,2	6	
	TON-INFILTRATIONS-LAMELLEN						lam	HOMO	4/3 <small>(dunkel br)</small>	5-6/4 <small>(hell) gelb br</small>	0,2	0,1	0,2	6
250	B <sub>v</sub>	B <sub>v</sub>	B <sub>w</sub>	B <sub>3</sub>	—	KOM	HOMO	4/4 <small>dunkel gelb br</small>	5/6 gelb br	0,2	0,1	0,2	6	
	C	C	C	C	—	KOM	HOMO	5/6 gelb br	7/3-4 <small>schw. braun</small>	0,3	0,2	0,2	8	



B DICHTE, PORENMENGEN - VERTEILUNG (Vakuumsättigung)														
TIEFE cm	TD g. cm <sup>-3</sup>	GPV Vol. %	Porenklassen-Menge (Äquivalentdurchmesser in µm)									% Boden-Volumen < 0,2 0,2 - 0,4 0,4 - 0,6 0,6 - 0,7 0,7 - 1,0 1,0 - 1,5 1,5 - 2,0 2,0 - 3,0 3,0 - 4,0 4,0 - 6,0 6,0 - 10,0 10,0 - 15,0 15,0 - 30,0 30,0 - 50,0 > 300		
			schuell drainierende Grobporen			langsam drainierende Grobporen			Mittelporen				Engporen	
			Luftporen			leicht pflanzenverfügbare			schwer pflanzenverfügbare				Engporen	
			Weisporen			Mittelporen			Engporen		Engporen			
0	1,41	50,2	1,8	5,0	2,9	4,6	1,7	4,0	4,4	10,4	3,5	11,9		
			6,8	1,7	9,2	13,2	13,7	22,3	13,9					
50	1,44	45,5	0,7	6,5	1,8	2,0	1,8	1,7	1,6	12,5	1,0	15,9		
			7,2	9,0	5,6	7,1	16,5	13,5						
100	1,56	41,5	0,3	1,4	0,4	2,3	1,1	2,8	2,2	11,9	1,9	17,2		
			1,7	2,1	3,8	8,5	16,8	13,8						
150	1,60	41,3	0	0	0,1	1,8	1,1	2,6	1,7	14,6	1,7	17,7		
			0	0,1	3,0	7,2	20,6	16,3						
200	1,62	40,0	0	0	0	0,9	1,3	2,7	2,0	14,2	2,8	16,1		
			0	0	2,2	5,9	21,7	17,0						
250	1,61	40,3	0	0	0	1,4	1,4	3,2	1,7	14,9	1,8	15,9		
			0	0	2,8	7,7	21,6	16,7						
300	1,57	40,7	0,4	0,9	1,3	1,5	1,3	1,8	1,8	12,1	2,9	16,7		
			1,3	2,6	4,1	6,4	16,6	13,0						
350	1,50	43,3	0	2,1	2,1	1,9	2,4	3,8	1,4	13,9	2,5	13,2		
			2,1	4,2	6,4	9,5	27,6	16,4						
400	1,50	43,3	0	0	2,9	1,9	1,6	3,3	3,4	14,7	2,3	13,2		
			0	2,9	6,4	10,2	23,7	17,0						
450	1,56	41,1	0	0	0,5	2,1	1,6	2,5	0,9	15,5	6,8	11,2		
			0	0,5	4,2	7,1	25,7	22,3						
500	1,56	41,1	0	0	0,5	2,1	1,6	2,5	0,9	15,5	6,8	11,2		
			0	0,5	4,2	7,1	25,7	22,3						

C KAPILLARWASSER - MENGENVERTEILUNG (kapillare Sättigung)													
TIEFE cm		Kapillarwasser-Menge (Äquivalentdurchmesser in $\mu\text{m}$ )							% Boden-Volumen		nFK		
		> 300 < pF 1,0	300-50 pF 10-18	50-30 pF 18-20	30-15 pF 20-23	15-10 pF 23-25	10-6 pF 25-28	6-3 pF 28-30	3-0,6 pF 30-37	0,6-0,2 pF 37-42	< 0,2 > pF 42	18-42	23-42
		Mittelporen Luftporen			Hilfsporen nicht pflanzenverfügbare			Feinporen pflanzenverfügbare		Emporen totwasser			
0		2,2	11,9	1,9	2,4	2,6	4,5	0,9	7,7	3,5	11,9	235	192
		16,0		14,4			40,4		12,1		11,9		
-50		2,0	8,0	1,6	2,0	1,7	2,1	1,8	9,4	1,0	15,9	196	16,0
		10,0		7,4			7,8		12,2		15,9		
100		1,7	2,9	1,2	1,4	1,2	1,8	2,1	10,0	1,9	17,2	196	17,0
		5,8		5,6			6,5		11,9		17,2		
150		0,3	2,1	0,7	1,2	2,1	1,4	0,8	13,0	1,7	17,7	20,9	19,0
		3,1		5,4			5,5		13,5		17,7		
200		1,4	1,8	0,7	1,2	0,6	1,2	0,6	13,5	2,8	16,1	20,6	18,7
		3,2		3,7			3,6		16,9		16,1		
250		0,1	2,0	0,9	1,0	0,9	2,3	1,3	14,1	1,8	15,9	22,3	20,4
		3,0		5,1			5,5		13,2		15,9		
300		0,6	1,4	0,9	1,6	1,1	2,0	0,9	12,6	2,9	16,7	22,0	19,5
		2,9		5,8			5,6		16,4		16,7		
350		0	3,4	2,9	4,0	3,1	1,9	2,1	9,9	2,5	13,2	26,4	19,5
		6,3		11,9			11,1		12,4		13,2		
400		1,5	3,3	1,7	3,3	3,4	4,4	2,4	7,7	2,3	13,2	25,2	20,2
		8,5		12,8			13,5		12,4		13,2		
450		0	0,2	1,4	3,7	4,2	5,1	4,5	6,2	6,8	11,2	31,9	26,8
		1,6		14,4			17,5		13,0		17,5		

D LEITFAHIGKEIT DES BODENS (kapilläre Sättigung), LEITFAHIGKEIT DER KAPILLAREN																				
TIEFE cm	±∞ <sup>9)</sup> (kf) cm·d <sup>-1</sup>	Leitfähigkeit des Bodens bei Tension p cm H <sub>2</sub> O..								spez Leitfähigkeit zw. den Porendurchmessern(μm) <sup>7)</sup>										
		1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,7	4,2	∞ u.50	50 u.30	30 u.15	15 u.10	10 u.6	6 u.3	3 u.0,6	0,6 u.0,2			
		cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>								cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>										
0																				
		60	368	221	102	61	29	17	2,9	0,8	423	1077	37	4958	1577	711	1333	183	60	
-50																				
		20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2,0	75	50	27	18	10	6,7	1,7	0,6	42·10 <sup>3</sup>	2083	1643	750	444	157	50	58		
100		0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		1,3	16	14	10	8,8	6,9	6,1	3,3	2,2	5310 <sup>3</sup>	286	333	57	137	100	22	65		
-150		3,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		1,1	14	12	10	8,0	6,3	5,3	3,0	2,0	5410 <sup>3</sup>	222	125	182	85	111	18	35		
		2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200		1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		4,3	3860	1782	443	177	44	18	3,1	0,7	22210 <sup>3</sup>	14810 <sup>3</sup>	3610 <sup>3</sup>	6333	2608	578	240	35		
-250																				

# ANMERKUNGEN zu den Seiten D3, D4, D5, D6

## Tab. A, B, C, D

- S. D3 4.) AGV Aggregat-Verbund-Struktur sch: Schwamm aus .. (Aggregaten) pol: Polyeder  
 Tab. A pris: Prismen Ziffern: Durchmesser
- KOM Kompakt-Struktur leit: Leitbahnen  
 lam: Ton-Umlagerungslamellen Ziffern: Abstände
- " 5.) HOMO homogene Färbung SEKT sektorale Farbunterschiede FLECK: Fleckung
- S. D6 6.) Von Bt-Horizont an abwärts liegen die Leitfähigkeitswerte bis in den Löß hinein in der Klasse "gering" ohne das Nässe-Phänomene (Redox-Flecken) auftreten. Beim Bt-Horizont wurden bei der Probennahme sichtbare Grobporen ausgeschlossen, der Bbt-Horizont ist fast frei davon. Ursache für das Fehlen von Staunässe in der vorliegenden Niederschlags-situation (Sommer 390, Winter 220 mm N) ist die hohe kapillare Leitfähigkeit der Poren im Wasser-ungesättigten Zustand zwischen pF 2 und 3 im Bbt-Horizont.
- " 7.) Spezifische Leitfähigkeit (bezogen auf den jeweiligen Porenvolumen-Anteil).

S. D4-6  
 Tab. B-D

Auswertungstabelle

Horizont	Vol. % pF2,0-4,2	(Vol. % pF2,0-3,0) * 100	Matrix- (Grundmasse)- Dichte (Ausschluss Poren pF 2,0)	Vol. % Totwasser Gew. % Ton	Hysterese Char. Diff. Vol. & Vaku- um-Sätt. - Kap. Sätt.		
		Vol. % pF2,0-4,2			pF 2,0- 3,0	3,0- 4,2	2,0- 4,2
Al	28,6!	51	1,56	0,72	-4,3	-2,7	-7,0
Bt	20,6!	34	1,58	0,69	+0,5	-3,1	-2,6
	22,2	34	1,59	0,68	-1,9	-1,9	-3,8
	23,5	31	1,60	0,77	-2,2	-1,6	-3,8
Bbt	23,9	29	1,62	0,75	-3,3	-0,7	-4,0
	24,4	32	1,61	0,73	-2,2	-0,8	-3,0
	21,4	30	1,61	0,76	-0,8	+0,5	-0,3
	25,9	37	1,57	0,65	+1,6	-4,0	-2,4
Bv	27,2	38!	1,54!	0,71	+3,2	-7,0	-3,8
C	29,4!	24!	1,57	0,67	+10,4	-9,3	+1,1
				q = 1,585	q = 0,71		

E KORNKLASSEN-MENGENVERTEILUNG, Ca-Mg-CARBONATE, HUMUS, FeOOH <sub>dith</sub>															
% humus- u. carbonatfreie Trockenmasse (Ø in µm)															
TIEFE cm	Humus C <sub>1,724</sub>	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	>2000	SAND				SCHLUFF				TON <sup>8)</sup>		Bodenart	
				2000-630	630-200	200-63	Σ	63-20	20-6	6-2	Σ	<2 Silikat/FeOOH	>		
0	1,6	0	0	0,1	0,7	2,6	3,4	57,7	17,5	6,0	8,1	14,3	1,1	154	IU
	1,9	0	0	0,1	0,7	2,6	3,4	57,5	17,8	5,7	8,1	14,5	1,1	156	IU
50	1,0	0	0	0,1	0,5	2,4	3,0	54,9	20,1	6,4	8,1	14,5	1,1	156	IU
	0,9	0	0	0	0,4	3,0	3,4	50,1	19,4	5,1	7,4	20,7	1,3	220	IU
100	0,6	0	0	0	0,3	3,9	4,2	48,0	18,5	5,4	7,1	22,4	1,5	239	IU
	0,5	0	0	0	0,3	3,3	3,6	50,7	19,9	3,9	7,4	20,5	1,4	219	IU
	0,3	0	0	0	0,5	4,4	4,9	49,2	19,9	5,5	7,4	19,2	1,3	205	IU
150	0,3	0	0	0,1	0,3	3,6	4,0	49,4	20,2	5,7	7,5	19,3	1,4	207	IU
	0,3	0	0	0,8	0,3	5,0	6,1	52,4	15,9	4,7	7,3	19,5	1,4	209	IU
	0,3	0	0	0,1	0,2	3,2	3,5	55,8	16,5	5,0	7,7	17,9	1,3	192	IU
200	0,2	0	0	0,1	0,4	3,3	3,8	60,7	15,5	4,8	8,0	14,0	1,2	152	IU
	0,2	0	0	0	0,3	3,2	3,5	53,5	16,6	4,9	7,5	20,2	1,3	215	IU
250	0,2	0	0	0,1	0,4	4,0	4,5	59,4	14,1	4,4	7,7	16,5	1,1	176	IU
	0,3	1,2	0,5	0,5	0,5	2,8	3,8	62,0	9,8	8,6	8,0	14,7	1,1	158	IU

F		PUFFERUNGSZUSTAND																	
TIEFE cm		pH		(Ca, Mg)	CaSO <sub>4</sub>	KAK <sub>tot</sub>	KAK <sub>min</sub>	Austauschbare Kationen 9)								V-Wert	Ca :	Mg	
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	·2H <sub>2</sub> O	10 mol IE	10 mol IE	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	10)	Carbonat	am Aus-	Aust-
		% TrM	mg/100g	Boden	mg/100g	Boden	100 g	10 <sup>-3</sup> mol IE/100 g Boden-Mat.								%	in	tauscher	
( % KAK )																			
0		5,2	4,2	0	0	158	71	0,1 (0,6)	0,3 (1,9)	0,5 (3,2)	3,1 (19,6)	0,4 (2,5)	0 (0)	1,8 (11,9)	8,5 (53,8)	25	-	6	
		5,9	5,2	0	0	150	59	0,1 (0,7)	0,2 (1,3)	0,6 (4,0)	4,4 (29,3)	0,3 (2,0)	0 (0)	1,8 (12,0)	3,9 (26,0)	35	-	7	
-50		6,1	5,2	0	0	140	70	0,1 (0,7)	0,1 (0,7)	0,7 (5,0)	5,9 (42,1)	0,2 (1,4)	0 (0)	1,7 (12,1)	3,9 (27,9)	49	-	8	
		6,7	5,8	0	0	152	57	0,3 (2,0)	0,3 (2,0)	1,8 (11,8)	8,3 (54,6)	0,1 (0,7)	0 (0)	1,6 (10,5)	3,7 (24,3)	70	-	5	
		7,0	5,9	0	11,5	156	58	0,4 (2,6)	0,3 (1,9)	2,0 (12,8)	9,5 (60,9)	-	-	1,1 (7,1)	3,3 (21,2)	78	-	5	
100		7,0	5,8	0	10,0	143	59	0,3 (2,1)	0,3 (2,1)	1,6 (11,2)	8,9 (62,2)	-	-	1,4 (9,8)	4,1 (28,7)	78	-	6	
		7,0	5,9	0	5,6	143	65	0,4 (2,8)	0,3 (2,1)	1,6 (11,2)	9,7 (67,8)	-	-	0,9 (6,3)	2,5 (17,5)	84	-	6	
-150		7,1	6,0	0	0	137	62	0,3 (2,2)	0,3 (2,2)	1,5 (10,9)	9,5 (69,3)	-	-	0,7 (5,1)	2,9 (21,2)	85	-	6	
		6,9	6,0	0	34,0	141	62	0,4 (2,8)	0,3 (2,1)	1,6 (11,3)	9,1 (64,5)	-	-	0,7 (5,0)	2,5 (17,7)	81	-	6	
		6,9	5,9	0	4,7	134	66	0,4 (3,0)	0,3 (2,2)	1,5 (11,2)	8,8 (65,7)	-	-	0,6 (4,5)	2,8 (20,9)	82	-	6	
200		6,3	5,8	0	23,5	106	65	0,3 (2,8)	0,3 (2,8)	1,1 (10,4)	7,7 (72,6)	-	-	0,5 (4,7)	3,2 (23,2)	89	-	7	
		6,1	5,6	0	9,1	12,7	56	0,4 (3,1)	0,3 (2,4)	1,3 (10,2)	8,6 (67,7)	-	-	0,4 (3,1)	3,3 (26,0)	84	-	7	
-250		7,2	6,2	0	64,7	12,5	68	0,4 (3,2)	0,3 (2,4)	1,5 (12,0)	8,9 (71,2)	-	-	0,4 (3,2)	2,1 (16,8)	89	-	6	
		8,7	7,6	10,9	3,2	11,9	79	0,4 (3,1)	0,3 (2,5)	0,8 (6,8)	12,1 (100)	-	-	0,3 (2,5)	0 (0)	100	7	15	

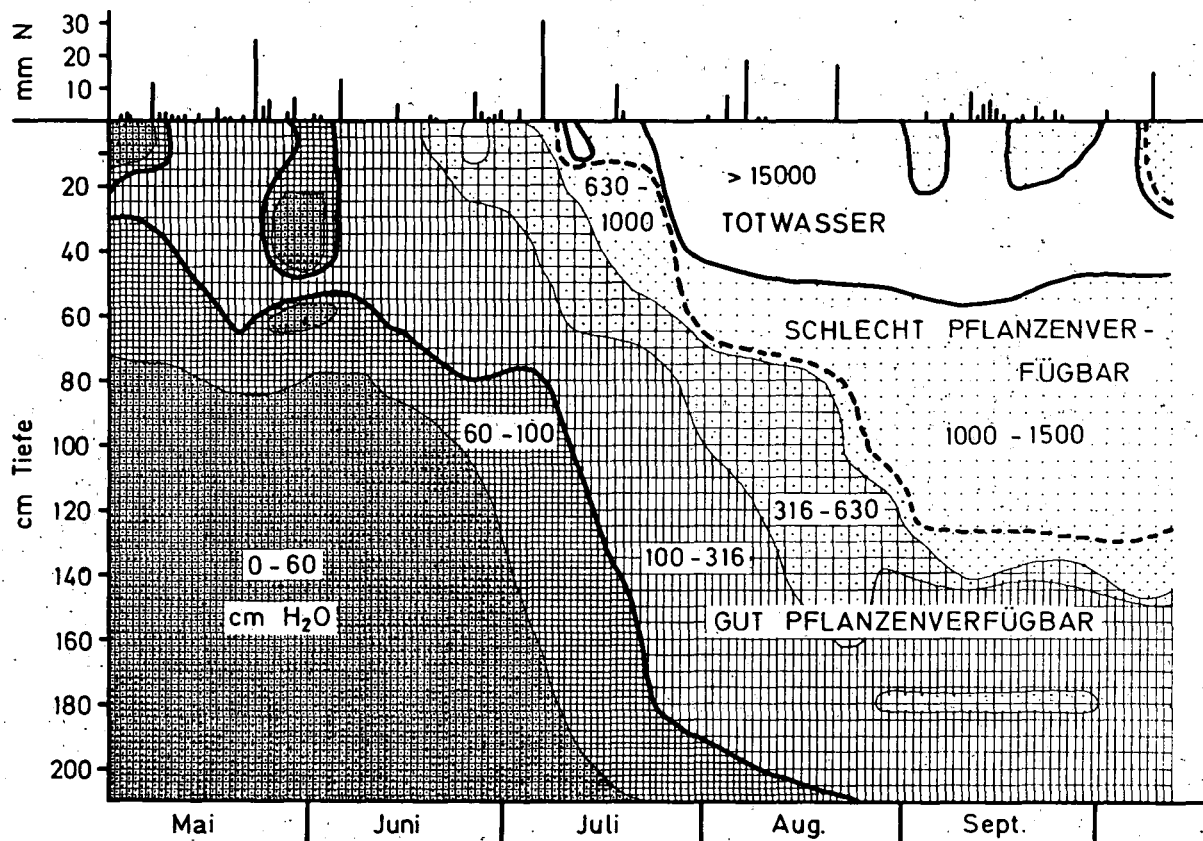
G EXTRAHIERBARES Fe, Mn, Al, Si (d=Dithionit/Citrat, o=Oxalat)																
TIEFE cm	Fe-Mn-Gesamt		Fe				Mn		Verhältnisse		Al		Si		Verhältnisse	
	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> <sup>44)</sup>	Fe <sub>d</sub> <sup>42)</sup>	Mn <sub>d</sub> <sup>43)</sup>	Mn <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>
	‰	ppm	‰	‰	‰	Ton	ppm	ppm	Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	‰	‰	‰	‰	Si <sub>d</sub>	Si <sub>o</sub>
0	14,1	430	6,6	3,0	0,45	4,3	451	464	14,6	6,4	1,3	1,3	1,7	2,0	0,72	0,67
	14,3	480	6,7	2,9	,43	4,4	513	476	13,1	6,1	1,3	1,3	2,9	1,8	0,47	0,72
-50	14,9	540	6,8	3,2	,46	4,4	554	557	12,3	5,7	1,10	1,3	3,3	2,1	0,31	0,64
	18,6	350	8,2	2,2	,27	3,8	353	283	23,3	7,8	1,0	1,2	1,1	4,9	0,91	0,25
100	20,1	340	9,2	1,9	,21	3,9	307	308	30,0	6,2	1,0	1,3	1,9	5,5	0,53	0,23
	19,1	340	8,8	2,0	,23	4,1	329	279	26,8	7,1	1,4	1,2	2,8	5,3	0,50	0,23
	19,5	390	8,4	1,7	,20	4,2	351	360	24,0	4,7	1,0	0,6	1,8	6,3	0,54	0,10
-150	19,6	400	8,7	1,5	,17	4,3	392	351	22,2	4,2	1,2	1,9	2,0	2,5	0,60	0,74
	18,6	360	8,5	1,3	,15	4,1	358	358	23,8	3,6	1,1	2,2	3,0	1,7	0,38	1,25
200	19,7	400	8,2	1,1	,13	4,3	376	345	21,9	3,2	1,0	0,8	2,7	1,5	0,38	0,56
	19,6	390	7,4	0,5	,06	4,9	367	334	20,1	1,4	0,9	1,0	1,9	2,4	0,46	0,40
	18,2	380	8,1	0,9	,11	3,8	387	219	20,9	4,1	1,2	0,7	3,3	2,2	0,37	0,32
250	18,1	380	6,6	0,9	,14	3,8	352	351	18,7	2,7	0,8	0,7	1,4	2,7	0,52	0,25
	19,4	520	6,1	1,1	,18	3,9	361	271	16,9	4,0	1,1	1,2	5,3	3,0	0,21	0,40

ANMERKUNGEN zu den Seiten D8, D9 u. D10

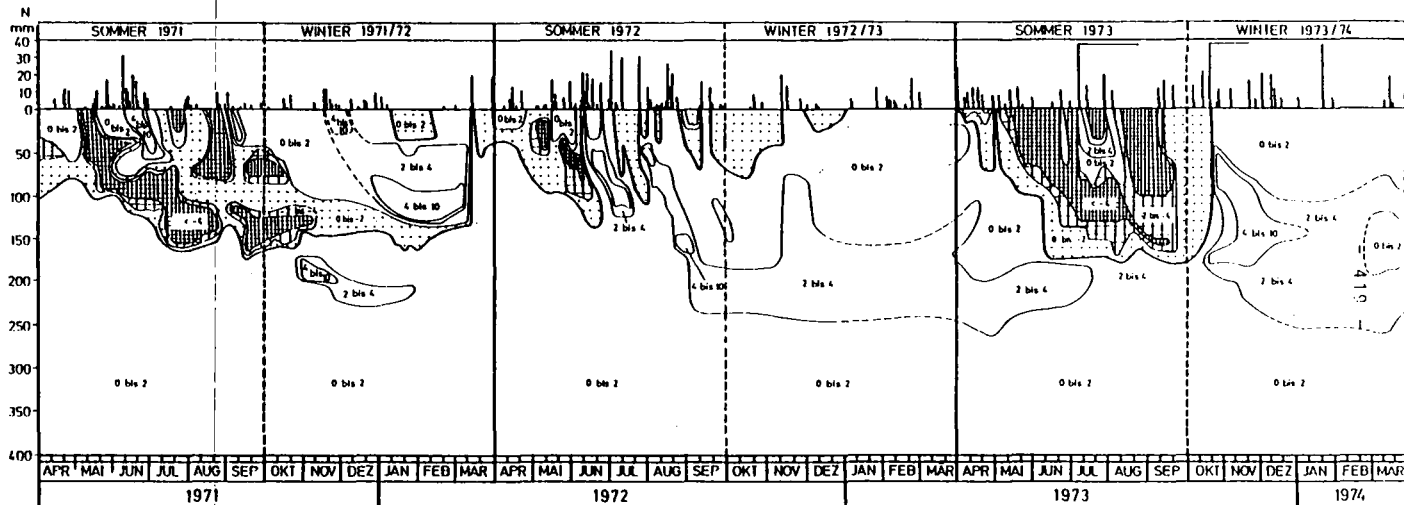
Tab. E, F, G

- S. D8 8.) Aus Gründen der Verbesserung der Analytik empfiehlt es sich, die Vorbehandlung zur Schlämmanalyse in der Reihenfolge  $\text{CaCO}_3$ -Auflösung Lösung der freien Eisenoxide mit dem daran gebundenen Humus und Oxidation von Humus und gelöstem Fe. Das durch Oxidation gefällte Fe bleibt in der Suspension. Bei der Pipett-Analyse muß sowieso die Salzkonzentration der Suspension (Gips!) gesondert bestimmt werden.  
Über 90% der freien Eisenoxide sind an der Tonfraktion enthalten, wandern mit dem Ton und werden bei Ultraschall-Behandlung mit dem silikatischen Ton dispergiert.  
Aus beiden Gründen wird daher das freie, als  $\text{FeOOH}$  berechnete Eisenoxid zum Ton gerechnet.
- Tab. E
- S. D9 9.) Die KAKtotal ist mit Triäthanolamin auf pH 8,2 gepufferter  $\text{BaCl}_2$ -Lösung bestimmt, die austauschbaren Kationen mit ungepufferter  $\text{BaCl}_2$ -Lösung etwa beim  $\text{CaCl}_2$ -pH des Boden-Materials. Die als Austausch-Ca bestimmten Mengen wurden um das Gips-Ca reduziert.  
Im Al-Horizont ist KAKtot -  $\Sigma$  Austausch-Kationen erwartungsgemäß positiv (pH-Variabilität der Ladung): +1.1 bis +3,7 mval/100g, in allen Horizonten darunter negativ: -0.5 bis -2,3. Dies beruht i.W. auf der falsch angenommenen Wertigkeit des gelösten Al und der durch Auflösung von Silikaten und Carbonaten zu hoch ausfallenden Bestimmung des Ca.
- Tab. F
- " 10.) Der V-Wert ist unter Verwendung der Erdalkali- und Alkali-Ionen-Summe und der KAK tot berechnet.
- S.D10 11.) Höhere oxalatlösliche Anteile der freien Eisenoxide sind auf den Al-Horizont, den ehemaligen Schwarzerde-Ah-Horizont beschränkt.
- Tab. G
- " 12.) Konstanz der Quotienten zeigt, daß eine durch Lösungs-transport bedingte Differenzierung des Fe im Profil in diesem, von Nässe-Merkmalen freien Boden ausgeschlossen werden kann.
- " 13.) Mangels fehlender Erkenntnisse wird die Anreicherung des  $\text{Mn}_d$  (=Mn) im Al-Horizont (vgl. auch die anderen Böden!) als Ergebnis der Schwermineral-Verwitterung in den vorausgegangenen Schwarzerde-Phasen und Humat-Koppelung an die Schluff-Komponente gedeutet.





Boden D, PARABRAUNERDE : CHRONOISOPLETEN DER BODEN-WASSER-TENSION. Ausgewähltes Beispiel: Feuchter Frühsommer und trockener Hochsommer 1983.



Boden D, PARABRAUNERDE: Chronoisoplethen der hydraulischen Gradienten in einer Sequenz trockener und feuchter Jahre

<h1 style="margin: 0;">BÖDEN AUS LÖSS</h1>	<b>PROFIL</b> <b>E</b>
<b>LEINETAL-GRABEN UND UMRANDUNG</b>	

**BODEN-NAME**

Kartieranleitung: Typischer Pseudogley 1) mit Haftnässe im Untergrund und Parabraunerde-Vergangenheit 2)

SOIL TAXONOMY: Typic Ochraqualf

FAO: Dystric Planosol

**STANDORTFAKTOREN**

AUSGANGSGESTEIN: 280 cm Löß, an der Basis mit Beimischung äolischen Sandes über ... bankig grobklüftigem mittlerem Buntsandstein.

HYDROREGIME: Muldenlage mit seitlichem Zuzug von Oberflächenwasser und oberflächen-nahem Boden-Wasser. Stau im Lößpaket durch interstadial-pedogene und pedogene Verdichtung im oberen Abschnitt des Lößpakets. Nach unten freier Abfluß.

VEGETATION: Laubwald-Neuanpflanzung (Ei, Bu) nach Fichte nach feuchter Eichenwald-Graslichtung.

RELIEF: Höhenlage: 317 m üNN  
Lößgefüllte Mulde (ehemals flache Talursprungsdelle) im mittleren Buntsandstein, Bausandstein, an den Planken der Delle zutage tretend.

KLIMA Temperatur: 7,2 °C } aufgrund kurzfristiger Vergleichsdaten zu vieljährigen Messungen  
Niederschlag: 625 mm } benachbarter Stationen geschätzt.

MENSCH: Der Wald ist im Verlauf der mittelalterlichen Siedlungsgeschichte als Hutung (Hudewald, "Heide") genutzt worden.

E2

ORT

370 mm SSE Hurkuststein, Staatsforst  
Reinhausen, Schonung am Verbindungs-  
weg zwischen Mühlentalstraße und Wald-  
schlößchenweg.  
rechts: 35 70 275      hoch: 57 02 105

KARTEN: TK 25: 4526 (Gelliehausen)

LITERATUR

- 1.) Uexküll, H.v., 1952: Ein Beitrag zur Diskussion über "glei-  
artige Böden" aus der Umgebung von Göttingen anhand einer  
Profiluntersuchung. - Diplomarbeit, Agrikulturchemisches und  
Bodenkundliches Inst., Landwirtschaftl. Fakult., Univers.  
Göttingen
- 2.) Gebhardt, H., 1964: Bilanzanalytische Untersuchungen zur  
Silikatverwitterung in feuchten und assen Holozänböden aus  
LÖß mit besonderer Berücksichtigung der Feldspat-Verwitterung. -  
Diss., Landwirtschaftl. Fakult., Univers. Göttingen
- 3.) Staatl. FA Reinhausen, 1967: Standortaufnahme des Staatlichen  
Forstamtes Reinhausen. - Karten und Erläuterungsband
- 4.) Hagedorn, J., Brunotte, E., Schröder, E., 1972: Kuppenrelief  
und Felsformen im Bausandstein des Reinhäuser Waldes (süd-  
östlich Göttingen). - Göttinger Geogr. Abh. 60, 202-219 (1972)
- 5.) Rienäcker, J., 1-85: Wasserhaushalt und Stoffumsatz in einem  
bewaldeten Einzugsgebiet im mittleren Buntsandstein südöstlich  
Göttingens (Reinhäuser Wald) unter besonderer Berücksichti-  
gung aktueller Witterungsabläufe. - Diss. Math.-Nat. Fachber.,  
Univers. Göttingen



B DICHTE, PORENMENGEN - VERTEILUNG (Vakuumsättigung)

TIEFE cm	TD g·cm <sup>-3</sup>	GPV Vol %	Porenklassen-Menge (Äquivalentdurchmesser in µm)										% Boden-Volumen								
			> 300		300 - 50		50 - 30		30 - 15		15 - 10		10 - 6		6 - 3		3 - 0,6		0,6 - 0,2		< 0,2
			pf 10		pf 10		pf 10		pf 10		pf 10		pf 10		pf 10		pf 10		pf 10		pf 10
			sehr grobe Grubben		grobe Grubben		langsam drainierende Grobporen		Mittelporen		Mittelporen		schwer drainierende Feinporen		Lapparen		Lapparen		Lapparen		
			Luftporen			leicht pflanzenverfügbare			Mittelporen			schwer drainierende Feinporen			Lapparen			Lapparen			
0	1,06	59,1	5,6	7,6	3,3	3,0	2,8	4,7	2,5	15,0	3,1	11,5									
			13,2	16,5		9,1			25,3												
			13,2	16,5		9,1			25,3												
	1,28	49,9	6,4	6,2	1,4	2,5	0,8	2,2	1,9	13,2	7,0	8,3									
			12,6	14,0		4,7			24,3												
			12,6	14,0		4,7			24,3												
50	1,50	43,4	1,6	2,4	1,1	1,5	1,3	1,6	3,4	9,7	7,8	13,0									
			4,0	5,1		3,9			7,8												
			4,0	5,1		3,9			7,8												
	1,49	43,6	1,1	1,0	0,7	1,5	0,8	1,9	9,0	6,9	7,2	13,5									
			2,1	2,8		3,0			25,0												
			2,1	2,8		3,0			25,0												
100	1,56	41,2	1,0	1,4	0,5	0,7	0,5	1,3	5,8	9,1	4,6	16,3									
			2,4	2,9		1,7			20,5												
			2,4	2,9		1,7			20,5												
150	1,65	37,7	0,2	1,1	0,6	1,2	0,9	1,8	1,5	13,4	3,2	13,8									
			1,3	1,9		2,7			19,9												
			1,3	1,9		2,7			19,9												
200	1,58	40,4	0,4	0,1	0,2	1,2	1,3	1,4	3,8	19,0	0,9	12,1									
			0,5	0,7		2,7			25,1												
			0,5	0,7		2,7			25,1												
250	1,72	35,0	2,0	3,4	2,2	2,1	1,6	2,7	2,7	7,6	2,7	8,0									
			5,9	7,6		5,9			13,7												
			5,9	7,6		5,9			13,7												

E4

C KAPILLARWASSER - MENGENVERTEILUNG (kapillare Sättigung)														
		Kapillarwasser-Menge (Äquivalentdurchmesser in $\mu\text{m}$ )									% Boden-Volumen		nFK	
		> 300	300 - 50	50 - 30	30 - 15	15 - 10	10 - 6	6 - 3	3 - 0,6	0,6 - 0,2	< 0,2	pF		
		< pF 1,0	pF 1,0 - 1,8	pF 1,8 - 2,0	pF 2,0 - 2,3	pF 2,3 - 2,5	pF 2,5 - 2,8	pF 2,8 - 3,0	pF 3,0 - 3,7	pF 3,7 - 4,2	> pF 4,2	1,8 - 4,2   2,3 - 4,2		
TIEFE	cm	Leitporen			Mittelporen				Engeporen		Engeporen			
		Luftporen			leicht pflanzenverfügb.				schwer pflanzenverfügb.		Teilwasser			
0		5,2	7,5	2,5	3,6	2,5	2,5	3,4	17,3	3,1	11,5	34,9   28,8		
		15,2			12,0				20,4		11,5			
		12,7		11,1				23,8		11,5				
50		9,3	5,0	2,0	1,7	1,3	1,8	2,8	11,3	7,0	8,3	27,3   23,6		
		16,3			7,6				18,3		8,3			
		14,3		6,8				21,1		8,3				
100		1,8	2,6	0,5	1,3	0,5	1,7	2,4	9,7	7,8	13,0	23,9   22,1		
		4,1			5,9				17,5		13,0			
		4,4		4,0				19,9		13,0				
150		3,0	2,7	0,6	1,1	0,6	1,1	3,3	9,3	7,1	13,5	23,1   21,4		
		6,3			6,1				16,4		13,5			
		5,7		3,4				19,7		13,5				
200		1,0	2,4	0,5	0,7	0,5	1,3	1,8	12,1	4,6	16,3	21,5   20,3		
		3,4			4,3				16,7		16,3			
		3,4		3,0				18,5		16,3				
250		0,8	1,4	0,5	0,7	0,4	1,3	1,7	12,9	3,1	13,8	20,6   19,4		
		2,7			4,1				16,0		13,8			
		2,2		2,9				17,7		13,8				
300		0,7	1,4	0,4	0,7	0,8	2,2	3,5	16,9	0,9	12,1	25,4   24,3		
		2,5			7,2				17,8		12,1			
		2,1		4,1				21,3		12,1				
350		3,0	1,9	1,3	1,6	1,5	2,5	2,6	9,6	2,7	8,0	21,8   18,9		
		6,2			8,2				12,3		8,0			
		4,1		6,9				14,9		8,0				



D LEITFÄHIGKEIT DES BODENS (kapillare Sättigung), LEITFÄHIGKEIT DER KAPILLAREN																			
TIEFE cm	±∞ (kf) cm·d <sup>-1</sup>	Leitfähigkeit des Bodens bei Tension p cm H <sub>2</sub> O..										spez Leitfähigkeit zw den Porendurchmessern(µm) ..							
		1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,7	4,2	∞ u.50	50 u.30	30 u.15	15 u.10	10 u.6	6 u.3	3 u.0,6	0,6 u.0,2		
		cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>										cm·d <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>							
0	25																		
	50	68	52	34	26	17	13	5	2,5	319	10800	1059	615	500	143	71	36		
-50	0,4																		
	0,3	250	147	67	39	18	11	1,7	0,5	877	1710	7272	4667	1907	273	100	17		
	0,1																		
100																			
	5																		
-150																			
200	7	161	103	54	34	18	12	2,5	0,9	325	1015	7000	2500	727	171	56	178		
250	14																		
300																			



E6



ANMERKUNGEN zu den Seiten F1 - F6

Tab. A, B, C, D

S. F1 1.) Der Boden hat im oberen Abschnitt Merkmale des Stauwasser-Pseudogleys, unterhalb 120 cm Merkmale des Haftnässe-Pseudogleys, entspricht also somit nicht der für den Pseudogley im allgemeinen und den typischen Pseudogley im Besonderen charakteristischen Horizont-Kombination. Um seine Einordnung unter den Typ Pseudogley zu sichern, sollte zur Definition der 3 Typen der Klasse der Staunässeböden hinzugefügt werden: "Folgen in einem Boden dieser Klasse von oben nach unten verschiedene Staunässe-Merkmale, die charakteristisch für je einen Typ dieser Klasse sind; so ist der Boden dem Typ zuzuordnen, dessen Merkmale in den oberen 15 dm dominieren."

2.) Die Parabraunerde hat keine Schwarzerde-Vergangenheit gehabt. Es finden sich im Bt-Horizont keine mit schwarzem Humat-Ton gefüllten Poren, was sonst selbst bei fortgeschrittener Pseudovergleyung noch zu erkennen wäre. Auch ist der Al-Horizont mit 40 cm Mächtigkeit für einen aus einem Schwarzerde-Ah-Horizont (55 cm) hervorgegangenen zu geringmächtig.

3.) AGV Aggregat-Verbund-Struktur blo: Blöcke  
KOM Kompakt-Struktur leit: Leitbahnen  
Ziffern: Durchmesser (AGV) bzw. Abstände (KOM)

S. F4,5,6 4.) Die Daten dieser Tabellen und der auf der folgenden Seite dargestellten Auswertungstabelle lassen erstaunlicherweise nur geringe physikalische Unterschiede zur Parabraunerde, Boden D, erkennen, obwohl es sich hier um einen Pseudogley handelt, von dem man stärkere Verdichtungen und geringere Leitfähigkeitswerte im ehemaligen Bt-Horizont erwartet, welche die Ursache für Stau nässe sein sollen. Tatsächlich sind aber die Porenanordnung im Pseudogley, die Hydraulische Leitfähigkeit im gesättigten Zustand und die Kapillare Leitfähigkeit im ungesättigten Zustand bis  $pF\ 3$  eher sogar für eine natürliche Drainage günstiger als in der Parabraunerde, die keine "hydromorphen" Merkmale zeigt. Das Profil F ist somit ein charakteristisches Beispiel dafür, daß "Stau" stets in Relation zur Wasser-Eintrags-Rate zu sehen ist, die hier in Folge der Muldenlage höher als in der Parabraunerde ist und daß "Stauursachen" nur relative Größen sind!

Auswertungstabelle

Horizont	Vol. % pF2,0-4,2	(Vol. % pF2,0-3,0) ■ 100	Matrix- (Grundmasse)- Dichte {Ausschluß Poren pF 2,0}	Vol. % Totwasser Gew. % Ton	Hysterese Char. Diff. Vol. % Vaku- um-Sätt. - Kap. Sätt. pF		
		Vol. % pF2,0-4,2			2,0- 3,0	3,0- 4,2	2,0- 4,2
Alh	31,1	42	1,27	0,72	-1,0	+2,8	+1,8
Al	27,6	27	1,49	0,58	+0,2	-1,9	-1,7
BtSd	25,3	30	1,58	0,65	-1,9	± 0	-1,9
	27,3	48	1,53	0,67	-7,1	+2,3	-4,8
	22,0	38	1,61	0,63	-4,0	+3,0	-1,0
BvSg	22,0	25!	1,68	0,73	-1,3	-0,6	-1,9
	27,6	28!	1,59	0,78	-0,5	-2,1	-2,6
II Bv	19,4	47	1,86	0,61	-0,9	+2,0	+1,1

E. KORNKLASSEN-MENGENVERTEILUNG, Co, Mg-CARBONATE, HUMUS, FeOOHdth																
% humus- u carbonatfreie Trockenmasse ( $\emptyset$ in $\mu\text{m}$ )																
TIEFE cm	Humus (af O <sub>2</sub> ) €1,724 MgO		SAND					SCHLUFF					TON		Bodenart	
	>2000	2000-630	630-200	200-63	$\Sigma$	63-20	20-6	6-2	$\Sigma$	Silikat	<2 FeOOH	$\Sigma$				
0	28,0	0,0	0,0	6,5	5,3	11,8	41,0	23,7	7,5	7,2	15,3	0,7	16,0	LU		
	0,9	0,0	0,0	6,2	5,3	11,5	46,0	22,3	5,9	7,4	13,4	0,9	14,3	LU		
50	0,3	0,0	0,0	4,8	4,5	9,3	44,1	19,9	6,4	7,0	19,1	1,2	20,3	LU		
	0,3	0,0	0,0	5,1	4,8	9,9	45,4	19,5	5,4	7,0	18,6	1,2	19,8	LU		
100	0,2	0,0	0,0	5,3	3,4	8,7	46,2	18,7	5,6	7,0	19,6	1,2	20,8	LU		
	0,2	0,0	0,0	3,7	3,2	6,9	38,9	21,5	6,6	6,7	25,1	1,0	26,1	UL		
	0,3	0,0	0,7	4,4	3,6	8,7	37,6	23,2	6,9	6,7	18,4	5,2	23,6	LU		
150	0,3	0,0	0,0	4,3	3,4	7,7	45,4	19,9	5,8	7,1	18,4	2,8	21,2	LU		
	0,2	0,0	0,0	5,6	4,1	9,7	43,3	22,7	5,4	7,1	17,9	1,1	19,0	LU		
200	0,2	0,0	0,6	12,2	8,0	20,8	32,3	20,0	4,4	5,6	14,4	0,9	15,3	LU		
	0,1	0,0	0,1	12,3	7,2	19,6	47,4	7,6	4,5	5,9	14,7	0,9	15,6	LU		
250	0,1	0,0	0,2	31,6	21,4	53,2	25,7	4,6	3,3	3,6	12,6	0,6	13,2	LS		
300																

F		PUFFERUNGSZUSTAND																
TIEFE cm		pH		Ca, Mg	CaSO <sub>4</sub>	KAK <sub>tot</sub>	KAK <sub>min</sub>	Austauschbare Kationen								V-Wert	Ca : Mg	
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub>	·2H <sub>2</sub> O	10 <sup>-3</sup> mol IE	10 <sup>-3</sup> mol IE	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>	6)	am. Aus-	
		% TrM	mg/100g	% TrM	mg/100g	100 g	100 g	10 <sup>-3</sup> mol IE/100 g Boden-Mat.								%	in	tauscher
								(% KAK)										
0		4,6	4,2	0	9,9	15,5	44	0,1 (0,7)	0,2 (1,3)	0,2 (1,3)	1,2 (7,7)	0,8 (5,2)	0,4 (0,7)	6,6 (43)	11,8 (76)	11	-	6
		4,6	4,2	0	29,7	13,7	76	0 (0)	0,2 (1,5)	0,4 (0,7)	0,7 (5,1)	1,2 (8,8)	0,4 (0,7)	5,9 (43)	11,2 (82)	7	-	7
50		5,2	4,3	0	0	14,1	65	0,4 (0,7)	0,2 (1,4)	1,4 (7,8)	3,8 (27,0)	0,8 (5,7)	0 (0)	1,8 (12,8)	9,8 (70)	37	-	3
		5,2	4,3	0	0	13,7	65	0,1 (0,7)	0,2 (1,5)	1,1 (8)	3,4 (25)	0,7 (5)	0 (0)	1,6 (12)	7,3 (53)	35	-	3
100		5,4	4,4	0	0	14,4	66	0,1 (0,7)	0,3 (2)	1,4 (10)	5,2 (36)	0,5 (3)	0 (0)	1,1 (8)	6,9 (48)	49	-	4
		5,6	4,5	0	0	14,4	53	0,1 (0,7)	0,3 (2)	1,8 (13)	5,7 (40)	0,4 (3)	0 (0)	0,8 (6)	5,0 (35)	55	-	3
		5,9	5,0	0	39,1	19,8	80	0,4 (0,5)	0,4 (2)	1,6 (8)	5,7 (29)	0,9 (5)	0,4 (0,5)	1,1 (6)	5,3 (27)	39	-	4
150		5,8	4,8	0	19,5	16,9	76	0,1 (0,6)	0,3 (2)	1,6 (9)	4,7 (27)	0,1 (0,6)	0,2 (1)	0,6 (4)	5,0 (30)	40	-	3
		5,9	4,8	0	16,7	15,6	79	0,1 (0,6)	0,3 (2)	2,0 (13)	6,3 (40)	0,3 (2)	0 (0)	1,4 (9)	3,2 (24)	56	-	3
200		5,9	4,9	0	10,9	11,8	74	0,1 (1)	0,3 (2)	1,8 (15)	5,8 (49)	0,2 (2)	0 (0)	1,4 (12)	3,3 (28)	68	-	3
		6,1	5,0	0	26,3	12,0	74	0,4 (0,8)	0,3 (2,5)	1,8 (15)	5,8 (48)	0,2 (2)	0 (0)	1,4 (12)	3,3 (28)	58	-	3
250		6,9	6,2	0	2,7	7,2	51	0,4 (1,4)	0,2 (3)	1,0 (14)	3,6 (50)	0,2 (3)	0 (0)	0,9 (13)	1,8 (25)	68	-	4
300																		

G EXTRAHIERBARES Fe, Mn, Al, Si (d=Dithionit/Citrat, o=Oxalat)																	
TIEFE cm	Fe-Mn-Gesamt		Fe				Mn		Verhältnisse		Al		Si		Verhältnisse		
	Fe <sub>t</sub> ‰	Mn <sub>t</sub> ppm	Fe <sub>d</sub> ‰	Fe <sub>o</sub> ‰	Fe <sub>d</sub> Fe <sub>d</sub> Ton	Mn <sub>d</sub> ppm	Mn <sub>o</sub> ppm	Fe <sub>d</sub> Mn <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> Mn <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub> ‰	Al <sub>o</sub> ‰	Si <sub>d</sub> ‰	Si <sub>o</sub> ‰	Al <sub>d</sub> Si <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub> Si <sub>o</sub>		
0	9,8	1200	4,5	2,8	0,63	3,0	1002	1003	4,5	2,8	1,4	0,19	2,0	1,6	1,5	0,9	1,3
	13,7	2940	5,8	4,1	,71	4,1	2348	2353	2,5	1,8	1,6	0,20	2,1	0,8	1,6	2,0	1,3
-50	18,4	630	7,3	5,2	,72	3,9	516	414	14,1	12,6	0,8	1,7	1,4	2,9	0,6	0,6	
	19,8	390	7,8	5,7	,73	4,3	321	325	24,4	17,6	1,0	1,5	1,8	1,7	0,5	0,9	
	20,3	360	7,3	3,9	,54	3,8	194	189	37,6	21,0	1,0	1,3	2,4	3,3	0,4	0,4	
-100	19,7	340	6,4	2,8	,44	2,6	204	207	31,2	13,5	1,0	1,2	2,0	2,4	0,4	0,5	
	12,82	2510	8,00	2,47	,31	4,97	2489	2490	32,1	9,2	1,1	0,1,6	2,3	2,7	0,5	0,6	
-150	25,9	19980	11,9	4,7	,40	6,9	19888	19900	0,6	0,2	1,2	0,2,3	2,3	3,1	0,5	0,7	
	18,7	490	7,0	1,6	,23	4,0	414	383	16,9	4,2	0,7	1,2	1,0	3,3	0,7	0,4	
-200	18,2	400	5,9	1,3	,22	4,2	319	328	18,4	3,9	0,9	0,8	1,5	3,2	0,6	0,3	
	17,5	370	5,4	1,1	,21	3,7	371	333	14,5	3,4	0,6	1,2	1,6	0,9	0,4	1,3	
-250	13,0	260	3,8	0,5	,14	3,1	176	174	21,5	3,1	0,5	1,0	2,6	3,2	0,2	0,3	
-300																	

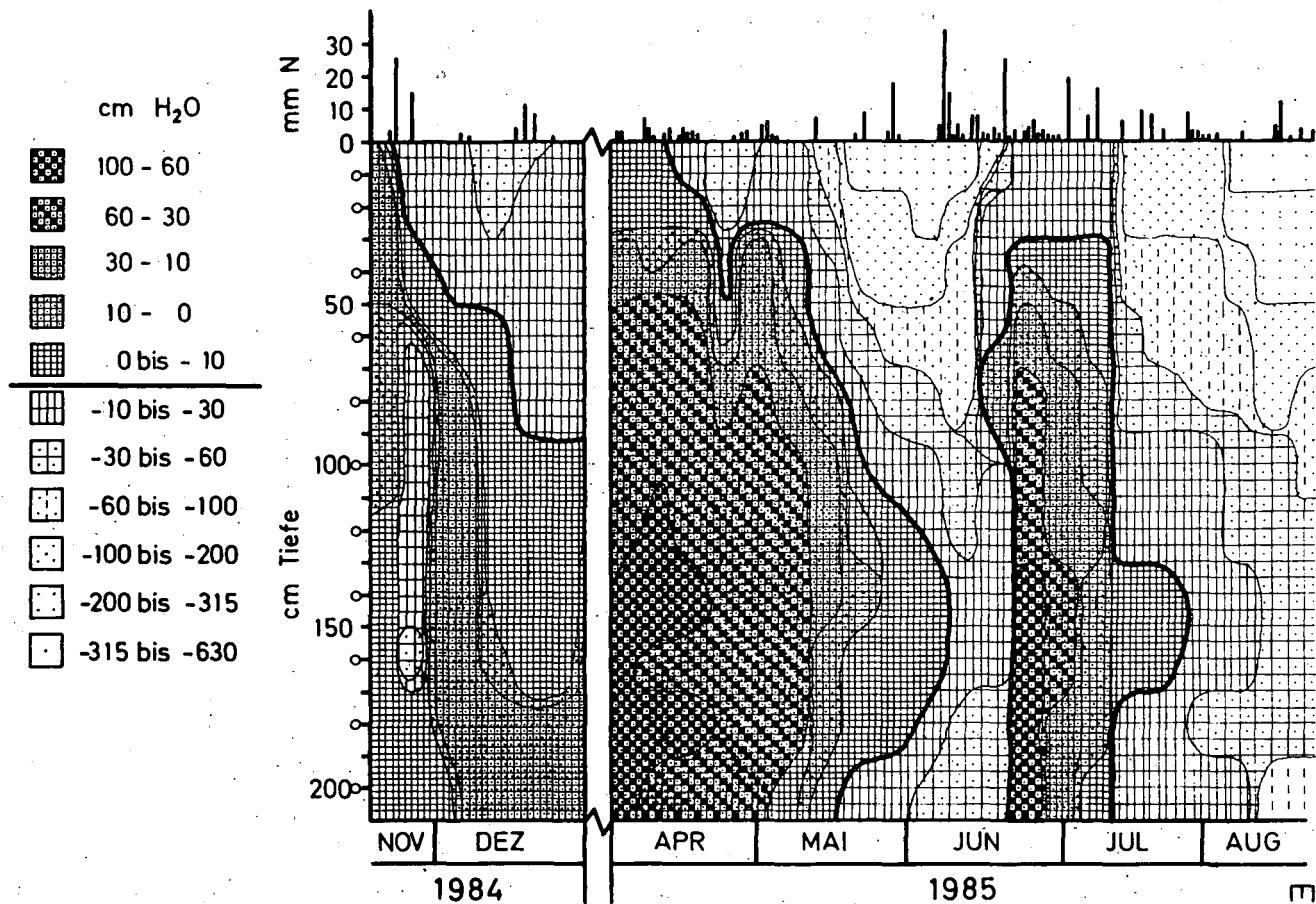
-430-

E11

ANMERKUNGEN zu den Seiten F9 F10 F11

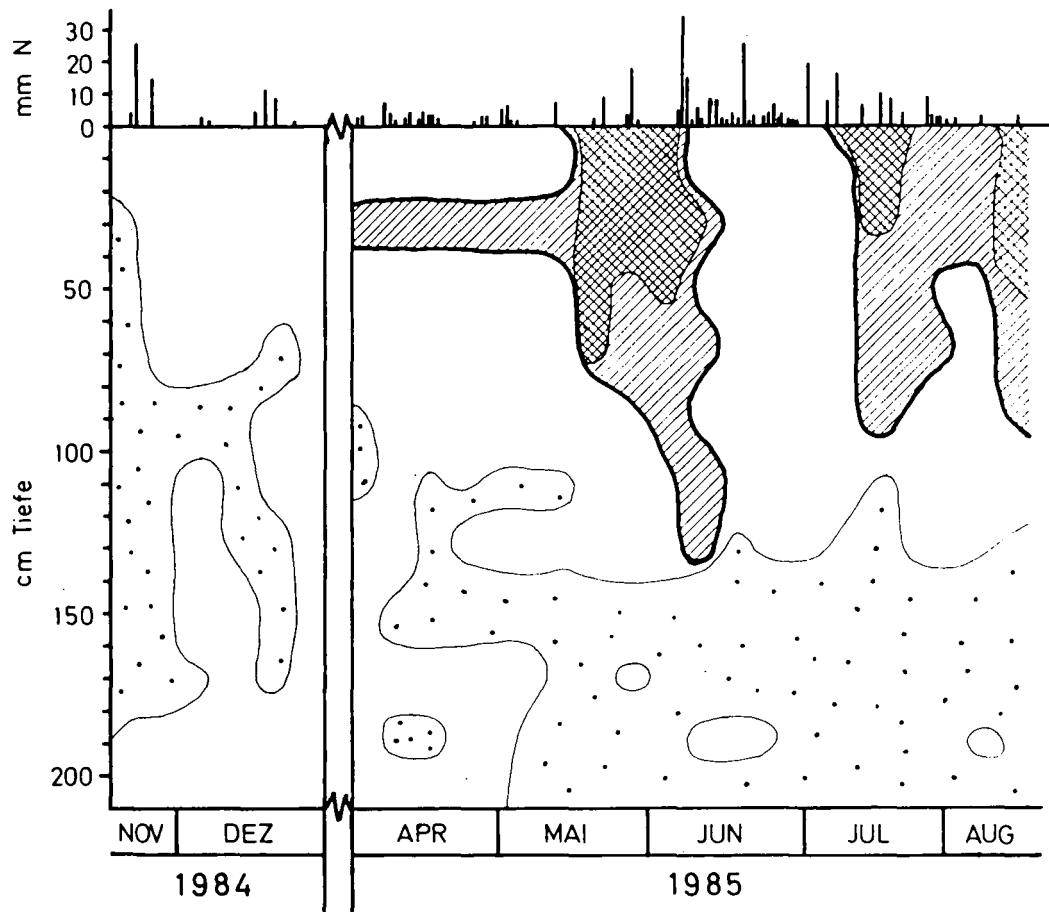
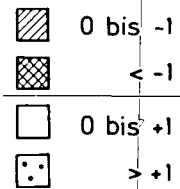
Tab. E, F, G

- S. F9 5.) Abgesehen von dem durch die Lage im Buntsandsteingebiet bedingten höheren Gehalt des Lösses an Sand zeigt der Tongehalt mit seinem Maximum in der Tiefenverteilung bei 100 - 110 cm - im Gegensatz zu Profil D - daß in dieser Tiefe möglicherweise ein jungwürmzeitlicher Oberboden-Horizont mit kryoklastischer Überprägung gelegen hat. Hinweise darauf gibt der geringe Eisenoxid/Ton-Quotient.  
Das Eisen-Mangan-Oxid-Band liegt an der Untergrenze dieses Horizontes und deutet mit seinem Zickzack-Verlauf möglicherweise den Verlauf eines Klein-Eiskeil-Netzes an.  
Im übrigen weicht die Tiefenfunktion des Tons nicht wesentlich von der der "trockenen" Parabraunerde ab.
- S.F10 6.) Der V-Wert ist aus der Summe der einzeln bestimmten Alkali- und Erdalkali-Kationen als Prozentsatz der KAK tot (pH 8,2) gebildet.
- S.F11 7.) Als Folge der lösungsschemischen Fe-Umfällung reicht die hohe Oxalat-Löslichkeit der freien Eisenoxide bis an das Eisen-Mangan-Oxid-Band.  
Trotz sichtbaren Eisentransportes wird die Verteilung der Eisenoxide im wesentlichen von der vorausgegangenen Ton-Verlagerung geprägt.  
Der Bt-Horizont mit seinem anhaltenden Nässe-Stau ist der eigentliche Mn-Verarmungshorizont. Das mobilisierte Mn wird entsprechend den vorherrschenden hydraulischen Gradienten (vgl. F14) nach oben (Anreicherung im Al-Horizont) und nach unten (Anreicherung im Fe-Mn-Oxid-Band und darunter) verlagert.



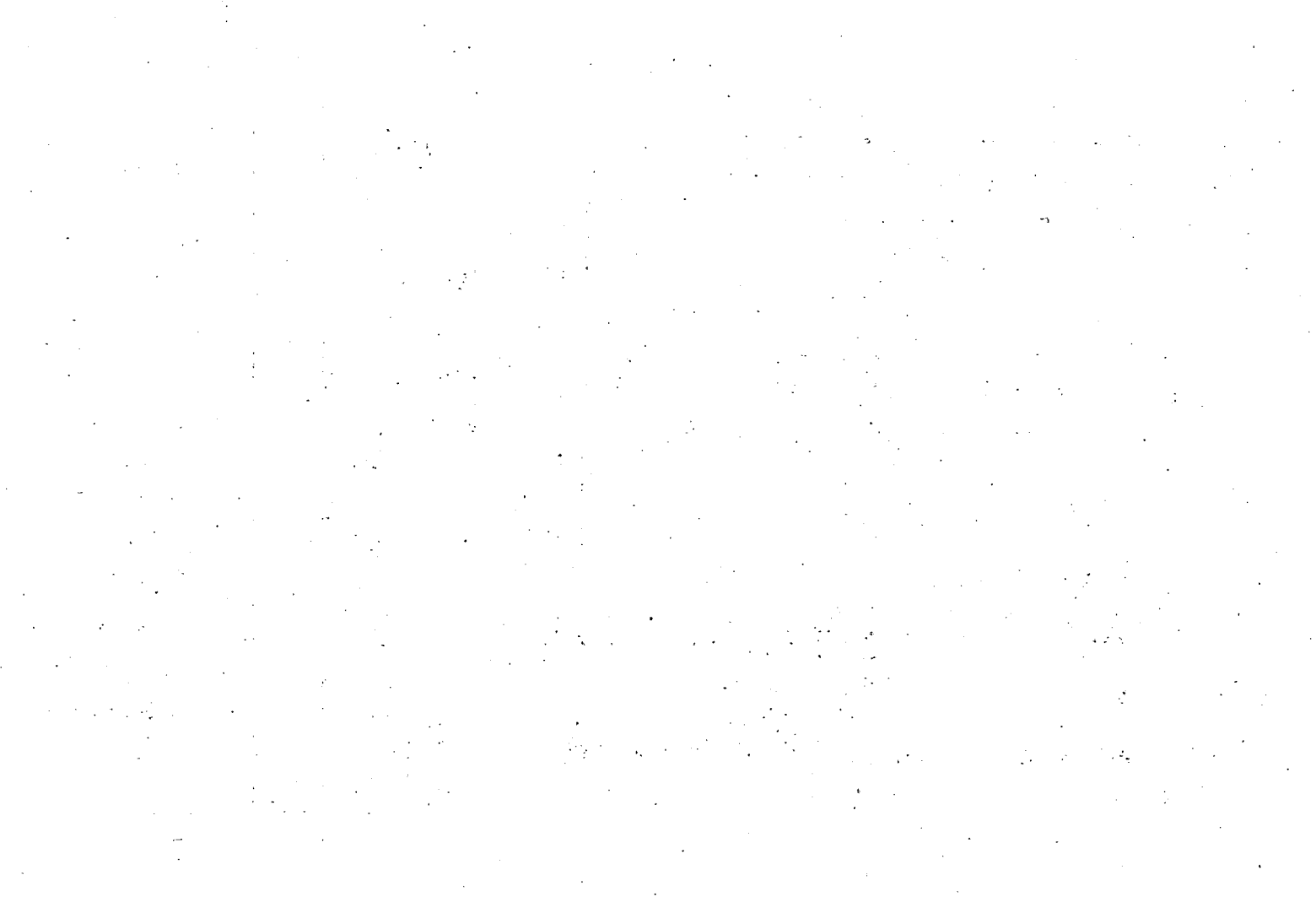
Chronoisoplethen der H<sub>2</sub>O-Tension im Pseudogley Reinhausen  
 Ausgewähltes Beispiel: Feuchtes Sommer-Halbjahr 1985

E13



Chronoisoplethen der hydraulischen Gradienten im Pseudogley Reinhausen.  
Ausgewähltes Beispiel: Feuchtes Sommer-Halbjahr 1985





Exkursion

MUSCHELKALKBÖDEN

von

Meyer, B., R. Jörgensen, P. Huguenoth u. Chr. Ahl

---



ENTWICKLUNG und GESELLSCHAFT der BÖDEN aus KALKSTEIN im  
MUSCHELKALK - GEBIET des GÖTTINGER WALDES

von

Meyer, B., R.Jörgensen, P.Hugenroth u. Chr.Ahl

In der Kenntnis der Genese und der Standortbedingungen von Böden aus Kalkstein bestehen noch immer - dies zeigen nicht zuletzt die Lücken in allen Nomenklatorsystemen - beträchtliche Unsicherheiten.

Die Exkursion auf die Hochflächen des Göttinger Waldes soll Entwicklungsreihen von Böden darstellen, die im Holozän aus den Frostschutt-Decken des Kalksteins hervorgegangen sind, welche das Periglazialklima der Weichseleiszeit hinterlassen hatte.

Der "Göttinger Wald" als Landschaft stellt eine von den Schichten des unteren (mu), mittleren (mm) und oberen (mo) Muschelkalkes gebildete nierenförmig durchschnittene und nach Göttingen hin entwässernde Hochfläche dar, die an ihren höchsten Stellen 400 m NN erreicht.

Der geologische Schichtkomplex fällt von E nach W zur Abbruchkante des Leinetalgrabens hin ein, so daß im E der mu (bewaldet), in der Mitte der mm, im W der mo - letztere zu großen Teilen landwirtschaftlich genutzt, da tiefgründiger verwitternd - die Hochflächen bilden.

Wie überall im Leine-WeserBergland folgt auch auf den Hochflächen des Göttinger Waldes über den Frostschutt-Decken der kaltefeuchten Periglazialphasen der Löß der letzten kalttrockenen Phase, besonders im Bereich der auf die Plateaus übergreifenden Talanfänge. Doch existieren in den Höhenlagen des südniedersächsischen Berglandes weite Bereiche, in denen der Einfluß von Löß auf die holozäne Bodenbildung aus Kalksteinschutt sehr gering ist oder gänzlich fehlt.

Solche Situationen sind für diese Exkursion ausgewählt worden, um die gesteinsbürtigen Faktoren aufzuzeigen, welche Richtung und Geschwindigkeit der Bodenentwicklung steuern.

Es sind dies die Mächtigkeit, die Fraktur und die präpedogene Anlösung der Frostschutt-Decken, der Nichtcarbonatgehalt und die spezifische Reaktivität (Lösungsgeschwindigkeit) der Festgesteinskörper.

Am ersten Haltepunkt (Hünstollenweg) werden nebeneinander Anfangs- und Endglied der Entwicklungsreihe Mullrendzina und (Parabraunerde)-Terra fusca aus Wellenkalk und Gelbkalk des mu gezeigt.

Haltepunkt 2 auf dem Sporn (umlaufende Schichtstufe des mu) des Hünstollens bringt anhand von Profilen prähistorischer und historischer Wallanlagen Entwicklungsglieder von der Mullartigen Rendsina bis zur Braunen Rendsina.

---

Inst. für Bodenwissenschaften der Universität Göttingen  
von Siebold-Str. 4, 3400 Göttingen

Am Haltepunkt 3, am Treppenweg nahe der auf der Exkursion "Ökosystem-Areal Göttinger Wald" vorgeführten Untersuchungsfläche werden bei einem Rundgang die 4 Entwicklungsstufen von der Mullrendsina bis zur Rendsina-Terra fusca gezeigt, wobei der standörtlich-boden-genetisch differenzierende Faktor im wesentlichen in der Mächtigkeit und dem Aufbereitungsgrad der Frostschutt-Decke besteht.

Die nummerierten Abbildungen und Tabellen dieses Führers beziehen sich auf die 4 Profile des Haltepunktes 3, ebenso die Tabelle über die Gesteinszusammensetzung.

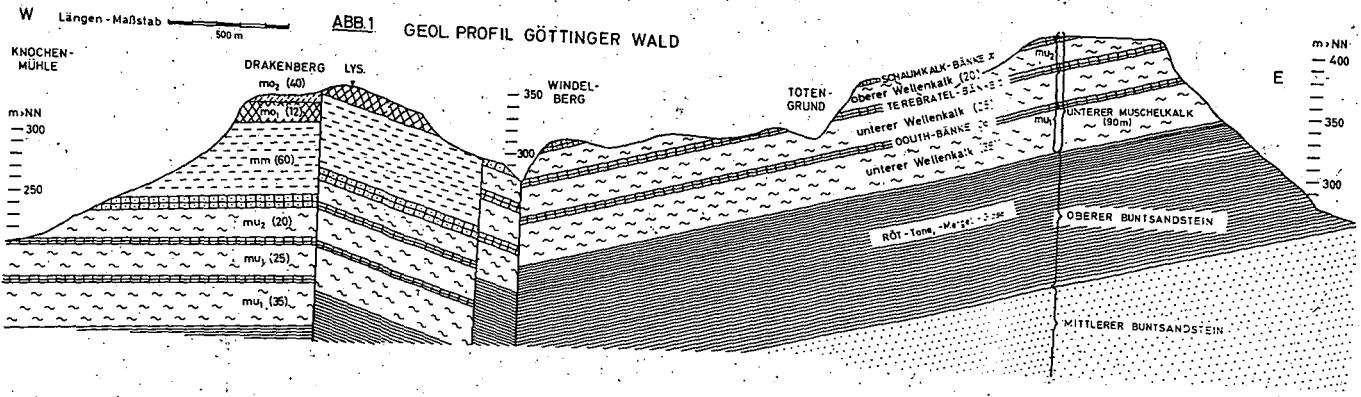
Analytischer Durchschnittswert für den Wellenkalk unterhalb der Terebratelbänke

Für die Berechnung der wärm-/weichselzeitlichen Lösungsverwitterung im Zuge von Geliflation und Solifluktion, d. h. in der Tjåle, und für die holozäne Lösungsverwitterung im Zuge der Bodenentwicklung wurde die Durchschnittszusammensetzung eines 4 m mächtigen Gesteinsverbandes untersucht. Dazu wurde ein durchgehender Gesteinskern von 500 kg Gewicht entnommen und fraktioniert.

Angaben in Prozent des absolut trockenen Entnahmegutes:

	Gestein	Lösungs- rückstand	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>
Kalksteine u. -grus	83,19	7,32 (8,8 %)	74,47 (89,52)	0,86 (1,03)
Kalksand	0,48	0,14 (29,3 %)		
Kalkschluff u. -ton	16,33	7,74 (47,4 %)	8,42 (51,57)	0,11 (0,69)
	100,00	15,20	82,89	0,97
	FeCO <sub>3</sub> %	FeOOH	MnO <sub>2</sub>	
Kalksteine u. -grus	0,156	0,120	0,008	
Kalkschluff u. -ton	0,014	0,010	0,014	





Scheffer, F. u. B. Meyer, 1959: Ein bodenkundlicher Beitrag zur Grabung im Muschelkalkgebiet des Hünstollens bei Göttingen. - Göttinger Jahrbuch 1959, 3 - 8.

Kalk, E u. B. Meyer, 1960: Progressive Bio-Opal→Quarz-Umwandlung bei der Terra fusca-Entstehung aus Kalkgestein.- Zeiss-Mitteilgn. 2, 3, 103 - 112 (1960).

Scheffer, F., E. Welte u. B. Meyer, 1960: Die Rendsinen der mittel-deutschen Berg- und Hügellandschaften (Leine-Weser-Bergland). - 1. Mittlg.: Genese und Verbreitungsbedingungen der Rendsinen. - Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 90, 18 - 36 (1960).

Scheffer F., E. Welte u. B. Meyer, 1962: Die Rendsinen der mittel-deutschen Berg- und Hügellandschaften (Leine-Weser-Bergland). - 2. Mittlg.: Fraktur, Nichtcarbonatgehalt und spezifische Auflösungs-geschwindigkeit des Kalkgesteins als bestimmende Größen der Bodenentwicklungsgeschwindigkeit.-Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 98, 1 - 17 (1962).

Rohdenburg, H. u. B. Meyer, 1963: Rezente Mikroformung in Kalkgebieten durch inneren Abtrag und die Rolle der periglazialen Gesteinsverwitterung. - Z. f. Geomorphologie N.F. 7, 120 - 146 (1963).

Thomsen, V. 1978: Wasserhaushalt von Lehrendsinen unter landwirtschaftlicher Nutzung und verbuschter Sozialbrache auf dem oberen Muschelkalk im südlichen Niedersachsen. - Diss. Landwirtschaftl. Fakult., Univers. Göttingen. - 110 S.

Thöle, R. u. B. Meyer, 1979: Bodengenetische und -ökologische Analyse eines Repräsentativ-Areals der Göttinger-Muschelkalk-Scholle als landschaftsökologische Planungsgrundlage. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 59, 230 S.

Jörgensen, R. 1981: Charakterisierung der organischen Substanz in Böden der bodengenetischen Morphosequenz auf Kalkgestein des Göttinger Waldes durch Kennzeichnung organischer Stoffgruppen mit Schwerpunkt auf der Analytik N-haltiger Verbindungen. - Diplomarbeit Inst. f. Bodenwissenschaften, Abl. Bodenkunde, Fachber. Agrarwissenschaften, Univers. Göttingen.

Jörgensen, R., R. Aldag u. B. Meyer, 1983: Qualität und Menge der organischen Substanz in der Boden-Morphosequenz Rendsina-Kalksteinbraunlehm (Terra fusca) auf dem Göttinger Muschelkalk. C- und N-Fraktionierung. - Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 38, 209 - 214 (1983).

Kickuth, R., B. Meyer u. H.J. Schonlau, 1969: Die divergierende Humus-Metabolik benachbarter Sauer-Braunerden und Rendsinen unter Wald im Licht organischer Stoffgruppen-Untersuchungen. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 8, 1-61 (1969). -

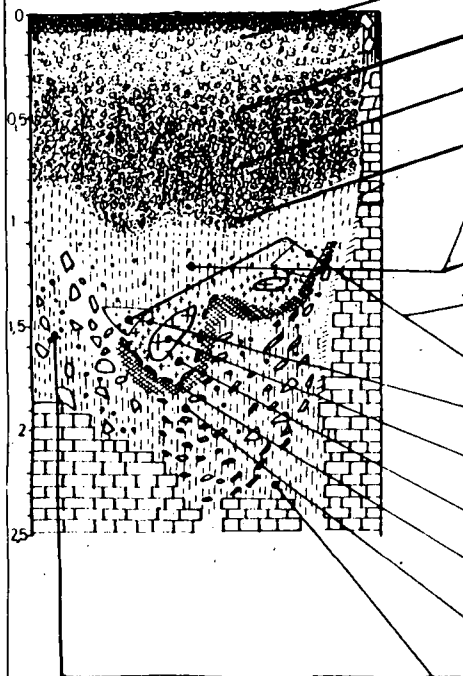
Lehmann, H., B. Meyer u. H.J. Schonlau, 1969: Die divergierende Humus-Metabolik benachbarter Sauer-Braunerden und Rendsinen unter Wald im Licht standortsbio-logischer Untersuchungen. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 9, 1-63 (1969). -



ENTWICKLUNGSSREIHE

Arbeitsbezeichnung Göttingen: MULLARTIGE MODERRENDZINA	
Kartieranleitung	: MULLARTIGE RENDZINA
FAO	: CALCIC LITHOSOL
Soil Taxonomy	: LITHIC UDORTHENT
AGÖ	: MULLRENDZINA
KA	: (TYPISCHE) (MULL) RENDZINA
FAO	: (ORTHC) RENDZINA (Wald, Gras) CALCIC LITHOSOL (Acker)
SOIL TAX	: LITHIC RENDOLL
Duchauffour	: RENDZINE à MULL
AGÖ	: Lehmrendzina
KA	: Vorschlag: Erweiterung des Begriffs: "BRAUNE RENDZINA"
FAO	: ....RENDZINA
SOIL-TAX:	: LITHIC RENDOLL
DU	: RENDZINE BRUNE
<b>PARABRAUNERDE - REIHE</b>	
AGÖ	: BRAUNLEHM-RENDZINA
KA	: TERRA FUSCA-RENDZINA (BRAUNERDE) RENDZINA
FAO	: CAMBIC RENDZINA
SOILTAX:	LITHIC EUTROCHREPTIC RENDOLL
DU	: RENDZINE BRUNE - SOL BRUN EUTROPHE
<b>BRAUNERDE - REIHE</b>	
AGÖ	: BRAUNERDE-RENDZINA
KA	: TERRA FUSCA-RENDZINA (RENDZINA-BRAUNERDE)
FAO	: CAMBIC RENDZINA
SOILTAX:	LITHIC EUTROCHREPTIC RENDOLL
DU	:
AGÖ	: RENDZINA-BRAUNLEHM
KA	: RENDZINA-TERRA FUSCA (RENDZINA-PARABRAUNERDE)
FAO	: TRANSITION CAMBISOL RENDZINA
SOILTAX:	LITHIC EUTROCHREPTIC RENDOLL
DU	: SOL BRUN EUTROPHE
AGÖ	: KALKSTEIN-BRAUNLEHM
KA	: PARABRAUNERDE-TERRA FUSCA (als Vorschlag!)
FAO	: (BRUNIC) LUVISOL
SOILTAX:	LITHIC/TYPIC HAPLUDALF (Wald) TYPIC/LITHIC ARGUODOLL (Gras, Acker)
DU	: SOL BRUN LESSIVÉ COMPLEXE
AGÖ	: KALKSTEIN-BRAUNERDE
KA	: BRAUNERDE-TERRA FUSCA
FAO	: EUTRIC CAMBISOL
SOIL TAX:	TYPIC EUTROCHREPT (Wald) TYPIC HAPLUDOLL (Gras, Acker)
DU	: SOL BRUN EUTROPHE
HIER SCHLIESSEN SICH AUF BEIDEN SEITEN DIE ÜBERGÄNGE ZUM PSEUDOGLEY AN	

GÖTTINGEN - Hünstollenweg



Nr	Horizont	S			U			T		CaCO <sub>3</sub> %	C x 1.724	Fed %
		>63 μ	63-36 μ	36-20 μ	20-6 μ	6-2 μ	2-0,6 μ	<0,6 μ				
51	ALT	1,6	13,6	22,8	14,1	11,3	38,1		2,12	4,93		
			36,4			49,4						
50	BtT	1,8	2,9	26,4	12,6	9,6	48,6		1,07	5,11		
			29,3			58,2						
49	BtT	2,0	4,7	19,0	10,9	17,3	48,1			11,58		
			23,7			65,4						
47	BtT	2,0	4,4	9,9	10,7	9,2	15,0	50,9	0,14	3,18		
			25,0			65,9						
46	Gelbkalk - detritus	1,7	4,7	12,3	13,5	12,5	17,1	40,0	0,07	2,97		
			30,5			57,1						
45	Gelbkalk - detritus	2,7	4,4	10,9	12,6	12,7	18,6	40,8	0,20	3,72		
			27,9			59,4						
48	steinfreier Lehm	5,5	5,7	12,5	15,7	15,4	15,2	35,6	0,16	3,95		
			33,9			50,8						
44	steinfreier Lehm	6,0	5,4	12,4	15,9	15,3	15,1	36,1	0,16	3,43		
			33,4			51,2						
43	gelb-grau- braunes TMS	7,8	9,9	16,3	26,6	15,8	12,0	19,5		3,18		
			52,8			31,5						
42	graues TMS	18,6	11,8	21,7	41,7	13,7	5,2	6,6		1,14		
			75,2			11,2						
41	TMS - Lehm Gemisch	13,1	18,9	31,2	20,1	10,4	19,3			5,38		
			50,1			29,7						
39	Alleröd A	11,0	14,8	25,9	32,9	15,5	8,0	3,0	31,9	1,98	4,58	
			73,6			11,0						
38	Alleröd B/C	8,5	18,0	23,3	28,5	16,3	10,2	5,0	49,9	1,83	3,38	
			69,8			15,2						
36	Seiten- kluft Gelb- Kalk -	3,5	20,0	54,3	9,1	8,2	8,4		56,0	4,43		
			74,3			16,6						
35	Basis Schluff	8,6	15,0	18,2	29,7	18,4	12,1	7,2	67,0	4,32		
			62,9			19,3						

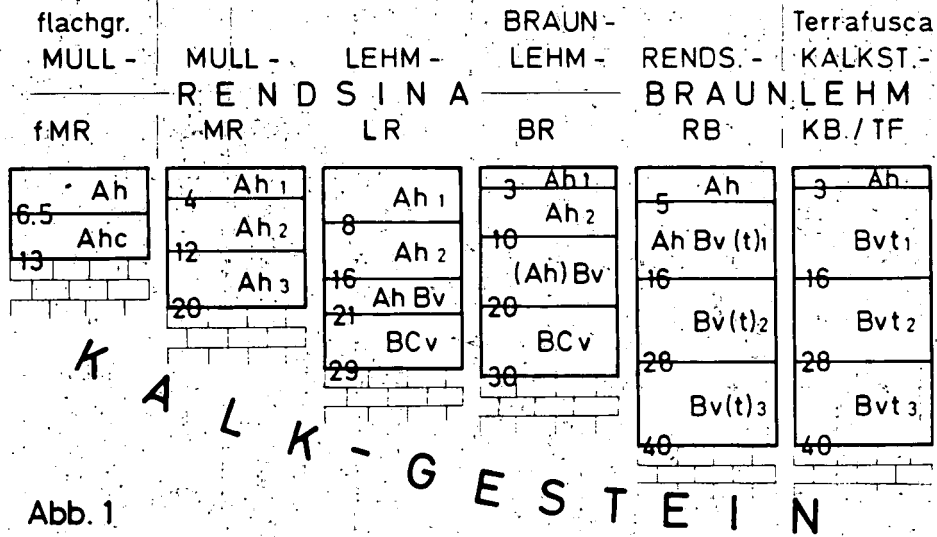


Abb. 1

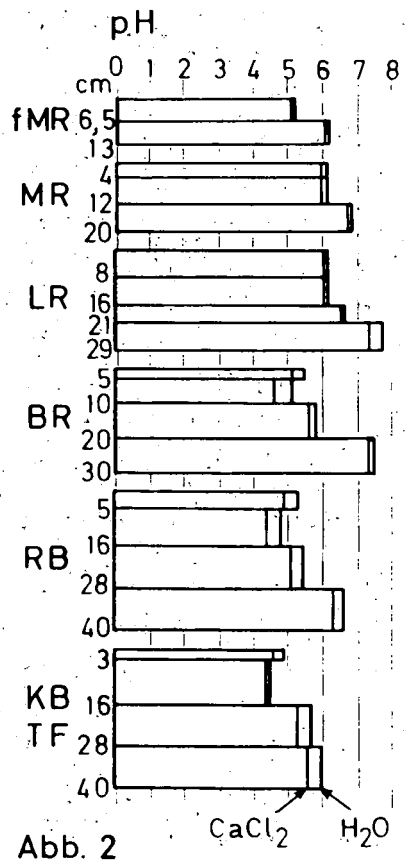


Abb. 2

## TABELLE 1

Farbbestimmung

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS 10 YR

	TIEFL in cm	feucht	FARBBEZEICHNUNG	trocken	FARBBEZEICHNUNG
fMR-Ah	0-6,5	2,5/1,5	s.dkl.br.	2,5/1,5	s.dkl.br.
fMR-AhC	6,5-13	3/1,5	s.dkl.gr.	3/2	s.dkl.grl.br.
MR-Ah1	0-4	3/1,5	s.dkl.gr.	3/2	s.dkl.grl.br.
MR-Ah2	4-12	3/2	s.dkl.grl.br.	3/2	s.dkl.grl.br.
MR-Ah3	12-20	3/2	s.dkl.grl.br.	4/2	dkl.grl.br.
LR-Ah1	0-8	3/2	s.dkl.grl.br.	3,5/2	(s.)dkl.grl.br.
LR-Ah2	8-16	3/2,5	s.dkl.grl.br.-dkl.br.	4/2	dkl.grl.br.
LR-AhBv	16-21	3/2,5	s.dkl.grl.br.-dkl.br.	4/3	br.-dkl.br.
LR-AhBvC	21-29	3/3,5	dkl.br.-dkl.gelbl.br.	4/3	br.-dkl.br.
B1R-Ah1	0-3	3/2	s.dkl.grl.br.	4/2	dkl.grl.br.
B1R-Ah2	3-10	3/2	s.dkl.grl.br.	4/2,5	dkl.grl.br.-(dkl.)br
B1R-(Ah)Bv	10-20	4/4	dkl.gelbl.br.	5/4	gelbl.br.
B1R-BvC	20-30	3/3,5	dkl.(gelbl.)br.	4/3,5	(dkl.)br.-dkl.gelbr
RB1-Ah	0-5	3/2,5	s.dkl.grl.br.-dkl.br.	5/2	grl.br.
RB1-Bv(t)1	5-16	3,5/3	dkl.br.	5/2,5	grl.br.-br.
RB1-Bv(t)2	16-28	3,5/3	dkl.br.	5/3	br.
RB1-Bv(t)3	28-40	3,5/3	dkl.br.	5/4	gelbl.br.
KStB1-Ah	0-3	3/2	s.dkl.grl.br.	5/2	grl.br.
KStB1-Bvt1	3-16	3/2,5	s.dkl.grl.br.-dkl.br.	5/2,5	grl.br.-br.
KStB1-Bvt2	16-28	3/3	dkl.br.	5/3	br.
KStB1-Bvt3	28-40	3/3	dkl.br.	5/4	gelbl.br.

ABB. 3

Corg HUMUS (C x 1,724)

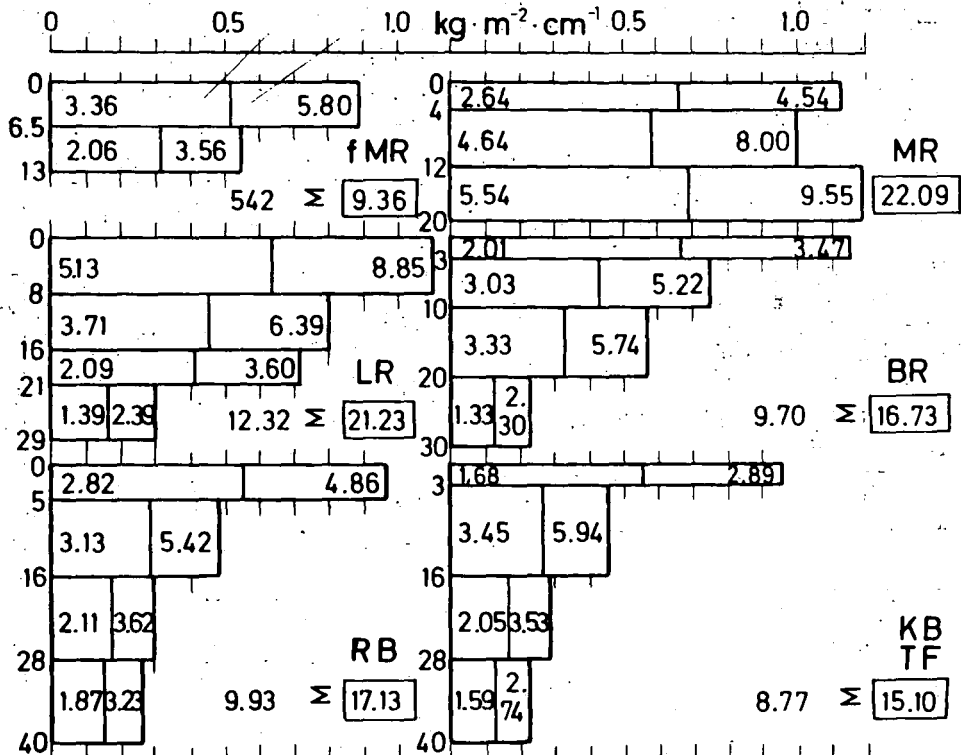


ABB. 6

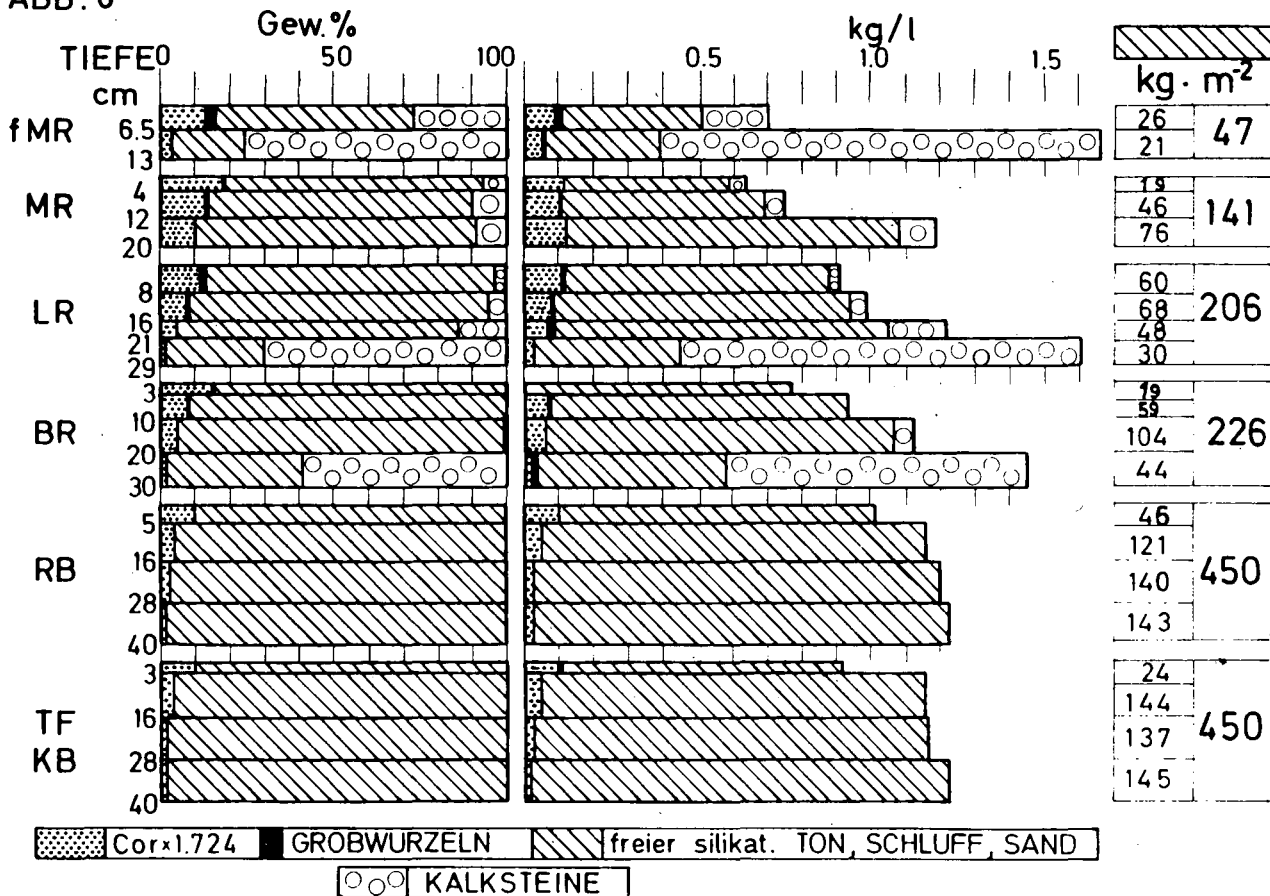


TABELLE 2

Kationen-Austausch-Kapazität

CFTS = carbonatfreie Feinerde-Trockensubstanz

	TIEFE in cm	KAK mmolJE 100g CFTS	KATIONEN % KAK					V-WERT % KAK
			Na	K	Mg	Ca	H	
fMR-Ah	0-6,5	74,3	0,1	2,2	2,2	72,1	23,4	76,6
fMR-AhC	6,5-13	72,1	0,3	1,7	1,7	88,2	8,1	91,9
MR-Ah1	0-4	62,0	0,0	1,1	2,7	72,7	23,5	76,5
MR-Ah2	4-12	53,2	0,0	0,9	2,6	79,9	16,6	83,4
MR-Ah3	12-20	50,1	0,0	0,8	2,4	85,0	11,8	88,2
LR-Ah1	0-8	59,2	0,2	0,8	2,4	70,9	25,7	74,3
LR-Ah2	8-16	47,8	0,2	0,6	2,3	85,1	11,8	88,2
LR-AhBv	16-21	48,7	0,0	0,4	1,4	85,6	12,6	87,4
LR-AhBvC	21-29	48,6	0,6	0,8	1,6	86,8	10,2	89,8
BIR-Ah1	0-3	49,2	0,0	1,0	2,6	56,9	39,5	60,5
BIR-Ah2	3-10	42,3	0,0	0,7	1,9	56,3	41,1	58,9
BIR-(Ah)Bv	10-20	41,8	0,0	0,7	1,2	72,5	25,6	74,4
BIR-BvC	20-30	39,9	1,0	1,0	2,0	83,7	12,3	87,7
RBI-Ah	0-5	38,6	0,5	2,6	3,9	51,0	42,0	58,0
RBI-Bv(t)1	5-16	30,1	0,7	1,7	3,3	45,5	48,8	51,2
RBI-Bv(t)2	16-28	29,6	0,0	1,7	4,1	59,5	34,7	65,3
RBI-Bv(t)3	28-40	37,0	0,0	2,4	5,4	75,9	16,3	83,7
KStB1-Ah	0-3	38,1	1,6	2,4	4,2	50,4	41,4	58,6
KStB1-Bvt1	3-16	28,1	0,4	1,4	2,8	49,1	53,7	46,3
KStB1-Bvt2	16-28	25,9	0,0	1,5	3,9	65,3	29,3	70,7
KStB1-Bvt3	28-40	25,8	2,3	2,3	4,3	71,3	19,8	80,2

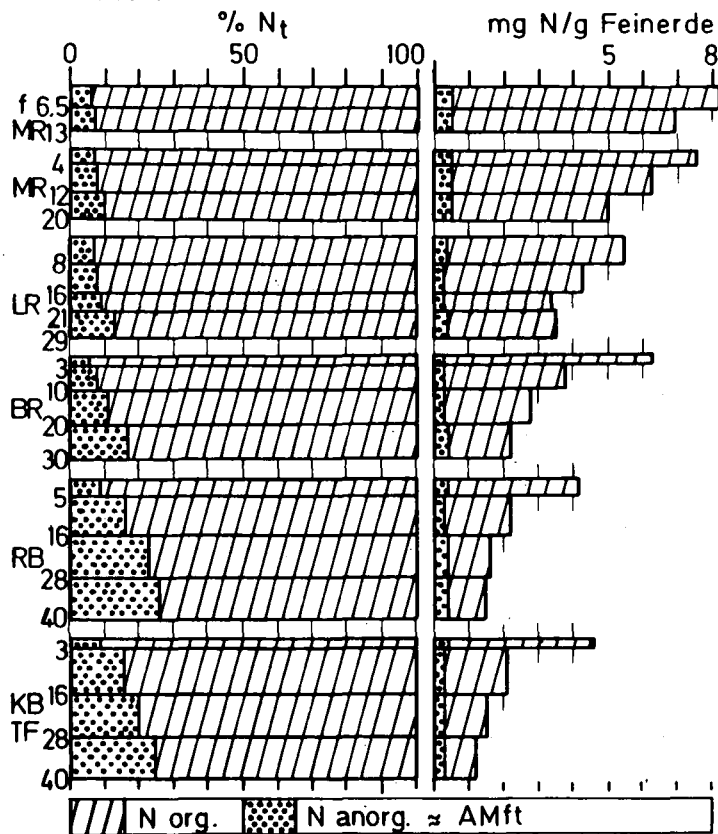
TABELLE 3

Gehalt des Kalksteins an nicht-carbonatischem

Lösungsrückstand (NCAR) und Eisencarbonat in %

	TIEFE in cm	NCAR % KSt	FeCO <sub>3</sub> % KSt
fMR-Ah	0-6,5	3,03	1,68
fMR-Ah	6,5-13	3,73	1,62
MR-Ah1+2	0-12	5,41	2,33
MR-Ah3	12-20	7,22	2,59
LR-Ah	0-16	7,07	2,80
LR-AhBv	16-21	7,07	2,80
LR-AhBvC	21-29	7,30	2,55
BIR-BvC	20-30	5,95	1,82

Abb. 4



C/N

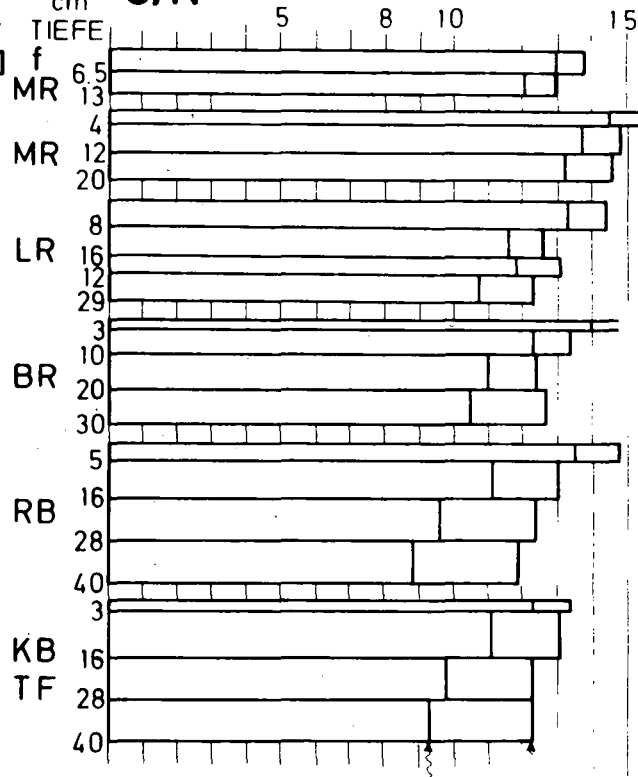


Abb. 5

Cor/Nt Cor/Nor



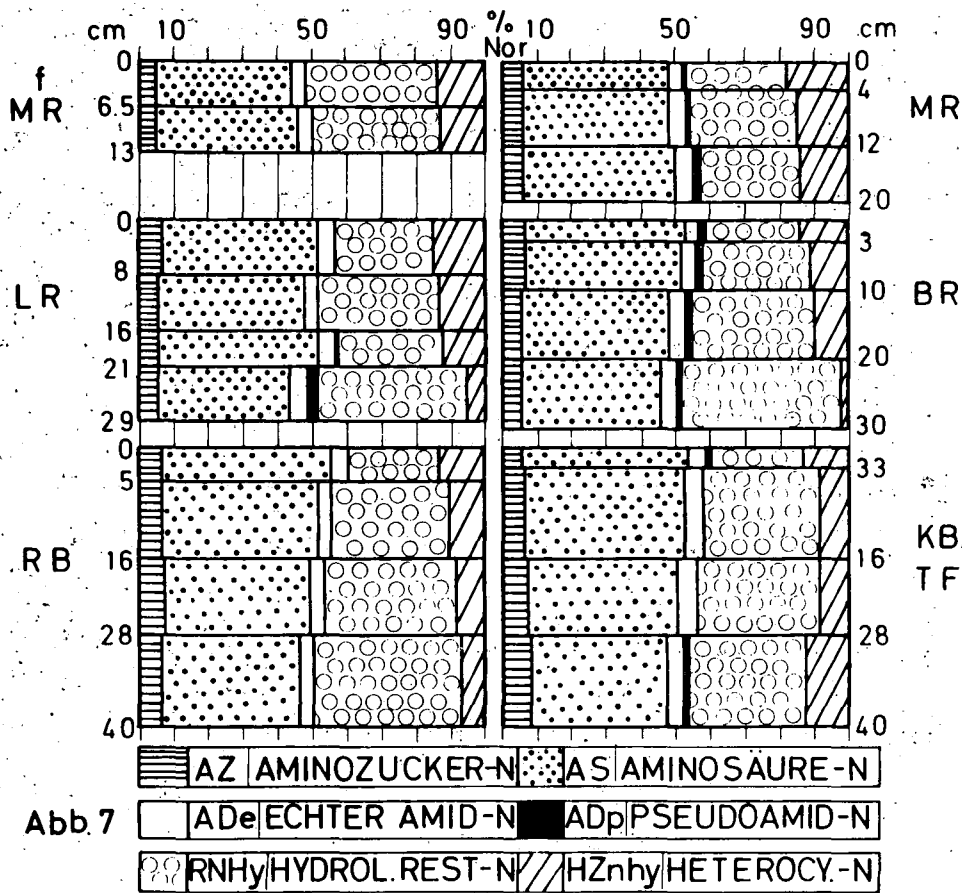
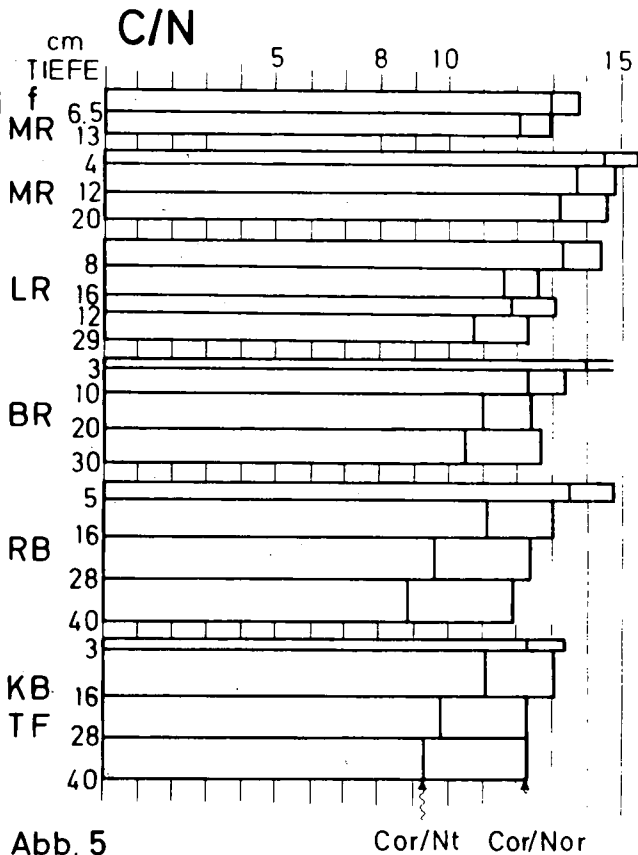
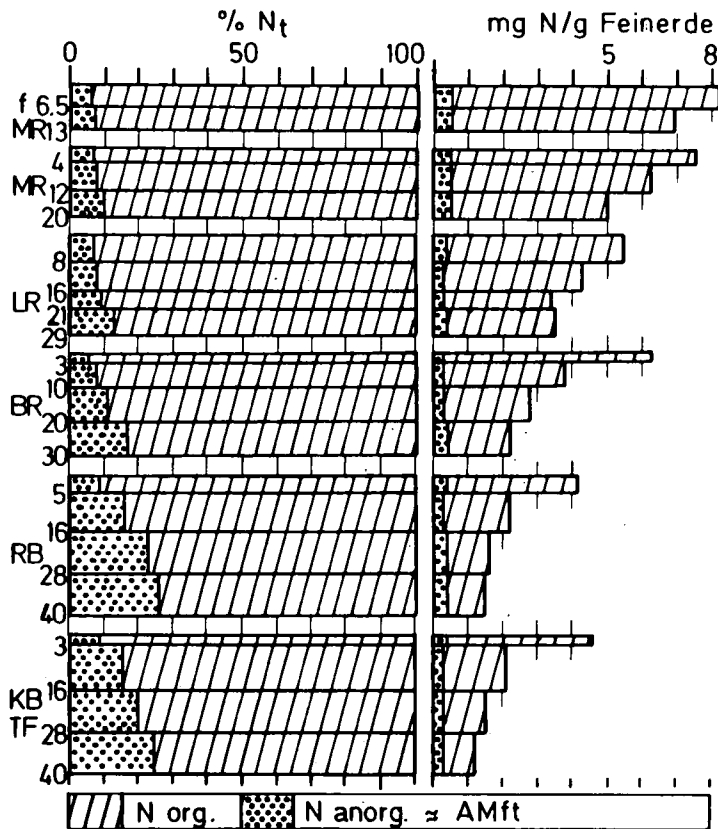


Abb. 7

Abb. 4



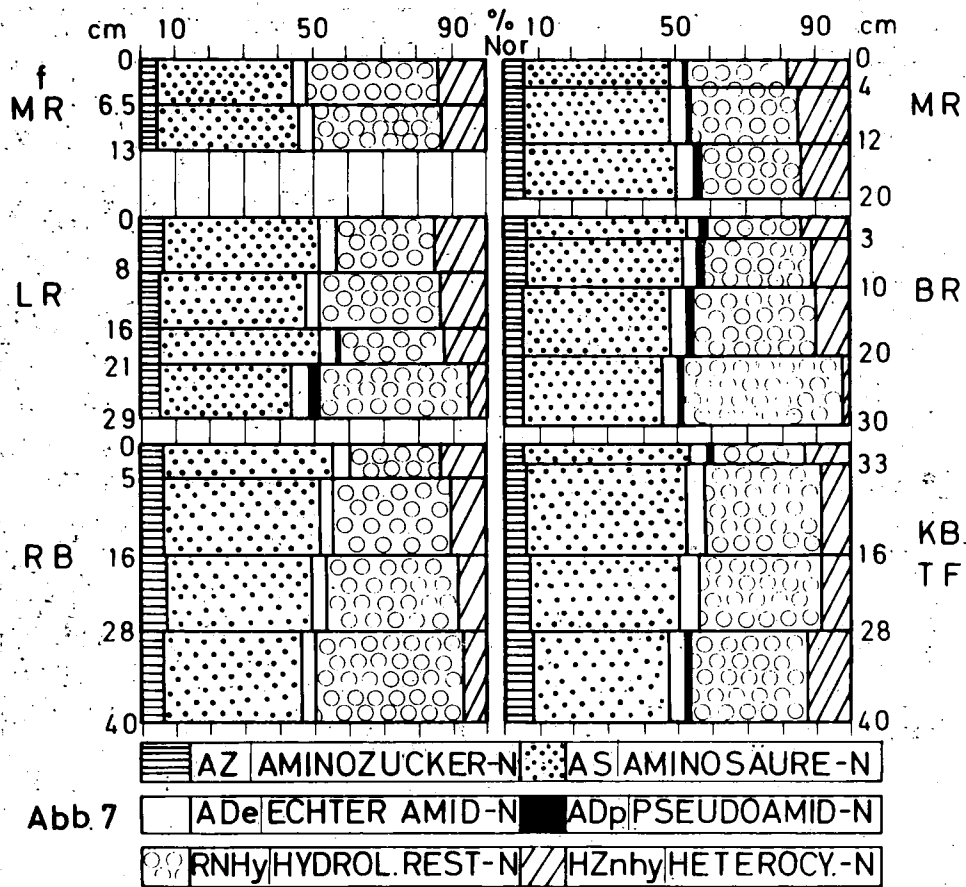


Abb. 7

Abb. 8

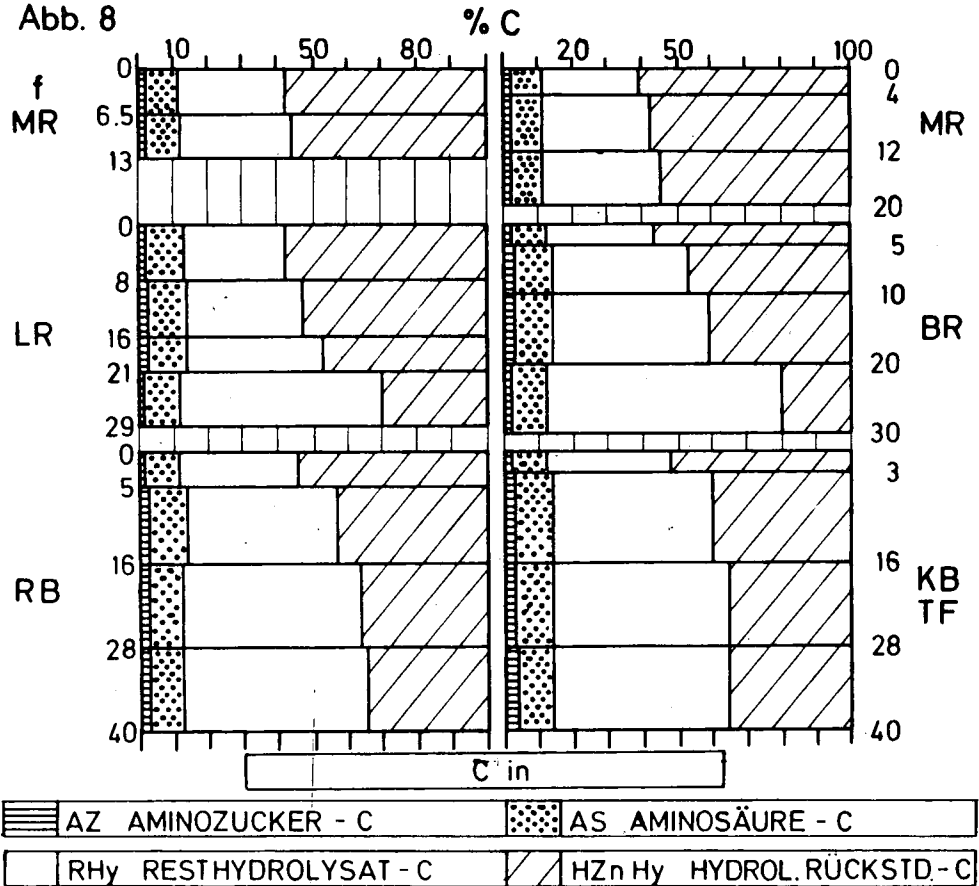


Abb. 9

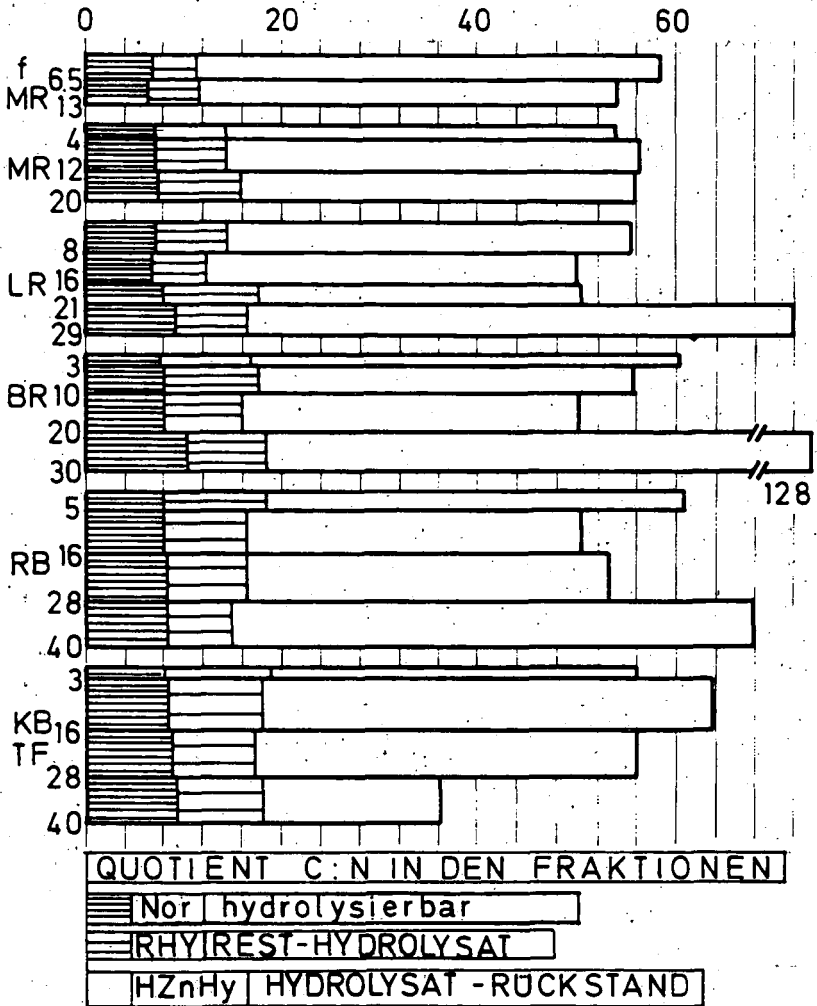


TABELLE 4

PROZENT-ANTEIL DER HYDROLYTISCH-EXTRAKTIVEN FRAKTIONEN AM  
ORGANISCH GEBUNDENEN KOHLENSTOFF

	Corq mq/η AFTS* <sup>1</sup> CFTS* <sup>2</sup>	1.EX+2.EX ETHER BENZOL- ETHANOL	3.EX H <sub>2</sub> O	4.EX H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5.EX HCl	5.REST
LAUBSTREU 1982	559,10* <sup>1</sup>	10,8	14,5	26,0	3,2	45,4
RESTLAUBSTREU 1982	542,70* <sup>2</sup>	4,0	13,9	32,5	4,4	45,2
TERRA-FUSCA-RENSINA 8-12cm	43,57* <sup>2</sup>	2,3	25,1	34,2	3,8	34,5
* <sup>1</sup> AFTS = aschefreie Trockensubstanz * <sup>2</sup> CFTS = carbonatfreie Feinerde-Trockensubstanz						

ANTEIL DER ZUCKER-MONOMERE AN DER GESAMT-HOL-MENGE DES H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-EXTRAKTES IN %

	GLUCOSE	XYLOSE	ARABINOSE	GALACTOSE	MANNOSE	RIBOSE	RHAMNOSE
LAUBSTREU 1982	65,0	11,3	6,9	5,4	4,6	5,4	1,4
RESTLAUBSTREU 1982	51,3	19,0	9,2	8,5	7,2	1,8	3,0
TERRA-FUSCA-RENSINA 8-12cm	38,6	10,6	11,9	11,9	14,0	7,5	5,6