

Relief und Boden – Bodenbildung und Bodenabtragung: Gleichgewicht oder Ungleichgewicht?

Armin Skowronek, Bonn

Kurzfassung

Diese „Geschichte der Bodenkunde“ nimmt Ideen von drei Geologen, einem Geomorphologen und einem Agrarwissenschaftler auf, die sich mit Formbildung *und* Bodenbildung beschäftigt haben. Gesondert wird der Zusammenhang von Tiefenverwitterung und Flächenbildung diskutiert, bei der *Saprolitisierung* und *Etchplanation* eine spezifische Rolle spielen. Die geomorphologische These des „dynamischen Gleichgewichts“ von Verwitterung und Abfuhr des verwitterten Materials kann nicht bestätigt werden, weil Böden mehr sind als nur Verwitterung, und weil sie Resistenzen gegenüber Abspülung aufbauen. Dadurch werden Hang-Vorfluter-Ungleichgewichte geschaffen, die in der Regel über größere Zeiträume anhalten. Anthropogen induzierte Bodenerosion durch Wasser kann nicht zeitgleich durch Bodenreuebildung ausgeglichen werden. Die Wechselbeziehung von Relief- *und* Bodenbildung eröffnet Perspektiven für die Untersuchung und Deutung von *Bodeneigenschaften* als Voraussetzungen und als Indikatoren für *Bewegungsprozesse*.

1. Einleitung

Das kontinentale *Relief* der Erde ist *die* Bezugsebene, in der sich *alle* Erscheinungen der Erdoberfläche berühren, eine davon ist der Boden oder die Pedosphäre. Das Relief setzt sich aus *geomorphen* Oberflächen zusammen, die durch Abtragungs- und Aufschüttungsprozesse entstehen, was in der Regel einen längeren Zeitraum beansprucht. Das Relief ist überwiegend ein „historisch-genetischer Komplex“ (*Rohdenburg* 1989, S. 1). Die Formungsmedien bzw. die von *außen* angreifenden Kräfte sind: *reine Gravitation*, *fließendes Wasser*, *fließendes Eis* und *Wind* (z. B. *Anderson & Anderson* 2010). Von ihrer Wirkung ist in erster Linie der Boden betroffen.

Der *Boden* ist das stoffliche Resultat der Durchdringung von Litho-, Hydro-, Atmo- und Biosphäre an der Erdoberfläche, was der schwedische Bodenchemiker Sante Emil Mattson (1886-1980) auch graphisch veranschaulichte (*Mattson* 1938). Diese *Durchdringungssphäre* muss sich an die geomorphen Oberflächen anpassen, um als neu entstehende *Pedosphäre* weiter existieren zu können. Der sich mit der Zeit differenzierende Bodenkörper besitzt eine eigene *pedomorphe* Form oder eine *Bodenmorphologie*, er bildet auch eine *pedomorphe* Oberfläche mit anderen Eigenschaften als die geomorphen Oberflächen aus (vgl. *Dan & Yaalon* 1968).

Die Beziehung Relief und Boden ist also sehr eng, Geomorphologie und Bodenkunde gehören hier zusammen (*Wooldridge* 1949). Der Deutsche Arbeitskreis für Geomorphologie und die Kommission V Bodengenetik, Klassifikation und

Kartierung (Morphologie, Kartographie, Geographie) der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft diskutierten zum ersten Mal 1978 in Andernach a. Rh. (18.-22.9.; 37 Vorträge, 3 Exkursionen) gemeinsam das Thema „Relief und Boden“. Tagung und Exkursionen wurden von der Kölner Geographin und Geomorphologin Hanna Bremer (1928-2012) und dem Bonner Bodenkundler Heinrich Zakosek (1925-1994) organisiert (s. *Bremer & Pfeffer 1978, Bremer & Zakosek 1979*).

Der bekannte deutsche Geograph Frank Ahnert (1927-2017) führte den Begriff des „dynamischen Gleichgewichts“ in die Geomorphologie ein, das sich jeweils zwischen Verwitterung („Schuttlieferung“) und Denudation („Schuttabfuhr“) einstelle, wenn sich die Denudationsbasis ändere. Dabei werde auch die Oberflächenform verändert (*Ahnert 1954*, bes. Abb. 1a-d). Von Boden war nicht die Rede. Diese systemtheoretisch begründete These vom dynamischen Gleichgewicht in „geomorphologischen Prozessresponssystemen“ vertrat er bis zum Schluss (*Ahnert 2015*, S. 25-27; 5. Auflage, 458 S.). Sein erstmals 1996 aufgelegtes Lehrbuch „Einführung in die Geomorphologie“ (440 S.) erschien zwei Jahre später auch in Englisch (*Ahnert 1998*, 352 S.). F. Ahnert war durch seine Forschungsaufenthalte in den USA und in Großbritannien aber schon länger im englischsprachigen Raum bekannt und genoss hohe Rezeption.

Diese geomorphologische Sicht, welche z. B. schon in *Nature* mit dem Artikel „The soil production function and landscape equilibrium“ umgesetzt wurde (*Heimsath et al. 1996*) und später auch mit dem Kurzaufsatz „The soil production function: A brief history and its discovery“ in *Geoderma* erklärt wurde (*Humphreys und Wilkinson 2007*), wirft *fundamentale* Bodenfragen auf. Sie wird deshalb zum Anlass genommen, einmal der Frage nach der Beziehung von Relief und Boden bzw. von Bodenbildung und Bodenabtragung nachzugehen. Das geschieht hier im Rahmen der „Geschichte der Bodenkunde“, die aber teilweise auch eine Geschichte anderer Wissenschaftsdisziplinen ist.

Es geht um die Abtragung von *Feststoffen* des Bodens durch *fliessendes Wasser*, nicht um *örtliche* gravitative Massenbewegungen, die auch bei allgemeiner Reliefstabilität vorkommen und erhebliche Bodenveränderungen bewirken können, was kürzlich explizit herausgearbeitet wurde (*Harnischmacher 2013*). Auch die anderen Formungsmedien *fliessendes Eis* und *Wind* müssen hier vernachlässigt werden: denn das *fluviale Abtragsrelief* bildet ca. 80% der Festlandsfläche ab, so dass diese räumliche und *prozessgeomorphologische* Einschränkung gerechtfertigt erscheint.

Die „inneren“ Abträge in Böden hingegen stellen *bodenbildende* Prozesse dar und können nur bei weitestgehender „äußerer“ *Abtragungsruhe* ablaufen. Durch sie entstehen die – *pedogenen* – Differenzierungen der Pedosphäre in vertikaler und horizontaler Richtung (s. *Rohdenburg & Meyer 1963, Stahr 1990*). Der große deutsche Bodenkundler Emil Ramann (1851-1926) meinte allerdings zur „Ortsstetigkeit“ von Böden: „Umlagerungen ihrer Teile sind sparsam oder erfolgen im Innern“ (*Ramann 1918*, S. 29). Weil er auch seine „Wanderböden“ (Dünen, Kriechböden, Abschlammungen) nicht klar äußeren geomorphologischen Bedingungen zuordnete, liess er damit offen, ob eine *Gleichzeitigkeit* oder ein *Alternieren* von Pedogenese und Geomorphogenese existieren.

Doch vielleicht kommen wir weiter, wenn wir einen Blick in die Ideen- und Wissenschaftsgeschichte werfen.

Die benutzte Literatur von diesem Kapitel (1.) und vom übernächsten Kapitel (3.) ist *zusammen* im 4. Kapitel (Literatur) nachgewiesen.

2. Relief *und* Boden in Ideen- und Wissenschaftsgeschichte

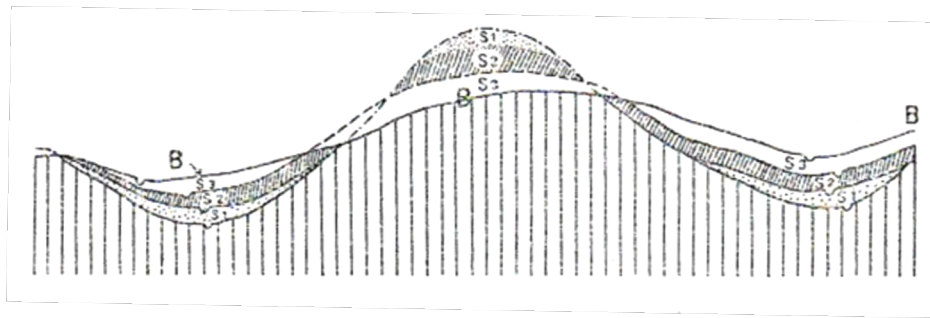
Dies ist der Hauptteil des Aufsatzes. Es werden fünf Persönlichkeiten und ihre Ideen zu "Relief und Boden" jeweils als *geschlossene* Einheit mit *eigenem* Literaturnachweis vorgestellt (Abschnitt 2.1 bis 2.5). Der Abschnitt 2.6 „Tiefenverwitterung und Flächenbildung“ ist in zwei Teile (2.6.1 u. 2.6.2) untergliedert, welche formal genauso behandelt werden wie die vorhergehenden Abschnitte (s. o.). Die *Schriftgröße* der strukturierten Literaturverzeichnisse ist um eine Stufe verkleinert. Verfasser erhofft sich, auch angesichts der Literaturfülle, von diesem Design eine bessere, vielleicht sogar optimale Wahrnehmung des Angebots.

2.1 Ernst Kraus (10.7.1889 [Freising] – 23.6.1970 [München])

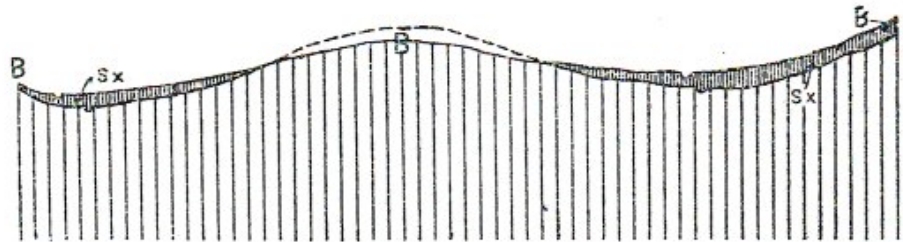
Der studierte und promovierte Geologe (1915) hatte Professuren an den Universitäten Königsberg (1922-1924), Riga (1922-1935) und München (1942-1945) inne. Bereits im Ersten Weltkrieg Wehrgeologe (vgl. *Kraus und Wagner* 1924, *Kraus* 1925), baute er ab 1937 den Wehrgeologischen Dienst der Deutschen Wehrmacht auf. Sein wissenschaftliches Interesse galt aber der zivilen Geologie und hier vor allem der Weiterentwicklung der Unterströmungstheorie von Otto Ampferer (1875-1947), um die Bildung weltweiter Gebirgsketten besonders der Alpen besser verstehen zu lernen. Im Grunde war Kraus Tektoniker, doch seine Vielseitigkeit schloss auch die Bodenkunde ein. Das im Nachruf dokumentierte Schriftenverzeichnis (Auswahl, 107 Titel) enthält 3 eindeutig bodenkundliche Arbeiten (s. *Wieseneder* 1970), zur Auswertung gelangen hier aber noch vier weitere Publikationen (s. u.).

Für einen Geologen ungewöhnlich und in keinem Geologiebuch zu finden ist die differenzierte Darstellung des Bodens, der vor allem durch seine Klimabedingtheit die stoffliche Verbindung zur Geologie herstellt (vgl. *Kraus* 1940). Die klimatische Interpretation von Böden war schon vorher ein wichtiges Thema gewesen, wie die Diskussion um die „Rotfärbung“ holozäner Böden in Süddeutschland zeigt (s. *Kraus* 1921, 1922). Sie bewegt die Bodenkunde bis heute, eine rötliche Parabraunerde auf Exkursionen ist hierzulande immer noch eine Seltenheit.

Die mit Abstand wichtigste Erkenntnis für Geomorphologie *und* Bodenkunde hat Kraus jedoch im Ersten Weltkrieg in den Schützengräben an der Westfront gewonnen und u. a. in drei Figuren graphisch dargestellt (*Kraus* 1923, Fig. 1-3). Diese sind hier in Abb. 1 zusammengeführt:



a



b



c

Abb. 1: Wechsel von Aufschüttung bzw. Abtragung mit Bodenbildung a) Fossile Schutte mit Pedogenese (S_1 - S_3) in steilerem Abtragungsrelief und rezente Bodenbildung (B – B – B), b) Verschiedene fossile Schutte mit Pedogenese (S_x) in flacherem Abtragungsrelief und rezente Bodenbildung (B – B – B), c) Einschneidung in Granitgrus, Pedogenese auf Rinnenoberfläche (V_1), Verschüttung von Rinne und Boden (S) und rezente Bodenbildung auf neuer Hangfläche (V_2); weitere Erläuterungen im Text (Graphiken unverändert aus Kraus 1923: Fig. 1-3)

Alle Graphiken dokumentieren einen Wechsel oder ein Alternieren von Aufschüttung bzw. Abtragung und Bodenbildung in vertikal gegliederten Reliefs. Sie zeigen auch, dass Böden immer nur reliefkonform entstehen (können).

a) Betrachtet man Krauses „heutige Verwitterungsrinde“ B – B – B, so liegt diese im Tiefland auf drei verschiedenen alten Schutten, welche nach ihrer Ablagerung jeweils selbst einer Pedogenese unterlagen (S_1 , S_2 , S_3). S_1 und S_2 sind fossile Böden, S_3 dagegen ist ein Komplex aus reliktischem und rezentem Boden. Im Hochgebiet sind die – gedachten – ehemaligen Schutte und Böden abgetragen, B – B – B ist im liegenden Festgestein eigenständig entwickelt (Abb. 1a). Man beachte die Formänderungen und die neuen Böschungsverhältnisse.

b) Kleinere Hoch-Tief-Amplituden des Reliefs bewirken bei gleichem Geschehnisablauf (s. o.) große pedologische und kleinere geomorphologische

Unterschiede: an den Akkumulationsstandorten ist ein *Komplex* aus drei Paläoböden und dem rezenten Boden entstanden (S_x), B – B – B ist analog Abb. 1a entwickelt. Das Flachrelief ist geringfügig flacher geworden (Abb. 1b).

c) Eine tiefe, querlaufende Hangrinne in Granitgrus wurde *nach* ihrer Bildung bei *Abtragungsruhe* von einer Bodendecke *reliefkonform* ausgekleidet (V_1), um danach zur Gänze von „grobsteinig-blockigem Gehängeschutt“ fossilisiert zu werden (S). Der „heutige Verwitterungsboden“ V_2 geht über alle Diskontinuitäten des Ausgangssubstrats hinweg. Es gibt jetzt einen fossilen Boden in einem überdeckten Zerschneidungsrelief und einen rezenten Oberflächenboden in einer aktuellen Hangfläche (Abb. 1c).

Die Erkenntnisse von Ernst Kraus waren für Geomorphologie *und* Bodenkunde gleichermaßen von *fundamentaler* Bedeutung, weil

- erstmals klar zwischen *Sediment* und *Boden* unterschieden wurde. Der Geologe Kraus war autodidaktisch (?) in Bodenkunde so gut geschult, dass er sowohl Sediment als auch Boden als *eigenständige* geologische Körper erkennen und formulieren konnte (Kraus 1923, bes. Fußnote 2, S. 1-2).
- beide Körper *unterschiedliche* äußere Bildungsbedingungen besitzen, konnte Kraus aus der Interpretation seiner Aufschlüsse (s. o.) auch *Klimawechsel* ableiten (Kraus 1923, S. 6).
- mit Hilfe von Böden die Reliefformung „u n m i t t e l b a r durch die Trennung verschiedenalteriger und die Vereinigung zusammengehöriger Oberflächen“ erklärt werden konnte und „m i t t e l b a r durch die Aufklärung über das jeweilige Klima, welches die formbeherrschenden Kräfte bedingte“ verstehbar wurde (Kraus 1923, S. 6).

Es verwundert, dass diese frühen Erkenntnisse von Ernst Kraus keinen Eingang in die Geomorphologie gefunden haben. Hätte Ahnert (s. o. 1. Einleitung) seiner Verwitterung („Schuttlieferung“) auch einen Boden, also eine ‚Verschnaufpause‘ im Abtragungsgeschehen ‚gegönnt‘, dann hätte das „dynamische Gleichgewicht“ möglicherweise anders ausgesehen, zumal er „Schuttbewegungen im Diluvialklima“ geomorphologisch von „Schuttbewegungen in der Gegenwart“ trennte (Ahnert 1954, Abb. 2a–b). Denn: während Zeiten der Bodenbildung (Abtragungsruhe) kann sich die Denudationsbasis durchaus ändern, *ohne* dass ein Gleichgewicht von „Schuttlieferung“ und „Schuttabfuhr“ entsteht (s. Kraus 1923, Fig. 1-3). Es herrscht *Ungleichgewicht* – in Bezug auf Gravitation und Reibung.

Darüber hinaus sollten wir erkennen, dass die tertiäre und quartäre Bodenstratigraphie einer Landschaft durch das präexistente Relief entscheidend beeinflusst wird: auf Abtragungsflächen wie z. B. dem Lothringisches Plateau (plateau lorrain) erhalten wir – wenn überhaupt – häufiger *Bodenkomplexe*, dagegen an Akkumulationsstandorten einer stärker reliefierten Landschaft öfter *Sediment-Boden-Abfolgen* (s. Kraus 1923, Fig. 1–3). Gerade die Tropenbodenkunde ist auf den riesigen Rumfflächen in Gondwana-Untergrund oft mit komplex aufgebauten, *polygenetischen* Böden konfrontiert.

Nach seiner vorzeitigen Emeritierung (1945) blieb Ernst Kraus bis ins fortgeschrittene Alter wissenschaftlich aktiv: in seiner Heimat, dem nördlichen Alpenvorland, wo er vormals auch 5 Blätter geologisch kartiert hatte (Wieseneder 1970, S. 223), bearbeitete er u. a. kompliziert aufgebaute Glazialsedimente des Würms – und dies

auch *paläopedologisch* (Kraus 1955, 1961, 1964). Er ging auch dem Streit mit einem damals führenden Geomorphologen nicht aus dem Weg (Kraus 1962).

Nachruf zu E. Kraus

Wieseneder, H. (1970): Ernst Kraus [mit Bild]. *Mitt. Geol. Ges. in Wien* 63: 222-227.

Ausgewertete Veröffentlichungen von E. Kraus

Kraus, E. (1921): Die Klimakurve in der Postglazialzeit Süddeutschlands. *Z. dt. geol. Ges. B.73*: 223-227.

Kraus, E. (1922): Der Blutlehm auf der süddeutschen Niederterrasse als Rest des postglazialen Klimaoptimums. *Geognostisches Jahreshft XXXIV*: 169-222.

Kraus, E. (1923): Die Bodenkunde als Methode in der Morphologie. *Peterm. Geogr. Mitt.* 69 (1/2): 1-6.

Kraus, E., Wagner, W. (1924): Elsass. *Die Kriegsschauplätze 1914–1918 geologisch dargestellt, Heft 1*: 1-154.

Kraus, E. (1925), mit einem Beitrag (Abschnitt Jura) von W. Klüpfel: Lothringen. *Die Kriegsschauplätze 1914–1918 geologisch dargestellt, Heft 2 (zu Heft 1 gehörig)*: 1-212.

Kraus, E. (1940): Verwitterung und Böden, in Weickmann, L. (Hrsg.): *Handbuch der Geophysik. Band III Veränderungen der Erdkruste*. Borntraeger, Berlin, S. 640-678.

Kraus, E. (1955), unter Mitverwendung eingehender Gekändeuntersuchungen und -beschreibungen bei Murnau durch Dr. R. Lebküchner, Ankara: Zur Zweigliederung der südbayerischen Würmeiszeit durch eine Innerwürm-Verwitterungsperiode. *Eiszeitalter und Gegenwart (E&G Quaternary Sci. J.)* 6: 75-95.

[online: www.eg-quaternary-science-journal.net]

Kraus, E. C. (1961): Die beiden interstadialen Würmböden in Südbayern. *Eiszeitalter und Gegenwart (E&G Quaternary Sci. J.)* 12: 43-59.

[online: www.eg-quaternary-science-journal.net]

Kraus, E. C. (1962): Herr J. Büdel und die Gliederung der Würmeiszeit. *Eiszeitalter und Gegenwart (E&G Quaternary Sci. J.)* 13: 227-230.

[online: www.eg-quaternary-science-journal.net]

Kraus, E. C. (1964), Mitwirkung im Gelände durch G. Haber. Ein erstes zusammenhängendes Pleistozän-Profil im Süden von München (Deisenhofener Forst – Isartal – Forstenrieder Park). *Eiszeitalter und Gegenwart (E&G Quaternary Sci. J.)* 15: 123-163. [online: www.eg-quaternary-science-journal.net]

2.2 Henri Erhart (1898 [Mulhouse] – 1982)

Von H. Erhart scheinen keine Lebensdaten, Nachrufe und Würdigungen des Gesamtwerkes verfügbar zu sein. Deshalb wird auf zwei Bücher und einen Aufsatz Bezug genommen, in denen man kurze Charakteristiken findet (s. u. „Nachweise zu H. Erhart“). Sein Hauptwerk, die Idee von „Biostasie“ und „Rhexistasie“ ist mehrfach in Book-Reviews besprochen worden, hier wurden vier Rezensionen ausgewählt, welche die Ausgabe von 1956 (90 S.) und die Ausgabe von 1967 (177 S.) seines Buches betreffen (s. u. „Buchbesprechungen zu H. Erharts „Biostasie“ und „Rhexistasie“, Ausgabe 1956 u. 1967“). Hinzu kommt eine Bewertung der Umsetzung von „Biostasie“ und „Rhexistasie“ bei der Bodenklassifizierung (Gachon 1957). Erhart erläuterte auch selbst seine Theorie (Erhart 1955).

Nach dem französischen Pedologen Jean Boulaïne (1922-2012) war H. Erhart 1914 vor dem Krieg aus Frankreich in die Schweiz geflohen, wo er am Institut de Polytechnique de Zurich – wahrscheinlich als Schüler des Schweizer Agrikulturchemikers und Bodenkundlers Hans Pallmann (1903-1965) – ein Diplom erwarb (Boulaïne 1989, S. 225). 1926 wurde er mit einer geologisch-geochemischen

Dissertation zu madegassischen Lateriten (Thèse de doctorat, 112 S.) an der Universität Strasbourg in Naturwissenschaften promoviert (s. *Erhart* 1926). Er war Geologe, was außer seiner Doktorarbeit zahlreiche Veröffentlichungen immer wieder belegen (siehe hier Auswahl: *Erhart* 1954, 1973, 1973a). Doch ist die Bodenkunde schon früh bei H. Erhart präsent, wie die Liste der ausgewerteten Veröffentlichungen zeigt (s. u.), auch in deutschen Zeitschriften hat er publiziert (*Erhart* 1931, 1964). Geochemische und pedologische Probleme in den Tropen und Subtropen haben ihn ein Leben lang beschäftigt. Mit seiner Theorie der Biostasie und Rhexistasie galt er als visionärer Vorreiter eines universellen Gedankens (*Boulaine* 1989, S. 225). 1930 ging er an das Institut Pédologique (privé) in Strasbourg, seine Karriere beendete er 1968 in Paris als „Directeur Scientifique au C.N.R.S. Directeur du Laboratoire de Pédologie et de Géochimie de la Biosphère de E.P.H.E.“ (vgl. *Erhart* 1967, Titelblatt).

In Strasbourg schrieb er als „Directeur de l’Institut Pédologique du Bas-Rhin. Chargé de Conférences de Pedologie à l’Université de Nancy“ eine zweibändige Pedologie (260 S. u. 203 S.), in die er auch seine geochemischen und bodenkundlichen Erfahrungen aus dem tropischen Madagaskar einbrachte (*Erhart* 1935, 1937). Sehr auffällig und *anschaulich* sind acht Farbtafeln („Planches en couleurs“) im ersten Band, auf denen die Hauptbodentypen („Principaux types de sols“), acht an der Zahl, als *handgemalte* Bodenprofile mit der darüber befindlichen Landschaft und einer genauen Beschreibung auf der Gegenseite erscheinen (*Erhart* 1935, Appendice). Der zweiteilige „Sol latéritique forestier“ (*Erhart* 1935, Planche VI) steht wohl auch heute noch für Erharts besondere Leidenschaft (s. *Feller et al.* 2007, Fig. 2). In der deutschen Bodenkunde nimmt man ebenfalls gerne ein fast spiegelbildlich ausgestattetes Buch mit 60 *handgemalten* farbigen Bodenprofilen zur Hand.

Interessant ist auch, dass sich H. Erhart mit praktischen Fragen der heimischen Landwirtschaft auseinandergesetzt hat (*Erhart* 1939, 47 S., 26 Fig., 1 farbige geol. Kt. 1:200 000). Die feinfühlig (mit zwei Mitarbeitern) geschriebenen, besonders *geologisch-petrographisch* begründeten „Les terroires du vignoble d’Alsace“ Elsässischer Weine mögen die heutige Weinwirtschaft in Frankreich und Nachbarländern beflügelt haben, das sog. „Terroir“ als umfassendes Kriterium für die Qualität eines Weines zu fordern. Wenn dessen verdeckte Marketing-Funktion aber manchmal zu der Behauptung führt, dass auch triassische Ceratiten oder jurassische Ammoniten dem Wein eine besondere Note verleihen (sollen), dann ist der Bodenkundler oder Geologe gefordert, die Weinkonsumenten einmal ´nüchtern´ und realitätsnah aufzuklären. Henri Erhart würde es vielleicht tun.

Nun zu Erharts ´Markenzeichen´, der Theorie von der Biostasie-Rhexistasie. Während man den *griechischen* Doppelnamen *Bio-stasie* (gr.στάσις [stásis]: deutsch Zustand) schon rein gefühlsmäßig mit – für pflanzliches und tierisches Leben (*Bio-*) – stabilen Umweltverhältnissen verbindet, fällt das bei *Rhexi-stasie* schwerer: der *griechische* Doppelname scheint das Gegenteil zu bedeuten, und er leitet sich in der Tat von dem Substantiv ρεξις [rheksis]: deutsch Bruch ab, das zugehörige Verbum heißt ρεξεῖν [rheksein]: deutsch zerbrechen. Es ist klar, was ein Geologe und Geochemiker damit nur meinen kann: instabile Verhältnisse für das Leben auf der Erde. H. Erhart spricht deshalb auch von „raréfaction“ (Verdünnung) oder „disparition complète“ (Verschwinden) der Vegetationsdecke über große Räume, so dass Abtragung und Aufschüttung vorherrschen, Bodenbildung („alteration pédogénique“) dagegen minimiert wird (*Erhart* 1967, S. 110-111). Diese Formulierungen präzisieren und veranschaulichen das, was wir schon mit *Klimawechsel* verbinden konnten (s. o.

Abschnitt 2.1). Erhart weitete *Rhexistase* aber auch noch *geochemisch* auf die Meere aus, indem er z. B. deren progressive Ca- und Mg-Untersättigung infolge mangelnder Zufuhr vom Land für die unzureichende biochemische Sedimentation verantwortlich macht (Erhart 1967, S. 111). Damit bekommt der „Zustand“ der *Rhexistase* planetare Ausmaße und Bedeutung. Eine große *bio-geochemische* Idee, die den *kontinentalen* Bios mit dem *marinen* Bios verbindet. Ein Geo-Gedanke, den man jetzt nur noch zeitlich und räumlich zu differenzieren braucht.

Auf der Klimatagung der Geologischen Vereinigung 1964 in Köln erläuterte H. Erhart seine Theorie der *Biostase* und *Rhexistase* vor seinen deutschen Fachkollegen und legte vor allem Wert auf die Forderung, dass man in der *Sedimentologie* streng zwischen *autochthonen* Böden und *Bodensedimenten* unterscheiden müsse. Erstere entsprächen seiner *Biostase*, letzere seiner *Rhexistase*. „Nicht-Pedologen“ hätten damit gewöhnlich große Probleme (Erhart 1964, S. 15). *Bodengenetisch* bedeutet dies: zum Beispiel konnten ein eozäner Laterit oder eine pleistozäne Löß-Parabraunerde nur entstehen, weil sie *nicht* gleichzeitig an ihrer Oberfläche abgetragen wurden. Darin liegt die große Bedeutung von Böden und Bodensedimenten auch für die Geomorphologie, speziell für die sog. *Klimagenetische* Geomorphologie, weil Abtragung bzw. Sedimentation unter anderen Bedingungen ablaufen als Bodenbildung. Das hatte uns im Prinzip schon E. Kraus gelehrt (s. o. Abschnitt 2.1).

Auch die Bodenkunde steht manchmal vor der Frage: autochthoner Boden oder Bodensediment, z. B. in Flussauen. Da diese bei uns häufig aus holozänen *Bodensedimenten* also abgetragenen *Holozänböden* bestehen, ist eine Unterscheidung schwierig, selbst bei Einsatz feinsten Analytik. Auch diese versagt, wenn der fluviale Eintrag z. B. aus (alten) Bergbaugebieten stammt.

Nachweise zu H. Erhart

Boulaine, J. (1989): Histoire des pédologues et de la science du sol. INRA, Paris. [hier S. 225]
Feller, C., Blanchart, E., Herbillon, A., Leprun, J. C., Poss, R. (2007): L'importance des recherches coloniales, en particulier à Madagascar, dans le développement de la pédologie française. *Étude et Gestion des Sols* 14 (4): 305-315. [hier S. 309]
Feller, C., Sandro, F. (Hrsg.) (2010): Parcours de recherches à Madagascar. L'IRD – Orstom et ses partenaires. IRD. [hier S. 233]

Buchbesprechungen zu H. Erharts „Biostase“ und „Rhexistase“, Ausgabe 1956 u. 1967

Crocker, R. L. (1957): Soil genesis in geological history. *Ecology* 38 (2): 370-371.
Dewolf, Y. (1969): La genèse des sols en tant que phénomène géologique d'après H. Erhart. *Annales de Géographie* 78 (n° 428): 478-479.
Gachon, L. (1957): Les successions stratigraphiques éclairées par la genèse des sols. La biostase et la rhexistase: Principe de classification des sols. *Revue de Géographie Alpine* 45 (2): 381–386.
I.E.R. – Institut des *Études Rhodaniennes* (1956): H. Erhart. – *La genèse des sols en tant que phénomène géologique*, Paris, Masson, 1956 (coll. *Evolution des Sciences*, n° 8), in-16, 90 p. *Revue de géographie de Lyon* 31 (4): 351-352.
Mennella, C. (1970): H. ERHART. - *La genèse des sols en tant que phénomène géologique*. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostase et rhexistase. Deuxième édition revue, corrigée et augmentée. Un vol. in-8 (de la collection *Evolution des Sciences*, N. 8), de 178 pages. Masson & Cie., Editeurs, Paris, 1967. Prix, cartonné, 31 F. *Scientia*, CV (XI-XII): 780-781.

Ausgewertete Veröffentlichungen von H. Erhart

Erhart, H. (1925): Contribution à l'étude des sols de Tunisie. *Annales du service Botanique et Agronomique de la Tunisie III*: 241-275.

Erhart, H. (1926): L'influence de l'origine géologique et des facteurs extérieurs sur la formation et la valeur culturale de terres latéritiques de l'Est de Madagascar. Larose, Paris.

Erhart, H. (1931): Die Böden der Insel Madagascar. *Die Ernährung der Pflanze* 27 (4): 77-81.

Erhart, H. (1935): Traité de pédologie. Tome I. Pédologie générale. Institut Pédologique, Strasbourg.

Erhart, H. (1937): Traité de pédologie. Tome II. Pédologie agricole. Institut Pédologique, Strasbourg.

Erhart, H. (1939), avec la collaboration de A. Brion et M. P. Gravirowsky: Les Terroirs du vignoble d'Alsace. Institut Pédologique du Bas-Rhin, Strasbourg.

Erhart, H. (1954): Sur les phénomènes d'altération pédogénique de roches silicatées alumineuses en Malaise Britannique et Sumatra. *C. R. de Acad. Sci.* 238: 2012-2014.

Erhart, H. (1955): „Biostasie“ et „Rhexistasie“. Esquisse d'une théorie sur le rôle de la pédogénèse en tant que phénomène géologique. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences* 241 (no. 18): 1218-1220.

Erhart, H. (1964): Le témoignage paléoclimatique de quelques formations paléopédiques dans leur rapport avec la sédimentologie. *Geol. Rundsch.* 54 (1): 15-23.

Erhart, H. (1967): La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostasie et rhexistasie. Exemples d'application. [Genesis of soil as a geological phenomenon. Outline of a geological and geochemical theory. Biostasis and Rhexistasis.]. Masson, Paris. (=Collection Évolution des Sciences, 8)

Erhart, H. (1973): Itinéraires géochimiques et cycle géologique de l'aluminium (Genèse des minerais d'alumine - Latéritisation - Bauxitisation - Aluminification). Doin Editeurs, Paris.

Erhart, H. (1973a): Itinéraires géochimiques et cycle géologique du silicium (catamorphisme des silicates primaires, genèse et évolution de la silice de néoformation). Doin Editeurs, Paris.

2.3 Bruce Ernest Butler (keine Angaben)

Lebensdaten, Nachrufe und Würdigungen waren – auch auf Nachfrage in Australien – wohl aus Gründen des Datenschutzes nicht verfügbar. Deshalb wird der Beitrag „The life and work of Bruce Butler“, den der Australier Dr. Tony Dare-Edwards am 31. August 2018 ins Netz stellte, als eine Quelle benutzt. Es handelt sich um 95 Bilder, welche auf der Inhaltsseite durchnummeriert und kurz beschrieben werden. Es kann hier nicht darauf eingegangen werden, es wird aber wärmstens empfohlen, sich diese Sammlung einmal anzusehen: sie enthält sehr informative Landschafts- und Bodenphotos, anschauliche Graphiken, Literaturhinweise, Kritiken etc., mit denen man Bruce verstehen und dabei auch etwas Australien kennenlernen kann. Die zweite Quelle ist der Bericht: „A history of the CSIRO Division of Soils: 1927 – 1997“ aus dem Jahr 1998, der zwei wichtige Beschreibungen von B. E. Butler enthält. Die beiden Referenzen stehen unter „Nachweise zu B. E. Butler“ (s. u.).

In einigen Veröffentlichungen erscheint bei Angaben zum Dienstsitz des Autors der akademische Titel „B.Sc.Agr.“ (z. B. Butler 1955, S. 239), den Butler offensichtlich 1937 an der „University of Western Australia Joined CSIR, Division of Soils, Waite Institute“ erworben hatte (Dare-Edwards 2018, Inhaltsseite: 2.). Nach dem Zusatz „RAAF Navigator 1939 - 1944“ zu schließen, war er im Krieg Navigationsoffizier bei der Royal Australian Air Force gewesen. Die möglicherweise letzte Veröffentlichung datiert auf das Jahr 1983 (Butler & Churchward 1983).

In der 55seitigen Geschichte der Bodenabteilung (1927-1997) der Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (abgekürzt: C.S.I.R.O. od. CSIRO),

einer großen und wichtigen, staatlichen Behörde Australiens, in der B. E. Butler mehrere Jahrzehnte gearbeitet hat, gibt es folgende wichtige Informationen (s. Lee 1998): „during the 1930s“ arbeitete B. E. Butler in der Bodenaufnahme (S. 4) und das Photo 7 zeigt 1947 einen etwa 35jährigen Bruce Butler rechts neben Roy Brewer (S. 11). Auf Seite 19 heißt es: „B.E. Butler established the Deniliquin centre and R.G. Downes the Canberra centre in 1947“. Seit 1947 war Butler auch „OIC“ (Officer in charge) für „the Riverina region“ in New South Wales (S. 21). Auf dieser Seite steht auch die wohl wichtigste Charakterisierung von Butler (wörtlich):

„B.E. Butler was appointed in 1954 as Officer in Charge of the Canberra laboratory. Butler’s view of field pedology was oriented towards land-use and he considered that the traditional soil maps of the time were not useful for this purpose. He moved the emphasis of field studies to encompass the edaphic (soil/plant relationships), geomorphic and pedological aspects of soils. His interpretations of soils in relation to geomorphological history, especially his emphasis on the importance of prior stream patterns and climatic changes during Tertiary and recent geological times, to the development of modern landscapes and soils, was an important contribution to pedology and geomorphology in Australia“ (S. 21).

Auf Seite 22 wird sein Beitrag für die Beschreibung von Struktur und Konsistenz des Bodens hervorgehoben. Und es folgt ein letzter entscheidender Hinweis (wörtlich): „The surveys carried out under Butler’s guidance covered 4,000 km² in N.S.W., adding considerably to early knowledge gained by Butler in northern Victoria and by others in the Wakool and Berriquin districts of N.S.W. All this field work provided him with the basis for his important later contributions on the evolution of the soil cover“.

Der studierte Agrarwissenschaftler B. E. Butler suchte also von der klassischen Bodenkunde abgehend letztlich ein *klimagenetisch-geomorphologisches* Verständnis von Landschaft *und* Böden in Australien zu bekommen. Daher sah er auch eine enge Korrelation zwischen dem landwirtschaftlichen Ertrag und den Bodeneigenschaften, die sich aus der Bildung von *geomorphen* Oberflächen ergaben und ergeben. Das sind vor allem die *Struktur* und die *Konsistenz* des Bodens (*Butler* 1955, 1964) – man könnte generell jetzt auch sagen: das ist *Bodengeomorphologie* und – kompatible – *Bodenmorphologie* zusammen. Diese Idee konnte er weiträumig im – zerschrittenen – *Flachrelief* der *äolisch-fluvialen* Sedimentationsgebiete SO-Australiens (Murray-Darling Basin) auch mit einer *geomorphologischen Karte* verifizieren (*Butler et al.* 1973).

B. E. Butler hatte eine klare *konzeptionelle* Vorstellung von Boden (*Butler* 1958, S. 14): a) Boden sei das natürliche Medium für Pflanzenwachstum („*The edaphic concept*“), b) Boden unterscheide sich als oberster Teil der Erdkruste in seinen Eigenschaften vom geologischen Gestein wegen des Einflusses der bodenbildenden Faktoren („*The pedologic concept*“) und c) „A soil is a dynamic three dimensional piece of landscape. ... Soils then are landscapes as well as profiles“ („*The geographic concept*“).

1959 publizierte B. E. Butler einen – im anglophonen Raum vielbeachteten – Aufsatz mit einem Diagramm, das mehrere „soil cycles“ an einem *gestuften* Hang zeigt, die er wegen ihres unterschiedlichen Alters auch „K cycles“ nannte (*K* von χ aus gr. $\chi\rho\nu\nu\omicron\varsigma$ [*khrónos*]: deutsch Zeit; s. a. *Butler* 1959, Fußnote S. 7). Weil diese zugleich *pedologisch* veränderte Landoberflächen darstellen, bezeichnete er sie als

„groundsurfaces“ (Butler 1959, Fig. 1). Später ersetzte er diese durch den Begriff *Pedoderm*, worunter er ein „soil mantle unit [verstand] which has continuity, possibly interrupted, and characteristic soil, sediment and stratigraphic attributes and relationships that permit consistent recognition and mapping“. Die „common intrapedoderm relationships“ hielt er in einer Graphik fest (Butler 1982, S. 582 u. Fig. 1). Diese enthält den früheren *gestuften* Hangteil, neu sind der Akkumulationsbereich am Unterhang und eine eigene, aber geomorphogenetisch korrespondierende *fluviale* Terrassentreppe (s. hier Abb. 2).

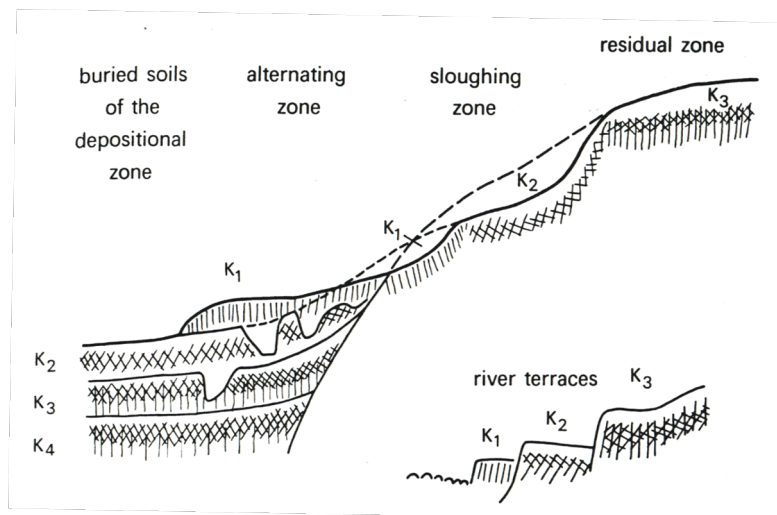


Abb. 2: Bodenstratigraphie am Unterhang und im Flußtal nach drei *Sedimentations*-Zyklen sowie *Geomorphostratigraphie* des Hanges nach drei korrespondierenden *Abtragungs*-Zyklen; weitere Erläuterungen im Text (Graphik unverändert aus Butler 1982, Fig. 1)

Butlers Graphik ist in hohem Maße selbsterklärend: orientiert man sich an der, im Abtragungsbereich gestrichelten und ursprünglich *konvexen* Hangform, erkennt man eine – von der ehemaligen Denudationsbasis – *rückschreitend* eingeschnittene *Hangkonkavität* sowie die korrespondierende Akkumulation in der „depositional zone“, auf welcher sich der erste „K-cycle“ entwickelt hat („K₁“: senkrechte Schraffur). Eine Absenkung der Abflussbasis (Fluss, Bach) bewirkte eine neue, höher liegende *Hangkonkavität*, ebenfalls durch „rückschreitende Denudation“ (vgl. o. *Ahnert*, Kapitel 1.) und eine synchrone, aber tiefer liegende, in „K₁“ eingeschnittene Akkumulation. Sowohl die neue Hangfläche als auch die neue Aufschüttungsoberfläche werden von dem „K₂“-Zyklus *pedogenetisch* alteriert.

Ein dritter Abtragungs-Aufschüttungs-Zyklus ist am – jetzt *gestuften* – Hang nicht mehr durch „rückschreitende Denudation“ reliefwirksam, sondern mehr durch gravitative Hangabflachung („sloughing“), in der „residual zone“ nur schwach durch Abspülung. Dagegen zeigt sich in der „depositional zone“ das gleiche Bild wie vorher. Der pedogenetische „K₃“-Zyklus setzt in der „residual zone“ ggf. auf den älteren Bodenbildungen an (Bodenkomplex), was prinzipiell auch auf den beiden Hangkonkavitäten der Fall sein könnte. „K₃“ in der „depositional zone“ verwirrt, weil hier auch die Signatur von „K₁“ auftaucht.

Die einzelnen Akkumulationen im Gerinne (Fluss, Bach) wurden jeweils durch vorherige Seitenerosion (Flussbettverbreiterung) – während gleichzeitiger Denudationsprozesse am Hang – ermöglicht. Die mehrmalige Gerinne-Einschneidung führte zur Bildung von Flussterrassen – in vertikal umgekehrter

Reihenfolge (Butler hat hier offenbar die Oberfläche von „K₃“ mit der von „K₁“ verwechselt; vgl. auch Sediment-Boden-Abfolge in der „depositional zone“).

Auch Australien erlebte Klimawechsel im Quartär: Butler hat Erosion/Deposition „more arid“ Klimaten, Bodenbildung „more humid“ Klimaten zugeordnet (vgl. *Dare-Edwards* 2018, Bild 41). Damit betrieb Bruce E. Butler eine *klimagenetisch-geomorphologisch* basierte Bodenkunde, was auch in dem Titel seiner *wegweisenden* Arbeit „Periodic Phenomena in Landscapes as a Basis for Soil Studies“ deutlich zum Ausdruck kommt.

Es ist interessant zu sehen, dass der von Butler eingebrachte Begriff „Pedoderm“ (s. o.) sofort von seinen australischen Kollegen (darunter auch Roy Brewer, s. o.) scharf kritisiert wurde, weil „Pedoderm“ neu definiert worden sei. Die ältere und allgemein akzeptierte Definition im „Australian Soil-Stratigraphic Proposal“ (ASSP) von Pedoderm lautete: „a mappable unit mantle of soil, entire or partially truncated, at the earth’s surface or partially or wholly buried, which has physical characteristics and stratigraphic relationships that permit its consistent recognition and mapping“, und ein Pedoderm solle jeweils mit einem „geographic name“ gekoppelt werden (*Walker et al.* 1984, S. 506).

Der Unterschied ist deutlich, er soll hier nicht weiter diskutiert werden, sondern nur auf das Ringen um richtige oder passende Definitionen anderenorts aufmerksam machen. Dies kann aber auch Anlass für die Aufforderung sein, hierzulande Begrifflichkeiten wie: ‘Boden, die Haut der Erde’ und viele andere, ähnlich klingende Schlagworte sorgfältig – auch populärwissenschaftlich – zu überdenken. Dem Trend zum *clickbaiting* muss man nicht immer nachgeben, vor allem dann nicht, wenn man ‘Boden als Haut der Erde’ – *normalerweise spontan* – mit der ‘Haut des Menschen’ assoziiert. Ein Vergleich wäre unsinnig. Die menschliche Haut hat in erster Linie das *Gleichgewicht* im Inneren des Körpers vor den *Ungleichgewichten* in der Außenwelt abzugrenzen. *Pedoderm* oder *Geoderm* sind etwas völlig anderes. Die Pedosphäre ist ein offenes System und befindet sich in ständigem Ungleichgewicht mit ihrer äußeren Umwelt. Außerdem: wenn wir mit unserer Haut so umgehen wie mit der ‘Haut der Erde’, wären auch *wir* schon längst aus dem Gleichgewicht.

Nachweise zu B. E. Butler

Dare-Edwards, T. (2018): The life and work of Bruce Butler. Inhaltsseite und 95 Bilder. [[https://de.slideshare.net/riverina_ asssi/2018-0831-tony-dareedwards-the-life-and-work-of-bruce-butler](https://de.slideshare.net/riverina_asssi/2018-0831-tony-dareedwards-the-life-and-work-of-bruce-butler); zuletzt aufgerufen: 13.6.2020]

Lee, K. E. (1998): A history of the CSIRO Division of Soils: 1927 – 1997. *Technical Report* 43/98: 1-55.

Ausgewertete Veröffentlichungen von (und zu) B. E. Butler

Butler, B. E. (1955): A system for the description of soil structure and consistence in the field. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 21: 239-249.

Butler, B. E. (1958): The diversity of concepts about soils. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 24: 14-20.

Butler, B. E. (1959): Periodic Phenomena in Landscapes as a Basis for Soil Studies. *C.S.I.R.O. Australian Soil Publ.* 14: 1–20.

Butler, B. E. (1964): Assessing the soil factor in agricultural production. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 30: 232-240.

Butler, B. E., Blackburn, G., Bowler, J. M., Lawrence, C. R., Newell, J. W., Pels, S. (1973): A Geomorphic Map of the Riverine Plain of South-eastern Australia. ANU Press, Canberra.

Butler, B. E. (1982): A new system for soil studies. *J. Soil Sci.* 33: 581-595.

Butler, B. E., Churchward, H. M. (1983): Aeolian processes, in CSIRO Division of Soils (Hrsg.): Soils, an Australian viewpoint. CSIRO/Academic Press, Melbourne, S. 91-99.
Walker, P. H., Beckmann, G. G., Brewer, R. (1984): Definition and use of the term 'pedoderm'. *J. Soil Sci.* 35: 505-510.

2.4 Robert V. Ruhe (1918 [Chicago ILL] – 1993 [Bloomington IN])

R. V. Ruhe diente im Zweiten Weltkrieg ab 1942 als Pilot beim Marine Corps, danach studierte er in Iowa Geologie mit Masterabschluss (1948) und Promotion (1950). Sein kontinuierliches Interesse zielte schon früh auf *Böden*, *Geomorphologie* und *Quartärgeologie*. Die aus der Bodenerosionsforschung der 1930er Jahre hervorgegangenen „USDA Soil-Geomorphology Projects“ (1950-1970) waren für Ruhe der Einstieg in eine sehr ergiebige Forschungsaktivität, aber auch ein Weg zur beruflichen Weiterqualifikation und zu Ämtern in der geowissenschaftlichen Praxis. Er war z. B. von 1970 bis zum Ruhestand 1985 Direktor des „Water Resources Research Center“ in Bloomington und gleichzeitig Professor für Geologie an der dortigen „Indiana University“ (Wright 1994, S. 42).

Das im Nachruf dokumentierte Schriftenverzeichnis (Auswahl, 41 Titel) ist nicht vollständig (s. Wright 1994), auch in unserer „Geschichte der Bodenkunde“ gelangen nur wenige Veröffentlichungen zur Auswertung (s. u.). Carolyn Olson vom National Soil Survey Center in Lincoln (Nebraska) hat die wissenschaftliche Leistung von R. V. Ruhe anhand von Fallbeispielen aus drei Arbeitsgebieten (Iowa, Oahu/Hawaii, Indiana) schon dezidiert gewürdigt (Olson 1997). Hier wird eine stark geraffte Darstellung aus eigener – *geomorphologisch-bodenkundlicher* – Sicht des Verfassers gegeben.

Schon früh, nämlich während seines zweijährigen Aufenthalts in Belgisch Kongo (1951-52) gelang Ruhe – von europäischen Geomorphologen und Bodenkundlern weitgehend unbeachtet – der überzeugende Nachweis einer jungtertiär-quartären – *klimazyklischen* – Inselberg-Pediplain-Pediment-Terrassen-Treppe u. a. auch mit Hilfe von „Dark-horizon Latosols“ aus „Pedi-sediments“ mit „Stone lines“ (Ruhe 1956). Das ist insofern bemerkenswert, als *relief- und bodenwirksame* Klimawechsel für das Quartär der inneren Tropen z. T. immer noch bestritten werden, weil entsprechende Indikatoren fehlten. Dabei sei an E. Kraus erinnert, der die Komplexität von Bodenbildungen im Flachrelief *bodengeomorphologisch* hinreichend begründet hat (s. o. Abschnitt 2.1). Ruhe arbeitete in Hebungsgebieten des präkambrischen Grundgebirges Zentralafrikas.

Die Beziehung Relief und Boden erfasste Ruhe mit der Koppelung von Oberflächenformung und Bodengenese. Repräsentativ dafür steht der Aufsatztitel „Geomorphic surfaces and the nature of soils“, die er auf den im Mittleren Westen der USA weit verbreiteten pleistozänen Lössdecken und hier besonders in Iowa intensiv untersuchte (Ruhe 1956a). Prinzipiell ging er davon aus, dass Hänge in den Erosionszyklen irgendwann eine bestimmte, *vollentwickelte* Form annehmen, und zwar mit folgenden Elementen (von oben nach unten, wörtlich): upland (Oberland), pediment backslope (Pediment-Oberabhang), pediment footslope (Pediment-Unterabhang) und alluvial toeslope (alluviale Fuss-Ebene) (Ruhe 1960, Fig. 1; siehe hier Abb. 3).

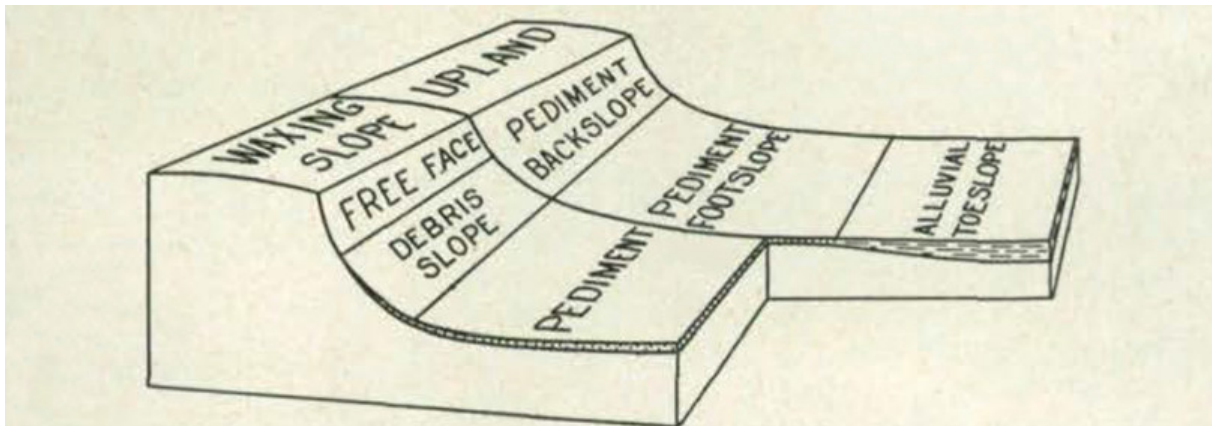


Fig. 1. Comparison of the classification of the elements of a fully developed landscape by Wood and King (foreground) and this paper (background).

Abb. 3: Vergleichende Nomenklatur von *Hangelementen*, hier nur hinteres Beispiel (Ruhe) behandelt; weitere Erläuterungen im Text (unverändert aus Ruhe 1960, Fig. 1)

Selbstredend folgt auf jeden Reliefformungs-Zyklus auch ein Pedogenese-Zyklus mit eigenen Bodenmerkmalen und Bodeneigenschaften – abhängig von der neuen Reliefform und von neuen Ausgangssubstraten. Das Quartär ist reich an solchen – *relief- und bodenwirksamen* – Klimazyklen. Später hat Ruhe der sog. Klimatischen Geomorphologie diese *hydraulisch* bedingte, in *allen* Klimazonen wiederkehrende Hangformung gegenübergestellt (Ruhe 1975). Damit besäße man einen starken *geomorphologischen* Indikator für das jeweilige Potenzial der Substratbildung und der nachfolgenden Pedogenese.

R. V. Ruhe war in mehreren Klimabereichen der USA *bodengeomorphologisch* tätig, schwerpunktmäßig im trockenen Südwesten (z. B. Ruhe 1962, 1964). Ein absolutes Highlight seines *umfassenden* Verständnisses von Landschaft und Boden stellen m. E. aber seine Arbeiten auf der Hawaiischen Hauptinsel Oahu dar:

- a) aus der *geomorphologisch-quartärgeologischen* Analyse erschließt sich die Verteilung der Ausgangssubstrate im Relief (Ruhe et al. 1965, Fig. 1)
- b) die Identifizierung von zahlreichen submarinen Küstenlinien belegt, dass sich die *Abflussbasis* für das nahegelegene Einzugsgebiet mehrfach *glazial-eustatisch* geändert hat (Ruhe et al. 1965a, Fig. 2)
- c) die pleistozänen Schelfvergrößerungen bedingten eine Modifikation der Niederschlagsmengen, welche damit auch bodenwirksam wurden (Ruhe 1965, Fig. 3) und
- d) die primär schon sehr stark kontrastierenden, *orographisch* bedingten, aktuellen Niederschläge im Regime des NO-Passats lassen sich nach o. g.

Untersuchungsergebnissen jetzt auch für das Pleistozän rekonstruieren und quantitativ abschätzen (Ruhe 1964a, Fig. 4).

Wie alle Arbeiten Ruhes bestechen auch diese durch präzise Sprache, adäquate Analytik und hervorragende Graphiken, so dass man den Zusammenhang von Relief, Ausgangssubstrat, Boden und Klima bzw. Klimawechseln sofort erkennt und dem Leitgedanken immer folgen kann.

Nach Teilnahme am 9. Internationalen Bodenkongress in Adelaide, Australien 1968 veröffentlichten R. V. Ruhe (damals noch: USDA, Soil Conservation Service, Ames, Iowa) und P. H. Walker (C.S.I.R.O. Division of Soils, Canberra, Australia) zwei interessante Aufsätze über Hänge als "open systems" und als "closed systems", indem

sie die "inter-relation of geomorphic and pedologic processes" modellmäßig zu erfassen und zu quantifizieren suchten (Ruhe und Walker 1968, Walker und Ruhe 1968). Die in *diskrete* Abschnitte ("summit, shoulder, backslope, footslope, toeslope") unterteilten Hänge und das – von der Hanggeometrie abhängige – Verhalten des Abflusses ("converge, parallel, diverge") bildeten dabei die Grundlage für ihre Modellrechnungen. Der „fotslope“ musste aber kein Pediment wie in Abb. 3 (s. o.) sein, die Diskretisierung der Hänge war formalisiert (s. Ruhe und Walker 1968, Fig. 1). Mit ausgewählter Analytik an 7 bzw. 8 Bodenprofilen in unterschiedlichen Hangpositionen (s. Ruhe und Walker 1968, Tab. 1 u. 2) ließ sich ein offenes Hangsystem modellhaft verifizieren, weil das ungleiche Verhältnis von Erosion am Hang und Sedimentation am „toeslope“ bei der letzten Hangformung einen Materialexport in den „alluvial fill“ eines Gerinnes, also in ein geomorphologisch höheres System, belegte. Im anderen Fall verblieb alles Erodierte auf dem „toeslope“: dieser Hang stellte somit ein geschlossenes System dar (Walker und Ruhe 1968). Nach diesen Untersuchungsergebnissen müsste man jetzt das sog. „dynamische Gleichgewicht“ Ahnerts (s. o. Kapitel 1. Einleitung) in Frage stellen oder zumindest relativieren.

Abschließend sei noch ein Buch (von mehreren) hervorgehoben, mit dem Ruhe sein buchstäblich fundamentales, nämlich *oberflächengeologisches* Verständnis von Boden präsentiert, indem er die *geomorphologischen* Kräfte wirken läßt: als Formungsprozesse, als resultierende Ausgangssubstrate für eine nachfolgende Bodenbildung und als veränderbares Relief. Mit dieser „Geomorphology. Geomorphic Processes and Surficial Geology“ (246 S.) geht Ruhe weit über die mehr statische *Bodengeologie* hinaus und vermittelt uns ein dynamisches Bild von der Erdoberfläche, auf der sich der Boden oder die Pedosphäre mit *körper eigener* Dynamik entwickeln (Ruhe 1975a).

Geomorphologie *und* Bodenkunde verdanken diesem energie- und ideenreichen Geologen viel: Robert V. Ruhe legte den Grundstein für eine moderne *Bodengeomorphologie*.

Nachruf zu R. V. Ruhe

Wright, H. E. Jr. (1994): Memorial to Robert V. Ruhe 1918–1993 [mit Bild]. *Memorials Geol. Soc. Amer.* 25: 41-44.

Würdigung von R. V. Ruhe

Olson, C. G. (1997): Systematic Soil-Geomorphic Investigations - Contributions of R.V. Ruhe to Pedologic Interpretation, in Yaalon, D. H., Berkowicz, S. (Hrsg.): History of Soil science. *Advances in GeoEcology* 29: 415-438.

Ausgewertete Veröffentlichungen von R. V. Ruhe

Ruhe, R. V. (1956): Landscape evolution in the High Ituri Belgian Kongo. *Publications de l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge (I.N.É.A.C.), Série scientifique* 66: 1-108.

Ruhe, R. V. (1956a): Geomorphic surfaces and the nature of soils. *Soil Sci.* 82 (6): 441-455.

Ruhe, R. V. (1960): Elements of the soil landscape. *Transactions of the 7th International Congress of Soil Science (Madison, Wisc., USA) IV*: 165-170. [online: www.iuss.org]

Ruhe, R. V. (1962): Age of the Rio Grande Valley in southern New Mexico. *J. Geol.* 70 (2): 151-167.

Ruhe, R. V. (1964): Landscape morphology and alluvial deposits in southern New Mexico. *Annals of the Association of American Geographers* 54 (1): 147-159.

Ruhe, R. V. (1964a): An estimate of paleoclimate in Oahu, Hawaii. *Am. J. Sci.* 262: 1098-1115.

Ruhe, R. V., Williams, J. M., Shumann, R. C., Hill, E. L. (1965): Nature of Soil Parent Materials in Ewa-Waipahu Area, Oahu, Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 282-287.

Ruhe, R. V., Williams, J. M., Hill, E. L. (1965a): Shorelines and submarine shelves, Oahu, Hawaii. *J. Geol.* 73: 485-497.

Ruhe, R. V. (1965): Relation of fluctuations of sea level to soil genesis in the Quaternary. *Soil Sci.* 99: 23-29.

Ruhe, R. V., Walker, P. H. (1968): Hillslope models and soil formation. I. Open systems. *Transactions of the 9th International Congress of Soil Science (Adelaide, Australia) IV*: 551-560. [online: www.iuss.org]

Ruhe, R. V. (1975): Climatic geomorphology and fully developed slopes. *Catena* 2: 309-320.

Ruhe, R. V. (1975a): Geomorphology. *Geomorphic Processes and Surficial Geology*. Houghton Mifflin, Boston [u.a.].

Walker P. H., Ruhe, R. V. (1968): Hillslope models and soil formation. I. Closed systems. *Transactions of the 9th International Congress of Soil Science (Adelaide, Australia) IV*: 561-568. [online: www.iuss.org]

2.5 Heinrich Rohdenburg (27.1.1937 [Stade] – 27.2.1987 [Braunschweig])

H. Rohdenburg studierte Chemie, Botanik, Zoologie, Geographie, Bodenkunde und Geologie in Hamburg (bei Kubiens), Würzburg (bei Büdel), Innsbruck und Göttingen. 1973 gründete er die *interdisziplinäre* geowissenschaftliche Zeitschrift „Catena“ (*Geomorphologie – Hydrologie – Pedologie*). Seit 1976 hatte er den Lehrstuhl für Physische Geographie und Landschaftsökologie an der TU Braunschweig inne. Dort rief er die DFG-Forschergruppe „Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete unter besonderer Berücksichtigung von Substrataufbau, Relief und Nutzungsform“ ins Leben (1979-1985). Daraus entstand am 1.1.1986 der DFG-Sonderforschungsbereich 179 „Wasser- und Stoffdynamik in Agrarökosystemen“, dessen Initiator und Sprecher er auch war. H. Rohdenburg starb – viel zu früh – an den Folgen einer Gehirnblutung, die er an seinem 50. Geburtstag bei einer kleinen Feier erlitten hatte (vgl. *Stingl* 1989, 1989a). Mit ihm verlor die Prozessgeomorphologie ihren begabtesten Protagonisten: die „Zweite Internationale Konferenz für Geomorphologie“ (Frankfurt a. M. 3.-9.9.1989) ehrte ihn mit einem eigenen Gedächtnissymposium (*Bork et al.* 1989). In der Bodenkunde findet sich ein kurzer Nachruf (*Blume* 2001, S. 305 [mit Bild]).

Wortlaut o. g. Forschungsprojekte und der Untertitel des Symposiumsbandes „Theory and Simulation of Infiltration, Overland Flow, Erosion, and Deposition Processes in their Relevance to Landscape Evolution“ zeigen bereits, worauf es Rohdenburg letztlich ankam: um ein umfassendes Verständnis von Entstehung und Wirkung von fließendem Wasser, kurz des Abflusses. Dazu muss man Oberflächenform, Schubkraft des Wassers und Scherwiderstand des Bodens zu einer Synthese vereinen. Alle 39 anglophonen Beiträge (Abstracts) im Symposiumsband sind prozessorientiert, ebenso die beiden Exkursionen zu aktueller bzw. zu künstlich erzeugter Bodenerosion sowie zu historischer Bodenerosion. Eine dritte Exkursion behandelt die entscheidende Frage: „Does soil formation compensate soil erosion?“ (s. *Bork et al.* 1989).

Schon vor seiner Promotion über Schichtstufen-Morphologie bei dem Göttinger Geographen und renommierten Geomorphologen Hans Mortensen (1894-1964) suchte H. Rohdenburg den Kontakt zum dortigen Agrikulturchemischen und

Bodenkundlichen Institut (Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. Fritz Scheffer), wo er nach seiner Promotion zeitweise auch wissenschaftlicher Assistent war. Die anregende Zusammenarbeit mit Brunk Meyer (1929-2005) und mit Horst Fölster (1930-2007) führte u. a. dazu, dass man *bodenbildende* Prozesse wie z. B. den internen Lösungsabtrag und die Lessivierung auch in einen *geomorphologischen* Kontext stellte (Rohdenburg und Meyer 1963). Ebenso erhielt die Quartärforschung einen starken bodenkundlichen Impuls durch eine – bis heute unübertroffene – feinstratigraphisch-paläopedologische Untersuchung und Darstellung jungpleistozäner Lösses (Rohdenburg und Meyer 1966). Diese fand auch auf der 13. DEUQUA-Tagung 1966 in Göttingen (8.-13.8.) hohe Anerkennung (s. *Schönhals* 1974, S. 200).

Wenngleich H. Rohdenburg kurz vor seinem – völlig unerwarteten – Tod (27.2.1987) ein „Kommentiertes Schriftenverzeichnis H. Rohdenburg (begonnen am 14.12.1986, nicht fertiggestellt)“ anfang und dreizehn seiner Arbeiten selbst kommentierte (Rohdenburg 1989, S. 186-190, 1989a, S. 162-166), sei noch einmal – wenigstens formal – auf insgesamt acht Arbeiten hingewiesen, die in der *Bodenkunde* leicht zugänglich sind, zwei davon sogar im Internet: die hier nach Erscheinungsjahr (1966, 1968, 1969) abgesetzten Titel (s. u.) deuten schon durch ihre Formulierung mehrfach das Bemühen um die Klärung des Verhältnisses von Relief, Boden, Klima und Landschaftsökologie an. Die Lektüre selbst wird einen davon überzeugen, mit welcher Kraft H. Rohdenburg analysieren, abstrahieren und später auch gleich modellhaft formulieren konnte. Das merkt man vor allem bei seinem *posthum* erschienenen Lehrbuch „Landschaftsökologie – Geomorphologie“, das auch in Englisch erschienen ist (Rohdenburg 1989, 1989a). Der Umfang von ´nur´ 220 bzw. 177 Seiten täuscht: man tut gut daran, die „Vorlesungsauswertungen Heinrich Rohdenburg: Geoökologie – Geomorphologie“ (201 S.) seines Schülers Claus Dalchow, Bodenkundler und Germanist, zur Hand zu nehmen, der die zwischen 1983 und 1987 „sehr frei gehaltenen Grundvorlesungen“ dokumentiert hat (Dalchow 1989, Vorwort).

H. Rohdenburgs – *geomorphologische* – Habilitationsschrift ist auch in den Göttinger Bodenkundlichen Berichten erschienen (Bd. 10, 1969). Sie gibt eine neue *hydraulische* Erklärung für Pedimentation, also für den Vorgang, der Hangabflachung unter Bildung einer Fußfläche oder eines „pediment footslope (Pediment-Unterabhang)“ (s. o. Ruhe, Abschnitt 2.4) erzeugt, was bei Fortentwicklung in “fully developed slopes” endet (Ruhe 1975): permanente Zerschneidung von Hängen durch *Rinnenspülung* führe nach einiger Zeit schon *am Hang* zur Auslastung des Abflusses mit resultierendem *Stau* und zur *Verbreiterung* der Rinnenausläufe, die eine „laterales erosive Ausgleichsflächenbildung“ darstelle (Rohdenburg 1969, S. 79; s. a. Dalchow 1989, S. 169-173). Das nannte er *Hangpedimentation*. Seitenerosion in Gerinnen (Fluss, Bach), also in einem geomorphologisch höheren System (s. o. Ruhe, Abschnitt 2.4), sei ein *gleichartiger* Prozess, nur die Hierarchisierung des Flußsystems habe sich geändert. Das nannte er *Talbodenpedimentation*. H. Rohdenburg hat wenig später den Pedimentationsprozess mit dem Hangentwicklungsmodell „VERSTEILUNGS-PEDIMENTATIONS-ZYKLUS“ auch graphisch umgesetzt (Rohdenburg 1971, Abb. 1).

Diese – bis heute nicht widerlegte – Erklärung für *Reliefeinebnung* führte in der deutschen Geomorphologie zu polarisierenden Diskussionen – und manchmal auch zu feindseliger Ablehnung. Wie sehr dies eine sachliche Auseinandersetzung

behinderte und Rohdenburg auch persönlich belastete, geht aus dem Nachruf hervor (Stingl 1989, 3. Seite, 1989a, 3. Seite). Aber auch die dritte, unveränderte Auflage von Rohdenburgs „Klimagenetischer Geomorphologie“ (2006, 305 S.) läßt im Vorwort von seiner Frau Margot und in einem erstmals veröffentlichten Brief von H. Rohdenburg an Julius Büdel (Würzburg) vom 30/5/70 erahnen, welcher Hexenkessel sich damals nach *dieser* Pedimentation in der deutschen Geomorphologie abzuzeichnen begann.

Die Synthese von Niederschlag, Infiltration, Abfluss und dem daraus erschließbaren *Abtragungs- bzw. Bodenbildungspotential* gelang dem 33jährigen H. Rohdenburg, weil er Boden – dank seiner pedologischen Vorbildung – überzeugend als Indikator für Reliefstabilität einsetzen konnte. Die besonders auf *bodenstratigraphischen* Befunden in quartären Lössen beruhende Erkenntnis, dass die Klimawechsel auch ein Alternieren von Hangabtragung und Bodenbildung bewirkten, setzte Rohdenburg in ein *hydrologisches* Modell um, aus dem die *Veränderung des Verhältnisses* von Oberflächenabfluss, Grundwasserabfluss und Evapotranspiration während eines Klimazyklus ersichtlich wird (Rohdenburg 1970, Abb. 2; siehe hier Abb. 4).

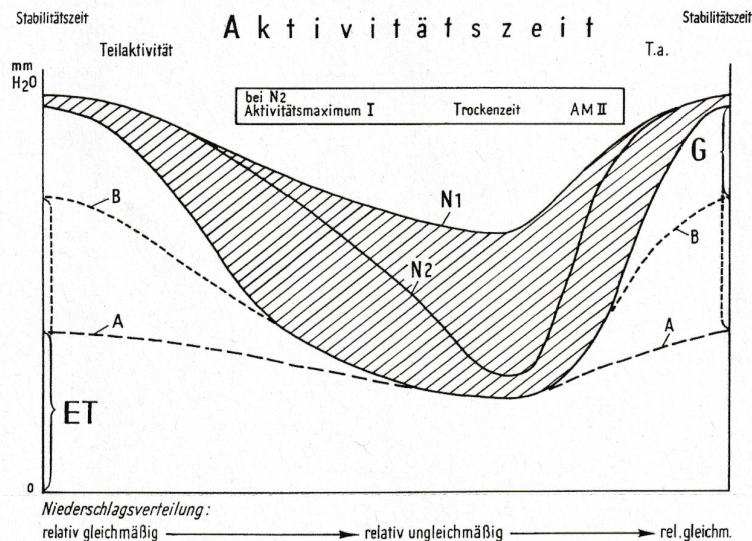


Abb. 2. Oberflächenabfluß (schraffiert), Grundwasserabfluß (G) und Evapotranspiration (ET) im Verlaufe eines Klimazyklus mit zunächst wachsender und später wieder abnehmender Akzentuierung der Niederschlagsverteilung. N = Niederschlagsmenge; A, B = Erläuterung im Text.

Abb. 4: *Veränderungen des Verhältnisses* der Wasserhaushaltsgrößen während eines Klimazyklus; weitere Erläuterungen im Text (unverändert aus Rohdenburg 1970, Abb. 2)

Die Abbildung erklärt sich weitgehend selbst. Sie zeigt einen Klimazyklus, bei dem sich die *Wasserhaushaltsgrößen* (s. Legende) ändern. A bedeutet sehr hohe N (Niederschlagsmenge), von der trotz hoher Transpiration der Pflanzendecke (T) noch überschüssiges Bodenwasser in G (Grundwasserabfluß) gelangen kann. Wenngleich $B < A$ ist und auch ET kleiner wird, sinkt der *nicht* von T verbrauchte Bodenwasserüberschuß noch stärker, „so daß der Grundwasserabfluß schon im dauernd humiden Mittelbreitenklima (etwa Mitteleuropa) recht gering sein kann (etwa Kurve B), in Richtung auf die Trockengebiete jedoch bis auf Null sinkt“ (Rohdenburg 1970, S. 91).

Nach diesem Modell ist eine „morphodynamische Stabilitätszeit“ infolge bodenschützender Vegetationsbedeckung und hoher Infiltration durch *Pedogenese*

gekennzeichnet, eine „morphodynamische Aktivitätszeit“ infolge mangelnder Vegetationsbedeckung, geringer Infiltration und akzentuierten Oberflächenabflusses dagegen durch *Geomorphogenese* (Abtragung u. Aufschüttung). Diese Betrachtungsweise macht das klassische Begriffspaar „Pluvial“ und „Interpluvial“ – logischerweise – obsolet. Die Hangentwicklung kann in Lockergesteinen, z. B. in Lössen, schon während eines Klimazyklus zu *Pedimentation* fortschreiten (vgl. *Ruhe* 1956a, Fig. 1: „Early Wisconsin Pediment“, s. o. Abschnitt 2.4). Dieser *Pedimentations*-Prozess lässt sich auch sehr anschaulich in Böden mit unterschiedlich resistenten Horizonten nachvollziehen, z. B. auf Teneriffa (*Rohdenburg* 1969, Abb. 32).

Die Umsetzung dieser Modellvorstellungen ermöglichten H. Rohdenburg und Mitarbeitern eine neue Sicht auf Relief und Boden. Erkenntnisse, die auf Forschungsreisen in den Tropen und Subtropen Afrikas und Südamerikas zum *fluvialen Abtragungsrelief* gewonnen wurden, sind publiziert. Stellvertretend sei eine zusammenfassende Studie genannt, die auch den Begriff „Panplain“ führt: das ist das Ergebnis der Seitenerosion bzw. *Talbodenpedimentation* parallel verlaufender, großer Täler an ihren *Ausläufen*, deren (geomorphologische) Talböden so zu riesigen Abtragungsebenen verschmelzen. Das wäre das Ende der Formung, nicht aber der Abtragung (vgl. *Rohdenburg* 1983). In Gebieten – geologisch jüngerer – Aufschüttungen, wofür sich besonders die Beckenstrukturen der tethydischen Orogene eignen, führten sedimentologisch-paläopedologische Untersuchungen an *Sediment-Boden-Abfolgen* nicht nur zu einer Abkehr von der klassischen Pluvial-Interpluvial-Theorie sondern auch zu einer Differenzierung des Quartärs in viele *klimatisch* bedingte Wechsel von Abtragung bzw. Aufschüttung einerseits und Bodenbildung andererseits. Repräsentativ dafür stehe ein großer Aufsatz im ersten Band von „Catena“ (*Rohdenburg* und *Sabelberg* 1973).

Voraussetzung für die Verifizierung dieses Konzeptes war die vorherige intensive Beschäftigung mit dem *Boden* oder der *Pedosphäre* und deren Integration in das allgemeine Abtragungsgeschehen in Zeit und Raum. Heinrich Rohdenburg ist eine neue, weiterführende Sicht auf das *Relief* und *seine Böden* gelungen.

Nachruf zu H. Rohdenburg

Blume, H.-P. (2001): Persönlichkeiten der (überwiegend) deutschen Bodenkunde, in Blume, H.-P. (Hrsg.): 1926 – 2001. 75 Jahre Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. *Mitt. DBG* 97: 283-340. [hier S. 305] [online: www.dbges.de]

Stingl, H. (1989): In Memoriam Heiner Rohdenburg, in Rohdenburg, H., *Landschaftsökologie – Geomorphologie* [mit Bild] [Aus d. Ms. bearb. u. hrsg. von Margot Rohdenburg]. Catena, Cremlingen-Destedt, 8 S. [ungezählt]

Stingl, H. (1989a): In Memory of Heiner Rohdenburg, in Rohdenburg, H., *Landscape Ecology – Geomorphology* [with photo] [Preface Margot Rohdenburg]. Catena, Cremlingen-Destedt, 8 p. [uncounted]

Ausgewertete Veröffentlichungen von (und zu) H. Rohdenburg

Bork, H.-R., De Ploey, J., Schick, A. (Hrsg.) (1989): Heinrich Rohdenburg Memorial Symposium. Theory and Simulation of Infiltration, Overland Flow, Erosion, and Deposition Processes in their Relevance to Landscape Evolution. Braunschweig/Königsutter, August 30 – September 2, 1989. Abstracts and Excursion Guide. *Landschaftsgenese u. Landschaftsökologie* 16: 1-175.

Dalchow, C. (1989): Vorlesungsauswertungen Heinrich Rohdenburg: Geoökologie – Geomorphologie. Catena, Cremlingen-Destedt.

Rohdenburg, H., Meyer, B. (1963): Rezente Mikroformung in Kalkgebieten durch inneren Abtrag und die Rolle der periglazialen Gesteinsverwitterung. Eine geomorphologische Auswertung von Bilanzanalysen an Bodenprofilen. *Z. Geomorph. N. F.* 7: 120–146.

1966

Rohdenburg, H., Meyer, B. (1966): Zur Feinstratigraphie und Paläopedologie des Jungpleistozäns nach Untersuchungen an südniedersächsischen und nordhessischen Lößprofilen. *Mitt. DBG* 5: 1-135. [online: www.dbges.de]

(Nachdruck 1979 in *Landschaftsgenese u. Landschaftsökologie* 3: 1-89.)

Rohdenburg, H. (1966): Eiskeilhorizonte in südniedersächsischen und nordhessischen Lößprofilen. *Mitt. DBG* 5: 135-170. [online: www.dbges.de]

(Nachdruck 1979 in *Landschaftsgenese u. Landschaftsökologie* 3: 91-114.)

1968

Rohdenburg, H. (1968): Jungpleistozäne Hangformung in Mitteleuropa - Beiträge zur Kenntnis, Deutung und Bedeutung ihrer räumlichen und zeitlichen Differenzierung. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 6: 3-107.

Rohdenburg, H., Meyer, B. (1968): Zur Datierung und Bodengeschichte mitteleuropäischer Oberflächenböden (Schwarzerde, Parabraunerde, Kalksteinbraunlehm): Spätglazial oder Holozän? *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 6: 127-212.

1969

Rohdenburg, H., Sabelberg, U. (1969): „Kalkkrusten“ und ihr klimatischer Aussagewert - neue Beobachtungen aus Spanien und Nordafrika. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 7: 3-26.

Rohdenburg, H., Sabelberg, U. (1969): Zur landschaftsökologisch-bodengeographischen und klimagenetisch-geomorphologischen Stellung des westlichen Mediterrangebietes. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 7: 27-47.

Rohdenburg, H., Meyer, B. (1969): Zur Deutung pleistozäner Periglazialformen in Mitteleuropa. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 7: 49-70.

Rohdenburg, H. (1969): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen an Beispielen aus Westafrika, besonders aus dem Schichtstufenland Südost-Nigerias. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 10: 57–152 u. *Giessener Geogr. Schr.* 20: 57–152. [Habilitationsschrift]

Rohdenburg, H. (1970): Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. *Eiszeitalter u. Gegenwart (E&G Quaternary Sci. J.)* 21: 85-96.

[online: www.eg-quaternary-science-journal.net]

Rohdenburg, H. (1971): Einführung in die klimagenetische Geomorphologie anhand eines Systems von Modellvorstellungen am Beispiel des fluvialen Abtragungsreliefs. Lenz, Gießen.

Rohdenburg, H., Sabelberg, U. (1973): Quartäre Klimazyklen im westlichen Mediterrangebiet und ihre Auswirkungen auf die Relief- und Bodenentwicklung vorwiegend nach Untersuchungen an Kliffprofilen auf den Balearen und an der marokkanischen Atlantikküste. *Catena* 1: 71-180.

Rohdenburg, H. (1983): Beiträge zur allgemeinen Geomorphologie der Tropen und Subtropen. Geomorphodynamik und Vegetation, klimazyklische Sedimentation, Panplain/Pediplain – Pediment – Terrassen – Treppen. *Catena* 10: 393-438.

Rohdenburg, H. (1989): Landschaftsökologie – Geomorphologie [mit Bild] [Aus d. Ms. bearb. u. hrsg. von Margot Rohdenburg]. Catena, Cremlingen-Destedt.

Rohdenburg, H. (1989a): Landscape Ecology – Geomorphology [with photo] [Preface Margot Rohdenburg]. Catena, Cremlingen-Destedt.

Rohdenburg, H. (2006), mit einem Vorwort von Margot Rohdenburg: Einführung in die klimagenetische Geomorphologie anhand eines Systems von Modellvorstellungen am Beispiel des fluvialen Abtragungsreliefs. Catena, Reiskirchen.

Schönhals, E. (1974): Zur 25jährigen Geschichte der deutschen Quartärvereinigung (Namen, Daten und wissenschaftliche Veranstaltungen 1948-1973). *Eiszeitalter u. Gegenwart (E&G Quaternary Sci. J.)* 25: 183-205. [online: www.eg-quaternary-science-journal.net]

2.6 Tiefenverwitterung und Flächenbildung

2.6.1 Julius Büdel und die Bodenkunde

In der Geomorphologie wird auch eine chemische Tiefenverwitterung für die Bildung von Rumpfflächen verantwortlich gemacht (z. B. *Bremer* 1993). Der Geograph Julius Büdel (1903-1983), einer der seinerzeit führenden deutschen Geomorphologen, hat in der englischen Übersetzung seiner „Klima-Geomorphologie“ für *Rumpffläche* auch „Etchplain“ gewählt (*Büdel* 1982, Fußnote 29, S. 122; s. a. „The Author's Forword“, S. XVIII; vgl. a. 1981, S. 94, Fußnote 29). Dazu muss man wissen, dass Büdel – obwohl bodenkundlich unbedarft – seinen *Grundgedanken* für eine neu zu konzipierende klimatische Geomorphologie *nicht* mit der Klärung der Korrelation von *Klima* und *Abtragungsprozessen* (*Abfluss*) verifizierte, sondern glaubte, über Umwege ans Ziel zu kommen, indem er meinte: „Eine sehr erwünschte Brücke zwischen Klimawirkungen und Denudationsformen schlagen hier die Ergebnisse der modernen **B o d e n k u n d e**“ (*Büdel* 1944, S. 483). Nur so ist zu verstehen, dass er seit 1935 der *Verwitterung* die *entscheidende* Rolle bei der Flächenbildung zumaß.

Im westlichen Erzgebirge erblickte Büdel „in den Rumpfflächen klimatisch bedingte Vorzeitformen“, welche wahrscheinlich durch „Flächenspülung in dem anders gearteten Klima der Tertiärzeit“ entstanden seien. Obwohl die „wechselnden Einzelzüge“ dieses Klimas nicht bekannt seien, meinte Büdel: „Aber aus der Zusammensetzung der Tertiärablagerungen der Leipziger Bucht läßt sich, wie v. Freyberg betont, nachweisen, daß die tropische Verwitterungsform der **K a o l i n i s i e r u n g** fast durch das ganze Tertiär hindurch anhielt“ (*Büdel* 1935, S. 146). Das führte bei ihm offenbar zu der Vorstellung, dass es ein *tropisches* Flächenbildungsklima gebe. Sie steigerte sich über die Jahrzehnte hinweg zu der Behauptung: „Die normalen, tiefgründigen Latosole sind somit der häufigste Boden auf den aktiven tropischen Rumpfflächen und dort in allen bekannten Fällen der eigentliche Träger des „Mechanismus der doppelten Einebnungsflächen“, der diese Flächen erzeugt. Wir betrachten den Latosol daher als *Prototyp* hierfür. Seine besonderen Eigenschaften lassen sich am besten erkennen, wenn wir sie denjenigen der ektropischen Ortsböden gegenüberstellen, als deren Prototyp wir die Parabraunerde (vgl. Fig. 6) wählen“ (*Büdel* 1981, S. 99).

Die Graphik der Fig. 6 „Typische Horizontgliederung ektropischer Ortsböden (Prototyp: 1 – 1,5 m mächtige Parabraunerde)“ auf Seite 12 ist hier unbedeutend, nicht dagegen die Bezeichnung „ektropische Ortsböden“. Abgesehen davon, dass der Bodenkundler Emil Ramann (s. o. Kapitel 1. Einleitung) den Begriff „Ortsböden“ in die Literatur eingeführt und definiert hatte (*Ramann* 1918, S. 22-31), Büdel ihn aber *nirgends* zitierte, sondern den Begriff geomorphologisch *in seinem* (*Büdel's*) *Sinne* umdeutete, sind „ektropische Ortsböden“, 1982 in Englisch klarer als in der deutschen Fassung ausgedrückt, „ectropic relief covering soils“, „the tropical lowland soils“ dagegen „relief forming soils (*Arbeitsböden*)“. „The literal translation of *Ortsböden* and *Arbeitsböden* would be 'in situ soils' and 'working soils' respectively“ (*Büdel* 1982, S. 136 u. Fußnote 33). Büdel instrumentalisierte damit *tropische* Böden als *formbildende Subjekte*: er beförderte sie – willkürlich – zu *formschaffenden* „Arbeitsböden“, während die ektropischen Böden weiter – sessil und untätig – auf dem Niveau von „Ortsböden“ verharren mussten. Willkür deshalb, weil tropische Böden (als südindische „Rotlehme“) vorher bei ihm noch „**r e i n e O r t s b ö d e n**“ gewesen waren (*Büdel* 1965, S. 17) und weil er den späteren,

stillschweigenden *Begriffs- und Bedeutungswandel* nirgends wissenschaftlich begründete (Skowronek 2010, S. 96-99).

Die Idee einer *verwitterungsfaziellen* Flächenbildung war nicht neu. „Die Kaolinverwitterung scheint durch die ganze Tertiärzeit anzuhalten“, berichtete schon 1923 der Hallenser Geologe Bruno von Freyberg (1894-1981) in seiner Arbeit über „Die tertiären Landoberflächen in Thüringen“ (Freyberg 1923, S. 29). Wegen der „chemischen Verwitterung“ war für Freyberg dann 1932 „die Bildung der Rumpfflächen zum großen Teil ein klimatisches Problem“ gewesen, denn: „das untere Zersatzniveau“ bilde eine „Rumpffläche, von der nur die Lehmrinde entfernt zu werden braucht“ (Freyberg 1932, S. 284-285). Er ließ aber durch mehrere Graphiken, z. T. als Entwicklungsreihen von Talquerschnitten präsentiert, erkennen, dass er die Flächenbildung *auf* der „Lehmrinde“ (in Brasilien) als Resultat von regressiver Einschneidung, von Seitenerosion und von Hangverflachungen verstand (Freyberg 1932, Abb. 43-47, 50-53). Das ist kein triviales Abstreifen der „Lehmrinde“ (*stripping*), sondern das Ergebnis einer *gesetzmäßigen* Hydraulik des Abflusses. Der Geologe Ernst Becksmann (1906-1986) wiederum verband „Kaolinisierung“ kommentarlos mit „Rumpffläche“ (Becksmann 1935, S. 64).

Zwei Jahre nach Freybergs Brasilien-Arbeit (s. o.) benutzte der britische Geologe und Prähistoriker Edward James Wayland (1888-1966) – nach einer Begriffsschöpfung des US-amerikanischen Geologen Bailey Willis (1857-1949) – erstmals das Wort „*etchplain*“ im Zusammenhang mit „*peneplanation*“ (Wayland 1934, S. 79). Wayland war langjähriger Direktor des Geologischen Dienstes in Uganda, viel in Ostafrika und Ceylon unterwegs und sicherlich nicht nur für geomorphologische Detailfragen zuständig (vgl. Davies 1967). Dennoch machte „*etchplain*“ in seinem kurzen, inhaltsreichen, aber auch nicht leicht zugänglichen Aufsatz später Karriere.

Die wichtigste Aussage ist m. E. (wörtlich): „Absence of any marked surface relief, a flat gradient and a seasonal climate lead to vertical rather than horizontal movements of ground waters and the consequent rotting of all but chemically resistant rocks, such as certain quartzites, to a depth of tens of feet. This zone of rotted rock, or saprolite, is largely removed by denudation if and when land elevation supervenes, and the process may be repeated again as the country rises slowly and discontinuously“ (Wayland 1934, S. 79). Die *Gleichzeitigkeit* von Verwitterung *und* Abtragung (Denudation) erscheint noch stringenter, wenn man dann liest: „The conversion of a mountainous country to a vast plain, although an imperfect one, must inevitably be a very lengthy affair, but granting the same intensity to the agents of denudation and the tectonic uplift necessary for their effective operation“ (Wayland 1934, S. 78-79).

Die wichtige *geomorphologische* Frage, ob „the agents of denudation“ *auf* dem „tens of feet“ tiefen Saprolit auch *Abtragungsformen* und wenn ja welche hinterlassen, kann man damit – leider – nicht abschließend beantworten. Ähnlich auch Bremer: „Weathering was already stressed by WAYLAND (1933 [=1934 – A.S.]). However, he was not explicit concerning the process of erosion, although he mentions peneplanation for surfaces with some relief, denudational stripping for extreme flatness“ (Bremer 1993, S. 190). „Denudational stripping“ ist aber nicht an einem (schönen) Wochenende passiert, nur die (subaerische) Abtragung *an der Oberfläche* kann eine *geomorphe* Fläche mit dem Habitus einer Rumpffläche produzieren! Alle

kryptogenen Trennflächen in einem Saprolit kennzeichnen *Verwitterungsformen*. Und Verwitterung „erzeugt *keine* Abtragungsformen“, wusste schon Walther Penck (Penck 1924, S. 3).

Ein Büdel-Schüler legt Wert auf die Feststellung, dass Büdel Waylands „an versteckter Stelle publizierte Arbeit ... sicher nicht gekannt hat“ (Wirthmann 1994, S. 20), was nach dem oben Gesagten sehr wahrscheinlich ist. Sicher aber ist, dass Büdel 1935 von Freyberg wusste (s. o.). 1957 stellte er dann seine vielbeachtete Theorie der „Doppelten Einebnungsflächen in den feuchten Tropen“ auf (Büdel 1957). Büdels Aussage lautet in Kürze: Die „Doppelte Einebnung“ verlaufe *synchron*, sie bestehe in einer *flächenhaften* Abspülung („Spüloberfläche“) *und* in einer ebenfalls *flächenhaften* Verwitterung („Verwitterungs-Basis-Fläche“). Die graphische Darstellung „Doppelte Einebnungsflächen und Rumpftreppenbildung“ (Büdel 1957, Abb. 5) ist fast identisch mit der Graphik „Schematische Darstellung der erosiven Tieferlegung einer intramontanen Ebene unter gleichzeitiger Ausbildung von Fußhügeln“, welche der Geograph Wilhelm Credner (1892-1948) schon 1932 publiziert hatte (Credner 1932, Taf. I), welche Büdel aber 1957 ignorierte.

Was die *laterale* Ausdehnung von Abtragungsflächen betrifft, der eigentliche Kern des Problems *Flächenbildung* (s. o. Rohdenburg, Abschnitt 2.5), so bestehe diese in der „Unterschneidung eines Inselberges bei Kolar“ durch ein „bis 5 m mächtiges, monogenetisches Rotlehmprofil auf einem Spülpediment“, was Büdel begrifflich in „subkutane Seitendenudation“ fasste (Büdel 1965, Bild 2; s. a. Skowronek 2010, Abb. 2a). Aussagen zum *Abfluss* fehlen völlig. Die *Paradoxie* einer solchen *pedologischen Unterschneidung* löst sich schnell auf, wenn man in Süd-Indien die Richtigkeit der Büdelschen Beobachtungen überprüft: Die dortigen Inselberg-Unterhänge – Pedimente in Gneis-Saproliten – tragen sehr oft *Schwemmfächer* aus korrelierten Sedimenten einer anthropogen induzierten Bodenerosion durch Wasser an den Inselberghängen, und die *autochthonen* Böden sind selten mehr als 1,5 m mächtig (Skowronek und Murti 2005, Kehl et al. 2007, Abb. 2; vgl. a. Bronger 1985). Auch kann man aktuelle *Hangpedimentation* in den Gneis-Saproliten beobachten (Skowronek 2010, Abb. 2b). Büdel vermochte 1964 im Gelände einen „bis 5 m“ mächtigen *Schwemmfächer* aus *Bodensedimenten* nicht von flachgründigeren *autochthonen* Böden zu unterscheiden, und er machte das sog. „monogenetische Rotlehmprofil“ – sinnwidrig – sogar zum *Subjekt* der Abtragung („subkutane Seitendenudation“). Arnt Bronger (Jg. 1938) hat die bodenkundliche Situation in den wechselfeuchten Tropen Indiens sehr anschaulich (u. a. 16 Farbphotos) im Handbuch der Bodenkunde dargestellt (Bronger 2007).

Bis zum Schluss koppelte J. Büdel die „vorherrschende Flächenbildung in ausgeglichenem Warmklima bis in hohe Breiten“ eng an eine sog. „Tropoide Alterde“ (Büdel 1981, Fig. 1), die „hygrischen Schwankungen“ im Tertiär wertete er aber *geomorphologisch* nie aus. Für ihn blieben „gerade feuchtwarme Räume und Zeiten mit tiefgründiger chemischer Verwitterung die morphologisch aktivsten“ (Büdel 1978, 54). H. Bremer, welche sich auch als Büdel-Schülerin sah (Bremer 1989, III), kann Büdels *Synchronität* von Bodenbildung und Abtragung nicht dadurch aufheben, dass sie einerseits E. W. Wayland interpretiert (s. o.), andererseits zu Büdels Konzept der „doppelten Einebnung“ bzw. „etchplanation“ behauptet: „It is a great advantage that the model of BÜDEL is an open system, open to changes of energy due to climatic change and/or uplift“ (Bremer 1993, S. 194). Büdel implizierte für den „Mechanismus der doppelten Einebnungsflächen“ in den Tropen (Büdel 1957) *immer*

die Gleichzeitigkeit von Pedogenese und Geomorphogenese, *nie* öffnete er sein Modell für einen geomorphologisch relevanten Klimawandel, im Gegenteil, er ging von einem schon sehr lang andauernden Klimazustand aus, der eben diesen „Mechanismus“ ermögliche (Büdel 1981, S. 116-117 u. Fußnote 39). Seine früheren Einlassungen zur Polygenese von Tropenböden und zu Klimawechseln setzte er nur *pedologisch* um: letztere (die Klimawechsel) hätten einen „diskontinuierlich abgewandelten Reifeprozess“ der Böden erzeugt (Büdel 1965, S. 16-17).

Es mutet heute schon fast schizophren an, dass Büdel Rohdenburg einst vorhielt: „Er sucht die ganze Reliefbildung von der Bodenkunde aus zu lösen. Diese ist aber nur eine von vielen Hilfswissenschaften der modernen Geomorphologie“ (Büdel 1971, S. 108).

Ausgewertete Veröffentlichungen zu Abschnitt 2.6.1

- Becksmann, E. (1935): Morphologie und Erdgeschichte. *Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft* 1: 58-66.
- Bremer, H. (1989): Allgemeine Geomorphologie. Methodik – Grundvorstellungen – Ausblick auf den Landschaftshaushalt. Borntraeger, Berlin & Stuttgart.
- Bremer, H. (1993): Etchplanation, Review and Comments of Büdel's Model. *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 92: 189–200.*
- Bronger, A. (1985): Bodengeographische Überlegungen zum "Mechanismus der doppelten Einebnung" in Rumpfflächengebieten Südindiens. *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 56: 39-53.*
- Bronger, A. (2007): 3.4.5.6 Bodengeographie der wechselfeuchten Tropen am Beispiel Indiens. Handbuch der Bodenkunde 28. Erg. Lfg. 12/07, II u. 30 S., VCH-Verl., Weinheim.
- Büdel, J. (1935): Die Rumpftreppe des westlichen Erzgebirges. *Verh. u. Wiss. Abh. 25. Dt. Geogr.-Tag Bad Nauheim 22. bis 24. Mai 1934: 138-147.*
- Büdel, J. (1944): Die morphologischen Wirkungen des Eiszeitklimas im gletscherfreien Gebiet (Beiträge zur Geomorphologie der Klimazonen und Vorzeitklimata I). *Geol. Rundsch. 34 (7/8, Klimaheft): 482-519.*
- Büdel, J. (1957): Die „Doppelten Einebnungsflächen“ in den feuchten Tropen. *Z. Geomorph. N. F. 1: 201-228.*
- Büdel, J. (1965): Die Relieftypen der Flächenspülzone Süd-Indiens am Ostabfall Dekans gegen Madras. *Colloquium Geographicum 8: 1-100.*
- Büdel, J. (1971): Das natürliche System der Geomorphologie mit kritischen Gängen zum Formenschatz der Tropen. *Würzburger Geogr. Arb. 34: 1-152.*
- Büdel, J. (1978): Geomorphologische Fragen des Früh-Pleistozän, in Nagl, H. (Hrsg.): Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung. Festschrift zum 60. Geburtstag von Julius Fink. Hirt, Wien, S. 53-63.
- Büdel, J. (1981): Klima-Geomorphologie. Borntraeger, Berlin & Stuttgart.
- Büdel, J. (1982): Climatic Geomorphology. Translated by Eleonore Fischer and Detlef Busche. Princeton Univ. Press., Princeton, N.J.
- Credner, W. (1932): Das Kräfteverhältnis morphogenetischer Faktoren und ihr Ausdruck im Formenbild Süd-Asiens. *Bull. Geol. Soc. China 11: 13-34.*
- Davies, K. A. (1967): Edward James Wayland (1888-1966). *Proc. Geol. Soc. of London 1642: 231-232.*
- Freyberg, B. v. (1923): Die tertiären Landoberflächen in Thüringen. *Fortschritte der Geologie und Paläontologie 6: 1-77.*
- Freyberg, B. v. (1932): Ergebnisse geologischer Forschungen in Minas Geraes (Brasilien). *Neues Jahrbuch f. Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Sonderband II: 1-403.*
- Kehl, M., Murti, R. N., Skowronek, A. (2007): Zur polygenetischen Bodenbildung in einem Inselberg-Pediment-Pediainrelief bei Kolar/Südindien. *Bonner Bodenkundl. Abh. 46 (Zum 100. Geburtstag von Eduard Mückenhausen 1907-2005): 127-151.*
- Penck, W. (1924): Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. *Geographische Abhandlungen, Zweite Reihe, Heft 2: 1–283.*

Skowronek, A. (2010): Julius Büdel und die Klima-Geomorphologie. *Mitt. Österr. Geogr. Ges.* 152: 87-129.

Skowronek, A., Murti, R. N. (2005): Bodengenese und Bodenvergesellschaftung in einem Inselberg-Pediment-Pediplainrelief bei Kolar/Südindien. *Mitt. DBG 107 (1)*. 407-408.

[online: www.dbges.de]

Wayland, E. J. (1934): Peneplains and Some Other Erosional Platforms. *Geological Survey of Uganda, Annual Report (for year ending 31st March 1934) and Bulletin 1*: 77-79.

Wirthmann, A. (1994): Geomorphologie der Tropen. WBG, Damstadt.

2.6.2 Etchplain und Saprolit

Etchplain

Das 1934 von E. J. Wayland (s. o. Abschnitt 2.6.1) eingeführte, englische Doppelwort Etch-plain kommt von *to etch* = ätzen und von *plain* = eben flach. Damit wird schon deutlich, dass die „ätzende“ d. h. die *chemische* Alteration der Gesteine *selbst* eine *verebnende* Wirkung ausübe. Angesichts der allgegenwärtig vorhandenen Trennflächen in Gesteinen ist *dieser* geomorphologische Effekt nur schwer vorstellbar. Sind die formbildenden Kräfte der Erdoberfläche doch *reine Gravitation, fliessendes Wasser* oder *Eis* und der *Wind* (s. o. Kapitel 1. Einleitung). Daher verwundert es nicht, wenn man in der „Eyclopedia of Geomorphology“ von 1968 folgende Definition findet: „An etchplain is a form of planation surface associated with crystalline shields and other ancient massifs which do not display tectonic relief, and developed under tropical conditions promoting rapid chemical decomposition of susceptible rocks“, während gleichzeitig die Grenzlinie Saprolit/unverwittertes Gestein alles andere als eine *geomorphologische* Ebene darstellt und die *Erdoberfläche* vertikal noch stärker differenziert ist als diese (Thomas 1968, S. 331 u. Fig. 1).

Daraus folgt: *etching*, d. h. die Ausbildung einer flächenähnlichen leicht gewellten *Verwitterungsfront* ist *hydrologisch* an die *Präexistenz* von Fastebenen (*peneplains*) in Gondwana-Untergrund gebunden. Die geomorphologische Entwicklung *auf* der – subaerischen – Oberfläche einer Etchplain hat genetisch *nichts* zu tun mit dem Verlauf der Verwitterungsfront, sie folgt der *Hydraulik* des *Oberflächenabflusses* (Thomas 1968, Fig. 1). *Auf* den – durch Denudation freigelegten – Saproliten findet oder fand ganz normale *klimazyklische* Bodenbildung bzw. Abtragung statt (z. B. Faust 1990, Abb. 4). Auch ist nicht immer klar, welches Alter tiefreichendes *etching* besitzt und ob es aktuell weitergeht. Jedenfalls gilt es bei bodenkundlichen und geomorphologischen Untersuchungen, zwischen der *etch*-Verwitterungsfront und der *geomorphen* Oberfläche zu unterscheiden. Flächenbildung durch *Oberflächenabfluss* kann *überall* und *jederzeit* stattfinden, wenn *Gefälle* und *Fließwiderstände* (Vegetation, Substrat) es erlauben, *etchplanation* dagegen nicht. Den Begriff „etchplain“ auf *alle* Rumpfflächen, ggf. auch im Deckgebirge (wenn es denn dort überhaupt *etchplains* geben kann) anzuwenden, verbietet sich damit von selbst, insbesondere dann, wenn man damit automatisch auch die geochemische Konstellation einer tiefreichenden Dekomposition (*Saprolithisierung*) also das *etching* verbindet (oder verbinden will).

In Deutschland ist es – spätestens seit Büdel aber dann praktisch immer – üblich geworden, von *tropischen* Rumpfflächen zu sprechen, wenn man darauf irgendwo einen angeblich tropischen Boden(rest) und sei er noch so klein findet: J. Büdel hat mit *seiner* „Etchplain“ erreicht, dass ein Großteil der 'scientific community' auch heute noch damit die Wirkung von *etching* verbindet – oft ohne dessen *singuläre*

Verwitterungsfazies zu verstehen und dessen *regionale* Bedeutung zu ermessen. Es gilt die einfache Formel: „Rotlehm“ = „Tropische Rumpffläche“ – weil *tropische* Böden eben „Arbeitsböden“ zu sein haben.

Böden lassen sich aber nicht so leicht instrumentalisieren. Eine Übersicht über tertiäre Paläoböden in Mitteleuropa zeigt, dass ein Vergleich mit rezenten tropischen Böden schnell an seine Grenzen stoßen kann (*Bibus* 1985). Auch werde der geomorphogenetische Aussagewert von fersiallitischen und ferrallitischen Paläoböden im Grundgebirge weit überschätzt (*Wiechmann* und *Zepp* 1989). Das ganze Dilemma der Korrelation von *tiefgründiger* Verwitterung und *tropischer* Flächenbildung brachte der Geomorphologe und Bodenkundler Arno Semmel (1929-2010) noch einmal auf den Punkt: Die räumliche Koinzidenz von Abtragungsflächen und „tropischen“ Böden bzw. „Saprolithen“ in unseren Mittelgebirgen beweise nicht, dass Flächenbildung und tiefgründige Verwitterung genetisch zusammengehören (*Semmel* 1989).

Saprolit

Der von E. J. Wayland 1934 wie selbstverständlich eingestreute Begriff „saprolite“ für „zone of rotted rock“ (s. o. Abschnitt 2.6.1) war lange Zeit in geologischen, bodenkundlichen und geomorphologischen Arbeiten des deutschsprachigen Raumes unbekannt, erst allmählich bürgert er sich ein. Der Begriffsschöpfer ist George Ferdinand Becker (5.1.1847 [New York City] – 20.4.1919 [Washington DC]), welcher 1868 in Havard den B. A. erwarb, 1869 in Heidelberg zum Dr. phil. promovierte und bis 1871 an der Bergakademie Berlin studierte. Er war – geochemisch ausgerichtet – überwiegend in der (praktischen) Lagerstättenkunde tätig und 1914 Präsident der Geological Society of America. Seine, unauffällig und versteckt in „Reports“ publizierte Definition ist umfassend und gleich in zwei Versionen vorhanden:

„Saprolite“ ist

- „thoroughly decomposed rock in place“ und/oder
- „thoroughly decomposed, earthy, but untransported rock“ (*Becker* 1895, S. 284, Fußnote 1 u. 289). Dem ist nichts hinzuzufügen.

Der Doppelname Sapro-lite (engl.) kommt aus dem *Griechischen* (σάπρος [sápros]: deutsch *faul* u. λίθος [lithos]: deutsch *Stein*). Im Englischen schreibt man grundsätzlich „Saprolite“, weil das besser auszusprechen ist als mit „th“. ‚Richtiger‘ wäre – zumindest in Deutsch – „Saprolith“. Selbst das internationale (anglophone) Journal „Lithos“ [1.1968-] bleibt bei „th“. „Saprolit“ findet sich bereits in der ersten Auflage des „Wörterbuchs der Bodenkunde“ und wird dort mit einem C_v-Horizont gleichgesetzt (*Hintermaier-Erhard* und *Zech* 1997, S. 246) Auch die erste Ausgabe des, nach Klimazonen geordneten, Bildatlas „Böden der Welt“ zeigt in den feuchten Tropen und Subtropen an vier anschaulichen, farbigen Zeichnungen die bodenkundlichen Beziehungen eines Saprolits (einmal sogar noch mit „th“ geschrieben [S. 97]) sowie einen Ferralsol auf „einem tiefgründigen Gesteinszersatzhorizont“ in S-Thailand, der einem Saprolit(h) entspricht (s. *Zech* und *Hintermaier-Erhard* 2002, S. 80, 81, 93, 95, 97).

Dem Verfasser lag vorab an dieser Sprachregelung, weil damit die nun folgende Nutzung des Begriffes in der deutschen Geomorphologie und Bodenkunde verständlicher wird.

Saprolit war J. Büdel fremd. Das für seine Flächenbildung durch „subkutane Rückwärtsdenudation“ *repräsentative* Photo (aufgenommen am 10.3.1964) zeigt zwar deutlich einen Saprolit aus Kristallingestein, der sich hinsichtlich seiner Dispersionsmobilität deutlich von den *Bodensedimenten* darüber unterscheidet, aber er beließ es bei der Beschreibung „Typisches Latosolprofil, 6 m, oben rot, unten gebleicht, am Fuße eines ...“ (Büdel 1981, Photo 15, S. 108). H. Bremer geht trotz der engen Beziehung von Waylands „saprolite“ und „etchplain“ (s. o. Kapitel 2.6.1) nicht auf Saprolite ein – der Name taucht in diesem *grundsätzlichen* Aufsatz überhaupt nicht auf (vgl. Bremer 1993). F. Ahnert beschreibt „Saprolith“ als „autochthone“ Bildung, auf die nach oben der Regolith, also die Zone aus Lockermaterial folgt (von gr. *πέγος* [regos]: deutsch Decke). Ein Farbphoto zeigt beides (s. Ahnert 2015, S. 78 u. Abb. 6.12).

Der – auch international hoch angesehene – Bonner Bodenkundler Eduard Mückenhausen (1907-2005) beschrieb noch 1977 in der Klasse der „Plastosole (Fersiallite, d. h. plastische Böden aus Silikatgestein oder bokusartige Silikatböden)“ einen sog. „Graulehm (Grauplastosol)“ als Bodentyp (Mückenhausen 1977, S. 122-123). Das einzige der 60 – *handgemalten* – „Bodenprofile der Bundesrepublik Deutschland“, bei dem der Name „Graulehm“ erscheint (Nr. 41), ist aber ein „Schwacher Pseudogley mit Hangnässe aus Lößlehm über Graulehm“ (Mückenhausen 1977, S. 258-259). Darin spiegelt sich der allmähliche Rückzug von Mückenhausens Graulehmkonzept wider (was hier aus Platzgründen nicht weiter verfolgt werden kann).

Es ist das große Verdienst des Gießener (vormals Bonner) Bodenkunders Peter Felix-Henningsen (Jg. 1949), die Saprolite in seiner umfassenden, für Bodenkundler, Geologen und Geomorphologen gleichermaßen wertvollen Habilitationsschrift „Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge“ als eigene Naturkörper erkannt und analytisch hervorragend beschrieben zu haben (Felix-Henningsen 1990). Er hat diese sonderbare *Verwitterungsfazies* und für die Abtragung in Mitteleuropa *regional* exponierte „Gesteinsaufbereitung“ (Begriff von Penck 1924, S. 28-59) auch wieder in das Bewußtsein der Geomorphologie gerückt. Danach müssen die „Graulehme“ jetzt als Reste einer alten Verwitterungszone angesehen werden, die während der jungtertiären und quartären Abtragszyklen immer wieder – vertikal und ggf. auch horizontal verkürzt bzw. verkleinert – neu für die folgende Bodenbildung exponiert wurden: so lässt sich der „Schwache Pseudogley mit Hangnässe aus Lößlehm über Graulehm“ (s. o.) zwanglos in das *Alternieren* von Geomorphogenese und Pedogenese integrieren. Die „morphodynamischen Aktivitätszeiten“ können dabei auch „periglaziale Deckschichten“ auf den Saproliten hinterlassen (s. Felix-Henningsen et al. 1991).

Die 1977 gegründete Arbeitsgruppe „Paläopedologie“ der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft hat mit ihren Exkursionen in den Jahren 1984, 1991, 1993, 1994, 2000, 2005, 2006, 2010 und 2011 auch Gebiete Deutschlands mit Saproliten, Plastosolen und präquartärer Verwitterung aufgesucht und diese Bildungen intensiv diskutiert. Die z. T. stattlichen Exkursionsführer, manchmal auch mit Farbphotos, sind online verfügbar unter: www.dbges.de → Die DBG → Arbeitsgruppen → Paläopedologie → Aktivitäten → Jahr, z. B. 91. Dieses Material ist bestens geeignet, eine Vorstellung von diesen Besonderheiten der Pedogenese zu bekommen.

Auf den Gondwana-Kontinenten haben Saprolite z. T. eine *fundamentale* geomorphologische Bedeutung, nämlich dann, wenn in der jüngeren Reliefgeschichte fossile *präkambrische* oder *altpaläozoische* Saprolite großflächig und lokal tiefreichend abgedeckt wurden und jetzt die – neu reliefierte – *aktuelle* Landoberfläche bilden. Die Geographin Ingrid Stengel hat es mit einem Aufsatztitel *geomorphologisch* auf den Punkt gebracht: „Alte Verwitterung – junge Folgen: Reliefgenese in Südnamibia“ (Stengel 2002). In der zentralen Sahara kann vor einer großen Schichtstufe ein *aktuelles* Inselberg-Relief beobachtet werden, das *unter* dem ersten Stufenbildner (Sandstein) schon durch *präkambrische* Saprolitisierung *sichtbar* vorgebildet worden war (Skowronek 1987, Fig. 29). Wenn die damalige *lokal* um ca. 100 m *relativ* wechselnde Tiefenverwitterung zu einer *etchplain* gehören soll, müsste man *etchplain* sofort neu definieren. Vielleicht ist diese ja auch nur ein *Konstrukt*, denn wer hat schon einmal ein *flächenbildendes etching* über mehrere Kilometer in der Natur beobachtet (ca. 2-5 km)? Verfasser kennt keine Darstellung. Nachgewiesene Verwitterungstiefen auf *Itabiriten* erreichen in Liberia 600 m, in Brasilien 300 m (Thienhaus 1964, S. 100).

In den feuchten Tropen haben deutsche Bodenkundler begonnen, Saprolite sowohl in die Pedogenese als auch in die Bodenökologie zu integrieren. H. Fölster, der auch schon zwei bemerkenswerte *geomorphologische* Arbeiten im Sudan und Nigeria geschrieben hatte (Fölster 1964, 1969), zeichnet im Abschnitt „Pediplanation und Saprolith“ des Begleitheftes zum Afrika-Kartenwerk W 4 räumlich und zeitlich variable Abtragungsflächen in Boden, Zersatz und Gestein ein, um diese „möglichen Basisflächen der Abtragung“ dann auch bodengenetisch und bodenökologisch auszuwerten (Fölster 1983, Fig: 6). Auch kommt es an Hängen z. B. beim Eisentransport *in* Böden zu einer Differenzierung der transportierten Menge zwischen Solum und „Saprolith“, in diesen Pediplains spielen die Hangeometrien generell eine große Rolle bei der Stoffverteilung (Fölster 1983, Fig: 10 u. 11). Da Böden der Tropen und Sutopen oft bis in das untere Solum abgetragen sind, kommt den liegenden – nicht immer zeitgleich gebildeten – Saproliten eine wachsende Bedeutung im Landbau zu. Struktur und Chemismus bedingen einen spezifischen Wurzelraum und erfordern ein angepasstes Management (Wiechmann 1991). Die Korngrößenverteilung ist die Funktion einer spezifischen Fragmentierung der Saprolite, die Körnungsanalyse bedarf zusätzlicher Aufbereitung (Häfele und Wiechmann 1997).

Büdel's „Latosol ... unten gebleicht ...“ (Büdel 1981, Photo 15) ist ein solcher Saprolit. Saprolite werden bei Kolar/Südindien bis 60 m mächtig, unterliegen aber an vielen Stellen einer regressiven Erosion und werden dadurch an die Oberfläche exponiert, wo sie wieder agrarisch genutzt werden – wenn es noch möglich ist (Skowronek und Murti 2005).

Das Spektrum spezifischer Saprolit-Eigenschaften ist groß. Tropenbodenkundler müssen sie kennen – auch Tropengeomorphologen sollten sie bekannt sein.

Ausgewertete Veröffentlichungen zu Abschnitt 2.6.2

Ahnert, F. (2015): Einführung in die Geomorphologie. Ulmer, Stuttgart.

Becker, G. F. (1895): Gold fields of the Southern Appalachian. *Sixteenth Annual Report of the United States Geological Survey. Part III. – Mineral Resources of the United States, 1894, Metallic Products, S. 251-331.*

Bibus, E. (1985): „Tropische Paläoböden“ in Mitteleuropa – Ausbildung und Probleme ihrer klimatischen Deutung. *Geomethodica 10: 153-191.*

- Büdel, J. (1981): Klima-Geomorphologie. Borntraeger, Berlin & Stuttgart.
- Faust, D. (1990): Bodenkundliche Untersuchungen an Deckschichten in N-Togo. Z. Pflanzernähr. Bodenk. 153: 395-401.
- Felix-Henningsen, P. (1990): Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge. Relief, Boden, Paläoklima 6: 1-192.
- Felix-Henningsen, P., Spies, E.-D., Zakosek, H. (1991): Genese und Stratigraphie periglazialer Deckschichten auf der Hochfläche des Ost-Hunsrücks (Rheinisches Schiefergebirge). Eiszeitalter und Gegenwart 41 (E&G Quaternary Sci. J.): 56-69. [online: www.eg-quaternary-science-journal.net]
- Fölster, H. (1964): Morphogenese der südsudanesischen Pediplane. Z. Geomorph. N. F. 8: 393-423.
- Fölster, H. (1969): Slope Development in SW-Nigeria During Late Pleistocene and Holocene. Göttinger Bodenkundl. Ber. 10: 3-56 u. Giessener Geogr. Schr. 20: 3-56.
- Fölster, H. (1983): Bodenkunde – Westafrika (Nigeria, Kamerun) 4° – 8° N, 3° 15' – 9° 30' E. Bodengesellschaften. Borntraeger, Berlin & Stuttgart. (=Afrika-Kartenwerk, Serie W: Beiheft zu Blatt 4)
- Häfele, S., Wiechmann, H. (1997): Körnung von Saproliten als methodenabhängige Größe. Z. Pflanzernähr. Bodenk. 160: 349-355.
- Hintermaier-Erhard, G., Zech, W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Systematik, Genese, Eigenschaften, Ökologie und Verbreitung von Böden. Enke, Stuttgart.
- Mückenhausen, E. (1977): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.
- Penck, W. (1924): Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. Geographische Abhandlungen, Zweite Reihe, Heft 2: 1-283.
- Semmel, A. (1989): Paleopedology and Geomorphology: Examples from the Western Part of Central Europe, in Bronger, A., Catt, J. A. (Hrsg.), Paleopedology. Nature and Application of Paleosols. Catena Supplement 16: 143-162.
- Skowronek, A. (1987): Böden als Indikator klimagesteuerter Landformung in der zentralen Sahara. Relief, Boden, Paläoklima 5: 1-184.
- Skowronek, A., Murti, R. N. (2005): Bodengenese und Bodenvergesellschaftung in einem Inselberg-Pediment-Pediplainrelief bei Kolar/Südindien. Mitt. DBG 107 (1): 407-408. [online: www.dbges.de]
- Stengel, I. (2002): Alte Verwitterung – junge Folgen: Reliefgenese in Südnamibia. Peterm. Geog. Mitt. 146 (2): 16-23.
- Thienhaus, R. (1964): Verwitterungsprofile über Itabiriten von Afrika und Indien. Schr. Ges. Dt. Metallhütten u. Bergleute 14: 89-100.
- Thomas, M. F. (1968): Etchplain, in Fairbridge, R. W. (Hrsg.): The Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold Book Corporation, London [u.a.], S. 331-333. (=Encyclopedia of Earth Sciences, Vol. III)
- Wiechmann, H. (1991): Eigenschaften rezenter Böden aus Saprolit. Mitt. DBG 66 (II): 1193-1196. [online: www.dbges.de]
- Wiechmann, H., Zepp, H. (1985): Zur morphogenetischen Bedeutung der Graulehne in der Nordeifel. Catena Supplement 6: 121-135.
- Zech, W., Hintermaier-Erhard, G. (2002): Böden der Welt. Ein Bildatlas. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg & Berlin.

3. Ausblick und Perspektiven zu Relief und Boden

Vor dem Hintergrund des Gesagten kann man Ahnerts These vom „dynamischen Gleichgewicht“ nicht mehr folgen, da er letztlich *nur* den *Prozess* und die *Rate* im Blick hatte und *keine* zeitliche Differenzierung von *Prozess* und *Formung* vornahm (s. Ahnert 2015, S. 25-27). Ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Kräften, Prozessen und Formen lässt sich vielleicht noch an rezenten Küsten verifizieren, wo Abrasion, Transport, Sedimentation und Formung einen *zeitunabhängigen*

„stationären Zustand“ in geomorphologischen Prozessresponsssystemen verkörpern (z. B. Ludwig 1958). Das „dynamische Gleichgewicht“ Ahnerts haben auch die Geowissenschaftler im Sinn, welche derzeit – optimistisch – mit kosmogenen Nukliden „Alter und Raten von Erdoberflächenprozessen“ bestimmen, meistens „gemittelt“ auf den schon früher in der Geologie üblichen Zeitraum von 10^3 Jahren (s. Blanckenburg 2005). Jetzt versteht man auch die in der Einleitung zitierten Begriffe „soil production production“ oder „landscape equilibrium“ besser (s. o. Kapitel 1.).

Es hieße *pedologische* Gleichgewichte arg zu strapazieren, wollte man Hanna Bremer folgen, die einmal schrieb: „Zu den bodenbildenden Kräften gehört aber auch die Abtragung, so daß ein Klimaxboden sich durchaus tieferlegen kann bei Erhaltung der Bodenhorizonte. BÜDEL (1977) bezeichnete dieses als Arbeitsboden“ (Bremer 1984, S. 15). Das soll hier so stehen bleiben und nicht weiter kommentiert werden. Stattdessen wird eine Graphik des bekannten Bodenkundlers Udo Schwertmann (1927-2016) präsentiert und versucht, daran noch einmal die Beziehung „Relief und Boden“, also den Kern des vorliegenden Aufsatzes, zu verdeutlichen. Schwertmann hatte seine Graphik mit „Bodenprofil-Sequenzen an einem Erosionshang“ betitelt (Schwertmann 1977, Abb. 1). Hier wurde *bewusst* eine längere, aber auch eine differenzierte Abbildungsunterschrift gewählt, um die angesprochene Problematik umfassend würdigen zu können (s. Abb. 5).

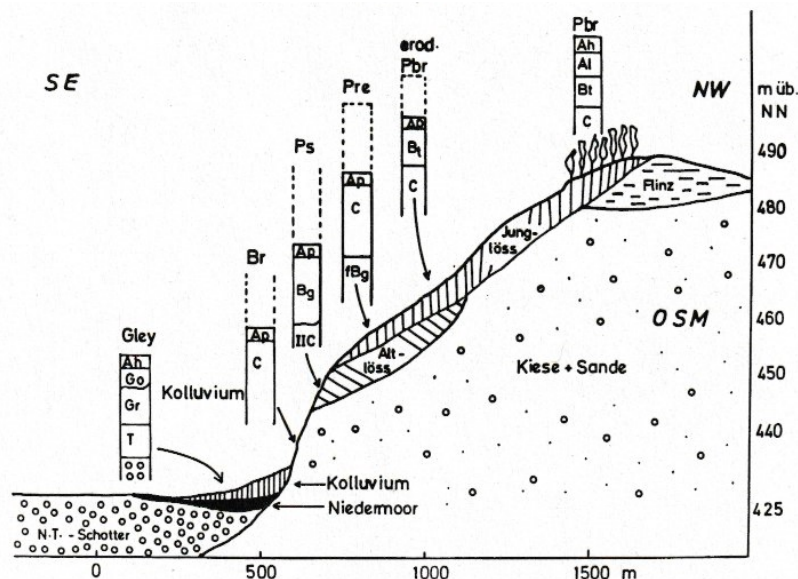


Abb. 5: Bodenmorphologische und geomorphologische Wirkungen der Bodenerosion durch Wasser

- im Abtragungsbereich: quantitative Verkürzung von vier Bodenprofilen und Bildung von zwei Hangverebnungen (Hangpedimente)
 - im Aufschüttungsbereich: Sedimentbildung und Bildung eines Akkumulationshanges mit neuem Boden
 - zum Vergleich: vollständiges Bodenprofil unter Wald oberhalb Waldrandstufe
 - beachte auch fossile Hangpedimente unter Altlöss und unter Flinz in OSM
- (Graphik unverändert aus Schwertmann 1977, Abb. 1)

Die ausführliche Legende unterscheidet zwischen *boden-* und *geomorphologischen* Wirkungen dieser 'bodenerosiven' *Hangdenudation*. Erstere wurden von Schwertmann zeichnerisch – mit dem Wunsch nach Quantifizierung – so gestaltet, dass die „*Profilmorphologie*“ von „erod. Pbr“ (erodierte Parabraunerde) und „Pre“ (Pararendzina) den Gesamtverlust an Bodensubstanz kennzeichnet

(gestrichelte Linie oben geschlossen), bei „Ps“ (Pseudgley) und „Br“ (Braunerde) war dies nicht möglich. Der junge, auf dem – aus *Bodensedimenten* bestehenden – „Kolluvium“ entwickelte „Gley“ ist vollständig erhalten, ebenso wie die – als *Referenz* dienende „Pbr.“ unter Wald (vgl. Abb. 5). Die geomorphologischen Konsequenzen bestehen in der Ausbildung von zwei *Hangpedimenten* mit einem jeweils deutlichen *Knick* an der *Waldrandstufe* bzw. im „Junglöss“, auch das ´aufgewachsene´ „Kolluvium“ bildet ein *neues* Reliefelement in der Landschaft. Die ´bodenerosiv´ bedingte Reliefentwicklung hat die Gefällsverhältnisse und die *gesamte* Reliefgeometrie erheblich verändert. Wer ist da nicht an Robert V. Ruhe erinnert (s. o. Abschnitt 2.3)?

Motor für die anthropogen induzierte Bodenerosion durch Wasser waren und sind das Gefälle und der zeitweise fehlende Bodenschutz durch Vegetation. „Induziert“ sprachlich deshalb, weil auch diese Bodenerosion (besser: *Denudation*) genauso abläuft wie die natürliche. H. Mortensen hatte dafür eine treffende Überschrift für seinen Aufsatz gefunden: „Die „quasinatürliche“ Oberflächenformung als Forschungsproblem“ (*Mortensen* 1954/55).

Ein wichtiges Forschungsproblem für die Landwirtschaft stellt z. B. die Frage nach der *Bodenneubildung* dar, will, nein *muss* man doch die Bodenfruchtbarkeit erhalten, um die nötigen Nahrungsmittel zu erzeugen. Die Frage des tolerierbaren Bodenabtrags und der Bodenneubildung ist in allen Ländern mit Ackerbau ein Problem, Bodenerosion stellt weltweit die größte Bodengefahr dar. Es gibt verschiedene Definitionen von Toleranzgrenzen, die Ermittlung der Bodenneubildung beruht oft nur auf Annahmen, und die Pedogenese steht in keiner linearen Beziehung zum tolerierbaren Bodenabtrag (*Botschek et al.* 1997). „Die „quasinatürliche“ Oberflächenformung“ ist auch ein Forschungsproblem der Bodenkunde.

Fragt man nach Perspektiven zum Thema Relief *und* Boden, hilft wieder ein Blick in die Ideen- und Wissenschaftsgeschichte: auf dem JULIUS BÜDEL SYMPOSIUM des Deutschen Arbeitskreises für Geomorphologie 1984 in Darmstadt, ein Jahr nach Büdels Tod (28.8.1983), hielt Heinrich Rohdenburg am 5. Oktober 1984, 29 Monate vor seinem eigenen Tod (27.2.1987) den Vortrag „Bodeneigenschaften als Voraussetzungen sowie als Indikatoren für Bewegungsprozesse“. Damit öffnete er der Geomorphologie neue Horizonte, die sich auch in der Bodenkunde fruchtbar auswirken können, wenn Relief *und* Boden als ein dynamisches System der Wechselwirkungen betrachtet wird.

Dies aus schon Gedachtem heraus zu begründen und einmal darzustellen, war hier das Ziel des – selbstgestellten – Themas.

4. Literatur (zu 1. u. 3. Kapitel)

- Ahnert, F.* (1954): Zur Frage der rückschreitenden Denudation und des dynamischen Gleichgewichts bei morphologischen Vorgängen. *Erdkunde VIII (1): 61-64.*
Ahnert, F. (1998): Introduction to Geomorphology. Arnold, London [u.a].
Ahnert, F. (2015): Einführung in die Geomorphologie. Ulmer, Stuttgart.
Anderson, R. S., Anderson, S. P. (2010): Geomorphology. The Mechanics and Chemistry of Landscapes. Cambridge University Press, Cambridge.

- Blanckenburg, F. v. (2005): Kosmogene Nuklide: Alter und Raten von Erdoberflächenprozessen. Und: Eine Perspektive zur Charakterisierung der chemischen Verwitterung. In: Kuhlemann, J. (Hrsg.): Workshop „Erdoberflächenprozesse“ am 25/26.11.2005 in Göttingen – Kurzfassungen – . *Tübinger Geowiss. Arb. A73*: 108-110.
- Botschek, J., Sauerborn, P., Skowronek, A., Wolff, R. (1997): Tolerierbarer Bodenabtrag und Bodenreubildung – Konzepte und Perspektiven – . *Mitt. DBG* 83: 87-90. [online: www.dbges.de]
- Bremer, H. (1984): Das Gleichgewichtskonzept in Zeit und Raum. *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 50*: 11-18.
- Bremer, H., Pfeffer, K.-H. (Hrsg.) (1978): Zur Landschaftsentwicklung der Eifel. Beiträge zur Geologie, Bodenkunde und Geomorphologie. *Kölner Geogr. Arb.* 36: 1-225.
- Bremer, H., Zakosek, H. (Hrsg.) (1979): Relief und Boden. *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 33*: 1-265.
- Dan, J., Yaalon, D. H. (1968): Pedomorphic forms and pedomorphic surfaces. *Transactions of the 9th International Congress of Soil Science (Adelaide, Australia) IV*: 577-584. [online: www.iuss.org]
- Harnischmacher, S. (2013): Gravitative Massenbewegungen als Bodengefahren. *Geogr. Rundsch.* 65 (4): 16-21.
- Heimsath, A. M., Dietrich, W. E., Nishiizumi, K., Finkel, R. C. (1997): The soil production function and landscape equilibrium. *Nature* 388: 358-361.
- Humphreys, G. S., Wilkinson, M. T. (2007): The soil production function: A brief history and its discovery. *Geoderma* 139: 73-78.
- Ludwig, G. (1958): Beitrag zur Frage des Gleichgewichtes im System Düne–Sand–Vorstrand. *Geol. Rundsch.* 47 (1): 66-71.
- Mattson, S. (1938): The Constitution of the Pedosphere. *Lantbrukshögskolans Annaler (= The Annals of the Agricultural College of Sweden)* 5: 261-276.
- Mortensen, H. (1954/55): Die „quasinatürliche“ Oberflächenformung als Forschungsproblem. *Wiss. Z. d. Ernst Moritz Arndt-Univ. Greifswald, IV, Math.-naturwiss. Reihe, Nr. 6/7*: 625-628.
- Ramann, E. (1918): Bodenbildung und Bodeneinteilung (System der Böden). Springer, Berlin.
- Rohdenburg, H. (1984): Bodeneigenschaften als Voraussetzungen sowie als Indikatoren für Bewegungsprozesse, in Seuffert, O. (Org.): Jahrestagung 84 Arbeitskreis Geomorphologie. JULIUS BÜDEL Symposium 4.-5. Oktober 1984 in Darmstadt. Programm, Kurzfassungen der Vorträge, Teilnehmer. Geographisches Institut der TH Darmstadt, Darmstadt, S. 32-33.
- Rohdenburg, H. (1989): Landschaftsökologie – Geomorphologie [mit Bild] [Aus d. Ms. bearb. u. hrsg. von Margot Rohdenburg]. Catena, Cremlingen-Destedt.
- Rohdenburg, H., Meyer, B. (1963): Rezente Mikroformung in Kalkgebieten durch inneren Abtrag und die Rolle der periglazialen Gesteinsverwitterung. Eine geomorphologische Auswertung von Bilanzanalysen an Bodenprofilen. *Z. Geomorph. N. F.* 7: 120–146.
- Schwertmann, U. (1977): Bodenerosion. *Geol. Rundsch.* 66: 770-782.
- Stahr, K. (1990): Stoffverlagerung in Böden und Landschaften. Transport processes in soils and landscapes, in: Stahr, K., Blume, H.-P., Jahn, R. (Hrsg.): Gedächtniskolloquium „Ernst Schlichting“. Memorial Workshop. Tagungsband. *Hohenheimer Arbeiten*, S. 58-68.
- Wooldridge, S. W. (1949): Geomorphology and soil science. *J. Soil Sci.* 1: 31-34.

