

GEOMORPHOLOGIE

GEOMORPHOLOGY

WIE ENTSTEHEN ABTRAGUNGSFLÄCHEN? RELIEFVEREBNUNG DURCH PEDIMENTATION. ENTWICKLUNGEN IN DER DEUTSCHEN GEOLOGIE UND GEOGRAPHIE¹⁾

Armin SKOWRONEK, Bonn*

*Erste Einreichung / initial submission: 02/2019; revidierte Fassung / revised submission: 09/2019;
endgültige Annahme / final acceptance: 11/2019*

mit 14 Abb. im Text

INHALT

<i>Zusammenfassung</i>	212
<i>Summary</i>	212
1 Einführung.....	213
2 Flächenbildung durch Seitenerosion der Gerinne oder <i>Talbodenpedimentation</i>	214
3 Die „Gipfelflur der Alpen“ von Albrecht Penck – ein erster Schritt auf dem Weg zur <i>Hangpedimentation</i>	217
4 Die „morphologische Analyse“ Walther Pencks – von der Hangdenudation zur Fußflächenbildung.....	218
5 Kirk Bryans „mountain pediment“ – ein nachhaltiges Symbol für Flächenbildung	221
6 Adolf Wurms Experimentelle Geomorphologie – auch Flächenbildung beginnt mit rückschreitender Erosion	224
7 Reliefverebnung bei Julius Büdel – semantische Modellierung anstelle von physikalischer Geomorphologie.....	228

¹⁾ Stark erweiterte Fassung eines Vortrags des Verfassers in der Abteilung für Geologie der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg am 22. März 2018 in Nürnberg.

* Prof. Dr. rer. nat. habil. Armin SKOWRONEK, Regionale Bodenkunde, Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Bonn, Postanschrift: Alter Kirchenweg 41a, D-90552 Röthenbach an der Pegnitz. – E-Mail: askowronek@uni-bonn.de.

8 Reliefverebnung nach Heinrich Rohdenburg – Wiederherstellung einer physikalischen Geomorphologie in Deutschland.....	241
9 Schlussbetrachtung.....	246
10 Literaturverzeichnis.....	247

Zusammenfassung

Fließendes Wasser ebnet Relief im Wesentlichen durch Einschneidung in Gerinnen und Rinnen sowie durch anschließende Seitenerosion oder Pedimentation ein. Entscheidende Faktoren sind das Gefälle des Oberflächenabflusses und die Resistenz der Erdoberfläche (Substrat, Vegetation). Ein Gang durch die deutsche Forschungsgeschichte zeigt, dass Pedimentation als Teil der Hangentwicklung aufgefasst werden muss. Nur einmal wurde die Kontinuität physikalisch-geomorphologischen Denkens mittels semantischer Modellierung unterbrochen und „Seitendenudation“ durch „Arbeitsböden“ begründet. Ein physikalisch basiertes Modell des Oberflächenabflusses hat diesen semantischen Exzess aber überwunden und die Pedimentation wieder in den Hangentwicklungsprozess integriert. Talbodenpedimentation ist Seitenerosion in Gerinnen infolge Basisstau, Hangpedimentation ist summierte Talbodenpedimentation in Rinnen. Das Zusammenwachsen von Hangpedimenten nennt man Pediplanation, das von Talbodenpedimenten kann Panplainbildung genannt werden.

Schlagwörter: Physikalische Geomorphologie, Flächenbildungsprozesse, Hangentwicklung, Seitenerosion: Hangpedimentation und Talbodenpedimentation, Pediment – Pediplain – Panplain, Geschichte der Geomorphologie

Summary

HOW DO PLANATION SURFACES ARISE? RELIEF FLATTENING BY PEDIMENTATION. DEVELOPMENTS IN THE GERMAN GEOLOGY AND GEOGRAPHY

Flowing water flattens essentially relief by incision in channels and rills as well as by following lateral erosion or pedimentation. Deciding factors are the gradient of overland flow and the resistance of earth's surface (substratum, vegetation). A walk through the German research history shows that pedimentation must be understood as a part of the slope development. Only once the continuity of the physical-geomorphological thinking was interrupted by means of semantic modeling in which „lateral denudation“ was reasoned by „working soils“. But a physically based model of overland flow has overcome this semantic excess and integrated pedimentation in the slope development process again. Valley floor pedimentation is lateral erosion in channels as a result of base jam, slope pedimentation is summarised valley floor pedimentation in rills. The coalescing of slope pediments is called pediplanation that of valley floor pediments can be called panplain development.

Keywords: Physical geomorphology, planation processes, slope development, lateral erosion: slope pedimentation and valley floor pedimentation, pediment – pediplain – panplain, history of geomorphology

1 Einführung

Die Oberflächenformen der Erde sind Gegenstand der Geomorphologie, ihr wichtigstes Erkenntnisziel die formbildenden Prozesse. Um diese adäquat beschreiben zu können, bedarf es einer *physikalischen* Betrachtungsweise (W. PENCK 1920a, S. 66; 1922, S. 123). Das fluviale Abtragungsrelief der Kontinente besteht aus Tälern, Hängen, Stufen und Flächen. Selbst primäre Aufschüttungsformen (z. B. PRICE 1947, Tab. I) werden relativ schnell durch fließendes Wasser – infolge Tiefenerosion und Hangdenudation – in Täler, Abtragungshänge und Abtragungsf lächen überführt (z. B. GARLEFF und LEONTARIS 1971). Nach ROHDENBURG (1970, S. 75) gibt es „im Prinzip *nur einen Flächenbildungsprozeß*, nämlich den der Pedimentation“. Diese könne man bei einem Wechsel der Hierarchisierung des Fluss-Systems in die beiden Pedimentationsweisen *Hangpedimentation* und *Talbodenpedimentation* teilen (ROHDENBURG 1969, S. 79). Pedimentation wird ausgelöst durch das „sich zur Wasserscheide fortsetzende und auf die Kontributanten übertragende regressive Einschneiden der Flüsse“ (FÖLSTER 1964, S. 413).

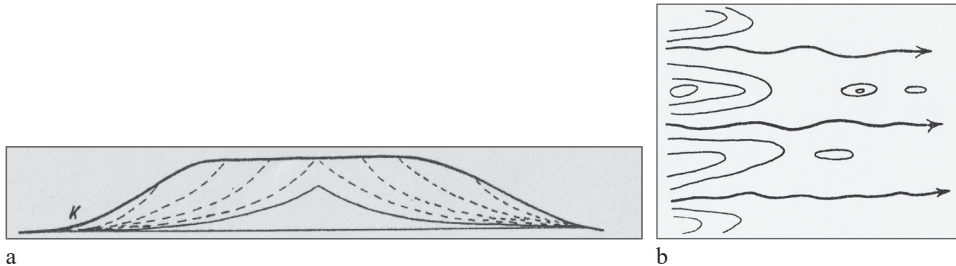
Nur selten erkennt man in *Pedimentation* einen – universell wirksamen – *hydraulischen* Formungsprozess: vielmehr sei die Bildung einer (untergliederten) Fußfläche eng an ein Trockenklima gebunden (BLUME 1991, Abb. 15 und Foto 5.19) oder: das Pediment sei eine „durch verschiedenartige Abtragungskräfte hervorgerufene terrassenartige Felsfußfläche (**Felspediment**) in Gebirgen der ariden bis semiariden Klimate. Verschiedentlich auch als **Glacis** oder **Fußfläche** bezeichnet“, so der Wortlaut des „Geologischen Wörterbuchs“ (MURAWSKI und MEYER 2010, S. 122).

Terminologische Differenzierungen sowie klimatische, tektonische und petrographische Modifikationen der Fußflächenbildung waren von geomorphologischer Seite auf der Jahrestagung der Geologischen Vereinigung 1968 in Göttingen (Motto: „Geomorphologie und Geologie“) vorgenommen worden (MENSCHING 1969; SEUFFERT 1969). In der wohl umfangreichsten Zusammenstellung von Bildern der Oberflächenformen der Erde werden Pedimente auch als eine „Abschrägung mit Vorflutereintiefung“ gedeutet, welche sich in einen tertiären „Flächenstreifen“ auf Saprolit eingeschnitten hat, weil in der „**pliopleistozänen Übergangszeit**“ das Klima nicht mehr so verwitterungsintensiv gewesen sei wie vorher. Das erkläre Pedimentvorkommen auch außerhalb heutiger Trockengebiete (BUSCHE et al. 2005, S. 102–111, bes. Abb. 218).

Auch moderne, naturwissenschaftlich basierte Geomorphologie-Lehrbücher beschäftigen sich entweder gar nicht (BAUMHAUER 2006) oder nur sehr begrenzt mit *Pedimentation* (AHNERT 2015, S. 267–269; ZEPF 2017, S. 227–229). Dabei wird die Entwicklung der Pedimentationsidee kaum sichtbar. Im Folgenden wird daher auf einem Gang durch die deutsche Forschungsgeschichte versucht, diesen *Prozess* der Flächenbildung *physikalisch* als eine Funktion von Gravitation (spotenzial) und Substratresistenz darzustellen – in Anlehnung an den Geologen Walther PENCK, der seine „Morphologische Analyse“ auch als „Ein Kapitel der physikalischen Geologie“ bezeichnet hatte und der die Oberflächenformung als eine Funktion von „Gravitationsströmen“ ansah (W. PENCK 1924).

Eine sehr anschauliche *graphische* Darstellung dessen, wie fließendes Wasser einebnen, gab der Bonner Geograph Alfred PHILIPPSON (1864–1953) im Abschnitt „Umgestaltung der Bergrücken und Endstadium der Erosion und Denudation. Formen am Ursprung

der Gewässer“ und im Abschnitt „Schutführung und Ablagerung“ in Band II seines Lehrbuchs „Grundzüge der Allgemeinen Geographie“ (siehe Abb. 1a und 1b).



Quelle: PHILIPPSON 1924, Fig. 128, S. 153 und Fig. 88, S. 119 (unverändert)

Abb. 1: Reliefeinebnung: a) zu einer Peneplain infolge Hangabtragung, dargestellt an zwei – sich symmetrisch verschnidenden – Erosionsterminanten des Endgefälles von rückschreitender Erosion und Denudation; K = Konvergenzpunkt aller Abflüsse zu einem größeren und perennierenden Gerinne; b) zu einer wirklichen Ebene an Flussmündungen, „wenn sich mit Aufschüttung Seitenerosion des Flusses verbindet“

Diese ausgereifte Modellvorstellung PHILIPPSONS von Reliefeinebnung durch fließendes Wasser möge hier als Kanon für die Ausführungen zur Pedimentation dienen.

2 Flächenbildung durch Seitenerosion der Gerinne oder Talbodenpedimentation

Die augenfälligste Flächenbildung bewirken Gerinne (Bäche, Flüsse) durch Unterschneidung ihrer Ränder. Parallel verlaufende Flüsse können dabei ihre Talböden durch Seitenerosion derart erweitern, „daß die trennenden Höhen völlig abgetragen und so mehrere Thalebenen zu einer großen Ebene vereinigt werden“, während nahe der Wasserscheide keine „vollständige Einebnung durch das fließende Wasser“ erfolgen kann (PHILIPPSON 1898, S. 547; siehe hier Abb. 1b). Damit hatte PHILIPPSON schon früh eine fundamentale Erkenntnis zur Flächenbildung vorweggenommen, erst 35 Jahre später wurde sie weitergehend formuliert: dieser eigenständige Planierungsprozess erzeugt ein Flachrelief oder eine Panplain, er unterscheidet sich grundsätzlich von der Bildung der Fastebene oder Peneplain des DAVISschen Erosionszyklus (CRICKMAY 1933).

In der Subsequenzzone des Regnitz-Beckens könnten zum Beispiel die Flächen westlich und östlich der Rednitz bzw. Regnitz zwischen Nürnberg und Erlangen eine Panplain darstellen (s. LEIS 1931, Fig. VIII und IX). Verwilderte – aus Landterrasse (West) und Schichtstufe (Ost) austretende – Flüsse (*braided rivers*) bildeten zur Niederterrassenzeit diese Flächen, die geomorphologisch im „Spätwürm“ nur noch sehr schwach zergliedert werden konnten (vgl. WEICKEN 1982, Tab. 2). Für eine Panplain spricht auch die gleichsinnig zur Pegnitz und Regnitz geböschte, „mit bis 1,5 m Quartärsand überdeckte“ Ab-

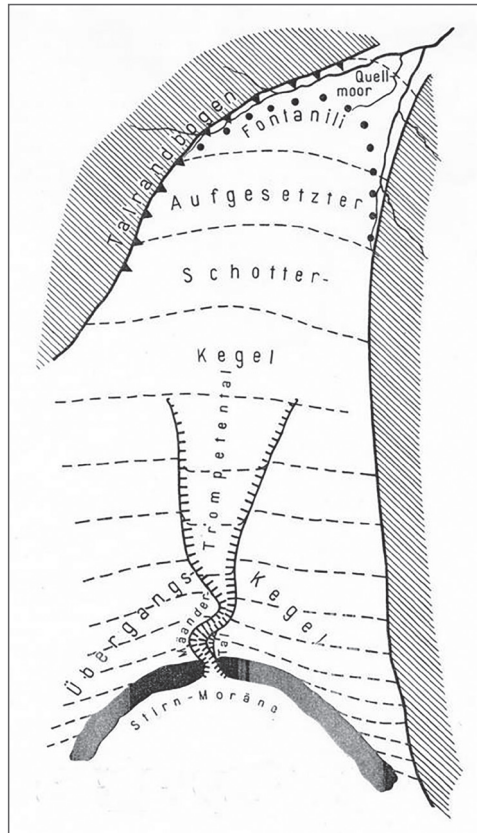
tragungsfäche (310–300 m NN) in festen Keupergesteinen nordwestlich von Nürnberg (s. LANGHAMMER und BRUNNACKER 1986, Abb. 1). Und den obersten Teil des 350 m hohen Nürnberger Burgberges aus resistenterem Mittleren Burgsandstein (kmBm) könnte man jetzt als einen reliktschen Inselberg auffassen, der einst eine ältere pleistozän-kaltzeitliche Abtragungsfäche (Panplain?) mit temporär und saisonal hohem Abflussaufkommen überragte, bevor eine autonome Hangentwicklung zu flacheren Oberflächenformen ansetzen konnte (vgl. BAIER 1998, Abb. 2 und 4). Die starke Seitenerosion der Pegnitz oberstromig von Nürnberg dürfte dagegen auf die topographische Lage des „Nürnberger Sattels“ (HOFBAUER 2017, S. 73) zurückzuführen sein (antezedenter oder epigenetischer Durchbruch).

Auch den charakteristischen scharfen Knick, mit dem sich Inselberge wie ‚Inseln im Meer‘ aus der umgebenden Abtragungsebenheit erheben, kann man plausibel mit fluvialer Seitenerosion erklären: Beobachtungen an derartigen Einzelformen im präkambrischen und kaledonischen Grundgebirge Skandinaviens und Kanadas führten zu der Erkenntnis, dass in vormals eisbedeckten Gebieten die *Deglaziation* den erforderlichen Gerinneabfluss mit starker Lateralerosion erzeugte, während die aktuelle Inselbergformung lediglich „in den periodisch feuchten Klimaten der heißen Zone“ stattfindet (SCHREPFER 1933, S. 142–143).

Physikalische Ursache für die Seitenerosion von Gerinnen ist der Stau an ihrer Abflussbasis (Vorflut), der entsteht, wenn sich ihre Eintiefung diesem Vorfluterniveau genähert hat und ihre Transportenergie verbraucht ist (vgl. HORMANN 1965). Die sich verbreiternden Talaufläufe wandern mit einer „Pedimentspitze“ flussaufwärts und bilden eine geböschte Ausgleichsfäche – eben ein Pediment (DALCHOW 1989, Fig. 92 und 100; vgl. auch BLUME 1991, Foto 10.22, Mittelgrund rechts). Sehr plastisch wird dies deutlich bei den lateralerosiven „Trompetentälern“: der inverse Isohypsenverlauf markiert eine Abtragungsfäche [Pediment – A.S.] innerhalb der mehr sandigen Niederterrasse, zum Beispiel der Münchner (schiefen) Ebene (s. hier Abb. 2).

Die größeren, „umgelagerten“ Schotter an der Sohle des „Trompetentals“ stellen die zugehörigen Hangsedimente [Pedisedimente – A.S.] dar. Der Begriff „Trompetental“ stammt von dem Bonner Geographen Carl TROLL (1899–1975), der die Geomorphogenese circumalpiner Schottertäler und Schotterfelder sehr anschaulich beschrieben hatte, letztlich aber keine *physikalisch* befriedigende Begründung für die Entwicklung der Formsequenzen gab (TROLL 1957, S. 214–222). Deshalb ist es berechtigt und sinnvoll, diesen – von der Abflussbasis gesteuerten – Prozess der Lateralerosion von Gerinnen *Talbodenpedimentation* zu nennen. Der „Pedimentbegriff“ verlöre dadurch aber „völlig seine ursprünglichen Sinngehalte“ (WIRTHMANN 1987; 1994, S. 25). Wenn er hier unsinnig erscheint, dann sollte man die Talsohlen *physikalisch* anders begründen und den „Pedimentbegriff“ geomorphologisch eliminieren oder substituieren.

Höhere, nicht mehr von Seitenerosion betroffene Ränder der *braided rivers* unterliegen einer hangeigenen Entwicklung, die von „zahllosen kleinen und kleinsten Erosionsfurchen und Rinnen“ am „Gehänge der Täler“ bewerkstelligt wird und die zur „Verschrägung der Flussterrassen“ führt (DIETRICH 1911, S. 452–453, bes. Fig. 2). Diese Reliefverebnung stellt nichts anderes als eine beginnende *Hangpedimentation* (Bildung eines Fußhanges) dar, die bei nicht zu hohen Vertikalabständen der Terrassen und in Abhängigkeit von der Resistenz der Substrate zu einer Beseitigung der Zwischentalscheiden und damit zur Bil-



Quelle: aus TROLL 1957, Fig. 1 (unverändert)

Abb. 2: *Talbodenpedimentation* (inverse Isohypsen) im „Trompetental“ mit „umgelagerten“ Schottern an der Talsohle auf einem fluvialen Schwemmkegel

dung einer Pediplain (Verschneidung der Pedimente) führt. Diese kann in eine Panplain übergehen – wie sie möglicherweise an einigen Stellen im Regnitz-Becken existiert. Wenn die Hangabtragung der Seitenerosion nicht voraussehen kann, wie zum Beispiel in sehr harten Festgesteinen (z. B. SCHREPFER 1933, Abb. 2), dann entsteht eine Panplain direkt durch Unterschneidung (Seitenerosion, *Talbodenpedimentation*) der Hochgebiete (vgl. ROHDENBURG 1989, S. 69).

Wiesenmäanderflüsse hingegen erodieren sowohl nach der Seite (Prallhang) als auch nach der Tiefe. Die Fluss-Sohle eines Tributärs liegt aber noch so hoch über derjenigen des Vorfluters, dass *Talbodenpedimentation* nicht stattfinden kann. Seitenerosion und Akkumulation (Gleithang) bewirken langfristig einen alles Lockermaterial umfassenden Transport im Mäandergürtel. Nach Überflutungen ist manchmal an Gleithängen eine „Verschrägung“ durch Schichtabfluss (*sheet flood erosion*) zu beobachten, welche auf *Hangpedimentation* hinausläuft (vgl. z. B. BLUME 1991, Foto 10.22, Vordergrund rechts).

3 Die „Gipfflur der Alpen“ von Albrecht Penck – ein erster Schritt auf dem Weg zur *Hangpedimentation*

Der – von dem gelernten Geologen und weltberühmten Berliner Geographen Albrecht PENCK (1858–1945) gepr ägte – Begriff „Gipfflur“ beschreibt die regionale Konstanz von Gipfelh öhen in Gebirgen (A. PENCK 1919). Er wurde ein Germanismus. Und in dem „Meer von Berggipfeln“ des Volksmundes kommt die gefühlte Dimension zum Ausdruck: das Gebirge verhält sich zu seinen Gipfeln wie das Meer zu seinen Wellen. Nüchtern formuliert ist die Gipfflur eine „gedachte Tangentialfl äche, die in einem Gebirge die jeweils höchsten selbstständigen Gipfel berührt. Sie ist vom geologischen Bau abhängig“ (MURAWSKI und MEYER 2010, S. 62).

Auch wenn die PENCKsche „Gipfflur“ nach LEYDEN (1924, S. 197–199) Schwächen aufweist, trägt sie doch zu einem *physikalischen* Verständnis der – letztlich zur Flächenbildung führenden – Hangabtragung entscheidend bei (A. PENCK 1919, z. T. wörtlich):

- 1) Hochgebiete bedingen ein starkes gravitatives Ungleichgewicht, das – geomorphologisch wirksam – kompensiert werden muss: die – ausgleichende – Hangabtragung erzeugt durch „Verschneidung“ der Hänge eine Rumpffläche („ideale“ Peneplain), wenn sie sich der Erosionsbasis, das ist in der Regel der Meeresspiegel, genähert hat.
- 2) Lokale, meist niedrigere Denudationniveaus (Fuß der Firne, Firnbecken, Karsohle u. a.) verursachen eine „Verschärfung“ oder „Versteilerung“ der darüber liegenden Hangformen, weil, ausgehend von den örtlichen Abtragungsbasen, eine – hangeigene – Denudation wirksam wird.
- 3) Die durch einschneidende Flüsse „ausgeübte Untergrabung“ setzt sich am ganzen Hang bis an den First „aufwärts“ fort.
- 4) „Minder steile Flächenstücke“ inmitten eines „Schneidengebirges“ können das Resultat einer differenziellen (tektonischen) Dislokation und damit auch einer nach Intensität bzw. Dauer differenzierten Hangabtragung sein.

Wenngleich „oberes und unteres Denudationsniveau“ („Gipfflur“ und „Rumpffläche“) meist hypothetischer Natur bleiben (müssen), hat man mit diesem, von A. PENCK schon früh entwickelten Gedanken ein geeignetes Mittel in der Hand, überall auf den Kontinenten eine Vorstellung vom *Denudationspotenzial* zu bekommen, wenn man sich immer den Höhenunterschied vom Flussbett („unteres Denudationsniveau“) zu den Kämmen oder Gipfeln („oberes Denudationsniveau“) einer Landschaft, also ihre Reliefenergie, vor Augen hält. Fasst man dann noch mit dem 29-jährigen A. PENCK die (klimabedingte) Bodenbedeckung (Vegetation) und die unterschiedlichen Gesteinshärtens als *Resistenzen* für die Abtragung auf, kann man die Hangdenudation in Zeit, Raum und Landschaft auch *differenziell* bewerten (A. PENCK 1887). Das Gefälle oder die Fallhöhe („Wasserkraft“, „Stoßkraft“) und der (äußere) Reibungswiderstand kohäsiver Substrate wurden quantitativ beschrieben. Herausragend dabei ist A. PENCKs Idee, dass das „an den Berghängen herabrieselnde Wasser“ geomorphodynamisch genauso wirke wie die „Thätigkeit der Ströme“: „Für diese Fäden aber gelten die gleichen Regeln, wie für die großen Flüsse, [...]“ (A. PENCK 1889, S. 97–98).

In einer gleichnamigen Studie [„Die Gipfflur der Alpen“] hat der Züricher Geologe Albert HEIM (1849–1937) die Gipfflur in das Verhältnis zur „Verwitterbarkeit“ der Substrate und zur „nächst eingedrungenen Erosionsbasis“ gesetzt. Danach liegt die Gipfflur im „Bündnerschiefergebiet“ deutlich niedriger als in der „Altkristallinen Umgebung“, und eine von Süden „eindringende“ Erosionsbasis in das „Bergell“ hat dessen Gipfflur gegenüber der „Bernina“ und dem nördlichen „Mittelbünden“ erheblich erniedrigt (HEIM 1927, Fig. 8 und 9). Es bestätigt sich die fundamentale Erkenntnis der Geomorphologie: Höhenlage der *Abflussbasis* und *Resistenz* der Substrate entscheiden über Intensität und Dauer der Denudation an den Hängen – und damit auch über deren Formgebung. In Oberbayern habe sich kurzfristig (miopliozän) eine gegen die Alpen hin ansteigende Verebnungsfläche oder „Fussfläche“ mit Ausbuchtungen lateral ausbreiten können, weil die korrelierten Aufschüttungen (miozäne Nagelfluh) der dicht nebeneinander dem Gebirge entströmenden Flüsse deren Abflussbasis erhöhten und damit eine Einschneidung (Talbildung) verhinderten – so sinngemäß dann Albrecht PENCK in Kenntnis der „Pedimente der Amerikaner“ (A. PENCK 1935).

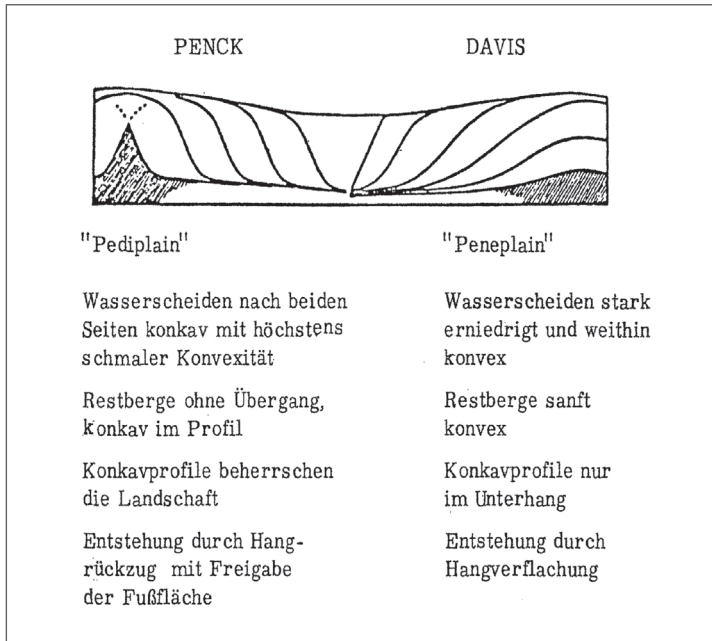
Der Begriff „Fußfläche“ als geomorphologischer Terminus wurde von der Bonner Geographin Margarete KIRCHBERGER (verheiratete Philippson, 1882–1953) in die Fachliteratur eingeführt: eine miopliozäne Fußfläche habe sich am Nordwestabfall des linksrheinischen Schiefergebirges in die altmiozäne „Venn-Rumpffläche mit Härtingen“ eingeschnitten. Die zweifache Abstufung der Fußfläche zur nächsttieferen plioleisztänen Verebnung, und damit ihre Erniedrigung, geschehe „vielleicht durch Querverwerfungen, wahrscheinlicher durch Flüsse, vielleicht spielen auch beide Faktoren mit“ (KIRCHBERGER 1919, S. 36–70 und 88; s. bes. Taf. III). Ab jetzt konnte man an solchen Geländeknicken (petrographisch bedingte eingeschlossen) lernen, zu erkennen, dass Flächenbildung an die Bildung von Hangkonkavitäten oder Pedimenten gebunden ist [*Hangpedimentation* – A.S.].

4 Die „morphologische Analyse“ Walther Pencks – von der Hangdenudation zur Fußflächenbildung

Albrecht PENCKs Sohn Walther (1888–1923) wurde nach einem Studium der Mineralogie, Mathematik, Physik und Chemie in Geologie promoviert und habilitiert (1910 Heidelberg [W. Salomon-Calvi], 1914 Leipzig [F. Kossmat]). Er starb sehr früh am 29. September 1923 an Krebs (s. „Vorwort“ von A. PENCK 1924). Seine „Morphologische Analyse“ (W. PENCK 1924) schockierte die in den USA führende, aber auch in Deutschland stark rezipierte Geomorphologen-Schule des Geologen und Harvard-Professors William Morris DAVIS (1850–1934). Walther PENCKs Erkenntnis besteht im Kern darin, dass die Verebnung (Konkavität, Fußhang) ungleichförmig – aufwärts und basisgesteuert – durch das parallele Zurückweichen des steileren Hangteils geschehe, während bei DAVIS die Verebnung (Flachhang bis Talboden) gleichförmig – abwärts und zeitabhängig – durch Tieferlegung erfolge (s. hier Abb. 3).

Die Grafik in Abbildung 3 hatte DAVIS selbst nach dem Tod von W. PENCK angefertigt, um den Unterschied zu diesem aufzuzeigen (DAVIS 1932, Fig. 4). Später hat der BÜDEL-Doktorand GOSSMANN beide *Deduktionen* gegenübergestellt und kommentiert: Bei

DAVIS resultiert als finales Ergebnis die klassische – gewellte – Peneplain (Fastebene), bei W. PENCK eine – ebenfalls gewellte – Rumpffläche als „Endrumpf“, die GOSSMANN wegen ihrer „Entstehung durch Hangrückzug mit Freigabe der Fußfläche“ auch „Pediplain“ nennt. GOSSMANNs kombinierte, sehr erhellende Darstellung wurde unverändert übernommen (GOSSMANN 1970, Abb. 62; siehe hier Abb. 3).



Quelle: aus GOSSMANN 1970, Abb. 62 (unverändert)

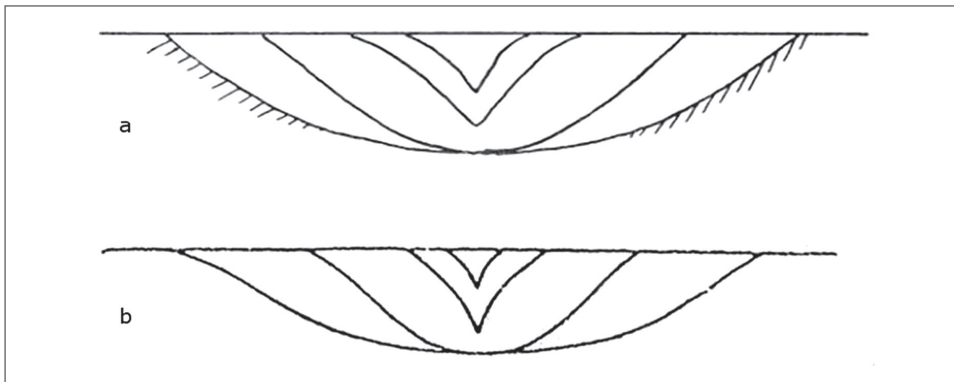
Abb. 3: Entstehung von Hangkonkavitäten nach W. PENCK und nach W. M. DAVIS

Auch W. PENCKs „Primärrumpf“, also „der erste, primitive Typus von Abtragungsformen“, der in Hebungsbereichen „auf den eben erscheinenden Ketten überhaupt zur Ausbildung kam“ (W. PENCK 1924, S. 224), verdankt seine Entstehung den gleichen Prozessen der Verebnung wie sein „Endrumpf“, welcher sich langsamer aus einem ursprünglich steileren Relief entwickle. Diese Formungsweise gilt selbstredend auch für die – treppenartig – übereinanderliegenden „Piedmontflächen“ (W. PENCK 1925). Nach WURM (1950, S. 152–153) hat W. PENCK dabei die Gedankengänge „weiter ausgebaut“, die sein Lehrer SALOMON-CALVI hinsichtlich der geomorphologischen Wirkung aktiver magmatischer Hebungen in Gebirgen entwickelt hatte (vgl. z. B. W. PENCK 1920). W. PENCK betrieb intensiv geomorphologische Forschung, um geologische Probleme zu lösen (A. PENCK 1924, S. 1712).

„Die morphologische Analyse“ von Walther PENCK erschien zweimal in Englisch (W. PENCK 1953; 1972). Anglophone DAVIS-Anhänger glaubten auch danach noch, dass zwischen W. PENCK und W. M. DAVIS kein Unterschied in der Auffassung über die Bildung

einer Peneplain oder Rumpffläche bestehe. Sowohl TUAN (1957, Fig. 3) als auch SIMONS (1962, Fig. 1) präsentieren eine vergrößerte Kopie der Graphik „Umwandlung konvexer in konkave Talgehänge“ aus einem deutschsprachigen Aufsatz ohne englisches Summary von W. PENCK (1925, Fig. 4). Doch beide Kopien sind nicht identisch mit dem PENCKschen Original: der Querschnitt einer aus fluvialer Einschneidung (Tiefenerosion, Talbildung) hervorgegangenen Hohlform ist bei TUAN und SIMONS fast kreisrund, während W. PENCK nicht nur wörtlich von „emporwachsenden Fußflächen“ mit „konkaver Gestalt“ spricht (W. PENCK 1925, S. 89), sondern diese auch grafisch umsetzt (s. hier Abb. 4).

Darin kommt deutlich zum Ausdruck, dass bei Walther PENCK die Formung einer Fußfläche bzw. eines Fußhanges [*Hangpedimentation* – A.S.] rückwärts, also gegen den steileren Ober- oder Rückhang gerichtet ist. Walther PENCK versuchte immer, das Problem der Hangentwicklung *differentialanalytisch* zu lösen. Die „Gesteinsaufbereitung“ oder die Beweglichmachung der Materie [Verwitterung – A.S.] waren für ihn aber stets *klimatisch* gesteuert und eine unabdingbare Voraussetzung für die Hangdenudation. „Die Gesteinsaufbereitung ändert den stofflichen und strukturellen Inhalt der Materie. Sie erzeugt *keine* Abtragungsformen“ (W. PENCK 1924, S. 3). Der Abtragungsprozess selbst wurde *nicht* an ein bestimmtes Klima gebunden, denn er kann rein *physikalisch* beschrieben werden, und er ist überall gleich. W. PENCKs deduktives Modell war eine Aufforderung zur Hangforschung.



Quelle: a) aus TUAN 1957, Fig. 3b; – b) aus W. PENCK 1925, Fig. 4 (unverändert)

Abb. 4: W. PENCKs „Umwandlung konvexer in konkave Talgehänge“

In einer umfassenden Darstellung der geomorphologischen Werke von Albrecht PENCK und Wal[h]ter PENCK [Walter durchgehend *ohne h* geschrieben – A.S.] bewertet die BÜDEL-Schülerin Hanna BREMER (1928–2012) auch einige Einflüsse auf das Denken der Schüler. Für Albrecht PENCK stehe: „This method of work leads finally to climatic and climato-genetic geomorphology. It was the accomplishment of Julius BÜDEL, a student of both BRÜCKNER and PENCK, to have develop[ed] a system for this (BÜDEL 1977: Introduction)“, und für Walther PENCK gelte: „Rumpf steps [auch Piedmonttreppen – A.S.] were the subjects of most research and discussion. This was taken up by climatic geomor-

phology, too, which produced the following points: planation surfaces (Rumpfflächen) originated in a tropical climate“ (BREMER 1983, S. 136).

Der Zusammenhang, den BREMER besonders mit Walther PENCK herstellte, ist nicht nachvollziehbar. Trennte dieser doch scharf zwischen Gesteinsaufbereitung [Verwitterung und Bodenbildung – A.S.] und Abtragung, während BÜDEL den Boden zu einem *denudierenden Akteur* erhob (s. u. Kapitel 7.2: Die Doppelten Einebnungsf lächen). Und Walther PENCKs „Primärrumpf“ stellte BÜDEL in einer Weise dar, als wäre dabei „ungesagt“ geblieben, *wie* dieser entstehe: das habe er (BÜDEL) erst mit dem „Mechanismus der Rumpfflächenbildung“ geklärt (BÜDEL 1977; 1981, S. 204–205; s. auch schon 1970a, S. 8). Er hatte wohl übersehen, dass W. PENCK schon 1920 deutlich gesagt hat, dass das – von der Krustenbewegung abhängige – Gefälle der Gerinne die „Entwicklungsmöglichkeiten von Abtragungsformen“ bestimme, „mit Ausnahme jener speziellen Teilfälle, die den *Erosionszyklus* [Hervorhebung – A.S.] nahezu verwirklichen. Die Anwendung auf den Primärrumpf ergibt sich von selbst“ (W. PENCK 1920a, S. 87–88). Hat BREMER hier BÜDEL nicht überhöht?

5 Kirk Bryans „mountain pediment“ – ein nachhaltiges Symbol für Flächenbildung

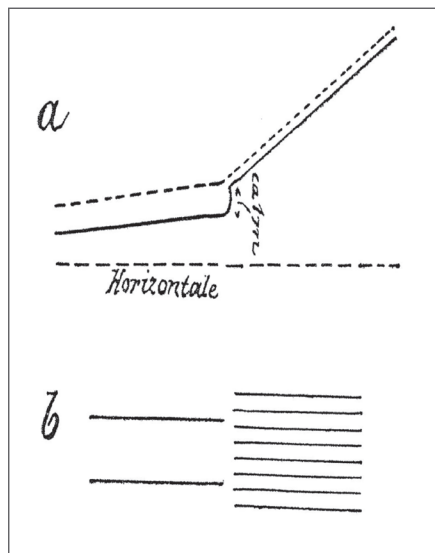
Zwischenzeitlich hatte der US-amerikanische Geologe und spätere Harvard-Professor Kirk BRYAN (1888–1950) für die flache, aus Festgestein bestehende Erosionsform („composed of solid rock“) vor Hochgebieten in ariden Regionen den Begriff „mountain pediment“ (Gebirgs-Fußfläche) gewählt (BRYAN 1922, S. 52). Der Begriff Pediment wurde zuerst von William John MCGEE (1853–1912), einem US-amerikanischen Erfinder, Geologen, Anthropologen und Ethnologen, beschrieben und benannt (MCGEE 1897, S. 92). Es gibt mehrere Entstehungstheorien (z. B. BUSCHE 1973). JOHNSON (1932, S. 546) meinte, dass diese Form das Produkt normaler Tiefenerosion („stream erosion“) unter Beteiligung starker Lateralerosion („lateral planation“) sei – nicht dagegen das einer Rückwitterung von Bergfronten („weathering back of mountain fronts“) oder das der Wirkung von Schichtfluten („sheet flood erosion“). Später machte BRYAN (1936, S. 126) drei (kombinierte) Prozesse für die Pedimentbildung verantwortlich: Seitenerosion („lateral planation by streams“), Rinnenspülung („rill work“) und Zurückweichen der Berghänge („retreat of mountain slopes“). Und auf dem Symposium: „Walther Penck’s Contribution to Geomorphology“ in Chicago (Dezember 1939) verwies er besonders auf WURMS geomorphologische Experimente (s. u. Kapitel 6): Die dortige Hangversteilung oberhalb der „graded plain“ würde W. PENCKs Analyse näherkommen als der Theorie von DAVIS (BRYAN 1940, S. 266).

Bald nach 1922 diskutierten, bestätigten und erweiterten die deutschen Geographen Leo WAIBEL (1888–1951) und Hans MORTENSEN (1894–1964) BRYANS Pediment bei ihren eigenen Inselbergstudien. Beide Autoren hoben Tektonik und Klima als Ursachen für die Änderung der Erosionsbasis und eine damit korrespondierende Pediment-Zerschneidung hervor. WAIBEL bezog sich 1928 nicht direkt auf K. BRYAN von 1922, sondern auf dessen angewandte Geologie des „Papago country, Arizona“ von 1925, in der die „mountain pe-

diments“ noch einmal genau beschrieben worden waren (BRYAN 1925, S. 93–101). MORTENSEN wiederum reflektierte u. a. auf WAIBEL von 1928.

Nach WAIBEL (1928) geschehe – erosiv-denudativ – Folgendes: „Flächenspülung“ ebne das Pediment ein – infolge eines dichten Netzes von „Rinnen“ und deren Verlagerungen. Ein scharfer „Knick“ zwischen Berg und Pediment komme vor oder auch nicht, manchmal hänge dies von der Gesteinhärte ab. Flussauen unterlägen MCGEEs „sheet-flood erosion“ – aber nur hinsichtlich des Materialtransports. „Talbuchten“ reichten infolge Lateralerosion weit in die Gebirge hinein und zergliederten diese. Das Verhalten des Oberflächenabflusses in Trockengebieten gleiche dem in „vegetationsfreien“ Arealen Mitteleuropas.

Die wichtigste Erkenntnis von MORTENSEN (1929, S. 130) war, dass der Knick nur aufrechterhalten werden kann, wenn die Flächenspülung „aktiv“ den Rückhang unterschneide. Das könne theoretisch auch ohne Rückwitterung der Gebirgsfront geschehen. 1927 hatte MORTENSEN beschrieben, wie er sich die Flächenausweitung vorstellte: das sei „ein offensiver Vorgang“ und kein „einfaches Nachrücken gegenüber dem weichenden Hang der Berge“. „Das Rückwärtseinschneiden der flächenhaften Abtragung in die Berge“ oder „das Rückwärtsausdehnen der Ebenen“ und den dabei entstehenden „Knickpunkt (ca. 1 m)“ – mit leichter Untergrabung – erklärte er mit der Intensitätszunahme des Oberflächenabflusses auf der Fußfläche. Das käme dadurch zum Ausdruck, „dass sich an der Verschneidung zwischen Hang und Ebene mehrere ganz kleine Runsen des Gehänges zu einem etwas größeren Tälchen zusammenschließen“ (MORTENSEN 1927, S. 78–83 und Fig. 22; s. hier Abb. 5).



Quelle: aus MORTENSEN 1927, Fig. 22 (unverändert)

Abb. 5: Knickpunkt mit Untergrabung: Verschneidung von Rück- oder Oberhang und Pediment. – a) Hang im Aufriss; – b) Spülrinnen im Grundriss

Physikalisch könnte die Untergrabung aber auch – zumindest theoretisch – der Wirkung des Wechselsprungs (*hydraulic jump*) von schießendem (überkritischem) Abfluss am Rückhang zu strömendem (unterkritischem) Abfluss auf der Fußfläche zugeschrieben werden. Die dabei auftretende „Energiedissipation“ bzw. der Energieverlust sind zwar groß und erzwingen einen Stau, doch wird der – am Knickpunkt überkritisch ankommende – Abfluss hydraulisch in eine Walze transformiert, deren kinetische Energie beim Rücklauf auch gegen die Fließrichtung und damit gegen den Knickpunkt gerichtet ist (vgl. JIRKA und LANG 2009, Abb. 3.20 und 3.21). ROHDENBURG macht für den schießenden Abfluss „in wenig verfestigtem Feinmaterial“ eine höhere „Rauhigkeit“ verantwortlich, weil „durch die Turbulenz selbst winzige Inhomogenitäten herausgearbeitet und erhalten oder sogar noch verstärkt werden können, nicht jedoch bei strömendem Abfluß“, welcher infolge des Druckausgleichs das Pediment glätte. „Untergrabungsabtragung“ käme bei Aufweichung „geringresistenter Schichten“ unter einer „starkresistenten Schicht“ sowie bei Vorhandensein von „Hangfußtiefenverwitterung“ vor (ROHDENBURG 1971, S. 8–12, 127 und 142; vgl. auch JESSEN 1938, S. 47).

Der Verfasser dieses Beitrags hat ein schönes Beispiel für verschiedene *hydraulische* Formungsprozesse und deren geomorphologische Produkte auf einem Foto von A. PENCK (in W. PENCK) entdeckt (s. hier Abb. 6).



Quelle: Foto aus W. PENCK 1924, Tafel III, Abb. 1 (unverändert)

Abb. 6: Hydraulik der Abtragung in Badlands

Differenzielle Hydraulik bewirkt unterschiedliche Formung: Schießender Abfluss → engständiges Rinnensystem am „steileren Hang“; Wechselsprung → Rückwärtseinschneidung am Knickpunkt; strömender Abfluss → Glättung des „flacheren Hanges“ (Fußfläche, Hangpediment) in homogenem Material; strömender Abfluss → Untergrabungsabtragung in gerinresistenten unter stark resistenten Gesteinen; sowie Abflusskon-

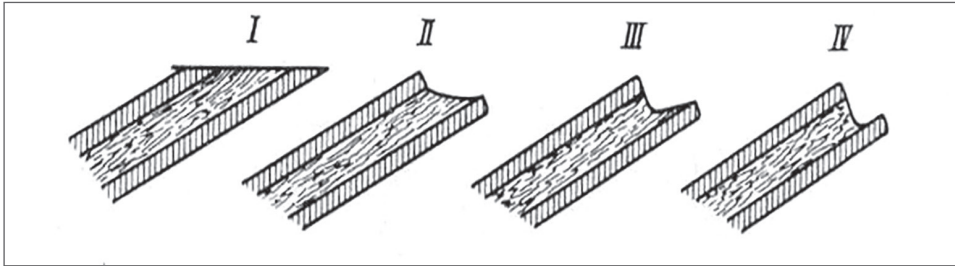
zentration → Einschneidung (Tiefenerosion, Talbildung), die mit der Bacheintiefung neue Hang-Vorfluter-Ungleichgewichte schafft, die jetzt ausgeglichen werden müssen (vgl. W. PENCK 1924, Tafel III, Abb. 1 und S. 108). In diesem vegetationsfreien Areal (Adamana, Neumexiko, USA) sind die genannten geomorphologischen Prozesse direkt erkennbar bzw. *physikalisch* leicht nachzuvollziehen: Reliefenergie („Dislokationsüberschuß“ nach ROHDENBURG 1971), Wasserstau und Resistenz der Substrate sind die bestimmenden Faktoren für die – unterschiedliche – Formung durch fließendes Wasser (Abfluss).

6 Adolf Wurms Experimentelle Geomorphologie – auch Flächenbildung beginnt mit rückschreitender Erosion

Adolf WURM (1886–1968) – wie Walther PENCK Schüler des Heidelberger Geologen Wilhelm SALOMON-CALVI (1868–1941) – wurde 1929 Ordinarius für Geologie und Mineralogie an der Universität Würzburg (Amtszeit bis 1954). Vielseitig interessiert widmete sich der exzellente Kenner der bayerischen Geologie in den 1930er Jahren auch der Experimentellen und teilweise der Regionalen Geomorphologie. Davon zeugen insgesamt vierzehn Veröffentlichungen (HORSTIG 1970, S. 36–38). Durch die tektonischen Forschungen des Bonner Geologen Hans CLOOS (1885–1951) angeregt, führte WURM Laborexperimente zur Entstehung von Schichtstufenlandschaften sowie zur Hangentwicklung, zur Einebnung und zu Piedmonttreppen (Rumpftreppen, Fußflächentreppen) durch. Aufbau, Methodik, Durchführung und Ergebnisse dieser geomorphologischen Experimente sind ausführlich (55 S.) in Band IX der „Zeitschrift für Geomorphologie“ beschrieben (WURM 1935/36, 1935/36a). Bei allen Experimenten galt es, zwei „Einzelkräfte“, nämlich die „flächenhafte Abtragung“ und die „lineare Erosion“, zu erfassen (WURM 1935/36, S. 3). Die Formung erfolgte dabei nur durch Abspülung – bei gleichmäßiger Bestäubung der Oberfläche von „Sedimentkuchen“ mit Wasser und ohne Bodenbedeckung (Vegetation). Das Material der Sedimentkuchen bestand aus wechselnden Gemischen von Zementroh- bzw. Muschelkalkmehl und Seesand, die nach Zurührung von Wasser einen zähen Teig „von gewisser Standfestigkeit“ bildeten (ebd., S. 4).

Die Großform einer Schichtstufenlandschaft ahmte WURM mit einer „zweizyklischen“ und einer „einzyklischen“ Entwicklung nach. Erstere hatte eine „Kappungsebene“, letztere ein „unversehrtes Schichttafelland“ zur Ausgangsform. Die „Kappungsebene“ wurde zunächst durch künstlich erzeugten Abfluss in eine Schichtstufenlandschaft überführt, danach – durch anhaltende Abtragung bei gleichbleibender Erosionsbasis – wieder in eine „Kappungsebene“ (WURM 1935/36, Abb. 1–6 und 18). Durch erneute Absenkung der Abflussbasis entstand aus diesem „Tafelrumpf“ eine „Cuestaartige Schichtstufenlandschaft“ (s. hier Abb. 7).

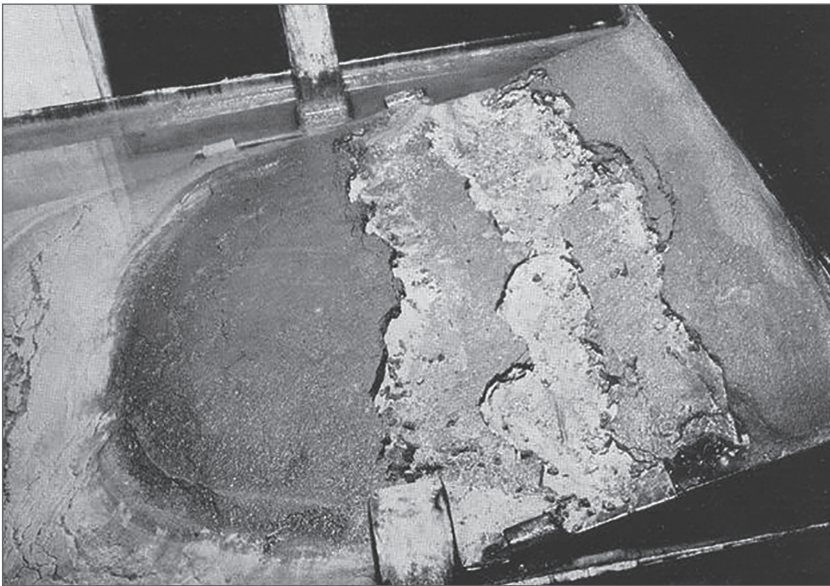
Der Sedimentkuchen des „unversehrten Schichttafellands“ als Ausgangsform entsprach einem flach (ca. 10°) geneigten Schichtpaket, welches an einer „alten Masse“ mit einer Störung abstieß. Die in einer „leichten Eindellung“ beginnende, „einzyklische“ Oberflächenformung fing mit Tiefenerosion an und setzte sich regressiv – unter Freilegung der härteren Schichten – nach den Seiten hin fort (WURM 1935/36, Abb. 7–17). Die



Quelle: aus WURM 1935/36, Abb. 18 (unverändert)

Abb. 7: Morphologische Entwicklung vom Tafelrumpf zur Cuestaartigen Schichtstufenlandschaft

Stufen waren im Einfallen der Schichten weiter und vollkommener gewandert als gegen das Einfallen. Auch Lateralerosion [*Talbodenpedimentation* – A.S.] des – subsequenten – Vorfluters ist zu beobachten (s. hier Abb. 8).

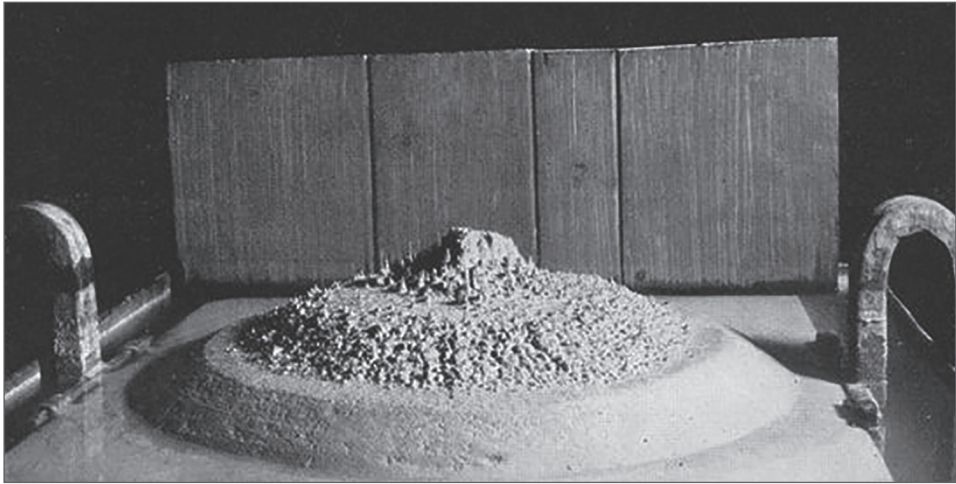


Quelle: aus WURM 1935/36, Abb. 17 (unverändert)

Abb. 8: Geomorphologisches Ergebnis einer „einzyklischen“ Entwicklung einer Schichtstufe nach 28 ½-tägiger Bestäubung

Anhand der Experimente zu Hangentwicklung, Einebnung und Piedmonttreppen konnte Wurm zeigen, dass in geraden Hängen mit 23 bis 28° Neigung (als Ausgangsformen) durch rückschreitende Erosion bzw. durch Einschneidung von Fußflächen [*Hangpedimentation* – A.S.] Konkavitäten ungefähr in Höhe der Erosionsbasis entstehen. Hier seien die

Wassermasse und damit deren regressive Abtragung am größten, und die – beschleunigte – Abspülung auf der *in Entstehung begriffenen*, 3–4° geneigten Fußfläche [Hangpediment – A.S.] lege diese tiefer [wobei neben der Masse m auch die Exponentialfunktion der Geschwindigkeit v die kinetische Energie des Abflusses k entsprechend erhöhen musste: $k = mv^2 / 2$ – A.S.]. Es kam zu Hangversteilungen, und das Wachstum der Fußflächen [Hangpedimente – A.S.] sei größer als die Erniedrigung der Hochteile (WURM 1935/36a, Abb. 1–4). Das Experiment mit einem – ruckweise gehobenen – Kegel ergab zwei umlaufende „Einebnungsflächen“ oder Bergterrassen bzw. eine zweigliedrige „Piedmonttreppe“ (WURM 1935/36a, Abb. 18; s. hier Abb. 9).

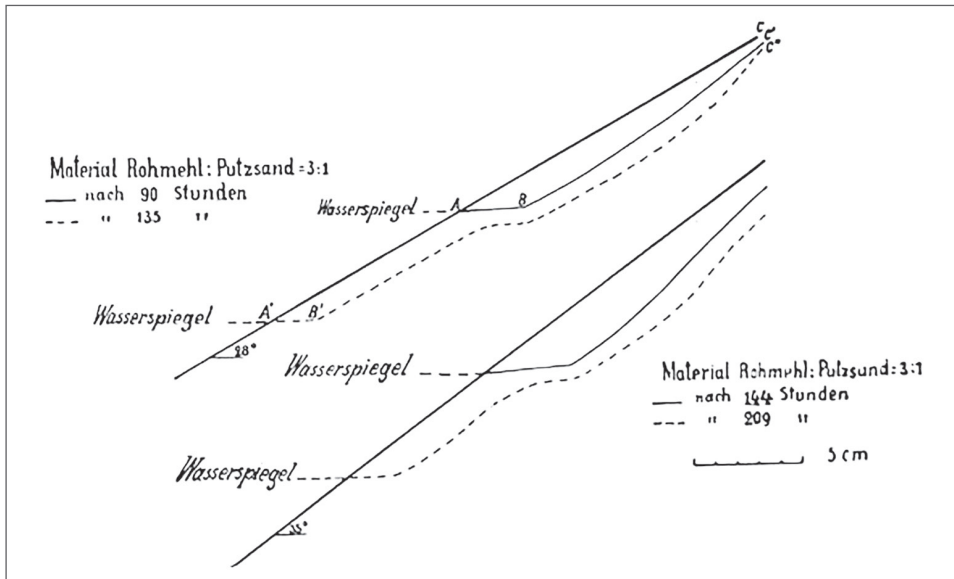


Quelle: aus WURM 1935/36a, Abb. 18 (unverändert)

Abb. 9: „Piedmonttreppe“ nach 137-stündiger Bestäubung und einmaliger Heraushebung

Auf gleichförmige und ungleichförmige Hebungen (= Senkungen der Erosionsbasis) reagierte der Abfluss gleichermaßen: in Höhe der jeweiligen Erosionsbasis erfolgte eine „niveaubedingte“ Fußflächenbildung [*Hangpedimentation* – A.S.], jedoch stärker als in höheren Hangteilen, wo die älteren Fußflächen [Hangpedimente – A.S.] als „örtliche Erosionsbasen“ fungierten. Auch größere Böschungswinkel (35°) veränderten das Bild nicht (WURM 1935/36a, Abb. 19; s. hier Abb. 10).

WURM sprach zwar immer von „flächenhafter Abspülung“, aber auch von „rückschreitender Erosion“, wobei letztere durch kleinste Rinnen in den Hängen [Ober- oder Rückhang plus Hangpediment – A.S.] auf allen Fotos belegt wird (z. B. WURM 1935/36a, Abb. 18; s. hier Abb. 9). Bei einer Kantenlänge der quadratischen Blechtafel von 70 cm und der entsprechenden Dimension dieses Nanoreliefs erscheint das nicht besonders erwähnenswert, zumal das Abtragungsergebnis jeweils kausalanalytisch und *physikalisch* plausibel erklärt wird. Für die weiterführende *prozessgeomorphologische* Interpretation von Hangpedimenten ist diese Beobachtung jedoch von unschätzbarem Wert, bestätigt sie doch das „rill work“ von BRYAN (1936) und die Aussage JOHNSONS (1932; s. auch WEISE 1970),



Quelle: aus WURM 1935/36a, Abb. 19 (unverändert)

Abb. 10: „Profillinien von Piedmonttreppen an Sedimentkegeln in homogenem Material“ (WURM)

dass normale Linienerosion *Pedimentation* bewirken kann. Rückschreitende Erosion, Rillensysteme und Terrassenbildung bei geschichteten, mineralischen Substraten in Hängen können heute auch mit statistischen Modellen gut abgebildet werden (z. B. HERGARTEN und NEUGEBAUER 1996). In diesem Zusammenhang bemerkenswert ist, dass niederschlagsbedingter, natürlicher Abfluss auch im „Randgehänge“ ($0,5^\circ$) von Flachland-Hochmooren – also in hydrophoben Substraten – 30–50 cm tiefe und breite „Erosionsrinnen (= Rillen)“ rückschreitend erzeugt (EGGELSMANN 1967, Abb. 5).

WURMs Demonstrationen widerlegen die Theorie des „Primärrumpfes“ (W. PENCK 1924), weil dieser „vor allem ein an verschiedenen Stellen verschieden abgestimmtes Verhältnis der Hebungsgeschwindigkeit zur Abtragungsintensität, das in der Natur überhaupt nicht vorhanden sein dürfte“, verlange, das heißt, „Die Ausgangsform muß auf alle Fälle schon ein Flachrelief besitzen“ (WURM 1935/36a, S. 80). Nach den Ergebnissen von Adolf WURM kann eine fluviale Abtragungsfläche jetzt nur eine Pediplain sein. Rückschreitende Einschneidung und deren regressive Fortsetzung gegen die Wasserscheiden sind dabei die entscheidenden geomorphologischen Prozesse.

A. WURMs *induktives* Experiment ist ein würdiges *prozessgeomorphologisches* Pendant zu W. PENCKs *deduktiver* Analyse. Und weil die Laborexperimente des Geologen Adolf WURM die Oberflächenformung bei Abspülung *physikalisch* und damit auch kausalanalytisch plausibel erklären können, sind sie von fundamentaler Bedeutung für die Geomorphologie – selbst wenn die Forderung nach der „Verwendung maßstäblich verkleinerter Substrateigenschaften“ hier nicht erfüllt werden kann (ROHDENBURG 1989, S. 28).

Im Übrigen hatte WURM 1938 in einem Literaturbericht eine hervorragende Zusammenfassung der damaligen Erkenntnisse zur Bildung von Rumpfflächen, Rumpfflächen-treppen und Schichtstufenlandschaften sowie zur „Entstehung sogen. Pedimente“ gegeben – Zusammenfassungen, wie man sie sich auch heute gerne wünschte (WURM 1938).

7 Reliefverebnung bei Julius Büdel – semantische Modellierung anstelle von physikalischer Geomorphologie

Julius BÜDEL (1903–1983) studierte Naturwissenschaften (besonders Chemie), Geographie, Germanistik, Geschichte und Geologie in München und in Wien. Mit seiner, bei A. PENCKs Schüler und Amtsnachfolger, dem berühmten Klimatologen und Geographen Eduard BRÜCKNER (1862–1927) begonnenen Dissertation „*Morphologie des Piesting- und Sierninggebietes in Niederösterreich*“ (BÜDEL 1928) wurde er am 29. Juli 1928 in Wien von BRÜCKNERs Nachfolger im Amt, Fritz MACHATSCHKE (1876–1957), promoviert; BRÜCKNER war am 20. Mai 1927 plötzlich verstorben. In Berlin habilitierte sich BÜDEL 1937 in Geographie bei Norbert KREBS (1876–1947), dem Amtsnachfolger von A. PENCK. Von 1951 bis 1971 (Amtszeit) war BÜDEL Ordinarius für Geographie an der Universität Würzburg.

BÜDEL nahm einige regionalgeomorphologische Arbeiten und eine freundliche mündliche Mitteilung seines Würzburger Fakultätskollegen Adolf WURM publizistisch zur Kenntnis (z. B. BÜDEL 1957a, S. 46, oder 1977; 1981, S. 297), nicht dagegen dessen faszinierende experimentalgeomorphologische Forschungsergebnisse. Im Gegenteil: Die „Vielgestaltigkeit des Forschungs-Mechanismus [*Formungs-Mechanismus – A.S.*], wie er unter einem bestimmten Klima zur Herrschaft gelangt“, sei so groß, „daß man die ganze Komplexität morphodynamischen Geschehens doch nie getreu im Versuch nachahmen könnte“ (BÜDEL 1971a, S. 1–2). Anders BÜDELs Doktorand GOSSMANN: dieser hatte von WURM (hier WURM 1935/36a) acht Abbildungen der „Versuchsreihe“ übernommen, „die in den Voraussetzungen mit unseren [Gossmanns] Rechenmodellen am ehesten vergleichbar ist“ (GOSSMANN 1970, S. 58 u. Abb. 31, 32, 50).

Das Ignorieren der WURMschen Erkenntnisse, vor allem jener, dass die Erosionsbasis (Abflussbasis) bzw. deren Veränderungen und die damit verbundene Intensität der rückschreitenden Abtragung der *entscheidende* Faktor der Verebnung (bei fehlender Bodenbedeckung) sind, kann man mit gutem Grund unwissenschaftlich nennen. Denn BÜDEL schrieb später die Anlage von „autochtonen Tälern“ einfach „einer wesentlich *klimabestimmten* autonomen Eintiefung, die auf der ganzen Länge dieser Täler annähernd gleichzeitig vertikal „*von oben nach unten*“ wirkte“, zu – ohne die „*rückschreitende Erosion*“ zu diskutieren bzw. zu falsifizieren (BÜDEL 1977; 1981, S. 234–236). An anderer Stelle wandte er wie selbstverständlich die Gesetze der Physik an, indem er – folgerichtig – konstatierte, dass es „im oberen Regnitzgebiet und in dem schon erwähnten Bereich nördlich Regensburg infolge lokaler Hebungen (z. T. verbunden mit Spiegelsenkungen im Alpenvorland) zu einer mittelmiozänen Zertalung“ gekommen sei – dies auch unter seinem tropischen Flächenbildungsklima (s. BÜDEL 1977; 1981, S. 228 und Fig. 1). Dass in *erster Linie* das – wie auch immer zustandegekommene – *Gefälle* über Tal- und Flächenbildung

entscheidet, war damals schon eine Binsenweisheit gewesen (s. o. A. PENCK, W. PENCK und A. WURM).

Im Jahr 1970 legte BÜDEL in einem langen Aufsatz (57 S.) seine Vorstellung von Pedimenten und Rumpffleichen dar (BÜDEL 1970a), um ein Jahr später in einem ähnlich langen Artikel (44 S.) die unterschiedlichen „Mechanismen“ ihrer Entstehung zu diskutieren (BÜDEL 1971a). Noch im selben Jahr wandte er sich vehement-aggressiv gegen den Gebrauch des Pedimentbegriffs in der deutschen Geomorphologie (und Geographie), so u. a. auch gegen seinen ersten Doktoranden, Habilitanden und ältesten Schüler Horst MENSCHING (1921–2008), gegen seinen vormaligen Doktoranden Otfried WEISE (Jg. 1943) und besonders gegen Heinrich ROHDENBURG (1937–1987; Habilitationsschrift 1969) (BÜDEL 1971, S. 78–82, 93–108). Dass ROHDENBURG die Begriffe „Pedimentation“ und „Pediplanation“ auf die Bildung tropischer Rumpffleichen ausgedehnt hatte, quittierte BÜDEL mit: „Dies bedeutet u. E. wissenschaftlich einen Rückschritt“ (BÜDEL 1971a, S. 2). Damit erzeugte er fortan ein permanentes Klima der feindseligen Konfrontation und Polarisierung, bei der die wissenschaftliche Diskussion oft in einer Art Glaubenskrieg endete. Aus diesem Grunde soll auf die Entwicklung der Pedimentationsidee bei BÜDEL näher eingegangen werden.

7.1 *Pedimentation* in Frostklimaten

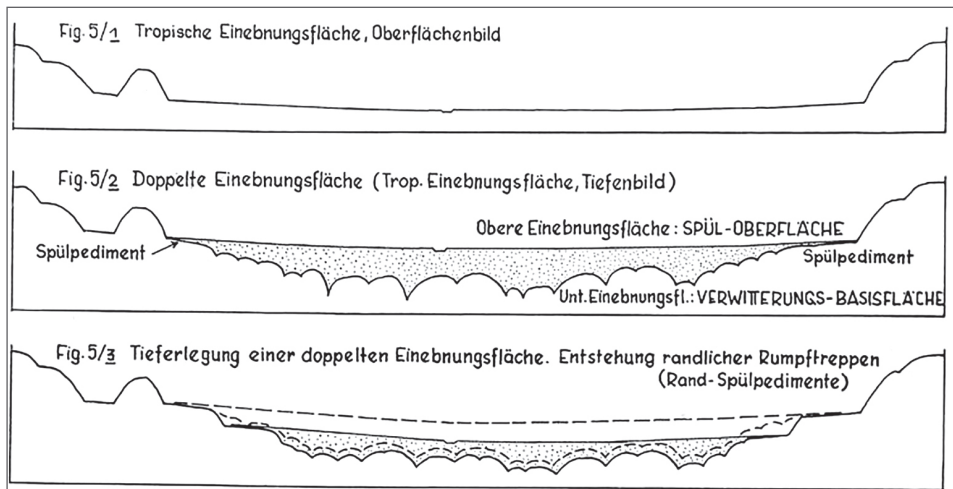
Bezüglich *Pedimentation* stellte BÜDEL in seiner Habilitationsschrift fest, dass im nicht vereisten Teil Mitteleuropas „Lateralerosion“ eine „Felsfußfläche zweifellos jungzeitlichen Alters“ und „außerordentlich breite Talböden“ geschaffen habe. Dabei hatte er SCHREPFERs Beobachtungen in Lappland und Neufundland (SCHREPFER 1933; siehe hier Kapitel 2) ausdrücklich bestätigt (BÜDEL 1937, S. 43). Noch 32 Jahre später sprach BÜDEL die auffälligen *Hangkonkavitäten* in Südost-Spitzbergen als „Unterhang-Pedimente“ an (BÜDEL 1969, S. 34). Dort, wo das Kryopediment die beherrschende Abtragungsform ist – was sein eigenes Bildmaterial mit überwältigender Deutlichkeit belegt – stritt er dann acht Jahre später die Pediment-Struktur ab und nannte den Sachverhalt einen „dreiteiligen Frosthang“ (vgl. BÜDEL 1977; 1981, Foto 8, 9, 12 und Fig. 30, 31; s. auch schon 1970a, S. 20–29, Fig. 2 und 3). Das verstand man auch im Ausland nicht: „Cryoplanation is dismissed as a factor in landscape flattening“ oder „Pediments seem highly visible in the very photos said to lack them“ (OBERLANDER 1988, S. 108). WEISE stellte jedoch überzeugend dar, „daß im Periglazialgebiet die Abtragung auf Flächenbildung hinausläuft“ (WEISE 1983, S. 130).

In Mitteleuropa lässt sich pleistozäne Kryopedimentation nicht nur auf Festgesteinen, sondern auch an fossilen Erosionsdiskordanzen in Lockersedimenten sehr gut nachweisen (z. B. VANDENBERGHE und CZUDEK 2008; VANDENBERGHE und KASSE 1993).

7.2 Die Doppelten Einebnungsfleichen und ihre Pedimente in den feuchten Tropen

BÜDELs Modell der „Doppelten Einebnungsfleichen in den feuchten Tropen“ besitzt drei völlig verschiedene Formelemente. Die extrem flache, aber konzentrisch geneigte

„SPÜL-OBERFLÄCHE“ besteht aus einem sehr flach eingeschnittenen, schmalen *Talboden* und aus zwei seitwärts anschließenden, ebenfalls sehr flachen *Abtragungshängen*. Die stark gewellte „VERWITTERUNGS-BASISFLÄCHE“ dagegen hat *nichts* mit einer Fläche gemein, ihre Form spiegelt das kryptogene *Verwitterungsrelief* eines Festgesteins wider. Sie ist geomorphologisch *kein* Duplikat der Spüloberfläche, wie BÜDELs *Semantik* suggeriert. Und die *flachgeneigten*, bergterrassenartigen „Spülpedimente“ transformieren bei der „Entstehung randlicher Rumpftreppen“ zu *horizontalen*, talterrassenartigen „Rand-Spülpedimenten“ (BÜDEL 1957, Abb. 5; siehe hier Abb. 11).



Quelle: aus BÜDEL 1957, Abb. 5 (unverändert)

Abb. 11: Doppelte Einebnungsflächen und Rumpftreppenbildung nach BÜDEL

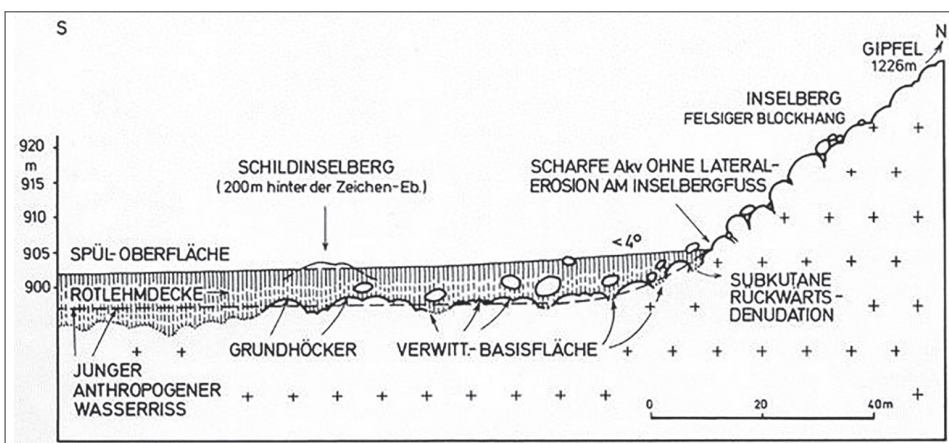
Es empfiehlt sich, diese Formelemente zunächst getrennt zu betrachten.

Die Doppelten Einebnungsflächen

Sie wurden schon oft in der Literatur diskutiert (zuletzt SKOWRONEK 2010, S. 108–115), hier soll keine Wiederholung stattfinden. Wenn BÜDEL jedoch behauptet: „Die untere Fläche ist in diesem System die eigentliche Abtragungsfläche, auf der sich die flächenhafte Tieferlegung der Erdkruste rein durch die Verwitterung, die übermächtige Zersetzung zu kaolinreichem Rotlehm unter diesem ewig feuchtwarmen ‚Prießnitzumschlag‘ ohne jeden Massentransport vollzieht“ (BÜDEL 1957, S. 209–210), so trifft das nicht zu. Verwitterung erzeugt *keine* Abtragungsformen“, wusste schon Walther PENCK (1924, S. 3). „Abtragung“ von Klastika erfolgt auch „in diesem System“ lediglich auf BÜDELs „Spüloberfläche“, welche sich doch *in* den Verwitterungsmantel bzw. *in* die Bodendecke („Rotlehm“) *einschneidet* oder *ingeschnitten* hat (BÜDEL 1957, Abb. 5/2 und. 5/3; siehe hier Abb. 11). Daran ändert auch nichts, dass BÜDEL später die „Verwitterungs-Basisfläche“ flacher zeichnet (BÜDEL 1965, Abb. 2; BÜDEL 1977, 1981, Fig. 43; siehe hier Abb. 12).

Das ist eine Trennfl äche an der Untergrenze der – von oben einwirkenden – chemischen *Dekomposition* gegen das unversehrte Gestein, welche nach *Freilegung* an der Erdoberfl äche *Verwitterungsformen* exponiert (vgl. z. B. KIRCHNER 1920 oder W. PENCK 1924, S. 56–57): erst jetzt unterliegen diese einer *gesetzm äßigen* subaerischen *Abtragung* – in welche Richtung auch immer. Das gleiche gilt für die *Verwitterungsformen* der physikalischen *Desintegration* (LEONARD 1927). Kryptogene *Verwitterungsreliefs* können relative Höhenunterschiede von über 100 m aufweisen, das sind *verwitterungsfazielle* Trennfl ächen und keine *geomorphologischen* Abtragungsf lächen (SKOWRONEK 1985, Fig. 2 und Foto 1). Die sog. „Doppelten Einebnungsf lächen“ sind *genetisch* zwei v öllig verschiedene „Fl ächen“.

BÜDELS letzte Modell-Graphik der „doppelten Einebnung“ führt *keinen* Talboden mehr, dafür aber einen „jungen anthropogenen Wasserriss“, der am Inselbergfuß ansetzt und teilweise in den festen Untergrund einschneidet (BÜDEL 1977; 1981, Fig. 43; siehe hier Abb. 12). Zwei vorausgehende Grafiken enthalten – in „Spülmulden“ – ein „Regenzeit-Flußbett“, das eine *lateralerosiv* in die „Latosoldecke“ *eingeschnittene* Talterrasse darstellt, worin der Trockenzeit-Fluss einen neuen Talboden *einschneidet* (BÜDEL 1977; 1981, Fig. 40 [M und F] und Fig. 41). 1965 präsentierte BÜDEL sogar ein „5–7 m tiefes“ Tal im Grundgebirge *unterhalb* eines „ehemaligen muldenförmigen Querprofils“ (BÜDEL 1965, Bild 8), wobei sein Verweis „Dasselbe Tal wie Abbildung 10“ nicht nachprüfbar ist, da in dieser Arbeit lediglich fünf Abbildungen existieren und Bild 8 weder mit diesen noch mit den restlichen sieben Bildern in Verbindung gebracht werden kann. Wie können bei einem derartigen *geomorphographischen* und *hydrologischen* Sachverhalt die „Spülscheiden“ dann „gleich rasch“ tiefer gelegt werden wie die „Spülmulden“, und „letztere nicht in erstere eingetieft“ sein? Das behauptete BÜDEL – entgegen jedweder topographisch-geodätischen Realität – w örtlich in einer *Grafik* (BÜDEL 1966a, Abb. 3; s. auch SKOWRONEK 2010, Abb. 1)!



Quelle: aus BÜDEL 1977; 1981, Fig. 43 (unverändert)

Abb. 12: BÜDELS Modell der „doppelten Einebnung“

Ein Letztes: BÜDEL behauptet, dass „die normalen, tiefgründigen Latosole“ aktiver tropischer Rumpfflächen eben diese Flächen „erzeugen“ (BÜDEL 1977; 1981, S. 99). Das ist absurd. Wie sollte der Boden, *das Abtragungsobjekt* schlechthin, plötzlich zu einem *handelnden geomorphologischen Subjekt*, zu einem Reliefbildner kontinentalen Ausmaßes werden, wo er doch überall das stoffliche Produkt der Durchdringung von Litho-, Atmo-, Hydro- und Biosphäre darstellt (MATTSON 1938) und sich deshalb immer nur *reliefkonform*, das heißt, bei gleichzeitiger *Abtragungsruhe* entwickeln kann? Der Geologe Ernst KRAUS (1889–1970) hatte diese fundamentale Erkenntnis am Beispiel des Alternierens von „Bodenbildung“ und „Schuttbewegung“ sowohl geomorphologisch als auch klimatisch umgesetzt und hervorragend als „eine Methode in der Morphologie“ herausgearbeitet (KRAUS 1923).

BÜDELS *pedologischer Nonsense* ist gedanklich nur nachzuvollziehen, wenn man verfolgt, wie er vormals „reine Ortsböden“ – südindische „Rotlehme“ – (BÜDEL 1965, S. 17) zwölf Jahre später einfach gegen sog. „Arbeitsböden“ mit o. g. Fähigkeit zur Flächenbildung austauscht (BÜDEL 1977; 1981, S. 102–104). Das wiederum ist nur zu verstehen, weil er ab 1950 auch sog. „Ortsböden“ zur Ausweisung von „klima-morphologischen Zonen der Erde“ heranzog: eine „Nichttropische Ortsbodenzone“ (5. Zone) mit „mehr oder weniger gebleichten (podsolierten) grauen und braunen Waldböden“ und mit „Schwarzerden“ sowie eine „Innertropische Ortsbodenzone“ (9. Zone). „Diese wiederholt in vielen Zügen die klima-morphologischen Erscheinungen der immerfeuchten Nichttropischen Ortsbodenzone, wenn auch vielfach in gesteigertem, man möchte fast sagen: übersteigertem Maß“ (s. BÜDEL 1950, Fig. 1 und S. 14–17 bzw. S. 25–26). Die „Typische Horizontgliederung ektropischer Ortsböden (Prototyp: 1–1,5 m mächtige Parabraunerde)“, also ihr *Bodenprofil*, unterscheidet sich von tropischen „Arbeitsböden“, weil diese eine „Art Schichtung“ aufwiesen. Diese habe nichts mit der Horizontgliederung ektropischer Böden zu tun, „sondern ist eine Folge der (unten näher zu schildernden) starken Spülwirkungen, die alljährlich zur Regenzeit die Oberfläche dieser Böden beherrschen und dank des stets wechselnden Verlaufs der Rinnsale bald hier etwas abtragen, bald da etwas aufschütten“ (vgl. BÜDEL 1977; 1981, Fig. 6 mit S. 103). Letztendlich beschrieb BÜDEL die „Ortsböden“ – jetzt im Kontext mit den „Arbeitsböden“ – „als Ganzes *nicht* in Bewegung“ und „durch Verwitterung *am Ort* (Name!) gebildet“ (BÜDEL 1977; 1981, S. 26).

Weil dieser bodenkundliche Hintergrund eine *entscheidende* Rolle in BÜDELS „Klima-Geomorphologie“ spielt, muss an dieser Stelle mit aller Deutlichkeit und Schärfe Folgendes klargestellt werden: den Begriff „Ortsböden“ führte der, auch international hochangesehene Lehrstuhlinhaber für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Universität München, Emil RAMANN (1851–1926), mit seinem Lehrbuch „Bodenbildung und Bodeneinteilung (System der Böden)“ ein (RAMANN 1918), das auch in Englisch erschienen ist (RAMANN 1928). Es verschaffte ihm Weltruf (SCHAD und REHFUESS 2012, S. 48).

RAMANNs „Ortsböden“ sind durch die „örtliche Beeinflussung der Bodenbildung“ wie „Grundgestein, Korngröße der Böden, Ortslage und *Ortsstetigkeit* [Hervorhebung – A.S.]“ gekennzeichnet. „Umlagerungen ihrer Teile sind sparsam oder erfolgen im Inneren der Böden. Diese Böden haben ein *Bodenprofil*, aus dem sich die bodenbildenden Vorgänge erkennen lassen“. „Ortsverschiebungen“ erzeugen *ortsunstete* „Wanderböden“, die man entsprechend der Geschwindigkeit der Ortsveränderung als „*Kriechböden*“ (z.

B. nordische Fließerden) oder als „Abschlämmmassen“ (durch Wasser umgelagerte Böden) bezeichnen kann (s. RAMANN 1918, S. 22–31). Nachdem RAMANN bereits 1905 in der zweiten Auflage seiner „Bodenkunde“ (1. Auflage 1893, 3. Auflage 1911) „Klimatische Bodenzonen“ ausgewiesen hatte (RAMANN 1905, S. 391–407), machte er dann auch 1918 für sein „System der Böden“ das *Klima* zum obersten Gliederungsmerkmal. Dabei führt die „Kühle gemäßigte Zone“ (II.A) „Ortsböden“ in der Gruppe der „Nordischen Grauerden“ und die „Warme gemäßigte Zone“ (II.B) „Ortsböden“ in der Gruppe der „Braunerden“ (RAMANN 1918, S. 110–111).

Emil RAMANN *allein* gebührt die Begriffsschöpfung der *unbewegten* „Ortsböden“, auch deren erste originäre Kennzeichnung ist sein Gedankengut. In BÜDELS Arbeiten findet man dazu *nirgends* ein Zitat oder einen Hinweis. Und weil RAMANNs Gedankengang zu den „Abschlämmmassen“ als *bewegten* „Wanderböden“ auch ein Kriterium der BÜDELSchen „Arbeitsböden“, nämlich das der permanenten *Ortsunstetigkeit* an der „Spüloberfläche“ erfüllt, muss hier von einem *schwerwiegenden Plagiat* durch Julius BÜDEL ausgegangen werden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass BÜDEL RAMANN persönlich begegnete, denn er studierte von 1922 bis 1924 an der Ludwig-Maximilians-Universität München (Philosophische Fakultät II), an derselben Universität, an der auch RAMANN bis 1925 als Ordentlicher Professor und Geheimer Regierungsrat wirkte (Staatswirtschaftliche Fakultät II). Dieser las damals u. a. zweimal „Bodenkunde“, jeweils fünfstündig (Mo. bis Fr. 15–16 Uhr).

2009 wurde in Freising-Weihenstephan die Straße, an welcher der Lehrstuhl für Bodenkunde der Technischen Universität München liegt, nach Emil RAMANN benannt (SCHAD und REHFUESS 2012, S. 53). Und „seit 2011 verleiht die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG) auf Grund herausragender Forschungsleistungen die Emil-Ramann-Medaille“, sie ging erstmals an den Rektor der Universität für Bodenkultur in Wien, Martin GERZABEK (NESTROY und ULONSKA 2018, S. 75).

Die Pedimente

BÜDELS Pedimente sind viel interessanter als seine „Doppelten Einebnungsflächen“, weil Abtragungsflächen nur an den *Rändern* höher liegender Relieftteile *neu entstehen* können. 1957 lehnte BÜDEL Lateralerosion als Ursache für die Entstehung der Spülpedimente ab und begründete diese diffus mit einer „Kombination mechanischer und chemischer Vorgänge“ (BÜDEL 1957, S. 211). Auch nach seiner ersten Südindien-Reise 1964 ließ er eine klare Beschreibung des „Mechanismus“ der Pedimentbildung vermissen: so „sind die Spülpedimente die randlichen Zonen jeder aktiven Rumpffläche gegen ihre steilen Ränder. Ebenso umgeben sie als Aureolen jeden Auslieger-Inselberg. Die Spülpedimente sind die jüngsten Teile jeder aktiven Rumpffläche, ihr Wachstum geht auf Kosten des höheren Rücklandes“ (BÜDEL 1965, S. 38). Das trifft auf jedes Pediment zu, ist aber keine *physikalische* Erklärung für die Entstehung. Terminologisch – und auch genetisch – bleiben diese Formen *immer* Pedimente. Wie denn sonst sollten sie entstanden sein, wenn nicht durch Abspülung?

Außerdem: BÜDELS Modell der „Doppelten Einebnungsflächen und Rumpftreppenbildung“ würde – zu Ende gedacht – letztlich keine Rumpfflächen oder Piedmontflächen, sondern ein sehr breites Tal (mit horizontalen Terrassen) erzeugen, weil sich die doppelten

Einebnungsflächen wegen der zunehmenden Zahl der „Rand-Spülpedimente“ verkleinern *müssten* (BÜDEL 1957, Fig. 5/3; siehe hier Abb. 11).

Nach BÜDELS Modell-Graphik zu schließen, müssen sich die die Spül- und Rand-Spülpedimente *unter* der Bodendecke gebildet haben (BÜDEL 1957, Abb. 5; siehe hier Abb. 11). Gleichzeitig „unterschneide“ aber eine „subkutane Seitendenudation [Hervorhebung – A.S.]“ einen Inselberg bei Kolar mit einem „bis 5 m mächtigen, monogenetischen Rotlehmprofil *auf* [Hervorhebung – A.S.] einem Spülpediment“, welches dadurch räumlich mit der „Verwitterungs-Basisfläche“ zusammenfällt (BÜDEL 1965, Bild 2; s. auch SKOWRONEK 2010, Abb. 2a). In drei anderen Bildern setzt dieses „Spülpediment“ aber auch oberflächlich an Inselbergen an und bildet damit zugleich die „Obere Einebnungsfläche“ oder „Spül-Oberfläche“ in/auf flachgründigen Böden (BÜDEL 1965: Bild 3–5). Dieses *Paradoxon* versuchte BÜDELS langjähriger Freund Carl TROLL folgendermaßen aufzulösen: „Wenn kein Spülpediment [welches von beiden? – A.S.] vorhanden ist [wovon BÜDEL nie sprach – A.S.], frißt sich hier ‚subkutan‘ die Basisfläche seitlich gegen den Berg vor und bereitet damit die spätere Rückverlegung [durch welche Prozesse? – A.S.] des Steilhanges vor“ (TROLL 1969, S. 236).

BÜDEL hat diesen eklatanten Widerspruch selbst nie aufgelöst. Grund hierfür dürfte seine willkürliche, unüberlegte und mehr auf Außenwirkung abgestellte *Semantik* gewesen sein. Zum Beispiel hinterfrag Horst MENSCHING einmal hinsichtlich des Begriffs Denudation in der Diskussion nach einem Vortrag von BÜDEL dessen Terminus „subcutane Seitendenudation“ und meinte: „Die Seitendenudation wäre doch ein Vorgang der Abtragung und zwar an der Oberfläche und nur die vordringende tropische Verwitterung ist ‚subcutan‘“, worauf BÜDEL den Begriff *semantisch* kurzerhand in „rückschreitende Seiten-Denudation“ verwandelte (BÜDEL 1966, S. 321).

Von der subkutanen Seiten-Denudation zum zentrifugalen Hangfußeffekt

Die Entwicklung der BÜDELSchen *Semantik* reicht jetzt von „subcutaner Seiten-Denudation“ (BÜDEL 1965, Abb. 2) über „rückschreitende Subkutan-Denudation“ (BÜDEL 1966, Abb. 2), „subcutane Rückwärts-Denudation“ (BÜDEL 1966a, Abb. 6; 1977; 1981, Fig. 42 und 43), „Mechanismus der doppelten Rückwärts-Denudation“ (BÜDEL 1970a, S. 9) und „subcutane Seitendenudation“ (BÜDEL 1977; 1981, S. 123) bis zum „zentrifugalen Hangfußeffekt“ (BÜDEL 1986, Fig. 5).

Zieht man hier einmal Bilanz zu BÜDELS Vorstellungen von Flächenbildung, so ergibt sich Folgendes: „Aktiv zurückweichende Steilhänge“ erzeugen mittels „mechanischer Verwitterung“ einerseits „flache Frost-Unterhänge“ im „dreiteiligen Hang in der subpolaren exzessiven Talbildungszone“, andererseits „Pedimente“ am Fuß der „Trocken-Fronthänge“ in den Trockenräumen. „Rumpfflächen des wechselfeuchten Savannenklimas“ dagegen entstehen mittels „chemischer Verwitterung“ durch den Vorgang der „subkutanen Rückwärts-Denudation aktiv unterschneidend auf Kosten des höheren Geländes“ (BÜDEL 1970a, S. 53–54). Damit wird die Bildung von Abtragungsflächen letztlich mit klimabedingter *Verwitterung* erklärt – und *nicht* mit den Kräften der *Abtragung*.

Es hat aber den Anschein, als hätte sich Julius BÜDEL kurz vor seinem Tod (28. August 1983) entschlossen, mit dem „zentrifugalen [Hervorhebung – A.S.] Hangfußeffekt“ die Bil-

dung seiner „Spülsockel“ mit „scharfem Fußknick“ *semantisch* doch noch als Produkt fluvialer Abtragung (und damit auch Seitenerosion) in den feuchten Tropen hinzustellen – und dies, obwohl auf den „Spülsockeln“ die Mächtigkeit des Latosolbodens „ebenso groß ist wie auf der übrigen Fläche“ (BÜDEL 1986, S. 37–38). Andererseits läßt die Grafik „Laterale Ausdehnung einer Rumpffläche und Hangversteilung eines Ausliegerinselbergs durch den zentrifugalen Hangfußeffekt“ die *pedologische* Unterschneidungs-Idee wiederaufleben, zumal BÜDEL die Verwitterung wörtlich „auch gegen den Hangfuß selbst“ wirken läßt: der „scharfe Fußknick“ wird also auch durch eine – *zentripetal* wirksame – Verwitterung („Rotlehm“) erzeugt (BÜDEL 1986, Fig. 5 und S. 38–39). Jetzt kann man sich aussuchen, wodurch die Flächenausdehnung erfolgen soll: durch (Intensiv-)Verwitterung (und Bodenbildung) oder durch oberflächliche Abtragung (Abspülung). Beides zusammen geht nicht: Theoretisch müßte erstere nämlich *lateral* so weit in Festgesteine vordringen, dass im Hangenden gravitative Massenbewegungen (infolge basaler Entlastung) ausgelöst werden, an deren Bruchmassen später mechanische Abtragung durch fließendes Wasser ansetzen könnte. Die Bildung des „scharfen Fußknicks“ würde dann aber – auch in der „Randtropischen Zone exzessiver Flächenbildung“ (BÜDEL 1977; 1981, Fig. 13) – sehr lange dauern.

In seinen „kritischen Gängen zum Formenschatz der Tropen“ hatte BÜDEL vorher die „oberflächlichen Abspül-Vorgänge“ innerhalb „tropischer Böden“ als Entstehungsursache für „große Rumpfflächen“, „die hier als „Hangpedimente“ und „Talbodenpedimente“ bezeichnet werden, wobei laterale Erosion die Hauptrolle spiele“, strikt abgelehnt, weil „diese auf WISSMANN (1951) zurückgehende Theorie inzwischen für („echte“) Pedimente wie für Rumpfflächen längst widerlegt ist“ (BÜDEL 1971, S. 79).

Bei der Beschreibung desselben Fotos vom 10. März 1964 (BÜDEL 1965, Bild 2) in seiner „Klima-Geomorphologie“ von 1977 bzw. 1981 führt das „Typische Latosolprofil, 6 m, oben rot, unten gebleicht, am Fuß eines durch subkutane Rückwärtsdenudation weitgehend felsig versteilten Inselberges bei Kolar“ *selbst* keine „Unterschneidung“ mehr durch, ebenso ist das „Spülpediment“ verschwunden (vgl. BÜDEL 1977; 1981, Photo 15, mit BÜDEL 1965, Bild 2; s. auch SKOWRONEK 2010, Abb. 2a). Damit läßt BÜDELS *Semantik* jetzt ungesagt, *wodurch* die „subkutane Rückwärtsdenudation“ eigentlich bewerkstelligt wurde oder wird, auch das „Spülpediment“ fällt als Beleg für Reliefeinebnung aus. BÜDELS *tropische Rumpfflächenbildung* hat sich selbst abgeschafft.

7.3 Reliefverebnung bei Schülern und Mitarbeitern von Julius Büdel

Horst MENSCHING, bestens mit der Pediment-Diskussion vertraut, entwickelte ein eigenes „arid-morphodynamisches System“, mit dessen Hilfe er die Auflösung eines alten „Rumpfflächenreliefs (peneplain) mit tiefem Gesteinszersatz und lateritischer Eisenkruste“ zu einem „20–50 m tiefer liegenden Fußflächenrelief (piedmont plains)“ erklärte (MENSCHING 1970, S. 1; s. auch 1973, S. 149). Danach seien Pedimente Teil einer „morphogenetischen Sequenz“ oder einer „Entwicklungsfolge“ (MENSCHING 1978). BÜDEL reagierte auf MENSCHINGS Aufsatz von 1970 äußerst gereizt: „Was mir darüber hinaus an Kritik nötig scheint, verbanne ich in kurze Zusätze“ (BÜDEL 1971, S. 99). Letztlich sah er MENSCHINGS „re zente Landformung arider Art“ zwanglos in sein (BÜDELS) „natürliches System“ ein-

gefügt (BÜDEL 1971, S. 103), denn „im Zwischengebiet der südlichen Sahara und des nördlichen Sahel herrschen dagegen heute aride Abtragungsfornnen“, die man je nach Terminologie dem Begriff der „Pedimentation“ zuordnen könne (BÜDEL 1971, S. 101). Auch bringe bereits der Titel des von MENSCHING herausgegebenen Supplement-Bandes 10 der Zeitschrift für Geomorphologie „Piedmont Plains and Sand-Formations in Arid and Humid Tropic and Subtropic Regions“ zum Ausdruck, dass zum Beispiel die Bildung der „Piedmontflächen“ W. PENCKs mit *Pedimentation* „vertauscht“ werden könne und jene dann womöglich keine „tropischen Rumpfflächen“ mehr seien (BÜDEL 1971, S. 93).

Otmar SEUFFERT (Jg. 1933), damals TU Braunschweig, vormals Würzburger Doktorand von MENSCHING, anschließend Mitarbeiter, Habilitand und Schüler von BÜDEL, *rebellierte* auf der ersten Jahrestagung des – von Julius BÜDEL und Horst HAGEDORN ins Leben gerufenen – Deutschen Arbeitskreises für Geomorphologie am 2. April 1974 in Würzburg *mutig* und *offen* gegen seinen Lehrer, indem er mit seinem Vortrag „Formungsspektrum – Formungsintensität – Formungswandel“ erstmals eine geschlossene, *prozessorientierte* Theorie „der aktuellen Morphodynamik“ entwickelte, die er als Gesamtkonzept zwei Jahre später auch in einer Monographie veröffentlichte: Flächenbildung erfolge durch „divergierende Fließwässer“, wobei diese „Flächenerosion an eine Zunahme des Belastungsgrades in Raum und/oder Zeit geknüpft“ sei (SEUFFERT 1976, S. 141–142). Die Reaktion der Fachwelt auf Vortrag und Publikation ließ in Inhalt und Stil sehr zu wünschen übrig. So kann man nach Ausführungen in SEUFFERTS „zweitem Versuch“ (SEUFFERT 2005) erahnen, welche Ressentiments das Establishment damals im „Hexenkessel“ der deutschen Geomorphologie seinem wissenschaftlichen Nachwuchs entgegenbrachte, als dieser begann, mehr geomorphologisches *Prozessverständnis* anzustreben.

BÜDELS ehemaliger Doktorand, Habilitand, Mitarbeiter und Schüler Alfred WIRTHMANN (1927–2020) diskutiert in seiner „Geomorphologie der Tropen“ sowohl eine aklimatische Pediplanation als auch ROHDENBURGs klimagenetisch begründete *Hangpedimentation* (WIRTHMANN 1987; 1994, S. 17 und 25). Seltsamerweise kommt er zu dem Ergebnis: „Bei ROHDENBURG wird aus dem Jahreszyklus ein Klimazyklus unbestimmter Dauer“, weil „auch die Teilprozesse der doppelten Einebnung – Tiefenverwitterung und Flächenspülung – in die klimagenetisch gesehene Flächenbildung eingebaut, nur eben zeitlich entschieden weiter getrennt“ würden (WIRTHMANN 1987; 1994, S. 25–26). WIRTHMANN hat nicht erkannt, dass ROHDENBURGs „Hangpedimentation“ *physikalisch-geomorphologisch* etwas ganz anderes ist als BÜDELS *völlig undifferenzierte* „Abspülung“. Seine weiterführende Erkenntnis besteht jedoch darin, dass er die Abtragungsresistenzen (bes. Schwellen) des altkristallinen Gondwana-Untergundes als wesentliche Ursache für die Bildung von „Flächen, Rumpfstufen und Inselbergen“, also des „Typischen Tropenreliefs“ hervorhebt: er spricht – in Umkehrung von ROHDENBURGs *klimabedingten* morphodynamischen Aktivitäts- und Stabilitätszeiten (s. u. Kapitel 8) – sogar von „*Strukturellen Aktivitätsbedingungen*“ (WIRTHMANN 1987; 1994, S. 162–167).

Das langfristig sehr niedrige Gefälle solcher Rumpfflächen erklärt auch die *Polygenese* vieler Tropenböden, weil diese während *klimabedingter* morphodynamischer Aktivitätszeiten infolge sehr geringer Reliefeenergie nicht überall vollständig abgetragen werden und weil darauffolgende *Pedozyklen* in morphodynamischen Stabilitätszeiten die jeweiligen Bodenreste auch phänologisch überprägen oder umbilden. „In einer solchen

polygenetischen Bodenkunde liegt noch ein weites Feld künftiger Forschung“, formulierte BÜDEL einmal treffend (BÜDEL 1977; 1981, S. 23). Erst in steilerem Relief sind stratigraphisch unterscheidbare *Bodenentwicklungsgenerationen* erkennbar, so zum Beispiel um Inselbergkomplexe (s. SKOWRONEK und MURTI 2005). KRAUS hatte diese *geomorphologisch-pedologische* Gesetzmäßigkeit schon früh erkannt und sehr plastisch dargestellt (KRAUS 1923, Fig. 1 und 2).

Die unselige Diskussion um BÜDELS *tropische Rumpfflächenbildung* wäre möglicherweise zu vermeiden gewesen, hätte man auch interessante Erkenntnisfortschritte anderer Forscher wahrgenommen: so hatte zum Beispiel der US-amerikanische Geologe und spätere Bodengeomorphologe Robert V. RUHE (1918–1993) in Hebungsgebieten Belgisch-Kongos – auch grafisch – *beispielhaft* aufgezeigt, wie Reliefeinebnung durch *Pedimentation* erfolgt. Es resultierte eine Inselberg-Pediplain-Pediment-Terrassen-Treppe, wobei die vier quartären Pedimente „Dark-horizon Latosols“ aus „Pedi-sediments“ mit „Stone lines“ tragen, während auf Inselbergen und an Pedimentationsstufen in Festgestein nur „Lithosols“ vorkommen (RUHE 1956, Fig. 17 und Tab. VII). Später hat RUHE ein – im anglophonen Sprachraum vielbeachtetes – Buch zur *Prozessgeomorphologie* und einer daraus abzuleitenden *Oberflächengeologie* geschrieben (RUHE 1975).

BÜDELS vormaliger Doktorand Otfried WEISE (danach Habilitand bei BÜDELS Amtsnachfolger Horst HAGEDORN [1933–2018]) ging die *Pedimentation* bzw. *Pediplanation* im Iran *physikalisch* an und erwarb unter Verwendung wichtiger (angelsächsischer) Literatur auch weiterführende Erkenntnisse zum Abflussverhalten: Hangversteilung erfolge, weil der Materialexport am Unterhang sein Maximum erreiche, während das Pediment in der proximalen Zone eine zweiphasige Denudation (Wechsel von Tiefen- u. Seitenerosion) und in der distalen Zone eine einphasige Denudation (Seitenerosion) erfahre (WEISE 1970). BÜDEL *semantisierte* diesen Erkenntnisfortschritt als isolierte Beschreibung örtlicher „Profilvarianten“ einfach *weg*, wo doch „die Pedimente im ganzen als geschlossene Rampen von vielen Kilometern Länge und Breite am Fuß wildzertalter und aufgelöster Gebirgs-Außenflanken (Trocken-Fronthänge nach BÜDEL 1970) hinziehen“. In der Erklärung dieses Phänomens stecke „die eigentliche geomorphologische Problemstellung“ – so sein Postulat von Pedimenten, die er nicht in eine normale konvex-konkave Hangentwicklung integrieren wollte (BÜDEL 1971, S. 94), sondern die er als (passive) „abhängige *Nachfolgehänge*“ der – aktiv durch Verwitterung zurückweichenden – „Trocken-Fronthänge“ mit „deutlichem Profilknick“ bzw. als Folge des „Hangfuß-Effekts“ ansah (BÜDEL 1970a, S. 32 und Fig. 5).

Gottfried WIEGAND, ehemaliger Doktorand von BÜDEL, publizierte 1970 als dessen Würzburger Mitarbeiter einen „Beitrag zur Hangentwicklung und Pediplanation“ anhand der Oberflächenformen in der Türkei, in dessen Text der Begriff „Pediplanation“ aber nicht mehr verwendet wird: es gibt nur „Fußflächen- oder Pedimentbildungen“ (WIEGAND 1970). Später formulierte er stringent – auf *hydraulischer* Grundlage – die Beziehung von Konkavität / Konvexität im Unterhangbereich und Klimawandel bzw. Vorflutabsenkung in Kleinasien (WIEGAND 1972).

Aufgrund von Modellrechnungen kam BÜDELS Doktorand und Schüler Hermann GOSSMANN (Jg. 1938) zu dem Ergebnis, dass die Hangentwicklung (bei konstanter Abfluss- bzw. Denudationsbasis) in Periglazialgebieten, im ariden Bereich und im Gebiet

der „Doppelten Einebnungsflächen“ *immer* Hangkonkavitäten erzeuge, zum Teil bestünden diese aus einem Erosions- und Akkumulationsprofil (GOSSMANN 1970, S. 36–52). Er glaubte allerdings, das „vernunftwidrige Wachstum des Transports“ an der BÜDELSchen „Spülfächen-Arbeitskante SAKK“ der „doppelten Einebnungsflächen am Fuße eines Inselberges in Süd-Indien“ damit erklären zu können, dass das Transportvermögen am Steilhang wegen mangelnder Bereitstellung von Feinmaterial nicht ausgenutzt werde, sodass am Hangfuß – trotz Gefällsminderung – auch keine Akkumulation stattfände, weil noch genügend Transportenergie vorhanden sei. Hier würde erst durch die „subkutane Rückwärtsdenudation“ ausreichend (feines) Verwitterungsmaterial anfallen, welches dann zu einem „Transportgleichgewicht“ führe. Das entsprechende Spülmodell bildet jedoch völlig korrekt die – reale – Situation am Inselbergfuß ab: „Am Erosionsbasispunkt herrscht Akkumulation (Modell a)“ (vgl. GOSSMANN 1970, Abb. 45 und S. 88–89 mit Abb. 25a und S. 51). Der Hangfuß besteht nämlich in der Tat aus einem Schwemmfächer *auf* BÜDELS „Spülpediment“ (SKOWRONEK 2010, S. 93–94 und Abb. 2) – und *nicht* aus einem „bis 5 m mächtigen, monogenetischen Rotlehmprofil auf einem Spülpediment“ (BÜDEL 1965, Bild 2). Zu WURM (hier WURM 1935/36a) bemerkte GOSSMANN: Eine „kritiklose“ Übertragung in die Natur sei nicht erlaubt, aber die durch Abspülung erzeugte „Konkavität“ sei „eine gute Demonstration“ (GOSSMANN 1970, S. 61). Eine „Kritik“ folgte nicht.

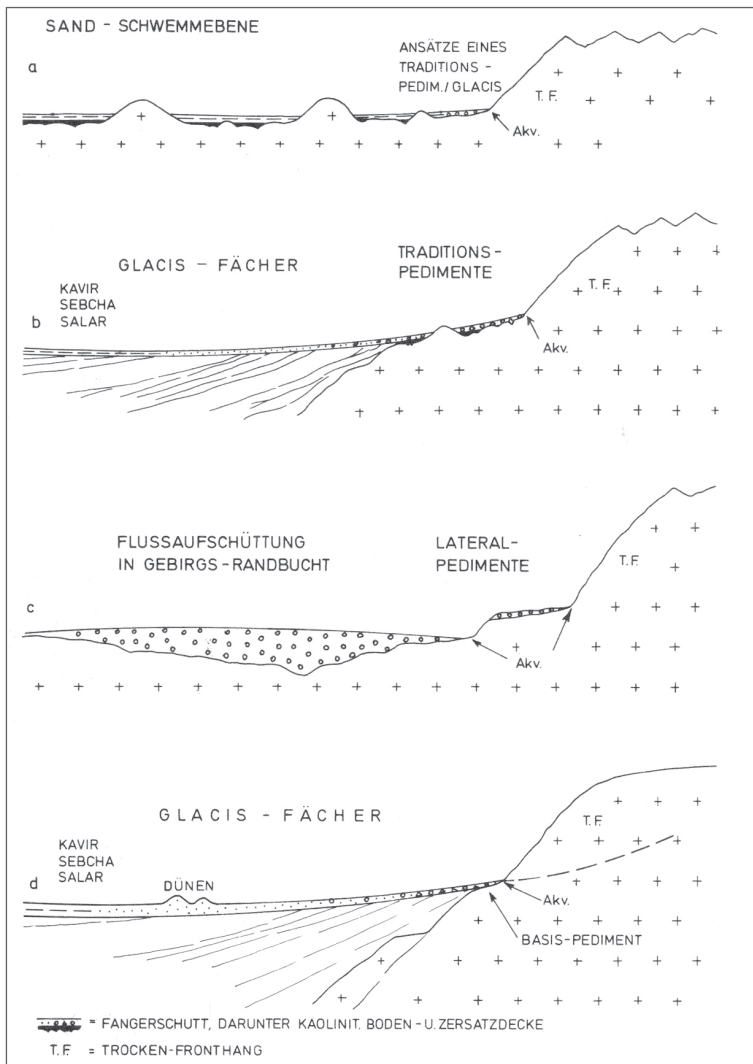
Mit einem ungewöhnlichen Vorwort (viereinhalb Seiten) diskutierte und bewertete BÜDEL die Dissertation seines Doktoranden. Unter anderem hätten die nötigen Vereinfachungen allein die Berechnung der „Denudationsvorgänge“ zugelassen, während „alle Vorgänge der Verwitterung, Aufbereitung und Bodenbildung, also der Transport-Fähigmachung des Anstehenden nur im Text gestreift werden, in den Berechnungen aber unberücksichtigt bleiben mußten“ (BÜDEL 1970, S. 3). Weiterhin hätte der Unterzeichnete [BÜDEL] „seine systematischen Untersuchungen über Flächenbildung und Hangentwicklung und das Verhältnis zwischen beiden aufgrund von Geländebeobachtungen in verschiedenen Klimaten weitergeführt (BÜDEL 1969 c [hier 1970a – A.S.]). Dort wird einiges von dem betrachtet, was GOSSMANN in der vorliegenden theoretischen Bearbeitung ausklammern musste. Unabhängig von solchen Berührungspunkten hat seine Arbeit für sich ihren Wert“ (BÜDEL 1970, S. 5). In dem anschließenden eigenen Vorwort (eine Seite) ließ GOSSMANN aber keinen Zweifel an der Richtigkeit der berechneten „Formungstendenzen“ aufkommen: „Ihre Ursache müssen einfache, sozusagen ‚robuste‘ Vorgänge sein, die – von einigen Grundvoraussetzungen abgesehen – auch bei erheblichen Abwandlungen der Einflußfaktoren stets in gleicher oder ähnlicher Weise zur Entfaltung kommen“ (GOSSMANN 1970, S. 5–6).

Diese wenigen Beispiele von Meinungsverschiedenheiten über *Hangabflachung* demonstrieren – im Nachhinein – sehr anschaulich die enorme Wirkungsmacht und die großen Spannungen, die Julius BÜDEL in seinem eigenen Umfeld und in der deutschen Geomorphologie oft bis zur Zerreißprobe erzeugte.

7.4 Büdels letzte Pediment-Typologie

Pedimente waren für BÜDEL ein Typ von Abtragungsflächen mit einem „völlig andersartigen Bildungsmechanismus“, der kleinräumig an die „Scharnierzonen“ von Hebungs- und

Senkungsschollen, klimatisch an „ausgesprochene Trockenklimate“ und auerhalb davon „erdgeschichtlich“ an das „oberste Pliozän“ und „Paläo-Pleistozän“ geknüpft sei (BÜDEL 1970a, S. 11–12). In seiner „Klima-Geomorphologie“ wies er vier „Typen von Gebirgsfußflächen (Glacis, Pedimente)“ aus, nämlich die „Ansätze eines Traditions-Pedimentes“, die „Traditions-Pedimente“, die „Lateral-Pedimente“ [entsprechen *Talbodenpedimenten* – A. S.] und die „Basis-Pedimente“ [entsprechen *Hangpedimenten* – A.S.] (BÜDEL 1977; 1981, Fig. 53; siehe hier Abb. 13).



Quelle: aus BÜDEL 1977; 1981, Fig. 53 (unverändert)

Abb. 13: BÜDELs letzte Pediment-Typologie

Man könnte meinen, dass BÜDEL die *Pedimentation* als generellen Einebnungsprozess gänzlich aus der allgemeinen Wahrnehmung verbannen wollte, um seine – eigene – *klimatische* Erklärung für Flächenbildung hervorzuheben und durchzusetzen. So führt zum Beispiel seine wesentlichste Erkenntnis, nämlich seine Karte „Die Klima-morphologischen Zonen der Gegenwart (ohne Hochgebirge)“, lediglich eine „Winterkalte Trockenzone mit Flächenüberprägung (Transformation), vorweg durch Glacis und Pedimente“ (BÜDEL 1977; 1981, Fig. 13), wohingegen er zwischen den beiden Auflagen von 1977 und 1981 noch eine „Wintercold arid zone with pediments and glacis surfaces“ kartographisch kleinmaßstäbiger auswies (BÜDEL 1980, Fig. 1). Der aufmerksame Leser erkennt sofort den gravierenden Unterschied: die Gebiete mit autonom-autochthoner *Pedimentation* (1980) sind in der Buchausgabe (1977; 1981) einer Fußflächenbildung gewichen, die jetzt *nur* als ein – topographisch in die „Doppelten Einebnungsflächen“ der feuchten Tropen zu integrierender – *Nachfolgeprozess* („Flächenüberprägung“, „Transformation“) verstanden werden soll. In dem – wesentlich kleinmaßstäbigeren – Schaubild der „Geomorphologischen Ära“ taucht jedoch wieder eine „WINT.-KALTE TROCKENZ. M. GLACS-BILD“ auf, das entsprechende Textkapitel 2.6 ist dagegen überschrieben mit „Winterharte Trockenzone mit Flächenüberprägung (Transformation), vorweg durch Pedimente und Glacis“ (BÜDEL 1977; 1981, Fig. 1 und S. 188–196).

Interessant ist weiterhin, dass BÜDEL am Schluss *keine* fossile Reliefgeneration im „obersten Pliozän“ und „Paläo-Pleistozän“ Mitteleuropas mehr mit Pediment bezeichnete (s. BÜDEL 1970a, S. 12), sondern dafür sog. „Breiterrassen“ auswies, welche aber nicht in die „Geomorphologische Ära“ integriert sind (s. BÜDEL 1977; 1981, Foto 51 und Fig. 62 sowie Fig. 1). BREMER formulierte später BÜDELS Reliefgenerationen: Tropische Rumpfflächen des Tertiärs (*etchplains*), Breiterrassen des Pliozäns / Altpleistozäns (*broad terraces*) und tiefere Terrassen (*of periglacial origin*) auch für die internationale Fachwelt in Englisch (BREMER 2004, S. 842–843).

Um einen häufig auftretenden Irrtum auszuräumen: Der Begriff „Reliefgeneration“ stammt *nicht* von Julius BÜDEL. Und die von BUSCHE et al. (2005, S. 31) – fälschlicherweise – BÜDEL zugesprochene Begriffsschöpfung „Reliefgenerationen“ diente diesen Autoren „entgegen jeder Zyklenvorstellung“ zur Ableitung einer „*erstmaligen* und einmaligen“ Reliefbildung „seit dem Alttertiär“ – ganz im Sinne von BÜDEL (BUSCHE et al. 2005, S. 19 und Abb. 4). Der Gießener Geologe Walther KLÜPFEL (1888–1964) hatte jedoch schon weit früher „Landschaftsgenerationen“ bzw. „Reliefgenerationen“ in die Literatur eingeführt und damit geomorphogenetische Einheiten als Ergebnis tektozyklisch initiiert Formungsprozesse sowie als Ergebnis der Wirkung von Klimawechseln und Klimaschwankungen beschrieben (KLÜPFEL 1926, S. 412; 1930).

Auch hier stellt sich wieder ernsthaft die Frage eines *Plagiats* von Julius BÜDEL. Dieser hat KLÜPFEL *nirgends* zitiert.

7.5 Fazit

Geomorphologische *Prozessforschung* war BÜDEL fremd – oder er wollte sie nicht: „Die Gesetzmäßigkeiten der Reliefbildung [könne man] nicht aus von außen herangetragenen

Ordnungssystemen (auch nicht meteorologisch-klimatischen, pflanzengeographischen oder bodenkundlichen), sondern nur aus den Erscheinungen des Reliefs selbst“ ableiten (BÜDEL 1971, S. 125). Im „System der Naturwissenschaften“ arbeite die Geomorphologie „auf hochkomplexen Integrationsebenen einschließlich des Erbes genetischer Integrationssebenen“ (BÜDEL 1977; 1981, Fig. 5). BÜDELS – prozessgeomorphologische – Metaphern: die „Doppelten Einebnungsf lächen“ (BÜDEL 1957) und „Der Eisrindeneffekt als Motor der Tiefenerosion“ (BÜDEL 1969) erwecken *semantisch* dagegen den Eindruck, als hätte er die entscheidenden Prozesse der kontinentalen Reliefbildung, nämlich Tal- und Flächenbildung, auch *physikalisch* schon bis ins Detail erkannt. Darauf aufbauend operiert BÜDEL dann mit Schlussfolgerungen – und mit *Behauptungen* – als etwas Gesichertem. In seinem abgeschlossenen Denksystem spielen geomorphologische Prozesse *per se* oder als Erklärungsansätze keine Rolle mehr – es gibt nur aus den „Erscheinungen des Reliefs“ schon abgeleitete „Gesetzmäßigkeiten“. Eine ergebnisoffene, prozessorientierte Forschung war damit in der Geomorphologen-Schule um BÜDEL *a priori* ausgeschlossen.

BÜDEL ersetzte diesen Mangel durch *Semantik* und *semantische* Modellierung, teilweise auch durch *Semantizismus*. Die Einführung zahlreicher – sprachlich griffiger und einprägsamer – aber *physikalisch unnützer* neuer Termini kann man deshalb getrost als *semantischen Paroxysmus* bezeichnen – nicht diffamierend oder beleidigend, sondern ganz im Sinne des Wortschöpfers W. SALOMON-CALVI, der das „Anschwellen geologischer Ereignisse“ (geomorphologische eingeschlossen!) als „Paroxysmen“ bezeichnet hatte (SALOMON 1918, S. 8). BÜDEL, der diese Arbeit SALOMON-CALVIS erstmalig in seiner „Klima-Geomorphologie“ anführt, betreibt darin mit der „Subpolaren Zone *exzessiver* [Hervorhebung – A.S.] Talbildung“ und der „Randtropischen Zone *exzessiver* [Hervorhebung – A.S.] Flächenbildung“ (BÜDEL 1977; 1981, S. 292 und Fig. 13) ja auch *paroxysmatische* Geomorphologie – nennt die korrelierten Sedimente dieser exzessiven Abtragung aber nicht. Walther PENCK hingegen hatte immer versucht, „Abtragungsformen“ und „Sedimentation“ einschließlich deren „Fazies“ in Einklang zu bringen (z. B. W. PENCK 1923, Fig. 1 bis 3).

BÜDELS zunächst unbefangener Umgang mit dem Begriff „Felsfußfläche“ (BÜDEL 1937) entwickelte sich nach ROHDENBURGS Habilitationsschrift (1969) und der Feststellung, dass es „im Prinzip *nur einen Flächenbildungsprozeß*, nämlich den der Pedimentation“ gebe (ROHDENBURG 1970, S. 75), zunehmend zu einer *tiefemotionalen* inneren Abwehr des Pedimentbegriffes, welche dann auch seinen *sachlich-wissenschaftlichen* Umgang mit *Pedimentation* und *Pediplanation* entscheidend bestimmte. Wegen der damaligen Dominanz der BÜDELSchen „Klima-Geomorphologie“ tut sich die deutsche Geographie bis heute mit dem Verständnis von *Pedimentation* schwer. Man hatte nicht erkannt, dass die Kenntnis der *formbildenden Prozesse* die wichtigste Grundlage auch bei „klima-geomorphologischen“ Überlegungen darstellt (vgl. VANDENBERGHE 2002).

8 Reliefverebnung nach Heinrich Rohdenburg – Wiederherstellung einer physikalischen Geomorphologie in Deutschland

Heinrich ROHDENBURG (27.1.1937–27.2.1987) studierte Chemie, Botanik, Zoologie, Geographie, Bodenkunde und Geologie in Hamburg, Würzburg (1957/58 bei BÜDEL), Inns-

bruck 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 Forschergruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) „Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete unter besonderer Berücksichtigung von Substrataufbau, Relief und Nutzungsform“ ins Leben (1979–1985). Daraus entstand am 1. Jänner 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). Mit ihm verlor die Prozessgeomorphologie ihren begabtesten Protagonisten: die „Zweite Internationale Konferenz für Geomorphologie“ (Frankfurt a. M. 3.–9. September 1989) ehrte ihn mit einem eigenen Gedächtnissymposium (BORK et al. 1989). Hier soll nur auf seine wichtigsten Erkenntnisse zur Flächenbildung (*Pedimentation*, *Pediplanation*, *Panplainbildung*) eingegangen werden.

Als einer der letzten Doktoranden von Hans MORTENSEN nahm Heinrich ROHDENBURG dessen Idee von der, mit „Klimawechseln“ begründeten, „Alternierenden Abtragung“ auf (vgl. MORTENSEN 1947; 1949) und beschrieb *modellhaft* die Formentwicklung von einer „Rumpffläche i. e. S.“ über eine „Rumpffläche mit Akkordanz“ zu einem „ausgeprägten Schichtstufenrelief“ im triadischen Deckgebirge (Buntsandstein / Muschelkalk) Niedersachsens. Bei steilerem Schichtfallen sei der Stufenfirst überwiegend eine „Verschneidungsform von Vorderseiten- und Rückseitenabtragung“. Die jungquartäre Hangformung zeichne sich durch deutliche Hangversteilungen und Bildung von Konkavitäten an der Schichtgrenze so / mu (teilweise auch mu / mm) aus, was auch an den korrelaten Sedimenten nachvollziehbar ist. Bei dezidierter Berücksichtigung der verschiedenen Gesteinsresistenzen (mu und mo *versus* so und mm) wurde als Ursache für die Formentwicklung aber auch schon eine *Interferenz* von Klima und Tektonik (Erhöhung der Reliefenergie, Lage der Abflussbasis) angedeutet (s. ROHDENBURG 1965, Abb. 24 und S. 34, 49–69 und 82–83).

ROHDENBURGs Habilitationsschrift wurde zusammen mit einer – davon unabhängigen – geomorphologischen Arbeit des Göttinger Bodenkundlers Horst FÖLSTER (1930–2007) als Heft 20 der Gießener Geographischen Schriften veröffentlicht (ROHDENBURG 1969; FÖLSTER 1969), zeit- und umfanggleich aber auch als Band 10 der Göttinger Bodenkundlichen Berichte. Darin äußert sich die große Bedeutung der Bodenkunde bei der Beantwortung klimagenetisch-geomorphologischer Fragen. ROHDENBURG war nach seiner Promotion u. a. wissenschaftlicher Mitarbeiter am „Agrikulturchemischen und bodenkundlichen Institut“ der Universität Göttingen gewesen, er hatte auch schon über pedologische Themen publiziert (s. ROHDENBURG 1989, S. 179–185, „Schriftenverzeichnis H. Rohdenburg“).

In der – hervorragend – mit acht Strichzeichnungen, 43 Schwarz-Weiß-Fotografien und 18 Luftbildpaaren (zur stereographischen Betrachtung) ausgestatteten Habilitationsschrift kommt ROHDENBURG zu dem Ergebnis, dass *Pedimentation* in den semiariden Subtropen und in den wechselfeuchten Tropen zuletzt in der jüngsten Kaltzeit (Würm, Weichsel) stattgefunden hat. Die Rumpfflächen seien „Reliktformen“ und infolge Verwachsung der Pedimente „Pedi plains“. Sowohl „Rumpfstufen“ als auch „Schicht-

stufen“ sind danach „überwiegend gesteinsbedingte Sammelstufen“ mehrerer Hangpedimentations-Phasen, wobei die „Basis-Pediplain“ rascher tiefergelegt wurde als die Hochgebiete. Hoch- und tiefegelegenes Flachrelief wären „somit gleichaltrig“ (ROHDENBURG 1969, S. 61).

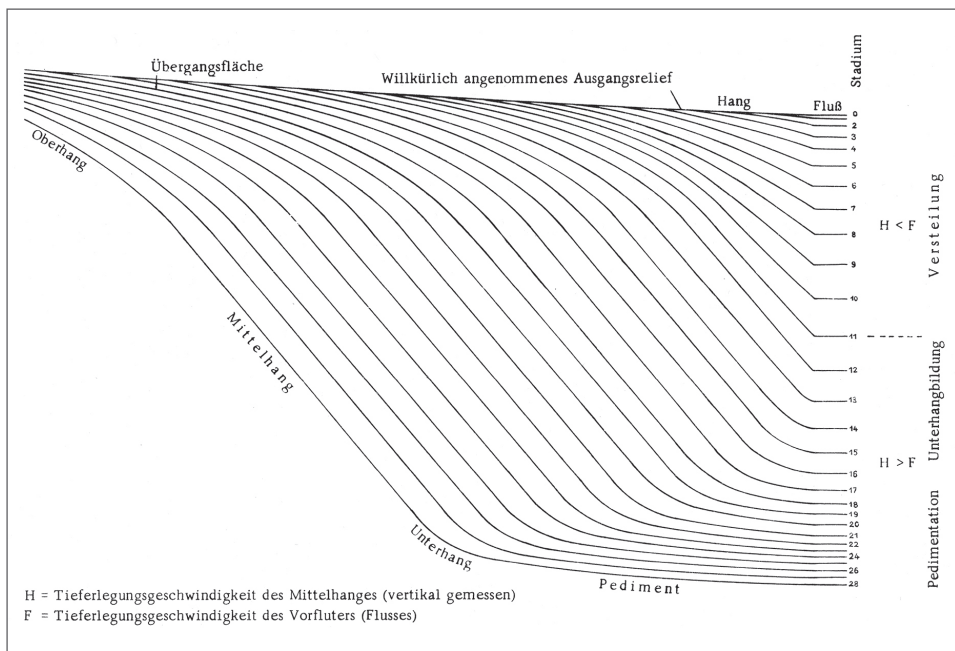
Die *Hangpedimentation*, also das besonders gut in kohäsivem Lockermaterial ablaufende „Aufwärtswandern von oft niedrigen Stufen an oft sehr flachen Hängen“ sei der entscheidende Prozess der Flächenbildung in den wechselfeuchten Tropen (ROHDENBURG 1969, S. 79). Die beiden Pedimentationsweisen: *Talbodenpedimentation* und *Hangpedimentation* erweisen sich bei einem Wechsel der Hierarchisierung des Fluss-Systems aber als *gleichartige* Prozesse: *Hangpedimente* werden zu *Talbodenpedimenten*, weil die (permanente) Zerschneidung der Pedimentationstufe durch Rinnen zur Auslastung des Abflusses und damit zur Seitenerosion in den Rinnen und am Fußpunkt der Erosion, der Stufenunterkante, führen muss, so dass die sich verbreiternden „Talausläufe“ der Rinnen eine „lateralerosive Ausgleichsflächenbildung“ darstellen (ROHDENBURG 1969, S. 79; s. auch DALCHOW 1989, S. 169–173). Das bestätigt sich auch immer wieder in hochauflösenden Experimenten (zuletzt QUIN et al. 2018, Fig. 2). Insofern ist die Aussage, dass es „im Prinzip *nur einen Flächenbildungsprozess*, nämlich den der Pedimentation“ gebe, vollauf berechtigt (ROHDENBURG 1969, S. 80; 1970, S. 75). Dieser *Pedimentations*-Prozess lässt sich auch sehr anschaulich in Böden mit unterschiedlich resistenten Horizonten nachvollziehen (ROHDENBURG 1969, Abb 32). FÖLSTER entwickelte vor diesem Hintergrund eine ausgezeichnete Bodenstratigraphie und Bodengeomorphologie im tropischen SW-Nigeria (FÖLSTER 1969), auf deren Grundlage später eine eindrucksvolle Karte der „Bodengesellschaften“ im Maßstab 1:1 000 000 des Afrika-Kartenwerks der DFG entstand (FÖLSTER 1983).

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 1970a, Abb 2). Danach ist eine „morphodynamische Stabilitätszeit“ infolge bodenschützender Vegetationsbedeckung und hoher Infiltration durch *Pedogenese* gekennzeichnet, eine „morphodynamische Aktivitätszeit“ infolge mangelnder Vegetationsbedeckung, geringer Infiltration und akzentuiertem Oberflächenabfluss dagegen durch *Geomorphogenese* (Abtragung und Aufschüttung). Diese Betrachtungsweise macht das klassische Begriffspaar „Pluvial“ und „Interpluvial“ – logischerweise – obsolet. Konkret bedeutet das auch für die heutigen feuchten Tropen, dass Hangformung einschließlich *Pedimentation* in einem nicht aktualistisch erschließbaren, aber jedenfalls deutlich trockeneren Klima stattfand. SEUFFERT visualisiert u. a. auch eine analoge Morphodynamik in „anthropogem veränderten Zustand“ unter dem Gesichtspunkt einer „räumlich und zeitlich alternierenden Belastungsregression und -progression“ der Fließwässer (SEUFFERT 1988, Abb. 7).

ROHDENBURG's Modell kann Allgemeingültigkeit beanspruchen, denn auch im Präkambrium ohne Landpflanzen gab es schon ‚Bodenschutz‘ durch Organismen (CAMPBELL 1979). Ebenso belegen *präkambrische* Pedimente (WILLIAMS 1969) diesen – universell wirksamen – *hydraulischen* Formungsprozess für die gesamte Erdgeschichte. Die spezi-

fische Resistenz von Lockergesteinen generell begünstigt sogar holozäne Flächenbildung (ROHDENBURG 1977). Auch Bodenerosion (durch Wasser) erzeugt Pedimente (BORK et al. 1998, S. 144–145).

Die folgende Abbildung 14 stellt *modellhaft* einen „Hangentwicklungszyklus“ bei Abspülung dar, in dem eine „Reliefverstärkung“ zeitlich von einer „Reliefverminderung“ abgelöst wird, und zwar, weil sich das *Verhältnis* von „Tieferlegungsgeschwindigkeit des Vorfluters (Flusses)“ zur „Tieferlegungsgeschwindigkeit des Mittelhanges (vertikal gemessen)“ *während* der Hangformung selbst ändert – deshalb von ROHDENBURG auch „VERSTEILUNGS-PEDIMENTATIONS-ZYKLUS“ genannt (ROHDENBURG 1971, Abb. 1 und S. 3–7; s. hier Abb. 14).



Quelle: aus ROHDENBURG 1971, Abb 1 (unverändert)

Abb. 14: Der „Versteilungs-Pedimentations-Zyklus“ nach ROHDENBURG

Die Teilung in zwei – antagonistische – Formungsweisen erklärt sich daraus, dass die – infolge der Erhöhung der Abflussmenge – zunehmende Versteilung des „Mittelhanges“ (Stadium 1–11) einen Punkt erreicht, an dem dessen eigene *vertikale* Tiefenerlegungsgeschwindigkeit gleich bzw. größer wird als die des Vorfluters ($H < F \rightarrow H = F \rightarrow H > F$): es kommt zu einer *abtragungsbedingten* Gefällsverminderung und zur Ausbildung eines konkaven Längsprofils. Die damit verbundene Belastungsprogression verringert die Schleppkraft, erhöht die Abflussdivergenz und führt zu Seitenerosion (s. oben: „lateralerosive Ausgleichsflächenbildung“ sowie ROHDENBURG 1983, S. 397). Geomorpho-

logisches Ergebnis ist die Ausbildung eines „Unterhanges“ und eines „Pedimentes“ bei gleichzeitig starker Versteilung des „Mittelhanges“ und schwächerer des „Oberhanges“ (s. hier Abb. 14).

Dieses Hangentwicklungsmodell zeigt, dass bei reiner Abspülung (strömender Abfluss) im Unterscheid zu WURM (s. hier Kapitel 6) auch ein „Mittelhang“ entsteht und dieser – abtragungsbedingt – stärker versteilt wird als der „Oberhang“, wenn die – vertikale – „Tieferlegungsgeschwindigkeit“ der Abflussbasis kleiner ist als die des Mittelhanges. Den innerhalb des Hanges differenzierenden Prozess der Versteilung charakterisiert ROHDENBURG begrifflich als „authigen“, weil er alle Einflüsse der oberen – gleichartig wirkenden – Randbedingung für die Hangformung subsummiert. Die „basigene“ Hangformung als Ausdruck der Einflüsse der unteren Randbedingung kann dagegen unterschiedlich wirken, je nach Verhalten der Abflussbasis: Eintiefung, Aufhöhung oder Gleichbleiben (s. ROHDENBURG 1989, S. 34).

Eine Pediplain entstehe durch *Pedimentation* (Pedimentausweitung) und *Pediplanation* (Pedimentverschmelzung), sie stelle aber „keine Ruheform“ dar (ROHDENBURG 1971, S. 6). Und die Panplain vertritt nach ROHDENBURG den „Endrumpf“, nicht aber den – tektogenetisch unwahrscheinlichen – „Primärrumpf“ von W. PENCK (1924), sie sei „das Endstadium der Reliefentwicklung bei geringer oder fehlender Eintiefung der Erosionsbasis in allen Klimazonen“ oder eine „glatte, einheitliche (Schräg-)Fläche = riesiges Pediment“ und sie könne „in der Hierarchie der Oberflächenformen ein übergeordnetes Klassifikationsniveau kennzeichnen“ (ROHDENBURG 1983, S. 417–420). Mit einer Panplain wäre das Ende der Formbildung erreicht, nicht dagegen das der Abtragung (vgl. MORTENSEN 1963).

Die Terminologie ROHDENBURGs führt noch zwei neue Begriffe, die einer kurzen Erläuterung bedürfen, nämlich die Termini „Dislokationsüberschuss“ und „Dislokationsschwellenwert“ (s. ROHDENBURG 1971, S. 103 und 1989, S. 143). Der aus der Geologie stammende Begriff Dislokation für jedwede Lagerungsveränderung des *Gesteins* (bes. Tektonik) wurde von ROHDENBURG *semantisch* auf die Lageveränderung der *Abflussbasis* übertragen: sie bestimmt das Gefälle als treibende Kraft für alle „Gravitationsströme“ (s. W. PENCK 1924). Diese wiederum beseitigen den „Überschuss“ an höheren Reliefteilen, weil das „Endziel der Erosion und Denudation“ die Einebnung (Rumpfflächenbildung) ist (s. A. PENCK 1889). Die Abflussbasis kann sich auf verschiedene Art und Weise ändern: Tektonik, Eustasie, Aufhöhung durch Sedimentation, endorheische Entwässerung in Trockengebieten etc., letztlich ist sie mit der jeweils wirksamen *Reliefenergie* identisch. Der erst 1989 eingeführte Begriff „Dislokationsschwellenwert“ korreliert *semantisch* eng mit dem „Dislokationsüberschuss“, weil letzterer die potenzielle „Stoßkraft“ (s. A. PENCK 1889, S. 92) des fließenden Wassers kennzeichnet, ersterer dagegen den potenziellen „Widerstand“ des Untergrundes gegenüber der *jeweils entsprechenden* „Stoßkraft“ des Wassers. Und „Schwellenwert“ deshalb, weil Lockersubstrate, in denen Abtragung überwiegend stattfindet, einen verwitterungs- bzw. körnungsbedingten und mit dem Wassergehalt *veränderlichen* Scherwiderstand (Scherfestigkeit, Scherspannung) besitzen, so dass die Schubkraft („Stoßkraft“) des Oberflächenabflusses jeweils auch *unterschiedliche* bzw. *sich verändernde* Resistenzen überwinden muss. Daher erfolgen Abflusskonzentration und Einschneidung (Talbildung) in Grobmaterial mit höherer Resistenz

schon bei geringem Dislokationsüberschuss, in Feinmaterial dagegen erst bei höheren Dislokationsüberschüssen, vorher dominieren hier Rinnenspülung und Flächenbildung (ROHDENBURG 1989, S. 133).

Abschließend sei noch auf Folgendes hingewiesen. Dem Nachruf ist zu entnehmen, dass ROHDENBURG die Konfrontation mit BÜDEL „als starke persönliche Belastung empfunden [hat], da er seinem Wesen nach alles andere als ein Provokateur oder Revolutionär war“ (STINGL 1989, S. 3 [Seitennummer von A. S.]). Und sein – erstmals in der 3. (unveränderten) Auflage der „Einführung in die Klimagenetische Geomorphologie“ veröffentlichter – Brief (dreieinhalb Seiten) vom 30. Mai 1970 an Julius BÜDEL drückte schon die Befürchtung einer heraufziehenden Konfrontation mit dessen Lehrmeinung aus: „In der Hoffnung, daß Sie die Diskussionsbemerkungen in meiner Arbeit [Habilitationsschrift 1969 – A.S.] und in diesem Brief als offene und faire und wissenschaftliche Auseinandersetzung anerkennen können, verbleibe ich Mit besten Grüßen Ihr H. R. [Initialen handschriftlich – A.S.]“ (siehe Vorwort von Margot Rohdenburg in ROHDENBURG 2006). Auch dies kennzeichnet die damals sehr angespannte Situation in der deutschen Geographie und Geomorphologie.

9 Schlussbetrachtung

Während die deutsche, aber auch die internationale Geologie in der Vergangenheit versuchte, die Formbildung der Erdoberfläche stets auf *naturwissenschaftlicher* Basis zu klären, kam es in der deutschen Geographie zu einem *Kontinuitätsbruch* dieses Denkens und damit letztlich zu einem ‚Schisma‘, weil man wegen der angeblichen Komplexität der Formengenesse offensichtlich glaubte, dieses ‚Problem‘ nur mit *semantischer* Modellierung angehen zu können. Wie sehr *semantische* Modelle Eingang in die deutsche Geomorphologie (und Geographie) gefunden hatten, zeigt Jürgen HÖVERMANNs (Jg. 1922) Definition der Oberflächenformen, „deren Rohform tektonisch bestimmt, deren Großform strukturell klassifiziert und deren Stil klimatisch gebunden“ seien (HÖVERMANN 1965, S. 19). Auch die Oberflächenformung durch Abspülung wurde damit jetzt *a priori* und *prozessual* jeweils einem bestimmten (wohl noch zu definierenden?) Klimaregime unterworfen – und nicht zuerst *hydraulisch* begründet. Beides (Klima und *hydraulischer* Formungsprozess) ist aber nicht das Gleiche, und über die Formung selbst sagt diese *Semantik* gar nichts.

Semantische Modellierungen sind selbstverständlich möglich und erlaubt. Sie können das Verständnis ja durchaus fördern oder sogar erst ermöglichen, aber in einer naturwissenschaftlichen Wissenschaftsdisziplin wie der Geomorphologie, die man auch als eine Art *angewandter Physik* betrachten kann, muss sich die *Semantik* stets an den *physikalisch-geomorphologischen* Erkenntnisfortschritt anpassen, will sie das Verständnis erweitern. Es verwundert zutiefst, dass die – *klimatisch orientierte* – Geomorphologie (und Geographie insgesamt) in Deutschland diesen Weg ausschlug und ihre *Semantik* eine eigene, mehr philologisch-philosophische Dynamik entwickelte. Dabei hatte Hans MORTENSEN, der neben Geographie auch Meteorologie, Physik und Mathematik studierte, für die Realisierung einer klimatischen Geomorphologie als ersten Grundsatz formuliert:

„Der Mechanismus des Formungsvorganges selbst ist zu analysieren, um seine Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Erst dann ist zu prüfen, ob und unter welchen speziellen Klimabedingungen dieser Formungsvorgang zu dominierender Wirkung kommen und die Oberflächenform bestimmen kann“ – so das MORTENSEN-Zitat in HÖVERMANNs Nachruf (HÖVERMANN 1965, S. 13).

Will man das *Klima* zum obersten Formungsprinzip erheben, wie es in der deutschen Geographie teilweise immer noch geschieht, muss man auch sog. „Morphoklimate“ (AHNERT 2015, S. 42–45) ausweisen (können) bzw. eine *Morphoklimatologie* entwickeln, um diese dann gegebenenfalls mit wesentlichen und gut untersuchten Formungsprozessen („Mechanismen“) zu korrelieren. SEUFFERT hat erstmalig „Ein Schema zur Korrelation von Klima und Morphodynamik“ theoretisch begründet (SEUFFERT 1976, S. 82–124). Und dem MENSCHING-Schüler Klaus GIESSNER (Jg. 1938) gelang durch Auswertung einer Klima- und Gewässerstatistik ein interessanter – *hydrologisch-geomorphologischer* – Geländeversuch bei hoher Niederschlagsvariabilität (GIESSNER 1977). Die Fokussierung auf *Pedimentation* als „einfachem und robustem“ Vorgang der *Hangabflachung* (vgl. GOSSMANN 1970, S. 6) kann sich jedoch auf das *Gefälle* und die *Substratresistenz* (einschl. Bodenbedeckung) als die entscheidenden Steuerungsfaktoren beschränken.

10 Literaturverzeichnis

- AHNERT F. (2015): Einführung in die Geomorphologie. Stuttgart: Ulmer.
- BAIER A. (1998): Zur Geschichte, Geologie und Hydrologie des Burgberges zu Nürnberg. In: Geologische Blätter für Nordost-Bayern und angrenzende Gebiete, 48 (4), S. 277–300.
- BAUMHAUER R. (2006): Geomorphologie. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- BLUME H. (1991): Das Relief der Erde. Ein Bildatlas. Stuttgart: Enke.
- 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/Königslutter, August 30 – September 2, 1989. Abstracts and Excursion Guide. In: Landschaftsgenese und Landschaftsökologie, 16, S. 1–175.
- BORK H.-R., BORK H., DALCHOW C., FAUST B., PIORR H.-P., SCHATZ T. (1998): Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften. Gotha / Stuttgart: Klett & Perthes.
- BREMER H. (1983): Albrecht Penck (1858–1945) and Walt[h]er Penck (1888–1923), Two German Geomorphologists. In: Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, 27, S. 129–138.
- BREMER H. (2004): Relief Generation. In: GOUDIE A. S. (Hrsg.): Encyclopedia of Geomorphology. Volume 2 (J–Z). London / New York: Routledge, S. 842–843.
- BRYAN K. (1922): Erosion and Sedimentation in the Papago Country, Arizona, with a Sketch of the Geology. In: United States Geological Survey Bulletin, 730-B, S. 19–90.
- BRYAN K. (1925): The Papago Country, Arizona. A Geographic, Geologic, and Hydrologic Reconnaissance with a Guide to Desert Watering Places. In: United States Geological Survey, Water-Supply Paper, 499, S. 1–436.
- BRYAN K. (1936): Processes of Formation of Pediments at Granite Gap, New Mexico. In: Zeitschrift für Geomorphologie, 9, S. 125–135.

- BRYAN K. (1940): The Retreat of Slopes. In: VON ENGELN, O. D. (Hrsg.): Symposium: Walther Penck's Contribution to Geomorphology. In: *Annals of the Association of American Geographers*, 30 (4), S. 254–268.
- BÜDEL J. (1928): Morphologie des Piesting- und Sierninggebietes in Niederösterreich. Dissertation, Philosophische Fakultät der Universität Wien.
- BÜDEL J. (1937): Eiszeitliche und rezente Verwitterung und Abtragung im ehemals nicht vereisten Teil Mitteleuropas. Gotha: Justus Perthes (= Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft 229).
- BÜDEL J. (1950): Das System der klimatischen Morphologie. In: *Beiträge zur Geomorphologie der Klimazonen und Vorzeitklimata*, V; Deutscher Geographentag München 1948, S. 65–100 (= *Verhandlungen des Deutschen Geographentages*, 27).
- BÜDEL J. (1957): Die „Doppelten Einebnungsflächen“ in den feuchten Tropen. In: *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, 1, S. 201–228.
- BÜDEL J. (1957a): Grundzüge der klimamorphologischen Entwicklung Frankens. In: *Würzburger Geographische Arbeiten*, 4/5, S. 5–46 (= *Festschrift zum 31. Deutschen Geographentag in Würzburg* 29. Juli bis 3. August 1957).
- BÜDEL J. (1965): Die Relieftypen der Flächenspülzone Süd-Indiens am Ostabfall Dekans gegen Madras. In: *Colloquium Geographicum*, 8, S. 1–100.
- BÜDEL J. (1966): Bildung von Rumpfflächen und Talrelieftypen in der Flächenspülzone Südindiens. In: *Tagungsberichte und wissenschaftliche Abhandlungen des Deutschen Geographentages Bochum* 8. bis 11. Juni 1965, S. 293–322.
- BÜDEL J. (1966a): Die Einflüsse des Grundwassers auf die Reliefbildung im semiariden Süd-Indien. In: *Nova Acta Leopoldina, Neue Folge*, 31 (176), S. 107–129.
- BÜDEL J. (1969): Der Eisrinden-Effekt als Motor der Tiefenerosion in der exzessiven Talbildungszone. In: *Würzburger Geographische Arbeiten*, 25, S. 1–41.
- BÜDEL J. (1970): Das geomorphologische Problem der Hangentwicklung. In: *Würzburger Geographische Arbeiten*, 31, S. 1–5 (= *Vorwort zu Dissertation von H. GOSSMANN* 1970).
- BÜDEL J. (1970a): Pedimente, Rumpfflächen und Rückland-Steilhänge, deren aktive und passive Rückverlegung in verschiedenen Klimaten. In: *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, 14, S. 1–57.
- BÜDEL J. (1971): Das natürliche System der Geomorphologie mit kritischen Gängen zum Formenschatz der Tropen. In: *Würzburger Geographische Arbeiten*, 34, S. 1–152.
- BÜDEL J. (1971a): Die Unterschiede zwischen Rumpfflächen und Fels-Fußflächen (Pedimenten) nach den erzeugenden Mechanismen und deren genetischer Abfolge. In: *Kölner Geographische Arbeiten, Sonderband: Forschungen zur Allgemeinen und Regionalen Geographie. Festschrift für Kurt Kayser zur Vollendung des 65. Lebensjahres*, S. 1–44.
- BÜDEL J. (1977; 1981): *Klima-Geomorphologie*. Berlin / Stuttgart: Gebrüder Borntraeger (1. Aufl. 1977, 2. Aufl. 1981).
- BÜDEL J. (1980): Climatic and Climatomorphic Geomorphology. In: HAGEDORN H., THOMAS M., BUSCHE D. (Hrsg.): *Perspectives in Geomorphology. Papers from the First British-German Symposium on Geomorphology. University of Würzburg 24th–29th September 1979*. In: *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband* 36, S. 1–8.
- BÜDEL J. (1986): Tropische Relieftypen Süd-Indiens (aus dem Nachlass bearbeitet und herausgegeben von Detlef BUSCHE). In: *Relief, Boden, Paläoklima*, 4, S. 1–84.
- BUSCHE D. (1973): Untersuchungen zur Pedimententwicklung im Tibesti-Gebirge (République du Tschad). In: *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband* 15, S. 21–38.
- BUSCHE D., KEMPF J., STENDEL I. (2005): *Landschaftsformen der Erde. Bildatlas der Geomorphologie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

- CAMPBELL S. E. (1979): Soil Stabilization by a Prokaryotic Desert Crust: Implications for Precambrian Land Biota. In: *Origins of Life*, 9, S. 335–348.
- CRICKMAY C. H. (1933): The Later Stages of the Cycle of Erosion. Some Weaknesses in the Theory of the Cycle of Erosion. In: *Geological Magazine*, 70, S. 337–347.
- DALCHOW C. (1989): Vorlesungsauswertungen Heinrich Rohdenburg: Geoökologie – Geomorphologie. Cremlingen / Destedt: Catena Verlag.
- DAVIS W. M. (1932): Piedmont Benchlands and Primärrümpfe. In: *Bulletin of the Geological Society of America.*, 43, S. 399–440.
- DIETRICH B. (1911): Entstehung und Umbildung von Flussterrassen. In: *Geologische Rundschau*, 2, S. 445–454.
- EGGELSMANN R. (1967): Oberflächengefälle und Abflussregime der Hochmoore. In: *Wasser und Boden*, 19, S. 247–252.
- FÖLSTER H. (1964): Morphogenese der südsudanesischen Pediplane. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, Neue Folge, 8, S. 393–423.
- FÖLSTER H. (1969): Slope Development in SW-Nigeria During Late Pleistocene and Holocene. In: *Giessener Geographische Schriften*, 20, S. 3–56 und in: *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 10, S. 3–56.
- FÖLSTER H. (1983): Bodenkunde – Westafrika (Nigeria, Kamerun) 4° – 8° N, 3° 15' – 9° 30' E. Bodengesellschaften. Berlin / Stuttgart: Gebrüder Borntraeger (= Afrika-Kartenwerk, Serie W: Beiheft zu Blatt 4) .
- GARLEFF K., LEONTARIS S. N. (1971): Jungquartäre Taleintiefung und Flächenbildung am Wilse der Berg (Lüneburger Heide). In: *Eiszeitalter und Gegenwart*, 22, S. 148–155.
- GIESSNER K. (1977): Hydrometrische Erosionsbestimmung und morphodynamische Prozessanalyse in Nordafrika. Ein Beitrag zur aktual-geomorphologischen Aussagekraft von Hydrogramm-Analysen. In: *Geomethodica*, 2, S. 46–80.
- GOSSMANN H. (1970): Theorien zur Hangentwicklung in verschiedenen Klimazonen. Mathematische Hangmodelle und ihre Beziehung zu den Abtragungsvorgängen. In: *Würzburger Geographische Arbeiten*, 31, S. 5–146.
- HEIM A. (1927): Die Gipffeltur der Alpen. In: *Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 129. Stück, S. 1–25.
- HERGARTEN S., NEUGEBAUER H. J. (1996): A Physical Statistical Approach to Erosion. In: *Geologische Rundschau*, 85, S. 65–70.
- HOFBAUER G. (2017): Erdkrusten-Anhebung unter Nürnberg und die Entstehung des Nürnberger Beckens. In: *Natur und Mensch, Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg, Jahresmitteilungen 2016*, S. 61–78.
- HORMANN K. (1965): Das Längsprofil der Flüsse. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, Neue Folge, 9, S. 437–456.
- HORSTIG G. v. (1970): Nachruf auf Adolf Wurm 1886–1968. In: *Geologica Bavarica*, 63, S. 30–38.
- HÖVERMANN J. (1965): 40 Jahre moderne Geomorphologie. In: *Göttinger Geographische Abhandlungen*, 34 (Hans-Mortensen-Gedenksitzung), S. 11–19.
- JESSEN O. (1938): Tertiärklima und Mittelgebirgsmorphologie. In: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 1938 (1/2), S. 36–49.
- JIRKA G. H., LANG C. (2009): Einführung in die Gerinnehydraulik. Karlsruhe: Universitätsverlag.
- JOHNSON D. (1932): Miniature Rock Fans and Pediments. In: *Science*, 76 (1980), S. 546.
- KIRCHBERGER M. (1919): Der Nordwestabfall des Rheinischen Schiefergebirges zwischen der Reichsgrenze und dem Rurtalgraben. In: *Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins der Preussischen Rheinlande und Westfalens*, 74 (1917), S. 1–102.

- KIRCHNER H. (1920): Eigenartige Verwitterungsformen. In: *Natur*, 11, S. 201–205.
- KLÜPFEL W. (1926): Über Reliefmorphogenie und zyklische Landschaftsgenerationen. In: *Geologische Rundschau*, 17, S. 401–417.
- KLÜPFEL W. (1930): Die Bedeutung der Reliefgenerationen für die Vulkangebiete (Westerwald, Vogelsberg, Habichtswald, Hegau, Böhmisches Mittelgebirge). In: *Geologische Rundschau*, 21, S. 151–162.
- KRAUS E. (1923): Die Bodenkunde als Methode in der Morphologie. In: *Petermanns Mitteilungen*, 69, S. 1–6.
- LANGHAMMER H.-A., BRUNNACKER K. (1986): Das Quartär im Nürnberger Becken. In: *Geologica Bavarica*, 89, S. 229–234.
- LEIS H. (1931): Beiträge zur Morphologie des Nürnberger Beckens. Dissertation, Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Erlangen.
- LEONARD R. J. (1927): Pedestal Rocks Resulting from Desintegration. In: *Journal of Geology*, 35, S. 469–474.
- LEYDEN F. (1924): Grundfragen alpiner Formenkunde. In: *Geologische Rundschau*, 15, S. 193–215.
- MCGEE W. J. (1897): Sheetflood Erosion. In: *Bulletin of the Geological Society of America*, 8, S. 87–112.
- MATTSON S. (1938): The Constitution of the Pedosphere. In: *Lantbrukshögskolans Annaler (= The Annals of the Agricultural College of Sweden)*, 5, S. 261–276.
- MENSCHING H. (1969): Bergfußflächen und das System der Flächenbildung in den ariden Subtropen und Tropen. In: *Geologische Rundschau*, 58, S. 62–82.
- MENSCHING H. (1970): Flächenbildung in der Sudan- und Sahel-Zone (Ober-Volta und Niger). Beobachtungen zum arid-morphodynamischen System und zur Morphogenese in den Randtropen Westafrikas. In: MENSCHING H. (Hrsg.): *Piedmont Plains and Sand-Formations in Arid and Humid Tropic and Subtropic Regions*. Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband 10, S. 1–27.
- MENSCHING H. (1973): Pediment und Glacis, ihre Morphogenese und Einordnung in das System der klimatischen Geomorphologie aufgrund von Beobachtungen im Trockengebiet Nordamerikas (USA und Nordmexiko). In: *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband 17*, S. 133–155.
- MENSCHING H. (1978): Inselberge, Pedimente und Rumpfflächen im Sudan (Republik). Ein Beitrag zur morphogenetischen Sequenz in den ariden Subtropen und Tropen Afrikas. In: *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband 30*, S. 1–19.
- MORTENSEN H. (1927): Der Formenschatz der nordchilenischen Wüste. Ein Beitrag zum Gesetz der Wüstenbildung. In: *Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, Neue Folge*, 12 (1), S. 1–191.
- MORTENSEN H. (1929): Inselberglandschaften in Nordchile. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, 4, S. 123–138.
- MORTENSEN H. (1947): Alternierende Abtragung. In: *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 2, S. 27–30.
- MORTENSEN H. (1949): Rumpffläche – Stufenlandschaft – Alternierende Abtragung. In: *Petermanns Mitteilungen*, 93, S. 1–14.
- MORTENSEN H. (1963): Abtragung und Formung. In: *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 1963 (3), S. 17–27.
- MURAWSKI H., MEYER W. (2010): *Geologisches Wörterbuch*. Heidelberg: Spektrum / Akademie Verlag.
- NESTROY O., ULONSKA H.-J. (2018): Erstmalige Verleihung der Emil-Ramann-Medaille an einen Bodenkundlichen aus Österreich. In: STAHR K. (Hrsg.): *Zur Geschichte der Bodenkunde im 20. Jahrhundert*. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, 121, S. 75–78.

- OBERLANDER T. M. (1988): Rezension von „Climatic Geomorphology. By Julius Büdel. Translated by Leonore FISCHER and Detlef BUSCHE. Princeton, N. J.: Princeton Univ. Press, 1982“. In: *Quaternary Research*, 30, S. 107–109.
- PENCK A. (1887): Ueber Denudation der Erdoberfläche. In: *Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien*, 27, S. 431–457.
- PENCK A. (1889): Das Endziel der Erosion und Denudation. In: KOLLM, G. (Hrsg.): *Verhandlungen des achten Deutschen Geographentages zu Berlin am 24., 25. und 26. April 1889*, S. 91–100.
- PENCK A. (1919): Die Gipfflur der Alpen. In: *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, Jahrgang 1919, Erster Halbband, Januar bis Juni, S. 256–268.
- PENCK A. (1924): Morphologische Analyse. In: *Deutsche Literaturzeitung*, Neue Folge, 1, S. 1710–1719.
- PENCK A. (1924a): Vorwort. In: PENCK, W. (1924), *Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie*. In: *Geographische Abhandlungen*, Zweite Reihe, Heft 2, S. 7–18.
- PENCK A. (1935): Die Fußfläche der Alpen in Oberbayern. In: *Geografiska Annaler*, 17, Supplement: *Hyllningsskrift Tillgnad Sven Hedin*, S. 641–653.
- PENCK W. (1920): Der Südrand der Puna de Atacama (NW-Argentinien). Ein Beitrag zur Kenntnis des andinen Gebirgstypus und zu der Frage der Gebirgsbildung. In: *Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 37, S. 1–420.
- PENCK W. (1920a): Wesen und Grundlagen der morphologischen Analyse. In: *Berichte über die Verhandlungen der Sächsischen Akademie d. Wissenschaften, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 72, S. 65–102.
- PENCK W. (1922): Morphologische Analyse. In: *Verhandlungen Deutscher Geographentag zu Leipzig vom 17. bis 19. Mai 1921*, S. 122–132.
- PENCK W. (1923): Über die Form andiner Krustenbewegungen und ihre Beziehungen zur Sedimentation. In: *Geologische Rundschau*, 14, S. 301–315.
- PENCK W. (1924): Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. In: *Geographische Abhandlungen*, Zweite Reihe, Heft 2, S. 19–283.
- PENCK W. (1925): Die Piedmontflächen des südlichen Schwarzwaldes. In: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 60 (3/4), S. 83–103 [nach einem Vortrag am 13. und 20. Dezember 1921 im geologischen Kolloquium der Universität Leipzig].
- PENCK W. (1953; 1972): *Morphological Analysis of Landforms. A Contribution to Physical Geology*. Translated by Hella CZECH and Katherine COMING BOSWELL. Erstauflage 1953: London: MacMillan; Nachdruck 1972: New York: Hafner Publishing Co.
- PHILIPPSON A. (1898): Die Entstehung der Flußsysteme. In: *Glückauf*, 34, S. 545–552.
- PHILIPPSON A. (1924): *Grundzüge der Allgemeinen Geographie*. II. Band, 2. Hälfte Morphologie (Schluß). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft.
- PRICE W. A. (1947): Geomorphology of Depositional Surfaces. In: *Bulletin of the Geological Society of America*, 31, S. 1784–1800.
- QUIN C., ZHENG F, ZHANG X. J, XU X, LIU G. (2018): A Simulation of Rill Bed Incision Processes in Upland Concentrated Flows. In: *Catena*, 165, S. 310–319.
- RAMANN E. (1905): *Bodenkunde*. Berlin: Springer.
- RAMANN E. (1918): *Bodenbildung und Bodeneinteilung (System der Böden)*. Berlin: Springer.
- RAMANN E. (1928): *The Evolution and Classification of Soils*. Translated by C. L. WHITTLES. Cambridge: Heffer.
- ROHDENBURG H. (1965): Die Muschelkalk-Schichtstufe am Ostrand des Sollings und Bramwaldes. Eine morphogenetische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung der jungquartären Hangformung. In: *Göttinger Geographische Abhandlungen*, 33, S. 1–91.

- 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. In: *Giessener Geographische Schriften*, 20, S. 57–152 und in: *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 10, S. 57–152.
- ROHDENBURG H. (1970): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen. In: *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, 14, S. 58–78.
- ROHDENBURG H. (1970a): Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. In: *Eiszeitalter und Gegenwart*, 21, S. 85–96.
- ROHDENBURG H. (1971; 2006): Einführung in die klimagenetische Geomorphologie anhand eines Systems von Modellvorstellungen am Beispiel des fluvialen Abtragungsreliefs. 1. Auflage 1971: Gießen: Lenz-Verlag; 3. Auflage 2006: Nachdruck mit einem Vorwort von Margot ROHDENBURG, Reiskirchen. Catena Verlag.
- ROHDENBURG H. (1977): Beispiele für holozäne Flächenbildung in Nord- und Westafrika. In: *Catena*, 4 (1/2), S. 65–109.
- ROHDENBURG H. (1983): Beiträge zur allgemeinen Geomorphologie der Tropen und Subtropen. Geomorphodynamik und Vegetation, klimazyklische Sedimentation, Panplain/Pediplain – Pediment – Terrassen – Treppen. In: *Catena*, 10 (1/2), S. 393–438.
- ROHDENBURG H. (1989): Landschaftsökologie – Geomorphologie [Aus dem Manuskript bearbeitet und herausgegeben von Margot ROHDENBURG]. Cremlingen / Destedt: Catena Verlag.
- RUHE R. V. (1956): Landscape Evolution in the High Ituri Belgian Kongo. In: *Publications de l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge (I.N.É.A.C.), Série scientifique*, 66, S. 1–108.
- RUHE R. V. (1975): *Geomorphology. Geomorphic Processes and Surficial Geology*. Boston: Houghton Mifflin.
- SALOMON W. (1918): Tote Landschaften und der Gang der Erdgeschichte. In: *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, A.1, S. 1–10.
- SCHAD, P., REHFUESS K. E. (2012): Emil Ramann – Begründer der Bodenkunde als eigenständige Wissenschaft. In: BLUME H.-P., HORN R. (Hrsg.): *Persönlichkeiten der Bodenkunde III. Vorträge der Arbeitsgruppe Geschichte der Bodenkunde im Rahmen der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft im September 2011 in Berlin. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 95, S. 45–57.
- SCHREPFER H. (1933): Inselberge in Lappland und Neufundland. In: *Geologische Rundschau*, 24, S. 137–143.
- SEUFFERT O. (1969): Klimatische und nichtklimatische Faktoren der Fußflächenentwicklung im Bereich der Gebirgsvorländer und Grabenregionen Sardinien. In: *Geologische Rundschau*, 58, S. 98–110.
- SEUFFERT O. (1976): Formungsstile im Relief der Erde. Programmierung, Prozesse und Produkte der Morphodynamik im Abtragungsbereich. In: *Braunschweiger Geographische Studien, Sonderheft 1*, S. 1–171.
- SEUFFERT O. (1988): Das aktuelle Formungsspektrum im semiariden Südindien und seine geoökologisch/anthropogenen Grundlagen. In: HAGEDORN J., MENSCHING H. (Hrsg.): *Aktuelle Morphodynamik und Morphogenese in den semiariden Randtropen und Subtropen*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, S. 181–212.
- SEUFFERT O. (2005): Formungsstile im Relief der Erde. Programmierung, Prozesse und Produkte der Morphodynamik im Abtragungsbereich. In: *Geoökotext*, 1, S. 1–140.

- SIMONS M. (1962): The Morphological Analysis of Landforms: A New Review of the Work of Walther Penck (1888–1923). In: Transactions of the Institute of British Geographers, 31, S. 1–14.
- SKOWRONEK A. (1985): Zur Morpho- und Pedostratigraphie der zentralen Sahara. In: Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband 56, S. 60–87.
- SKOWRONEK A. (2010): Julius Büdel und die Klima-Geomorphologie. In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, 152, S. 87–129.
- SKOWRONEK A., MURTI R. N. (2005): Bodengenese und Bodenvergesellschaftung in einem Inselberg-Pediment-Pediplainrelief bei Kolar/Südindien. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 107, S. 407–408.
- STINGL H. (1989): In memoriam Heiner Rohdenburg. In: ROHDENBURG, H. (1989): Landschaftsökologie – Geomorphologie [Aus dem Manuskript bearbeitet und herausgegeben von Margot ROHDENBURG]. Cremlingen / Destedt: Catena Verlag, 8 S.
- TROLL C. (1957): Tiefenerosion, Seitenerosion und Akkumulation der Flüsse im fluvioglazialen und periglazialen Bereich. In: Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft 262, S. 213–226.
- TROLL C. (1969): Inhalt, Probleme und Methoden geomorphologischer Forschung (mit besonderer Berücksichtigung der klimatischen Fragestellung). In: Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, 80, S. 225–257.
- TUAN YI-FU (1957): The Misleading Antithesis of Penckian and Davisian Concepts of Slope Retreat in Waning Development. In: Proceedings of the Indiana Academy of Science, 67, S. 212–214.
- VANDENBERGHE J. (2002): ‘Climatic Geomorphology’ under Fire? In: Terra Nostra 2002: DEUQUA-Tagung 2002, S. 382–385.
- VANDENBERGHE J., KASSE K. (1993): Cryopedimentation on Soft-Sediment Subsoils. In: Würzburger Geographische Arbeiten, 87 (Festschrift für Horst Hagedorn), S. 283–297.
- VANDENBERGHE J., CZUDEK T. (2008): Pleistocene Cryopediments on Variable Terrain. In: Permafrost and Periglacial Processes, 19, S. 71–83.
- WAIBEL L. (1928): Die Inselberglandschaft von Arizona und Sonora. In: HAUSHOFER A. (Hrsg.): Sonderband zur Hundertjahrfeier der Gesellschaft. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1828–1928, S. 68–91.
- WEICKEN H.-M. (1982): Untersuchungen zur mittel- und jungpleistozänen Talgeschichte der Rednitz. Aufgrund von Beobachtungen im Raum Erlangen. In: Erlanger Geographische Arbeiten, 42, S. 1–121.
- WEISE O. R. (1970): Zur Morphodynamik der Pediplanation mit Beispielen aus Iran. In: MENSCHING H. (Hrsg.): Piedmont Plains and Sand-Formations in Arid and Humid Tropic and Subtropic Regions. Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband 10, S. 64–87.
- WEISE O. R. (1983): Das Periglazial. Geomorphologie und Klima in gletscherfreien, kalten Regionen. Berlin / Stuttgart: Borntraeger.
- WIEGAND G. (1970): Zur Entstehung der Oberflächenformen in der westlichen und zentralen Türkei – zugleich ein Beitrag zur Hangentwicklung und Pediplanation. In: Würzburger Geographische Arbeiten, 30, S. 1–97.
- WIEGAND G. (1972): Hydrodynamische Formbildungsvorgänge in Kleinasien. In: Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Supplementband 15, S. 55–65.
- WILLIAMS G. E. (1969): Characteristics and Origin of a Precambrian Pediment. In: Journal of Geology, 77, S. 183–207.
- WIRTHMANN A. (1987; 1994): Geomorphologie der Tropen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (= Erträge der Forschung, 248).

- WISSMANN H. v. (1951): Über seitliche Erosion. Beiträge zu ihrer Beobachtung, Theorie und Systematik im Gesamthaushalt fluviatiler Formenbildung. In: *Colloquium Geographicum*, 1, S. 1–71.
- WURM A. (1935/36): Morphologische Analyse und Experiment: Schichtstufenlandschaft. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, 9, S. 1–24.
- WURM A. (1935/36a): Morphologische Analyse und Experiment: Hangentwicklung, Einebnung, Piedmonttreppen. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, 9, S. 57–87.
- WURM A. (1938): Großformen der Landschaft. Rumpfflächen, Rumpfflächentrepfen, Schichtstufenlandschaften. In: *Geologische Jahresberichte*, 1, S. 283–293.
- WURM A. (1950): Wilhelm Salomon-Calvi. In: *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 102, S. 141–146.
- ZEPP H. (2017): *Geomorphologie. Eine Einführung*. Paderborn: Schöningh.