

RAMPENSTUFEN UND SCHUTTRAMPEN ALS ABTRAGUNGSFORMEN IN ARIDEN SCHICHTSTUFENLANDSCHAFTEN

Mit 4 Abbildungen und 4 Photos

HELMUT BLUME und HANS KARL BARTH

Summary: Flat-irons and talus-flat-irons as forms of erosion in arid scarplands.

Flat-irons and talus-flat-irons are characteristic landforms of erosion in arid climates. They owe their origin to the combined efficiency of sheet floods and linear erosion after heavy rainfalls when a sudden increase in drainage occurs.

As flat-irons are limited in their occurrence to hogbacks it is clear that their morphological appearance is bound up with specific tectonic presuppositions. It can be further established that their occurrence is also bound up with certain petrographic conditions. An important precondition for the secondary cuervas on dip slopes is a series of resistant strata separated by thin, less resistant layers. On the other hand the front slope of a hogback only presents the character of a flat-iron if the resistant scarp former is underlain by less resistant layers of a greater thickness especially in the lower parts of the front slope.

Talus-flat-irons are also bound up with certain tectonic and petrographic presuppositions. A level rock stratification is the first precondition, the second is the position of a resistant cuesta-forming stratum resting on a very thick but morphologically non-resistant stratum in the lower part of the front slope. In addition it appears that talus-flat-irons only will be formed where a relatively thin amount of debris can be found. Thus talus-flat-irons, which are only limited to a few scarplands in arid regions are also limited in their distribution to the front slopes of cuesta hill spurs ("outliers" viz. BLUME 1971, p. 14).

Flat-irons and talus-flat-irons are thus special features of landform development in arid scarplands. Their morphology and distribution results from climatic, tectonic, and petrographic conditions.

In jüngster Zeit sind mannigfache Abweichungen vom Normalfall der Reliefgestaltung im Schichtstufenland bekannt geworden. Auf die Besonderheit der Rampenstufen und Schuttrampen, die sich in Schichtstufenbereichen arider Klimate finden, wurde bereits ein kurzer Hinweis gegeben (BLUME 1971, S. 16). Im folgenden sollen diese Formen ausführlicher beschrieben und gedeutet werden.

Zur Nomenklatur

Das Wort „Rampe“ bedeutet nach DUDEN (15. Aufl., 1961): schiefe Ebene zur Überwindung von Höhenunterschieden, Auffahrt, Verladebühne. G. WAGNER (1933) hat das Wort Rampe zur Bezeichnung eines bestimmten Relieftyps verwendet, indem er den Begriff „Rampenberge“ prägte, der sich allerdings nicht durchgesetzt hat. WAGNER ging offensichtlich von der u. E. richtigen Vorstellung aus, daß zu einer Rampe (Verladerampe) einerseits ein allmählicher An-

stieg, andererseits aber auch ein steilerer Hang von entgegengesetztem Gefälle gehört.

Völlig abweichend hiervon wird die Bezeichnung „Rampe“ von LOUIS (1964, S. 47f) für die seitlichen Flachhänge der Flachmuldentäler innerhalb der Rumpfflächen der wechselfeuchten Tropen verwendet. Gebrauchte LOUIS diesen Begriff zunächst rein morphographisch, so wurde er später von ihm morphogenetisch gefaßt. Rampenhänge sind nach LOUIS flache bis sehr flache, oberflächlich aus zeretztem anstehendem Gestein bestehende Hänge. Sie entstehen „durch die Flächenspülung über einem stark zeretzten bzw. vergrosten, tropischen Verwitterungsmantel“ (1968, S. 66). Unter Rampenhangbildung versteht LOUIS (1968, S. 211) „das Zurückweichen höherer Relieftteile durch Unterwitterung im Niveau eines äußerst flachen Hanges, der sich beiderseits vom Talgrunde sanft aufsteigend bildet“.

Die im folgenden erläuterten Relieftypen, die mit den Begriffen Rampenstufe und Schuttrampe bezeichnet werden, haben weder morphographisch noch morphogenetisch irgend etwas mit den Rampenhängen von LOUIS gemein. Vielmehr handelt es sich in beiden Fällen um Geländeanstiege, die mit deutlicher Kante an ihrem oberen Ende in einen durchweg steileren Hang von entgegengesetztem Gefälle übergehen.

Rampenstufen

Rampenstufen treten allem Anschein nach nur in Schichtkambereichen arider Klimate auf. Es handelt sich um

- a) Schichtkämme, deren Trauf stets und deren Stirnhang vielfach keinen geradlinigen Grundriß aufweisen. Vielmehr gliedert sich die Stufenfront in zahlreiche, meist spitzwinklige Vorsprünge zwischen Stufenbuchten, die an einander parallele, konsequente Erosionsfurchen geknüpft sind. Dadurch ergibt sich insgesamt ein Stufenverlauf, der durch das Nebeneinander zahlreicher dreiecks- bzw. bügeleisenförmiger Vorsprünge bestimmt ist. Die Verbindungslinie der äußersten Vorsprünge der Stufenporne folgt dem Schichtstreichen und ist dementsprechend geradlinig oder leicht gekrümmt. Die Stirnhänge der als Rampenstufen ausgebildeten Schichtkämme zeigen unter einem geringmächtigen Stufenbildner stets mächtige Lagen wenig widerständiger Gesteine im Stufensockel. Wenn in den konsequenten Erosionsfurchen der Stufenbildner durchsunken und durch seitliche Erosion sowie

Denudation der Schichtkamm in Stufenrestberge aufgelöst ist, so zeigen auch letztere dreiecks- bzw. bügeleisenförmigen Grundriß, wie es für die Schichtkammlandschaft von Mangho Pir im pakistanischen Industiefeld von BLUME (1968, S. 301) beschrieben worden ist. Ein Schichtkamm, der die Eigenschaften einer Rampenstufe besitzt, ist u. W. erstmals von GILBERT (1877) aus dem ariden Südwesten der USA bildlich dargestellt worden (Abb. 1). Die Comb Ridge der Colorado-Plateaus bei Kayenta, Arizona, ist ein hervorragendes Beispiel für diesen Typ der Rampenstufe (Photo 1), der ein Charakteristikum der Schichtkämme in ariden Klimaten zu sein scheint (Photo 2).

- b) Sekundärstufen des Schichtkammrückhanges. Zwischen den parallelen, konsequenten Erosionskerben, die von trichterförmigen Stufenbuchten begleitet werden, springt die Stufenfront des Stufenbildners oder springen die Stufenfronten mehrerer stufenbildender, widerständiger Lagen im Hangenden des Hauptstufenbildners auf dem Rückhang des Schichtkamms vor. Dadurch ergibt sich die gleiche

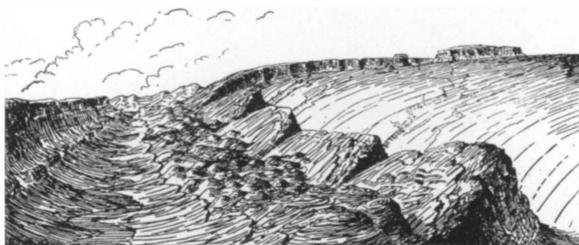


Abb. 1: Rampenstufe der monoklinalen Waterpocket-Flexur in der Umrahmung der Henry Mountains (Colorado-Plateaus in Utah, USA), nach GILBERT (1877, Fig. 3) Rampenstufe (flat-irons, chevrons) of the monoclinal Waterpocketflexure in the circumference of the Henry Mountains (Colorado-plateau, Utah, USA), after GILBERT (1877, fig. 3)



Photo 1: Comb Ridge, Colorado-Plateaus in Arizona, USA; als Rampenstufe ausgebildeter Schichtkamm Comb Ridge, Colorado-plateau, Arizona, USA; hog back developed into a Rampenstufe (flat-irons, chevrons)



Photo 2: Rampenstufe bei Mangho Pir, nordwestlich von Karachi, West-Pakistan Rampenstufe (flat-irons, chevrons) near Mangho Pir, north-west of Karachi, West-Pakistan

dreiecksförmige bzw. bügeleisenförmige Grundrißgestaltung, wie sie am Stirnhang eines Schichtkamms (s. oben unter a) auftreten kann. Von ABDUL-SALAM (1966, S. 19) werden derartige Formen aus der Syrischen Wüste beschrieben; es handelt sich um Formen, „die recht unterschiedliche Höhen, von Zehnern von Zentimetern bis zu mehreren Metern erreichen“; sie „bilden dreiecksförmige Schichtplatten, deren Spitzen zum Gipfel des Berges¹⁾ zeigen und eine Landstufe darstellen“. In geradezu idealer Ausbildung sind derartige Sekundärstufen des Schichtkamm-Rückhanges am Green Mountain in Wyoming, USA, entwickelt, der ein hervorragendes Beispiel umlaufender Antiklinalschichtkämme darstellt (Abb. 2; s. auch Photo 3).

¹⁾ Gemeint ist damit u. E. die Trauf des Schichtkamms; vgl. dazu Abb. 9, S. 19 bei ABDUL-SALAM (1966).



Photo 3: Rampenstufen des Schichtkamm-Rückhanges, Comb Ridge, Colorado-Plateaus in Arizona, USA Rampenstufen (chevrons) of the hog back's dip slope, Comb Ridge, Colorado-plateau, Arizona, USA

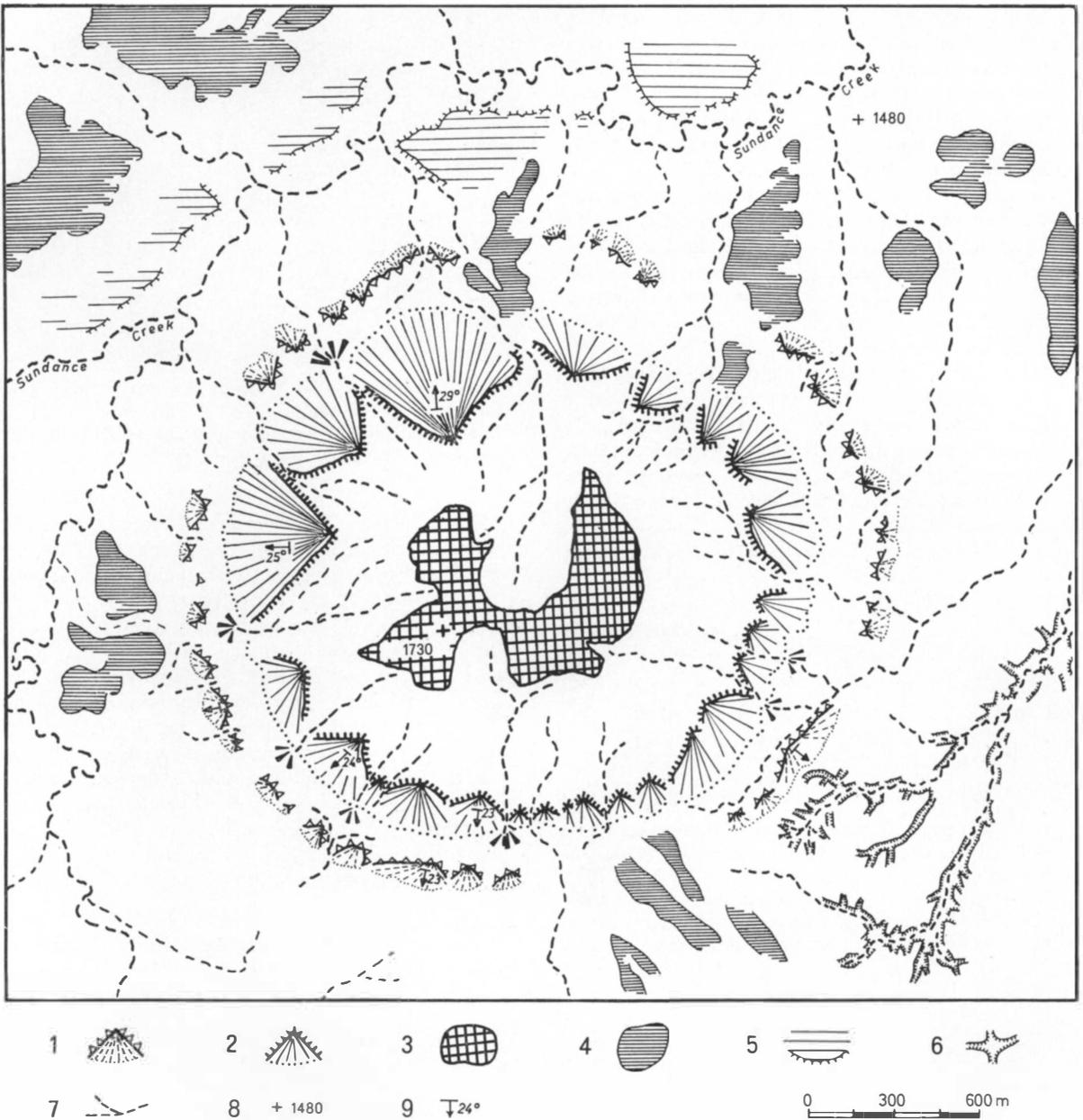


Abb. 2: Der Green Mountain in Wyoming, USA, als Beispiel umlaufender, als Rampenstufen ausgebildeter Antiklinalschichtkämme (nach BLUME, Probleme der Schichtstufenlandschaft, S. 79. Erträge der Forschung Bd. 5, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1971)

The Green Mountain, Wyoming, USA, an example of circumfering anticlinal hog backs developed into Rampenstufen (flat-irons, chevrons)

Rampenstufen lassen sich auf Grund der obigen Beschreibung folgendermaßen definieren: es sind im Grundriß dreiecks- bzw. bügeleisenförmig gegliederte Hauptstufen von Schichtkämmen oder Sekundärstufen der Schichtkammrückhänge. Sie sind an widerständige Gesteinslagen geknüpft, von deren Mächtigkeit die jeweilige relative Stufenhöhe abhängt. Mitun-

ter wird der Schichtkammrückhang durch mehrere Rampenstufen gegliedert. Dieser Fall tritt überall dort auf, wo das widerständige, stufenbildende Gesteinspaket durch dünne, wenig widerständige Lagen gegliedert ist. Die Stufenflächen, die durch solche Rampenstufen getrennt werden, stellen ausgesprochene Schichtflächen dar. Rampenstufen und die dazugehö-

rigen Stufenflächen sind damit Strukturformen. Der Rückhang der untersten Rampenstufe geht im allgemeinen in ein Pediment über.

Rampenstufen wurden, wie oben erwähnt, zuerst von GILBERT (1877, S. 26) beobachtet und als „Revet Crags“ bezeichnet; im jüngeren amerikanischen geomorphologischen Schrifttum werden sie als „Flatirons“ erwähnt. LOBECK (1939, S. 535) und VON ENGELN (1942, S. 282), die sich auf ältere Beschreibungen²⁾ dieser Formen aus dem Westen der Vereinigten Staaten stützen, sehen in ihnen eine Variante der Schichtkämme, „a peculiar type of interrupted hogbacks“ (v. E., S. 282); STRAHLER (1951, S. 241) betrachtet den Formenschatz der Flatirons als Ausdruck des Reifestadiums in der Reliefentwicklung konzentrischer Aufwölbungen (Fig. 16.16, S. 239).

Im französischen Schrifttum werden Rampenstufen unter der Bezeichnung „Chevrons“ erwähnt. CAILLEUX und TRICART (1955, S. 117) bezeichnen sie als dreiecksförmige Sekundärerhebungen an den Flanken antiklinaler Schichtkämme (Chaînons anticlinaux); sie würden vorzugsweise in Kalkmergeln ausgebildet, kämen unter semiariden Bedingungen in den Randgebieten der Sahara, aber auch in anderen Gesteinen vor. Die von den beiden Autoren gegebene schematische Skizze von Chevrons (Fig. 45, S. 118) stützt sich auf die geologische Kartierung der provençalischen Montagne du Lubéron durch GOGUEL³⁾. Neuerdings wird von TRICART (1969, S. 248) in besonderem Maße auf die klimatische Abhängigkeit der Chevrons hingewiesen, indem er sie als ein Charakteristikum arider Klimate bezeichnet. Ihr Vorkommen sei zudem an Schichtkammrückhänge gebunden, die eine Neigung von mehr als 10–15° hätten. Solche Voraussetzungen sind gegeben bei den Vorkommen von Rampenstufen im südlichen Marokko (Relief Form Atlas 1956, S. 27) sowie an der Südflanke des marokkanischen Anti-Atlas (Relief Form Atlas 1956, S. 46).

Jüngere Forschungsergebnisse⁴⁾ zeigen, daß im Schichtstufenrelief der ariden Gebiete die Stufenflächen Schichtflächen sind, so wie dies für die Stufenflächen der Rampenstufen zutrifft. In der Tat scheint die Verbreitung der Rampenstufen auf aride Klimate beschränkt zu sein. Bezeichnenderweise wird von ABDUL-SALAM (1966, S. 19) bemerkt, daß die Chev-

rons an fast allen Gebirgsflanken in der Syrischen Wüste auftreten, jedoch im Antilibanon fehlen. Das Fehlen im Antilibanon kann u. E. nur durch die andersartigen Klimabedingungen dieses Gebirges, durch seine gegenüber der Syrischen Wüste sehr viel größere Humidität erklärt werden.

Wenn die Rampenstufen an aride Klimabedingungen geknüpft sind, so müssen es offensichtlich diesem Klima entsprechende Abtragungsbedingungen sein, die zu ihrer Ausbildung führen. Eine weitere Voraussetzung scheint der steile Einfallswinkel der Gesteinslagen zu sein; denn bei den durch geringen Einfallswinkel der Gesteine gekennzeichneten Schichtstufen treten Rampenstufen nicht auf.

Für die Ausbildung von Rampenstufen dürfte die in aridem Klima überaus große Aktivität der Abtragungsvorgänge maßgebend sein. Neuere Untersuchungen zur Morphodynamik in Trockengebieten (u. a. besonders MENSCHING 1969) haben eindeutig erbracht, daß die außerordentliche Effizienz erosiver und denudativer Prozesse begründet ist 1. in typischen Niederschlags- und Abflußverhältnissen mit episodisch bzw. periodisch stark anwachsender Transport- und Erosionsenergie, 2. in tiefgründiger Austrocknung bei durchweg negativem Bodenwasserhaushalt, 3. in lückenhafter bzw. ganz fehlender Vegetation und 4. in vorwiegend physikalisch-mechanischer Verwitterung und äolischer Dynamik (vgl. auch BARTH 1970, S. 89f). Bei der Bildung der Rampenstufen handelt es sich offenbar um die kombinierte Wirkung flächenhafter Spülvorgänge, linearer Tiefenerosion und denudativer Hangabtragung. Begünstigt durch die Pflanzenarmut, die geringe Wasseraufnahmefähigkeit des tiefgründig ausgetrockneten Bodens bzw. der nackten Gesteinsoberfläche auf Schichtflächen, den ruckweisen Wasserabfluß, begünstigt ferner durch den großen Einfallswinkel des Schichtkammrückhanges kommt es nach periodischen oder episodischen Starkregen zu außerordentlich kräftigen Abtragungsvorgängen. Die dreiecksförmige Gliederung der Sekundärstufen des Schichtkammrückhanges erklärt sich dadurch, daß sich das auf den oberen Hangpartien zunächst flächenhaft spülende Wasser hangabwärts in Rinnen sammelt. Zweifellos lassen sich die bei stark geneigten Oberflächen in gleichem Maße wirksame flächenhafte Hangspülung und die lineare Erosion für die Ausbildung der Sekundärstufen am Schichtkammrückhang verantwortlich machen. Durchsinkt die lineare Erosion den Hauptstufenbildner, wird auch der Schichtkamm selbst zur Rampenstufe umgestaltet.

Wenn demnach kein Zweifel daran bestehen kann, daß die Rampenstufen Formen darstellen, die an aride und semiaride Klimabedingungen mit arider Morphodynamik geknüpft sind, so treten doch andererseits Rampenstufen außerhalb arider Klimagebiete auf. Ein Beispiel hierfür ist der von KLINK (1966, S. 102ff und 1969, S. 22) und von SPÖNEMANN (1966) beschriebene Schichtkammrückhang der Südwestflanke des Hils im

²⁾ Abgesehen von GILBERT (1877):

NEWTON, H. u. JENNEY, W. P.: Geology of the Black Hills. U.S. Geogr. and Geol. Survey, Rocky Mt. Region. Washington 1880.

CROSS, C. W.: The laccolithic Mountain Groups of Colorado, Utah and Arizona. U.S. Geol. Survey, 14 th. Ann. Report, Part 2, S. 157–241, 1894.

DARTON, N. H. u. PAIGE, S.: Central Black Hills. U.S. Geol. Survey, Folio 219, 1925.

³⁾ GOGUEL, J.: Description géologique du Libéron, Bull. Serv. Carte Géol. France, 1932, S. 1–86.

⁴⁾ BARTH 1970; BLUME 1968, 1971; DONGUS 1970; MENSCHING 1968; RATHJENS 1968

Niedersächsischen Bergland. Dort bildet der Flammenmergel eine Stufe, die mit den dreiecksförmigen „Erosionshorsten“ (KLINCK) bzw. „Rückhangkuppen“ (SPÖNEMANN, S. 77f) zwischen den „Rückhangtälern“ in ihrem Formenbild nichts anderes darstellt als eine Rampe in Form einer Sekundärstufe auf einem Schichtkammrückhang, so wie sie oben aus ariden Klimaten beschrieben wurde. Ähnliche Formen scheinen im nordwestlichen Elm ausgebildet, wo sich ein „sternförmiger“ Verlauf der Trochitenkalkstufe um das Hebungszentrum des Breite-Bergs beobachten läßt (GOEDECKE 1966, S. 16 und Kartenbeilage 2). In Hils und Elm handelt es sich um ein humides, gemäßigtes Klima, in dem gegenwärtig Formungsruhe herrscht, in dem sich aber während der pleistozänen Kaltzeiten kräftige Abtragungsvorgänge unter periglazialen Bedingungen abspielten. SPÖNEMANN (1966 S. 78) betrachtet die am Hils beobachtete Rückhangformung im Niedersächsischen Bergland als singulär, doch hält er mit Bezug auf ähnliche Beispiele aus Nordafrika, Vorderasien und Nordamerika diese Formen für einen „eigenen Typ“. Er ist der Ansicht, daß sich diese Formen sehr wohl unter periglazialen Bedingungen bei zugleich flächenhafter und linienhafter Abtragung entwickelt haben können, hält es aber im Hinblick auf die genannten anderen Vorkommen für möglich, daß „der Hils-Rückhang auch unter älteren, tertiären Klimaverhältnissen geformt und im Pleistozän nur überformt worden sei“.

In Anbetracht der zweifelsfrei starken kaltzeitlichen Formung am Stirnhang des Hils-Schichtkammes (SUCHEL 1954) ist es u. E. schlechterdings unmöglich, in der Formengestaltung der Rampe des Hils-Rückhangs eine tertiäre Reliefgeneration sehen zu wollen. Vielmehr muß der Rückhang des Hils unter kaltzeitlichen periglazialen Bedingungen geformt worden sein, wie das auch SPÖNEMANN (1966, S. 77) für möglich hält. Unter periglazialen Bedingungen kann es an einem Schichtkammrückhang offensichtlich zu kombinierter Flächenspülung und linearer Erosion kommen, die zu eben der gleichen Formenausbildung führen, wie sie bei entsprechenden tektonischen und petrographischen Verhältnissen im ariden Klimabereich charakteristisch ist. Wie jüngere Untersuchungen zur periglazialen Morphodynamik (u. a. BLUME und BARTH 1971, ROHDENBURG 1965, ZEESE 1971) gezeigt haben, ist in Gebieten mit gemäßigt-humidem Klima während Periglazialphasen mit Formungsbedingungen zu rechnen, die, abgesehen von den Temperaturverhältnissen, jenen der rezent semiariden bis ariden Gebiete entsprechen: starke lineare und flächenhafte Abspülung sowie intensive lineare und flächenhaft solifluidale Abtragung bei lückenhafter bis fehlender Vegetation unter dem Einfluß periodischer oder episodischer Starkregen.

Das Vorhandensein von Rampenstufen als Vorzeitformen im humiden Bereich der gemäßigten Breiten, in denen heute Formungsruhe herrscht und die Formen

aus dem Pleistozän überliefert sind, zeigt, daß ein außerordentlich spezieller Formentyp des Schichtstufenreliefs, wie ihn die Rampenstufen darstellen, unter ganz verschiedenartigen Klimaten entstehen kann: unter periglazialen und ariden Bedingungen. Doch nur unter der Voraussetzung der geschilderten, besonderen tektonischen und petrographischen Verhältnisse führen aride und periglaziale Morphodynamik zu entsprechenden Abtragungsformen. Die zukünftige Forschung wird zu untersuchen haben, ob es weitere solch eigenständige Formentypen gibt.

Schuttrampen

Bei den Schuttrampen handelt es sich um Abtragsreste, welche den gleichen dreiecks- bzw. bügel-eisenförmigen Grundriß wie die Rampenstufen aufweisen; sie sind jedoch zumindest teilweise aus Hangschutt aufgebaut und sitzen den unteren Partien von Schichtstufenstirnhängen im Bereich des Stufensockels auf, wobei ihre Spitze gegen die Stufenfront gerichtet ist und ihre Basis in ein Pediment oder Glacis überleitet. Auch sie haben als eine charakteristische Abtragsform der Trockengebiete zu gelten.

Schuttrampen wurden zuerst von G. WAGNER (1936) auf der Sinai-Halbinsel beobachtet: „den Hang hinauf laufen zahlreiche dreieckige Rampen, die an der Spitze mit plötzlichem Abfall bergwärts enden“. Er nannte die beobachteten Formen Rampenberge, sah in ihnen mit Recht „alte Landoberflächen“, d. h. Reste ehemaliger Hangböschungen und erklärte sie durch das Wirken linearer Erosion. Diese Rampenberge sind – entgegen der Auffassung von WAGNER – eindeutig nicht identisch mit den von PASSARGE (1933) aus der Arabischen Wüste bei Heluan beschriebenen Zungenbergen, welche lediglich einen besonderen Typ von Zeugenbergen darstellen.

Während die von GRADMANN beobachteten Formen anscheinend ganz im Hangschutt ausgebildet sind, wurden von KOONS (1955) dreiecksförmige Schuttrampen aus dem westlichen Grand Canyon des Colorado beschrieben, die im wenig widerständigen Material des Stufensockels ausgebildet sind und eine nur dünne Hangschuttdecke tragen. Diese von KOONS (1955, S. 50) als Talus Flatirons bezeichneten Formen entstehen nur dort, wo bei nahezu horizontaler Gesteinslagerung ein sehr widerständiger Stufenbildner von besonders mächtigen und der Abtragung gegenüber nur wenig widerständigen Schichten unterlagert wird. Das den Schuttrampen in einer Mächtigkeit bis zu 5 m auflagernde, aus dem Stufenbildner stammende Schuttmaterial schützt das unterlagernde wenig widerständige Gestein des Stufensockels vor Abtragung. Die gegen die Stufenfront gerichteten Dreiecksspitzen der Schuttrampen sind, bis auf die geringmächtige Schuttdecke, ganz aus dem Gestein des Stufenbildners aufgebaut (Abb. 3).

So wie Rampenstufen, so treten auch Schuttrampen

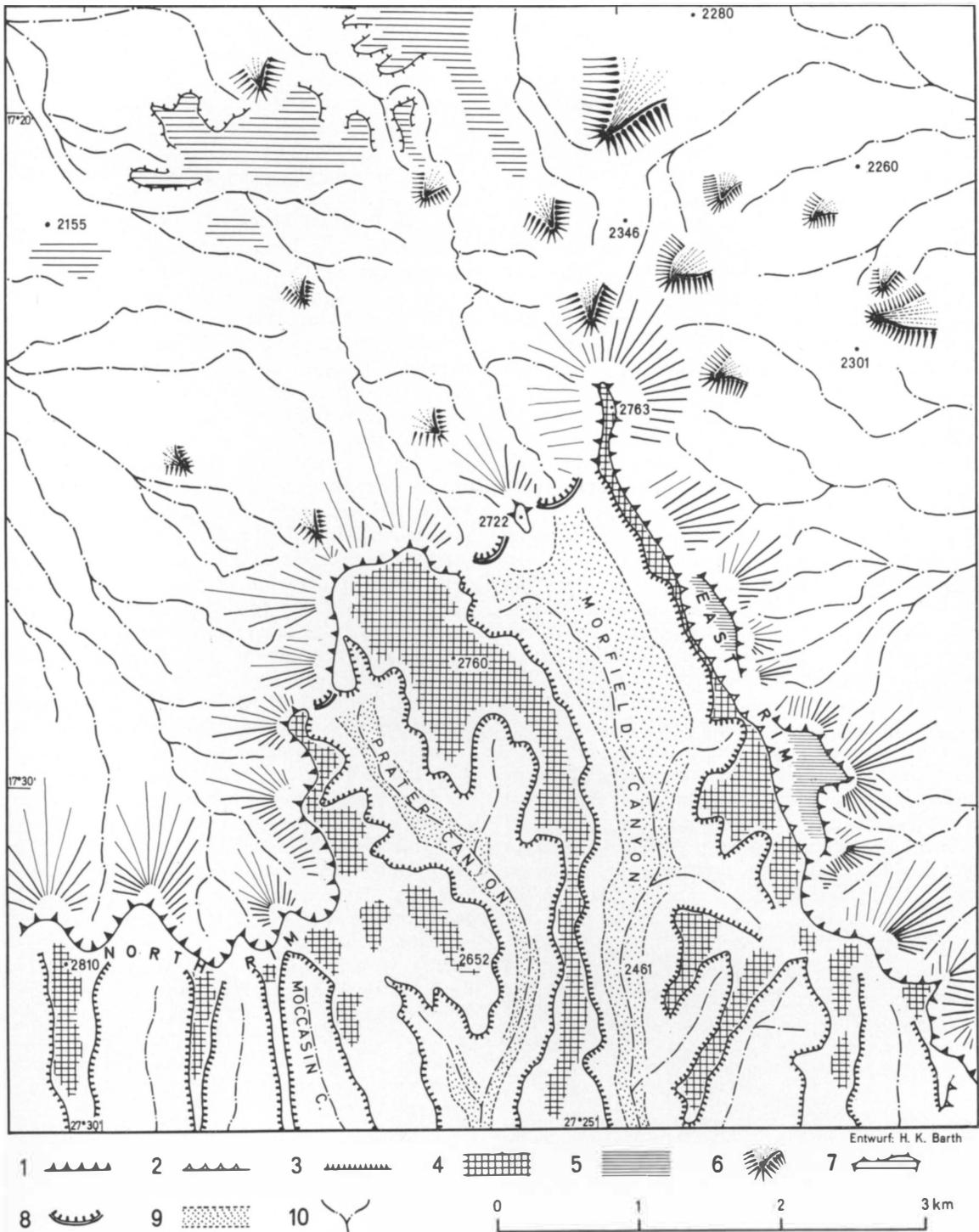


Abb. 3: Der nördliche Stufenrand der Mesa Verde in Colorado, USA, mit Schuttrampen
 The northern scarp of the Mesa Verde, Colorado, USA, with talus flat-irons (Schuttrampen)

außerhalb des ariden Klimas auf. SCHWARZ (1970, S. 14 u. 46) beschreibt entsprechende Formen von den Stufenrändern der Causses, die er als „Hangmantelreste“ bezeichnet. „Solche Hangmantelreste mit ihrer typischen spitzen Dreiecksform überragen an wenigen Stellen des Hauptstufenrandes in Form von Rampen eine schuttbedeckte Sockelfläche um bis zu 50 m“ (S. 14). SCHWARZ kann ältere und jüngere Schuttrampen unterscheiden; die jüngeren sind durch holozäne erosive Vorgänge entstanden, die älteren durch entsprechend frühere Zerschneidungsvorgänge. So kommt SCHWARZ (S. 47) zur Annahme eines zweizyklischen Wechsels der Formungstendenz zwischen „solifluidaler Hangmantelbildung und nachfolgender Zerschneidung“, der dem klimatischen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten entspricht. Die älteren Rampenstufen sind demnach im Riß-Würm-Interglazial, die jüngeren im Holozän entstanden.

Weitere Beispiele von Schuttrampen sind aus den gut durchforschten Schichtstufengebieten der humiden gemäßigten Zone bisher nicht bekannt geworden. Die Frage, warum gerade am Rande der Causses ältere und rezente Schuttrampen entstanden sind, an anderen west- und mitteleuropäischen Stufenfronten anscheinend aber nicht, ist bislang nicht eindeutig zu klären. Möglicherweise könnten gegenüber den anderen Schichtstufengebieten der humiden kühlgemäßigten Zone kräftigere Starkregen und damit den ariden Bedingungen ein wenig angenäherte Abflußverhältnisse die Vorkommen der Schuttrampen am Rande der Causses erklären. Zum anderen scheint in den Causses eine weitere, für die Schuttrampenbildung entscheidende Voraussetzung gegeben, nämlich die außerordentliche Mächtigkeit der liegenden, gering resistenten Gesteinsformationen (tonreiche Liashorizonte) am unteren Stufenhang.

Die Schuttrampen treten in den Causses allein an den Stirnhängen von Stufenspornen auf. SCHWARZ (1970, S. 24f) gibt dafür eine plausible Erklärung. Die



Photo 4: Schuttrampen am nördlichen Stufenrand der Mesa Verde, Colorado, USA
Talus-flat-irons (Schuttrampen) at the northern scarp slope of the Mesa Verde, Colorado, USA

Schuttrampen sind nur dort ausgebildet, wo eine dünne Schuttauflage den aus wenig widerständigem Gestein gebildeten Stufensockel bedeckt. Wo die Schuttauflage mächtiger wird, wie beispielsweise in den Stufenbuchten, hört die Zerrung auf. Der Grund für die unterschiedliche Schuttmächtigkeit liegt darin, daß sich der Schutt an den Stufenspornen auf eine relativ große Fläche, in den Stufenbuchten hingegen auf eine relativ kleine Fläche des Stufensockels verteilt.

In den Trockengebieten zeigt sich eine entsprechende Anordnung der Schuttrampen. So konnten die Verfasser an der nördlichen Stufenfront der Mesa Verde in den Colorado-Plateaus der Vereinigten Staaten zahlreiche Schuttrampen vom Typ der KOONSSchen Talus Flatirons beobachten, die alle an den Stirnhängen von Stufenspornen liegen, an den zurückspringenden Stufenpartien hingegen so gut wie ganz fehlen (Abb. 3, 4; Photo 4⁵).

Diese ihre Anordnung bestätigt die von SCHWARZ gegebene Erklärung. Jedoch läßt sich nicht übersehen, daß die Schuttauflage an den Stufenspornen der Mesa Verde sehr viel größer als an den Stufenspornen der Causses ist. Das erklärt sich aus der stärkeren Abtragung im Trockenbereich der Mesa Verde. Auf Grund eben dieser stärkeren Abtragung im Trockenklima wird von den Erosionsfurchen auch eine im Vergleich zu den Causses bedeutend mächtigere Schuttdecke an den Stufenspornen durchsunken. Die lebhaftere Abtragung an der Stufenfront der Mesa Verde führt zu starkem Anfall von Schutt aus dem Stufenbildner, der das unterlagernde wenig widerständige Gestein des Stufensockels in den Schuttrampen vor Abtragung schützt. Die dreiecks- bzw. bügeleisenförmige Gestalt der Schuttrampen kann wie bei den Rampenstufen als Ausdruck der kombinierten Wirkung von flächenhafter Spülung und linearer Erosion unter ariden Klimabedingungen angesehen werden (BLUME 1971, S. 59).

An der Mesa Verde zeigt sich sehr deutlich, daß die Schuttrampen ehemalige Stufenhangpositionen repräsentieren. Sie stellen die Reste älterer Hangoberflächen dar, die jüngeren Glacisflächen aufsitzen. Die Bildung der Schuttrampen muß als der Ausdruck einer raschen Zurückverlegung der Stufenfront gedeutet werden. Wenn auch die einzelnen Schuttrampen verschiedenen ehemaligen Hangpositionen entsprechen, so ist doch keineswegs jede einzelne frühere Hangposition repräsentiert.

Literatur

ABDUL-SALAM, A.: Morphologische Studien in der Syrischen Wüste und dem Antilibanon. – Berliner Geogr. Abh., H. 3, Berlin 1966.

⁵ In Zentralarabien konnte H. Blume im März 1972 an den Stufenspornen des Djebel Tuwaiq bei starker Abtragung gleichfalls zahlreiche Schuttrampen beobachten. Darüber wird an anderer Stelle berichtet werden.

BARTH, H. K. Probleme der Schichtstufenlandschaften West-Afrikas am Beispiel der Bandiagara-, Gambaga- und Mampong-Stufenländer. – Tübinger Geographische Studien H. 38, Tübingen 1970.

BLUME, H.: Mangho Pir, eine Schichtstufenlandschaft im ariden Nordwesten Vorderindiens. – Geogr. Zschr. 36, S. 295–305, 1968.

– : Probleme der Schichtstufenlandschaft. – Darmstadt 1971.

BLUME, H. – BARTH, H. K.: Die pleistozäne Reliefentwicklung im Schichtstufenland der Driftless Area von Wisconsin (USA). – Tübinger Geographische Studien H. 45, 1971.

CAILLEUX, A. – TRICART, J.: Cours de Géomorphologie, I. Géomorphologie structurale, Fasc. 3, Le Modèle des Chaînes plissées. – Paris 1955.

CHOLLEY, A. (Hg.): Relief Form Atlas. Institut Géographique National, Paris 1956.

DONGUS, H.: Über Beobachtungen an Schichtstufen in Trockengebieten. – Tübinger Geographische Studien, H. 34, S. 43–55, 1970.

VON ENGELN, O. D.: Geomorphology. – New York 1942, 6. Aufl. 1957.

GILBERT, G. K.: Report on the Geology of the Henry Mountains. – Washington 1877.

GOEDECKE, R.: Die Oberflächenformen des Elm. Göttinger Geogr. Abh. H. 35, Göttingen 1966.

KLINK, H.-J.: Naturräumliche Gliederung des Ith-Hils-Berglandes. – Forsch. z. dt. Landeskunde Bd. 159, Bad Godesberg 1966.

– : Das naturräumliche Gefüge des Ith-Hils-Berglandes. Forsch. z. dt. Landeskunde Bd. 187, Bad Godesberg 1969.

KOONS, D.: Cliff Retreat in the southwestern United States. Am. Journ. Sci. 253, S. 44–52, 1955.

LOBECK, A. K.: Geomorphology. – New York und London 1939.

LOUIS, H.: Über Rumpfflächen- und Talbildung in den wechselfeuchten Tropen besonders nach Studien in Tanganyika. Zschr. f. Geomorphologie, N.F. 8, S. 43–70, 1964.

– : Allgemeine Geomorphologie. 3. Aufl. Berlin 1968.

MENSCHING, H.: Bergfußflächen und das System der Flächenbildung in den ariden Subtropen und Tropen. – Geol. Rdschau 58, S. 62–82, 1968.

– : Das arid-morphodynamische System. – Maschinenschr., Hannover 1969.

PASSARGE, S.: Morphologische Untersuchungen in der Wüste bei Heluan. – In: PASSARGE, S. u. MEINARDUS, W., Studien in der ägyptischen Wüste. I. – Abh. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Math-Phys. Kl., III. Folge, H. 9, S. 1–92, Berlin 1933.

RATHJENS, C.: Schichtflächen und Schnittflächen im Trockenklima. – Regio Basiliensis IX, 1, S. 162–169, 1968.

ROHDENBURG, H.: Untersuchungen zur pleistozänen Formung am Beispiel der Westabdachung des Göttinger Waldes. – Gießener Geogr. Schriften, H. 7, Gießen 1965.

SCHWARZ, R. Die Schichtstufenlandschaft der Causses. – Tübinger Geogr. Studien H. 39, Tübingen 1970.

SPÖNEMANN, J.: Geomorphologische Untersuchungen an Schichtkämmen des Niedersächsischen Berglandes. – Göttinger Geogr. Abh., H. 36, Göttingen 1966.

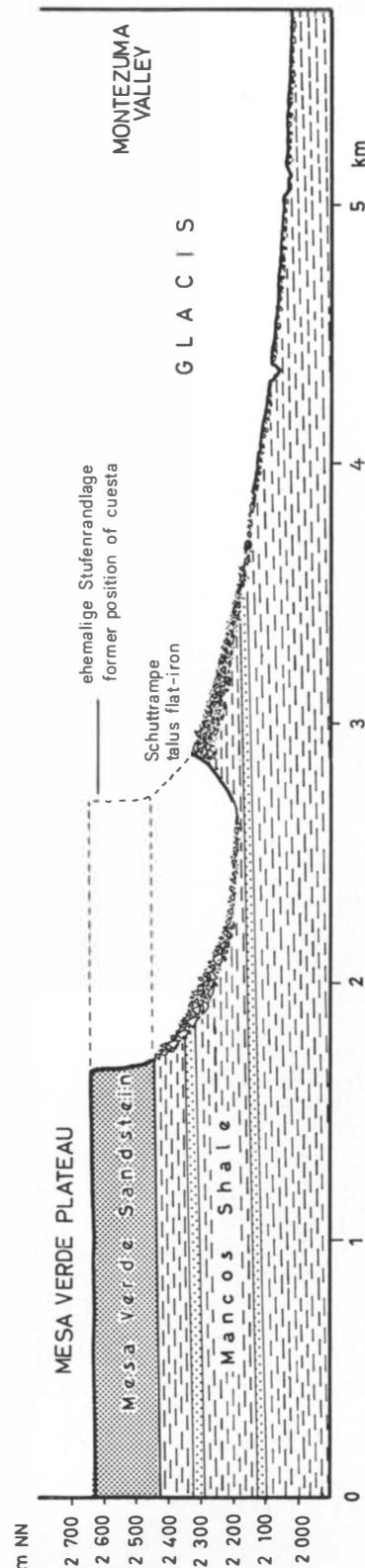


Abb. 4: Hangprofil des nördlichen Stufenrandes der Mesa Verde in Colorado, USA, mit Schuttrampe
Slope profile of the northern scarp of the Mesa Verde, Colorado, USA, showing a talus flat-iron (Schuttrampe)

- STRAHLER, A. N.: Physical Geography. – New York und London 1951.
- SUCHEL, A.: Studien zur quartären Morphologie des Hilsgebietes. – Studien über Periglazial-Erscheinungen in Mitteleuropa, Teil IV. – Göttinger Geogr. Abhandlungen, H. 17, Göttingen 1954.
- TRICART, J.: Le Modelé des Régions sèches. – Traité de Géomorphologie IV, hg. v. J. TRICART u. A. CAILLEUX. Paris 1969.
- WAGNER, G.: Rampenberge. – Geogr. Zschr. 42, S. 453–455, 1936.
- ZEESE, R.: Die Reliefgenerationen im Keuperbergland. In: Geomorphologische Probleme im Württembergischen Keuperbergland, hg. v. H. BLUME. – Tübinger Geographische Studien H. 46, 1971.

DER EINFLUSS DES CO₂-GEHALTES DER BODENLUFT AUF DIE KALKLÖSUNG

Mit 2 Abbildungen

ARMIN GERSTENHAUER

Summary: The influence of the CO₂ content of soil atmosphere on limestone solution.

The aim of the investigation was to estimate the extent to which limestone solution could be explained by the CO₂ content of the soil atmosphere. For this purpose an experiment was carried out in the Bergisches Land in which the soil atmosphere was sampled at 30 cm depth every five days with a probe which remained in the ground for the whole period, and the CO₂ content was determined (using Dräger's multigas detector). Parallel to this, the relevant temperature was read from a mercury soil thermometer. In comparison to previous measurements it was thus possible to determine the typical annual pattern of CO₂ content in the soil atmosphere in its dependence on the weather pattern.

From the mass of the water seeping underground, that is, the water which would become effective in karst-morphological terms, and the CO₂ content of the soil atmosphere, it was possible to calculate, with simplified threshold constraints, the amount of limestone likely to be dissolved. The calculations showed that the effects of CO₂ variations in the soil on the rate of limestone solution were relatively minor and that the amount of effective karst-morphological water was decisive for the amount of limestone solution. These experiences indicate that, in the explanation of climate-specific karst forms, no excessive significance should be attached to CO₂ production in the soil atmosphere.

Die so auffallend vom üblichen fluvial geformten Relief abweichenden Formen einer Karstlandschaft sind letztlich darauf zurückzuführen, daß neben zweifellos auch hier wirksamen erosiven Prozessen Lösungsvorgänge, die u. a. nachhaltig die hydrographischen Verhältnisse beeinflussen, entscheidend die Oberflächenformen bedingen. Karbonatgesteine sind jedoch nur dann in größerer, d. h. die Formung beeinflussender Menge löslich, wenn Säuren, insbesondere Kohlendioxid, im Wasser enthalten sind. Als die klimamorphologische Betrachtungsweise Eingang in die Karstmorphologie fand, glaubte man, den andersartigen Formenschatz in den Tropen möglicherweise durch das Einwirken der Salpetersäure und „anderer

organischer Säuren“ erklären zu können. Neuere Untersuchungen von J. CORBEL und R. MUXART (5) haben jedoch gezeigt, daß die Bedeutung dieser anderen Säuren neben dem CO₂ erheblich überschätzt worden ist. So erscheint es nicht nur gerechtfertigt, sondern auch notwendig, das Angebot des für die Kalklösung so bedeutsamen CO₂ näher zu betrachten.

Die für unsere Fragestellung relevanten Quellen des Kohlendioxids sind der Stoffumsatz des Bodenadephons, die Wurzelatmung und die Mineralisation der organischen Substanz. Damit weist sich die CO₂-Produktion als eine echte ökologische Größe aus. Wichtiger in diesem Zusammenhang ist aber der CO₂-Gehalt der Bodenluft, der nicht nur von der Höhe der Produktion, sondern auch von dem Ausmaß der Bodenatmung, d. h. der CO₂-Abgabe der Bodenluft durch Diffusion an die bodennahen Luftschichten, abhängig ist. Temperatur, Niederschlag, physikalische und chemische Beschaffenheit des Bodens, die Vegetation u. a. bedingen in ihren Wechselbeziehungen den CO₂-Gehalt der Bodenluft. Nach dem Gesetz von HENRY-DALTON wird sich, wenn nur hinreichend Zeit vorhanden ist, zwischen dem CO₂-Gehalt der Bodenluft und dem des versickernden Regenwassers ein Gleichgewicht einstellen. Das im allgemeinen nur wenig aggressive Regenwasser gewinnt durch CO₂-Aufnahme im Bodenkörper an Lösungspotenz. Die Folgen dieses Vorganges sind in jedem Karstgebiet unmittelbar zu beobachten. Unter Boden, Moospolstern u. ä. ist die Kalklösung sehr viel intensiver als auf nackt zutage tretendem Gestein. In das HENRY-DALTONSche Gesetz $CO_2 \text{ (gelöst)} = A \cdot p \cdot k$ geht aber neben dem Partialdruck (p) des Kohlendioxids in der Bodenluft und einer Konstanten (k) der temperaturabhängige BUNSENSche Absorptionskoeffizient („Austauschfaktor A“) ein. Die morphologische Bedeutung der Abnahme des Koeffizienten (A) mit steigender Temperatur ist jedoch lange Zeit überbewertet worden (7, 10, 11).

Nach dem hier kurz Skizzierten liegt es nahe, neben der zur Verfügung stehenden Wassermenge auch die