

Gottfried Hofbauer

Die Diskussion um die Entstehung der Süddeutschen Schichtstufenlandschaft: Eine historisch-methodologische Skizze mit einem Modell zur fluviatil gesteuerten Schichtstufen- Morphogenese

Zusammenfassung

Das Süddeutsche Schichtstufenland gilt vielfach als der Idealtypus einer strukturbestimmten Landschaft, die auf den Wechsel flach geneigter, unterschiedlich erosionsanfälliger Gesteinsschichten zurückzuführen ist. Gegenüber dieser einfachen Sichtweise gab es jedoch seit Beginn des 20. Jahrhunderts Positionen, die strukturunabhängige flächenbildende Prozesse als die eigentliche Gestaltungsursache ansahen. Die Entwicklung der beiden Argumentationslinien wird in einer historisch-methodologischen Skizze aufgezeigt. Dabei wird deutlich, daß die mit Flächenbildung argumentierenden Konzepte methodologisch einen wesentlich umständlicheren und empirisch schwerer zu belegenden Weg einschlugen. Auf der anderen Seite versäumten es die Vertreter strukturbetonter Erklärungen, die Wirkungsweise der Schichtstufenland-Formung ausreichend präzise und plausibel auszuarbeiten. Erst in jüngerer Zeit wurden verstärkt Belege für eine fluviatil gesteuerte Dynamik der Schichtstufenlandentwicklung vorgelegt. Dieser Ansatz wird hier durch eine einfache Erklärung für das Zurückweichen der Schichtstufe in tektonisch erhöhten Positionen gestützt.

Summary

[The controversy about the origin of the South German Scarplands: A historical and methodological outline, with a model of scarpland genesis ruled by the work of rivers]

The South German Scarplands are commonly regarded as a typical landscape controlled by the different lithology of strata with very low inclination. Since the early 20th century, some authors opposed this simple view, emphasizing processes of aerial downwearing and the existence of denudational plains. An outline of both views is given in historical and methodological perspective. Hereby it is made obvious that models arguing for denudational plains had a more difficult task. On the other side, models based on genesis controlled by lithology were not able to give a precise and plausible explanation of scarpland morphogenesis. Not until the last decades, the importance of fluvial processes got more evidence. This argument is supported by a simple model, explaining the retreat of the scarps in structurally elevated positions.

1. Einleitung

Das Süddeutsche Schichtstufenland erscheint vielen Betrachtern als eine Landschaft, in der die geologische Struktur das morphologische Erscheinungsbild entscheidend prägt. Auffällig sind – ganz wie es die gängige Bezeichnung zum Ausdruck bringt – Schichtstufen, die von verwitterungsresistenten Gesteinen aufgebaut werden. Bei entsprechend großräumiger Betrachtung lassen sich vier Hauptschichtstufen finden, die von Schichtgliedern des Buntsandsteins, des Oberen Muschelkalks, des Sandsteinkeupers und des Weißen Jura (Malm) gebildet werden (LIEDTKE & MARCINEK 1995). Zwischen diesen Schichtstufen liegen weite, oft mehrere Zehnerkilometer Ausdehnung erreichende Verebnungen, die jeweils zur nächsthöheren Schichtstufe abfallen.

Nicht wenige Autoren haben hierin eine Landschaft gesehen, die in nahezu idealer Weise von der geologischen Struktur bestimmt wird: Der Wechsel unterschiedlich verwitterungsresistenter Schichten sowie deren leicht geneigte Lagerung schienen das Erscheinungsbild und somit die Entstehung in sehr anschaulicher Weise zu erklären. Diese genetische Vorstellung ist schon in der ersten Bestimmung des Begriffs Schichtstufenland durch A. PENCK (1894, II, S. 349) erkennbar: *Ist ein großes Schichtsystem flach einfallend gelagert, so bildet jede einzelne mächtigere widerstandsfähige Schicht desselben einen Abbruch und es gibt soviel einzelne Schichtstufengebirge, als widerstandsfähige Schichten vorhanden sind; alle diese Erhebungen folgen dem Schichtstreichen und sind untereinander parallel.*

Das Süddeutsche Schichtstufenland, bzw. Abschnitte wie das Schwäbische oder Fränkische Schichtstufenland, wurden so zum Typus der Schichtstufenlandschaft schlechthin. Man hat daher versucht, anhand des Süddeutschen Schichtstufenlandes die Genese von Schichtstufenlandschaften im allgemeinen herauszuarbeiten, wobei jedoch parallel dazu auch die regionalspezifische Landschaftsgeschichte zu erforschen war. Um spezifische von allgemeinen Bildungsbedingungen unterscheiden zu können, hat man schließlich auch in einem dritten Weg versucht, über Vergleiche mit ähnlichen Landschaftstypen anderer Regionen weitere Einsichten zu gewinnen.

Die Fachliteratur zeigt jedoch, daß die Entstehung dieser scheinbar so einfach gebauten Landschaft höchst umstritten ist. Etwa seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts wird eine heftige Diskussion um die Genese dieses Landschaftstypus im allgemeinen wie der Süddeutschen Schichtstufenlandschaft im speziellen geführt. Der vorliegende Beitrag versucht, eine Übersicht zu einigen wesentlichen Punkten dieser Diskussion zu geben und die damit verbundene Problematik herauszustellen. Die Schwierigkeiten liegen einmal in der Sache, denn viele morphologische Erscheinungen, wie sie für das Schichtstufenland als charakteristisch angesehen werden, können in genetischer Hinsicht unterschiedlich gedeutet werden. Dabei kamen allerdings Ansätze zur Anwendung, die in methodologischer Hinsicht so unterschiedlich waren, daß daraus kaum eine Übereinkunft in den Sachfragen möglich war.

Hier wird dafür plädiert, Erklärungsansätze zuerst an konkreten Geländesituationen zu versuchen, und dafür in erster Linie die dort gegenwärtig wirkenden bzw. möglichen Prozesse zum Ausgangspunkt zu nehmen. Dies scheint, so lautet nämlich das Resümee der im folgenden dargestellten historisch-methodologischen Betrachtung, bisher nicht konsequent versucht oder zumindest nicht ausgeschöpft worden zu sein. Für ein solches Verfahren spricht auch eine metho-

dologische Pragmatik. Andere Ansätze – und dabei vor allem solche, die Erklärungen durch Übertragung von Prozessen anstreben, wie sie aus anderen Klimazonen bekannt sind – können nämlich nur geringere Überzeugungskraft entwickeln, weil sie, auf die Verhältnisse in Süddeutschland angewandt, in ihrer Bezugnahme auf vorzeitliche Klimate und die damals darin möglicherweise wirkenden Prozesse kaum mehr greifbar erhaltene Belege vorfinden, während die landschaftlichen Formen – für sich genommen – keine eindeutigen Hinweise auf die eine oder andere Genese geben können. Wenn es also möglich wäre, aufgrund der in den fraglichen Regionen gegenwärtig wirksamen Prozesse ein empirisch plausibel fundiertes Modell zur Dynamik der Schichtstufenlandformung zu schaffen, dann wäre es unpragmatisch, kompliziertere, schwieriger zu belegende oder in ihrer Funktion unzureichend bestimmte Erklärungsansätze zu verfolgen. An einem Beispiel vom Westrand der Nördlichen Frankenalb wird am Ende gezeigt, daß sich mit einem Ansatz, der im Prinzip von der rezent wirksamen Formungsdynamik ausgeht, offenbar doch ein sehr weitreichendes Verständnis erzielen läßt.

2. Stufen- oder Flächenlandschaft?

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts kann man die (zumindest auf den ersten Blick) erstaunliche Tatsache beobachten, daß Erklärungen zur Entstehung des Schichtstufenlandes völlig unterschiedliche morphologische Elemente für wesentlich halten konnten. Während ein Standpunkt die Bedeutung der Schichtstufen hervorhebt, plädiert der andere dafür, daß die dazwischen liegenden Verebnungen die Entwicklung der Landschaft bestimmt hätten. Nach einer Ansicht sind die Stufen aktive Elemente und die Flächen passive Resultate der Stufenrückwanderung, während nach anderer Ansicht die Stufen passive Resultate der gegen sie fortgeschrittenen Flächenbildung wären (Abb. 1). In der folgenden Erläuterung der beiden Standpunkte werden die Gegensätze in etwas zugespitzter Weise herausgestellt.

(A) Die Schichtstufenlandschaft besteht aus einer Abfolge unterschiedlich erosionsanfälliger Schichten. Erosionsresistentere Schichten bilden die Schichtstufen genannten Geländestufen und werden daher als Stufenbildner bezeichnet, während leichter ausräumbare Gesteine die Basis der Stufen bilden und daher auch Sockelbildner genannt werden (zur nicht durchweg einheitlich gebrauchten Terminologie der Schichtstufenlandschaften siehe BLUME 1971, SCHUNKE & SPÖNEMANN 1972, sowie geomorphologische Lehrbücher, z.B. AHNERT 1996). Das unterschiedliche morphologische Verhalten von Stufenbildnern und Sockelbildnern wird neben der physikalischen oder chemischen Verwitterungsresistenz auch von der Durchlässigkeit bestimmt: Stufenbildner sind relativ durchlässige Gesteine mit geringem oberflächlichen Abfluß und geringer Denudations-Anfälligkeit; in der Regel handelt es sich dabei um Sandsteine oder Karbonate. Sockelbildner weisen dagegen eine geringe Durchlässigkeit auf – meist sind dies Tonsteine oder Mergel, die durch Verwitterung rasch gelockert werden und so auch anfällig für oberflächliche Abspülung sind.

Oberhalb der Stufe befindet sich die Stufenfläche (frühere Begriffe: Dachfläche, Abdachungsfläche, Landterrasse), die dem Einfallen der Schichten folgt, auch wenn der Winkel in der Regel flacher ist. Von dem einen Standpunkt aus wird der Bereich der Schichtstufe für die Formung des Landschaftstyps „Schichtstufenland“ als relevant angesehen. Hier sollen Abtragungsprozesse (Hang-

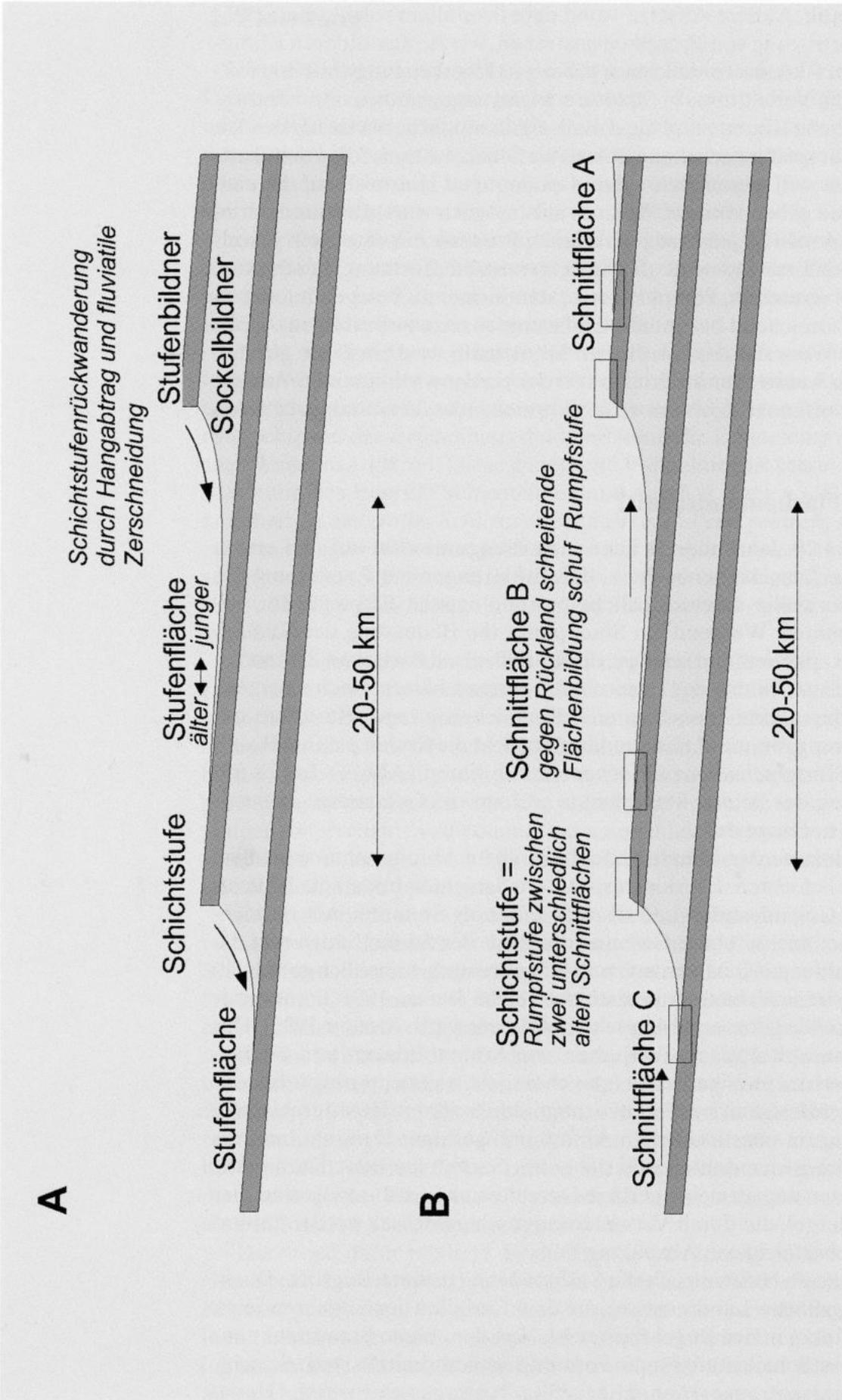


Abb. 1: Schematische Gegenüberstellung der beiden Erklärungsansätze zur Schichtstufenlandgenese. Skizze (A) zeigt den Ansatz der strukturgesteuerten Formung und enthält die gebräuchlichen Begriffe für die wesentlichen Elemente der Stufenlandschaft. In der Skizze (B) werden die Stufenflächen als Schnittflächen verstanden. Die Schritte jeder Fläche gehen jeweils in zwei Richtungen: zum einen geht der Stufenbildner nach oben in den nächsthöheren Sockelbildner über, zum anderen ist der Stufenbildner an der Stufe meist auf sein basales, stufenbildendes Schichtglied reduziert, während höhere erosionswiderständige Schichten erst in gewisser Entfernung vom Stufenrand auftreten (diese zwei Übergangsbereiche sind mit Rechtecken markiert).

rutsche, Abschwemmung, linienhafte und rückschreitende Erosion der Stirnbäche, Quellerosion) zur mehr oder weniger kontinuierlichen Zurückverlegung der Stufe führen. Die zwischen den Stufen gelegenen Abdachungsflächen würden sich so in Richtung der stratigraphisch höheren Stufe ausweiten, während sie von der tieferen Stufe her durch deren Rückwanderung aufgezehrt werden. Die Stufenflächen wären demnach zur tieferen Stufe hin alt, vor der höheren hingegen jung, da sie hier eben erst durch Rückwanderung der Stufe geschaffen wurden. Der Abstand zwischen den Stufen würde von der Mächtigkeit und dem Einfallswinkel des Stufenbildners sowie der Eintiefung des Gewässernetzes abhängen (so sind bei flachem Einfallen des Stufenbildners weite Stufenflächen zu erwarten). Der Sockelbildner zieht von der tieferen Stufe zur nächst höheren, wobei er auf diesem Weg vom nächsten Sockelbildner überlagert wird. Die Stufenfläche wird in diesem Ansatz als strukturgebundene, relative Denudationsbasis verstanden, die im Laufe der Zeit durch Entfernung der erosionsanfälligen Schichten herauspräpariert wird.

(B) Der zweiten Ansicht zufolge besteht die Schichtstufenlandschaft aus einer treppenartigen Abfolge von Flächen. Diese Flächen werden, zumindest hinsichtlich ihrer Genese, nicht als an erosionswiderständige Schichten gebundene Strukturflächen verstanden. Da die Landoberfläche die stufenbildenden Schichtflächen (zumindest bei weiträumiger Betrachtung) spitzwinklig schneidet, wird hier in genetischer Hinsicht nicht von einer Stufenfläche, sondern von einer die Schichten kappenden Schnitt- oder Skulpturfläche gesprochen. Da Schnittflächen in bestimmten Abschnitten erosionswiderständige Strukturflächen/Schichtflächen schneiden müssen, können in diesen Bereichen Schnittfläche und Schichtfläche durchaus über eine kleinräumige Erstreckung zusammenfallen. Solche Erscheinungen werden aber nur als regional begrenzte Modifikationen der Schnittflächen angesehen und terminologisch als Adaptions- oder Akkordanzflächen eingeordnet (z.B. BÜDEL 1957a, S. 38ff.).

Die Flächen sollen nicht durch die Rückwanderung der Schichtstufen bzw. von den an die Entfernung des Stufenbildners anschließenden Denudationsprozessen freigelegt worden sein, sondern werden als Resultat spezifisch flächenbildender Prozesse angesehen. Solche Prozesse sollen – wie im etwa von BÜDEL (1957a) vertretenen Extremfall – die Eigenschaft haben, daß sie weitgehend unabhängig von der Verwitterungsbeständigkeit der betroffenen Gesteinskörper arbeiten, und somit von der Struktur (dem Wechsel harter und weicher Schichten, inklusive dem Einfallen dieser Schichten) unabhängig funktionieren. Gemäßigtere Standpunkte beschränk(t)en sich darauf, ausgehend vom Schnittflächencharakter auf die Bedeutung von Rumpfflächen- oder Peneplainbildung im Schichtstufenland hinzuweisen.

Die Bedeutung der Schichtstufen als dynamisches Formenelement der Schichtstufenlandgenese wird aus einer solchen Perspektive stark relativiert oder gar völlig abgestritten. Sie werden meist als passive Reliktformen zwischen zeitlich wie auch vom Niveau her unterschiedlichen Einebnungsniveaus verstanden. Für jede einzelne Stufenfläche würde dies bedeuten, daß sie in viel weiterem Maß als jene bei (A) isochron (also im idealen Fall zeitgleich) entstanden wären. Die Stufenflächen werden im wesentlichen als fossile Vorzeitformen eingeschätzt, und da die Stufen selbst als passive Elemente – BÜDEL (1957a) spricht wiederholt von „Arabesken“ – angesehen werden, ergibt sich ein Bild, in dem die Schichtstufenlandschaft im wesentlichen als eine vorzeitliche, gegenwärtig nicht in Entwicklung begriffene Landschaft erscheint.

3. Historische Skizze (Teil I): Von DAVIS (1899) bis BÜDEL (1957)

Eine wesentliche Grundlage zu dem oben skizzierten Antagonismus wurde im Jahr 1899 von DAVIS durch die sogenannte Zyklustheorie geschaffen. Genau betrachtet, handelt es sich nicht um eine ausgearbeitete Theorie, sondern um ein landschaftsgenetisches Prinzip, das eine ideale Entwicklung charakterisiert. Geht man davon aus, eine Landschaft würde (z.B. durch tektonische Hebung) der Erosion ausgesetzt, dann würde zuerst eine tiefe fluviatile Zerschneidung einsetzen. Diese jugendliche Landschaft altert (um die Metaphern von DAVIS zu gebrauchen), indem Höhenlagen zunehmend isoliert und schließlich erniedrigt werden. Das greisenhafte Endstadium wäre erreicht, wenn die Landschaft weitgehend zu einer Peneplain eingeebnet wäre. Eine neuerliche Belebung der Erosion (durch Hebung der Region bzw. Senkung der Erosionsbasis) könnte einen neuen Zyklus auslösen.

Auf der Grundlage dieses Konzeptes findet man in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts zahlreiche Autoren, die das Schichtstufenland als eine vertikale Abfolge solcher Peneplains betrachteten. Die Anwendung der Zyklen­theorie auf das Schichtstufenland wird eingehender bei SCHMITTHENNER (1920, sowie 1956, 20ff.) geschildert. GRADMANN kommentiert die Wirkung dieses Gedankens nicht ohne Sarkasmus: *Die Vorgänge, durch die aus einem schiefgestellten Schichtengebäude ein Schichtstufenland wird, schienen bis vor kurzem jedermann klar und eindeutig: die weichen Schichten werden überall, wo sie zum Vorschein kommen, durch die Kräfte des Luftkreises zerstört und weggeräumt, die harten Deckschichten werden dadurch als Stufen herausgearbeitet, 'herauspräpariert'. Das süddeutsche Schichtstufenland galt daher als Schulbeispiel einer in tektonisch-morphologischer Hinsicht restlos aufgeklärten, ungewöhnlich einfachen und durchsichtigen Landschaft. Erst wie die so vielfach anregende Zyklustheorie aufkam und auch hier neue und besonders ansprechende Lösungen verhieß, fing man an, Schwierigkeiten zu sehen, die vorher niemand gesehen hatte* (1931, 1956, 1977, jeweils S. 22f.).

Wie dieses Zitat durchblicken läßt, wollte GRADMANN sich mit der Zyklustheorie und ähnlichen Ansätzen nicht anfreunden. Von Beginn an (GRADMANN 1919) hat er bis hinein in sein weitverbreitetes – und bis in die jüngere Vergangenheit einflußreiches – Werk Süddeutschland (1931, 1956, 1977) den Standpunkt vertreten, daß die *uns bekannten Kräfte* (1977, S. 24) – und damit meinte er nichts anderes als die alltäglich zu beobachtende Hangdenudation – ausreichen, die Entstehung und Fortbildung der Schichtstufenlandschaft zu erklären. Durch Hangverschneidung würden die Riedel zwischen den Tälern tiefergelegt und schließlich verschwinden, wobei erosionswiderständige Schichten als relative Denudationsbasis dienen und so zur weit aushaltenden Stufenfläche werden sollen. GRADMANN hatte kein Problem mit Schnittflächen, deren Existenz in den Flächenbildungskonzepten für die Wirkung einer strukturunabhängigen Einrumpfung sprechen sollte. In seinen Augen waren solche Schnittflächen auch bei der denudativen Herauspräparierung der Strukturflächen möglich.

Vehementer hat sich Georg WAGNER (1927) gegen die angebliche Existenz von Schnittflächen bzw. einer DAVISschen Peneplain ausgesprochen. Durch Kalkulationen versuchte er zu zeigen, welche außerordentlich große flächenhafte Verbreitung selbst geringmächtige Stufenbildner einnehmen, so daß ihm der Begriff „Schichtfläche“ wesentlich treffender als „Schnittfläche“ den Charakter der Landoberfläche zu beschreiben schien. In jüngerer Zeit wurde dieser Aspekt nochmals von DONGUS (1974) hervorgehoben. Auch WAGNER hat mit seiner „Einfüh-

„... in die Erd- und Landschaftsgeschichte“ (3. Aufl. 1960) weit über den akademischen Bereich hinaus Einfluß auf die Vorstellungen von der Schichtstufenlandgenese genommen. Mit seinem Beharren auf der strukturgesteuerten Entstehung der Landoberfläche (Stufenfläche) und der Betonung auf den Stufenhang als das dynamische Element, das die weitgehend kontinuierliche Rückverlegung der Schichtstufe steuern sollte, verlieh er einer einfachen wie auch anschaulichen Vorstellung von der Schichtstufenlandformung großen Nachdruck.

Einen einflußreichen Weggefährten in der Auseinandersetzung mit Vertretern von Flächenkonzepten erhielt WAGNER durch Heinrich SCHMITTHENNER, der in zahlreichen Arbeiten (1920-1956) das Problem behandelte und als einer der wichtigsten Vertreter der strukturbestimmten Schichtstufenlandtheorie angesehen wird. Auch er betont die Bedeutung der Stufenrückwanderung bei gleichzeitiger Zurückweisung der Vorstellung von einer Rumpffläche oder Peneplain. In seinem Bestreben, die formenden Prozesse genauer zu bestimmen, geht er über WAGNER und auch GRADMANN hinaus. Neben der v.a. durch Quellerosion angelegten Stufenrückwanderung soll – vor allem für die Gestaltung der Stufenflächen – als zweiter Prozeß die sogenannte Dellenbildung bedeutend sein. Ausgehend von kleinen Hohlformen (Dellen) und „Flachtälchen“ würde die Stufenfläche durch Denudation herauspräpariert werden.

In den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts schienen strukturbedingte Erklärungen der Schichtstufenlandschaft die durch die DAVISSche Zyklustheorie ausgelösten Angriffe weitgehend überwunden zu haben. Das Zyklusmodell hatte überdies die Schwäche, daß die Entwicklung einer Peneplain viel Zeit in tektonischer Ruhe zu brauchen schien – Zeit, die, so hat vor allem WAGNER immer wieder hervorgehoben (1927, S. 369; 1960, S. 155), für die fragliche Region nicht bestanden habe. Ganz im Gegenteil schien das Schichtstufenland seiner Ansicht nach wiederholt Hebungen erfahren zu haben, so daß ständig Relieffenenergie erneuert und somit anhaltend eine „junge“ Landschaft bestanden hätte, in der es daher auch schon immer Schichtstufen gegeben haben müsse. Diese Schwäche des DAVISSchen Konzeptes wurde allerdings schon von Walther PENCK (1924) diagnostiziert und durch ein Modell ersetzt, in dem Einebnung mit tektonischen gesteuerten Hebungen gleichzeitig zur Wirkung kommen und mit dieser prinzipiell auch Schritt halten könne. Dieser Ansatz hat zwar Versuche bestärkt, in den Stufenflächen strukturschneidende Rumpfflächen zu sehen, doch diese Erklärungen konnten sich dennoch nicht durchsetzen, und auch SCHMITTHENNER hat diese dynamischeren Ansätze zur Schnittflächenbildung, was die Genese des Schichtstufenlandes anging, für irrelevant gehalten.

Ein weiterer Schwachpunkt der Rumpfflächen- oder Peneplainkonzepte war ihr Mangel an Anschaulichkeit hinsichtlich der flächenbildenden Prozesse. Die in Frage kommenden Einebnungsprozesse lagen nicht vor den Augen, und vor allem erschienen sie als Konzept – angesichts der heutigen Verhältnisse – sehr abstrakt, während die Stufenrückwanderung durch anschauliche Phänomene wie Bergstürze, geköpfte Täler oder steil eingeschnittene Stirnbäche an der Stufenfront lebendiger und treffender zu sein schien und so als formendes Prinzip höhere Plausibilität gewinnen konnte.

DAVIS (1899) wie PENCK (1924) hatten den klimabedingten Aspekten der flächenbildenden Prozesse nur untergeordnete Bedeutung zugemessen. Dies teilten sie mit den Schichtstufentheoretikern wie WAGNER, GRADMANN und SCHMITTHENNER, die klimatische Differenzierungen ebenfalls als nachrangig ansahen. Die Klimageschichte der Zeit, in der das süddeutsche Deckgebirge am Ende des Jura

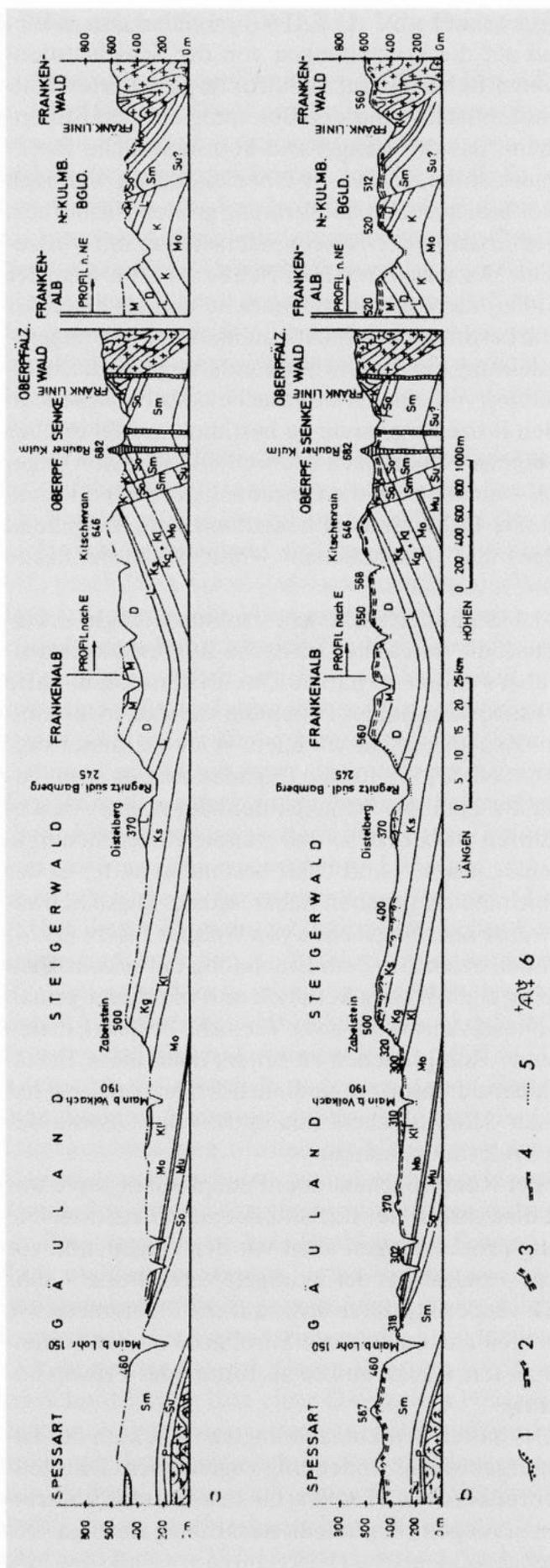


Abb. 2: Bündels West-Ost-Profil durch Franken, wie es in den Grundzügen der klimamorphologischen Entwicklung Frankens (1957) und unverändert in seiner Klima-Geomorphologie (1977) wiedergegeben ist. Das obere Profil kariert die strukturbetonnten Darstellungen der Schichtstufenlandschaft, während das untere Profil die tatsächlichen, von Einebnungsflächen bestimmten Verhältnisse zeigen soll. (1: Schichtstufen - 2: miozäne oder ältere Rumpfflächen und Restberge - 3: sarmato-pontische Rumpffläche mit Restbergen - 4: ober- und mittelplozäne Rumpfflächen, wobei 3 und 4 von älteren Flächen „traditional vererbt“ sein sollen - 5: pleistozäne Terrassen und Talsohlen und 6: Kristallin des geologischen Unterbaus).

aus dem Meer auftauchte, und (mit einer Unterbrechung durch einen Meeresvorstoß in der Oberkreide) bis zur Gegenwart der Verwitterung und Abtragung unterworfen ist, war in groben Zügen allerdings bekannt. Offenbar über lange Zeit wirkende tropische Klimate und nachfolgend das quartäre Klima mit dem Wechsel von Glazialen und Interglazialen hat die süddeutsche Landschaft extremen klimatischen Unterschieden ausgesetzt, die sicher spezifische Prozesse und Formen zur Folge gehabt haben müssen.

Dieser Aspekt wurde in den fünfziger Jahren durch die Klima(geo)morphologie aufgegriffen. Ein in seiner Schärfe und Polemik gegen die strukturell bestimmten Sichtweisen bemerkenswerter und noch bis heute anregender Beitrag von BÜDEL (1957a) bildet einen Markstein in der Diskussion um die Genese der Schichtstufenlandschaft. Ihm verdanken wir auch die pointierteste Gegenüberstellung der beiden Sichtweisen zur Schichtstufenlandschaft (Abb. 2). Man sieht, daß BÜDEL der von ihm kritisierten strukturbetonten Sichtweise ein Profil entgegenstellt, welches nicht viel weniger durch die theoretische Brille geformt wurde (bis heute fehlt ein maßstäblich korrektes Profil, das die tatsächlichen Verhältnisse zwischen Schichtengebäude und Landschaftsoberfläche zeigt). Wie auch immer, diese Gegenüberstellung markiert treffend die Kritik des Autors wie das Programm, das er für richtungsweisend hält.

Der für unsere Fragestellung wesentliche Aspekt an BÜDELS klimamorphologischem Ansatz ist die enge kausale Verbindung von Flächenbildung mit dem wechselfeucht-tropischen Klima. In solchen Verhältnissen sollen vor allem nach dem ebenfalls von BÜDEL (1957b) entwickelten Konzept der Doppelten Einebnungsfläche (strukturellschneidende) Skulpturflächen entstehen, und zwar auch in Phasen tektonischer Hebung (vgl. ebenfalls BÜDEL 1977, S. 94ff., THOMAS 1994, kritische Einschätzung z.B. bei AHNERT 1996, S. 276ff.). Fluviale Zerschneidung, und damit die Ausbildung des Reliefs in seiner heutigen Gestalt, wäre erst unter kühlen Klimaten des Quartärs möglich gewesen, als „exzessive Talbildung“ die „exzessive Flächenbildung“ des wechselhaft-feuchten Tropenklimas abgelöst habe. Allein der im Quartär einsetzenden Talbildung hätte die Landschaft ihre Schichtstufen zu verdanken, die somit nur „Arabesken“ in einer Landschaft wären, die ihre wesentlichen Züge durch Flächenbildungsprozesse erhalten habe.

BÜDEL hat stets um den Vorrang der Klimamorphologie über die epirogenetischen, hydrologischen wie tektonisch-strukturellen Bedingungen gerungen. Nicht Hebungen oder Absenkungen einer Landschaft sollten über ihr Relief entscheiden, sondern das Klima. Und auch das Klima würde bestimmen, ob Flüsse lediglich passive Entwässerungsbahnen an der Oberfläche tiefgründiger Verwitterungsrinden bilden, oder ob sie (wie in den Kaltzeiten) zur aktiven Eintiefung in der Lage sind. Diese als nahezu notwendig hingestellte Abhängigkeit der geomorphologischen Prozesse von spezifischen Klimaten legt es nahe, in bestimmten Fällen gleichsam „deduktiv“ zu argumentieren: Wo immer ein bestimmtes Klima geherrscht haben muß, müssen auch entsprechende geomorphologische Prozesse abgelaufen sein. Besonders für die Zeit der Kreide und des Tertiärs, in der lange tropische bzw. tropisch-wechselfeuchte Klimate geherrscht haben sollen, schien es so möglich, Flächenbildungsprozesse im Sinne der Doppelten Einebnung oder allgemeinerer Formen tiefgreifender chemischer Verwitterung annehmen zu können. Die „subkutane“ (BÜDEL) Wirkung dieser Verwitterung sollte in der Lage sein, über jegliche strukturellen Unterschiede des Substrats hinwegzugehen.

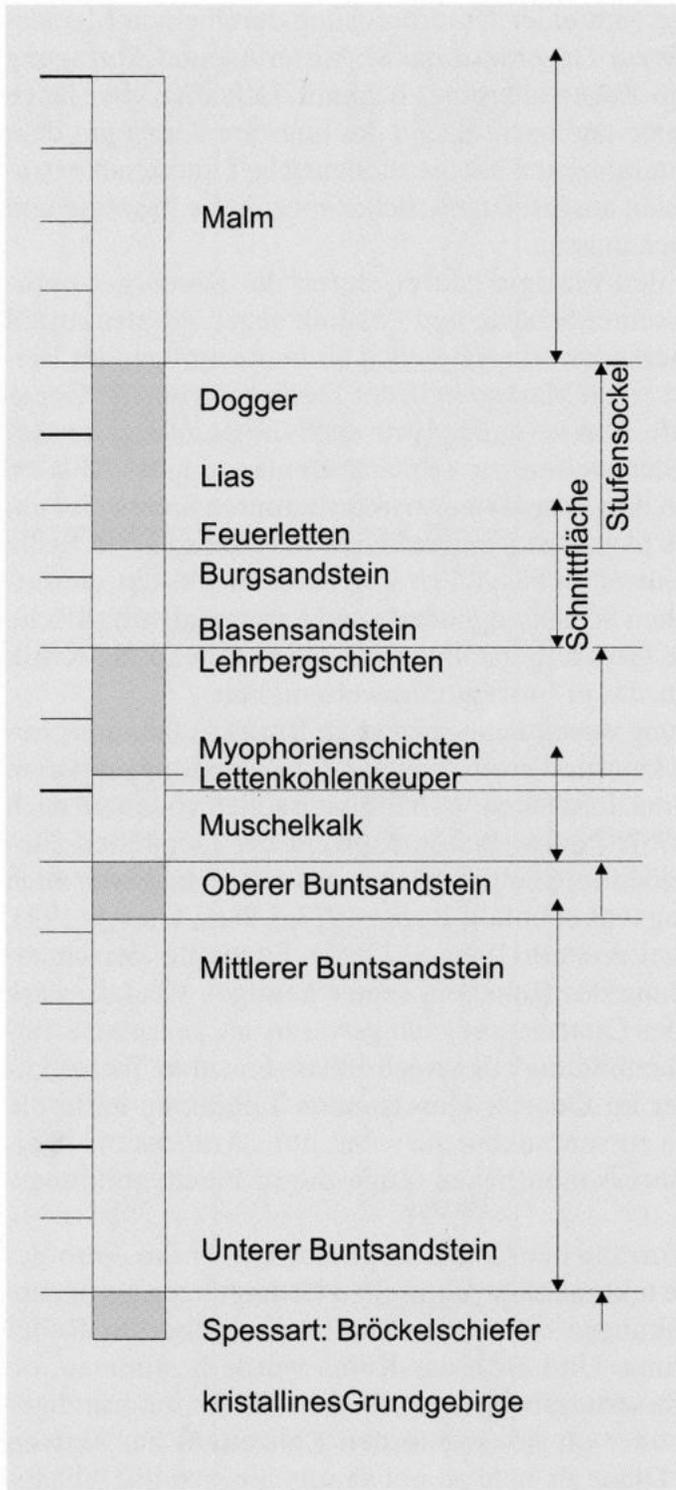


Abb. 3: Stark schematisiertes Säulenprofil der Deckgebirgsabfolge im Süddeutschen Schichtstufenland (die Skala am linken Rand gibt eine Orientierung zu den Mächtigkeiten in 100 m-Schritten). Stufenbildner (weiß) und Sockelbildner (grau) sind verallgemeinerte Darstellungen, die vorzugsweise erosionswiderständige bzw. erosionsanfällige Schichtenfolgen charakterisieren, wobei in ihrer Mächtigkeit untergeordnete Schichtglieder (wie z.B. Doggersandstein oder Schilfsandstein in den Stufenhängen der Alb bzw. der Keuperstufe) nicht hervorgehoben sind. Schichtstufen lassen sich zuverlässig über mächtigen Sockelbildnern erwarten, wobei die markantesten Schichtstufen (Malm- und Keuperstufe) tatsächlich über den mächtigsten Sockelbildnern auftreten. Schnittflächen beginnen stets an der Basis des Stufenbildners, und ziehen über weitere abtragungsresistente Schichtglieder in die basalen Bereiche des nächsthöheren Sockelbildners hinein.

Von wesentlicher Bedeutung für die Entstehung des Süddeutschen Schichtstufenlandes war in diesem Zusammenhang die Kenntnis, wie zwingend bestimmte Klimate spezifische morphologische Prozesse tatsächlich steuern, und inwieweit auch in unserer Region plausible Hinweise dafür zu finden sind. Von der postulierten ehemals mächtigen Verwitterungsdecke findet man allerdings höchstens reliktsche Spuren - damit wird zuerst nicht mehr belegt als bestimmte Vorzeitklimate, aber nicht Wirksamkeit und Reichweite eines bestimmten Einbnungsprozesses. Um so wichtiger mußte es erscheinen, die Notwendigkeit der

postulierten Prozesse in Regionen nachzuweisen, in denen die bei uns vorzeitlichen Klimate heute herrschen. Diese methodologische Situation führte dazu, daß ein Problemexport eingeleitet wurde, indem die Schichtstufenlandgenese nicht nur vor Ort in Süddeutschland, sondern nun auch in diesen fernen Regionen zu klären war.

4. Historische Skizze (Teil II): Von BÜDEL bis heute

4.1. Die Tradition BÜDELS

Der klimamorphologische Ansatz wurde rasch zu einem Forschungsprogramm mit einer positiven Heuristik, also einer Fragestellung, die forschungsanregend wirkte und in deren Verlauf man fruchtbare Ergebnisse erwartete. Wie jedoch oben angedeutet, waren wichtige Fragen weniger bei uns als in anderen Klimazonen zu erforschen. Es ist nun aber keine triviale Aufgabe, in einer bestimmten Region die aktuell wirksame Morphogenese und ihre wesentlichen Faktoren zu bestimmen – vermutlich hätte es bei uns diese Kontroverse nicht gegeben, wenn man das Verhältnis gegenwärtiger oder zumindest erdgeschichtlich junger Landschaftsformung zu alten, ererbten Strukturen so einfach aufzeigen könnte. Tatsächlich hat die Erforschung der Morphogenese in den tropischen wie arktischen Gebieten nicht zu Ergebnissen geführt, die die Beziehungen zwischen Klima und Erscheinungsbild so eindeutig gestalten konnten, daß man sie mit hinreichender Plausibilität allein aufgrund paläoklimatischer Erwägungen auf das Süddeutsche Schichtstufenland hätte übertragen können.

Eine besonders engagierte Fortsetzung des klimamorphologischen Programmes BÜDELS findet man in den Arbeiten Hanna BREMERS. Ihr Konzept der divergierenden Abtragung (1971) versucht zu erklären, warum in den wechselfeuchten Tropen nicht wie in unseren Klimaten die Hänge, sondern die Senken bzw. Flächen die Bereiche intensivster Verwitterung sind. BÜDEL hat dieses Modell als wertvolle Ergänzung zu seinem Konzept der Doppelten Einebnungsfläche angesehen und in seine Klimageomorphologie aufgenommen (BÜDEL 1977). BREMER hat auch das Inventar von morphologischen Formen, wie sie im Bereich tropischer Verwitterung und Abtragung entstehen können, erweitert und begrifflich gefaßt: „Flächenbuchten“, „Flächenpässe“, „Flächenstreifen“ sind solche Begriffe, die man am Ende auch in Arbeiten zur Fränkischen Schichtstufenlandschaft findet.

Dem Leser, der die Entwicklung der Diskussion nicht kennt, erschließt sich nicht sofort, in welchem Maße es sich dabei um genetische Begriffe handelt, mit denen schon bestimmte Vorstellungen von der Geschichte dieser Landschaft verknüpft sind. Die Arbeit von BREMER (1989) soll hierfür stellvertretend erwähnt werden, weil sie, obwohl neueren Datums, als mustergültig für die Position der klimamorphologischen Interpretation des Schichtstufenlandes ist. In ihr findet man, ohne daß dies weiter begründet wird, die oben genannten Begriffe aus der Geomorphologie der Tropen. Arbeiten, die abweichende Standpunkte vertreten, besonders solche, die die strukturelle Bindung der Schichtstufenlandschaft betonen, werden in diesem Zusammenhang nicht erwähnt. Der Schluß *The landforms cannot, however, be explained by an extra-polation of the present-day processes* (ebd., S. 66) muß so – genau betrachtet – nicht als Ergebnis, sondern als Voraussetzung der Argumentation erscheinen.

Die genannte Arbeit ist auch insofern erwähnenswert, als die Autorin versucht, einige klassische Argumente der strukturorientierten Ansätze (geköpfte Täler als Ausdruck der Stufenrückwanderung, Vorspringen von Stufenbildnern in tektonischen Mulden- oder Grabensituationen) für ihr Flächenbildungsmodell in Anspruch zu nehmen. An dieser Stelle erscheint es daher sinnvoll, die Ambivalenz von Geländeformen als ein zentrales Problem der Diskussion um die Schichtstufenlandgenese herauszustellen und die diesbezüglich auseinandergehenden Interpretationen methodologisch-kritisch zu prüfen.

4.2. Mehrdeutige Erscheinungen im Schichtstufenland

Geomorphologische Formen sind wie viele erdgeschichtliche Zeugnisse oft nicht eindeutig auf bestimmte genetische Prozesse zurückzuführen. Formen mit geringer genetischer Ambivalenz, wie z.B. Schliiffspuren auf Gesteinen, die auf die Wirkung von darüberziehenden Gletschern oder sonstiger über die Oberfläche schrammender Gegenstände zeugen, sind eher selten. In der Frage um die Genese des Schichtstufenlandes sind es nun nicht nur einzelne Formen, die solche Ambivalenzen zeigen, sondern auch schon die wesentlichen Grundzüge der Schichtstufenlandschaft selbst, also die Stufen und die Stufenflächen, die Ausgangspunkt für gegensätzliche Interpretationen sind.

Die hohe Bedeutung, die der Existenz von Schnittflächen in der Argumentation für eine durch (tiefgreifende tropische) Flächenbildung bestimmte Schichtstufenlandschaft zukommt, steht im Gegensatz zu dem Umstand, daß Schnittflächen in jeder Landschaft unvermeidlich sind. Jeder Schichtkörper hat seine Grenze, und keiner Schicht kann die Landoberfläche deshalb endlos folgen. Dieser Gedanke wird besonders deutlich, wenn man sich eine in die senkrechte Lage verkippte Gesteinsfolge vorstellt: soll die Landoberfläche dieser etwa bis zum Erdmittelpunkt folgen? Im Fall der Schichtstufenlandschaft fallen die Schichten jedoch nur mit sehr geringer Neigung ein. Dieser Umstand bietet der Abtragung Strukturflächen an, aber die Entwicklung der Abtragung folgt ja stets auch einem vom Entwässerungssystem bestimmten Gefälle, und somit muß die Strukturfläche irgendwann zugunsten eines tieferen oder höheren lithologischen Niveaus geschnitten werden. Das bedeutet aber auch, daß die Existenz von Schnittflächen – wegen der Unvermeidlichkeit ihres Vorkommens – an sich kein gutes Kriterium hinsichtlich eines spezifischen Modells zur Schichtstufenlandgenese liefern kann.

Im Unterschied dazu kann dem Argument, Schichtstufen würden stets nur über Sockelgesteinen auftreten, die leichter als der Stufenbildner auszuräumen wären, wesentlich höhere, nämlich prinzipielle Bedeutung zugemessen werden. Betrachtet man ein mehr oder weniger generalisiertes, Säulenprofil der vorliegenden Schichtenfolge, dann kann man aufgrund dieses Prinzips vorhersagen, in welchen Abschnitten des Profils die Stufen liegen würden, vorausgesetzt, man gibt genügend Reliefenergie vor (Abb. 3). Ebenso ist anhand eines solchen Profils vorhersagbar, in welchem Bereich der Gesteinsfolge eine Schnittfläche auftritt: Eine solche zieht stets vom tieferen Stufenbildner zum höheren, wobei vor der nächst höheren Stufe deren Sockelbildner angeschnitten wird. Schnittflächen sind somit gerade bei strukturorientierten Ansätzen besonders gut in ihrem Auftreten einzugrenzen.

Der Umstand, daß sich innerhalb einer Schichtenfolge die Position der Schnittfläche wie der Stufen vorhersagen läßt, erscheint so regelhaft, daß solchen strukturellen Gründen schon a priori wesentlich mehr Plausibilität zukommt als jenen, die (wie BÜDEL) strukturschneidenden Prozessen Vorrang einräumen möchten. Wäre das tatsächlich der Fall, dann würden die Stufenflächen – anstatt in ihrer Position innerhalb einer Gesteinsabfolge vorhersagbar zu sein – beliebige Niveaus einnehmen. Das ist nun aber nicht der Fall und wurde seit GRADMANN (1919, S. 121) von zahlreichen Autoren (u.a. WAGNER 1927, DONGUS 1974, speziell für die Gäufläche WIRTHMANN 1994) hervorgehoben.

Weitere Erscheinungen, die häufig für die eine oder andere Argumentation benutzt werden, sind (1) geköpfte Täler und (2) das Vorspringen von Stufenbildnern in tektonischen Mulden- oder Grabenpositionen.

Geköpfte Täler sind allerdings ein Phänomen, das bei der Stufenrückverlegung notwendig dann entsteht, wenn Flüsse, die auf der Stufenfläche dem Schichtfallen folgend in Richtung der strukturell nächst höheren Stufe fließen („konsequente Flüsse“), in ihrem Oberlauf von der zurückweichenden Stufe angeschnitten oder von Stirnbächen des Stufenhanges angezapft werden. Da Stufenrückverlegung aber an sich noch kein Beleg für einen bestimmten Prozeß oder für eine bestimmte Genese der Schichtstufenlandschaft ist (auch Flächenbildung soll sich schließlich gegen höhere Flächen vorgearbeitet und so Stufen erzeugt haben), ist diesem Argument die Ambivalenz nicht grundsätzlich zu nehmen. Allerdings, und so hat z.B. WAGNER (1960) diese Erscheinung auch eingeordnet, belegen geköpfte Talquerschnitte, wenn sie als junge Formen bestimmbar sind, eine entsprechend junge Rückverlegung der Schichtstufe und somit zumindest eine Stufenrandaktivität in jüngerer Zeit.

Das Vorspringen der Stufenbildner in tektonisch tiefen Positionen wurde schon in frühen Arbeiten hervorgehoben (z.B. SCHMITTHENNER 1920, S. 211). Soweit dem Verfasser bekannt ist, wurde diese Erscheinung aber bisher nicht genauer erklärt. Auch der Umstand, daß beide Parteien dieses Argument für sich in Anspruch nehmen, belegt, daß eine allgemein akzeptierte Erklärung für diese Erscheinung fehlt – denn ein Phänomen kann schließlich erst dann als gutes Argument verwendet werden, wenn sein genetischer Kontext bestimmt ist.

Auf den ersten Blick scheint das Phänomen ein Argument für die Schnittflächen- oder Peneplainbildung zu sein: Denkt man sich eine Landoberfläche durch einen flächenhaften Einebnungsprozeß geschaffen, und würde diese Einebnungsfläche ideal eben sein, dann wären die Stufenbildner in tiefliegenden Positionen diesem Prozeß eher entkommen und damit erhalten geblieben – auch BREMER (1989, S. 47) versucht, sich diese Erscheinung mit einer solchen Argumentation zunutze zu machen. Strukturorientierte Autoren verweisen ebenfalls häufig auf diesen Sachverhalt, wobei die eigentliche Bedeutung des Argumentes aber meist weitgehend dunkel bleibt (vgl. z.B. SIMON 1987). In der Regel wird ohne genauere Begründung auf die längere Erhaltung in tieferen Positionen hingewiesen, wobei möglicherweise – ohne dies zu reflektieren – die Idee des im 19. Jahrhundert formulierten NEUMAYRischen Prinzips im Hintergrund steht. Demnach soll die Abtragung um so intensiver voranschreiten, je höher die betroffene Region exponiert ist, und sich so am Ende ein Reliefausgleich einstellen (NEUMAYR 1877, S. 466ff.). Angesichts solcher unpräziser genetischer Vorstellungen bleibt das fragliche Phänomen aber weiter ambivalent – um diesem Mangel abzuhelfen, wird hierzu am Schluß unserer historischen Betrachtung ein auf fluviale Dynamik gegründetes Modell vorgestellt.

4.3. Der Rückzug der Klimamorphologie

Gegen Ende des 20. Jahrhunderts läßt sich in der Schichtstufenlanddiskussion eine defensivere Haltung der klimamorphologischen Konzepte feststellen – dies gilt besonders, wenn man die Beiträge an dem zugespitzten Standpunkt BÜDELS mißt. Die von Flächenbildung ausgehenden Konzepte suchen nun häufiger den Kompromiß mit strukturellen Argumenten. So konzediert etwa BOLDT (1998) anhand einer Studie über die Haßberge, daß Flächenbildung besonders in strukturell anfälligen Bereichen eingesetzt haben soll, und versucht die Landschaft nun unter den Typus „strukturell adaptiert“ zu stellen. Gleichwohl beharrt er weiter darauf, daß Flächenbildungsprozesse weiterhin wesentlich wären, denn wenn auch nur „restriktive Flächenbildung“ stattgefunden habe, wären Schichtstufen noch immer als Folge „hangversteilender Flächenexpansion“ anzusehen.

Sieht man von dem gängigen wissenschaftsgeschichtlichen Argument ab, daß Ideen häufig mit ihren Protagonisten aussterben, dann gibt es doch eine Reihe von sachlichen Gründen, die eine solche defensive Entwicklung förderten. Wie schon an anderer Stelle angedeutet, sind die geomorphologischen Prozesse sowie das Verhältnis klima- zu strukturgesteuerter Morphodynamik komplexer als von BÜDEL und seinen Schülern zunächst angenommen wurde. Das gleiche gilt für die Überlagerung von Vorzeitformen mit dem Formenschatz, der in der gegenwärtigen morphogenetischen Phase entstand, entsteht bzw. unter bestimmten Bedingungen wieder aktiviert werden kann. So dürfte auch für die Flächenbildung in den heutigen wechselfeuchten Tropen der Anteil vorzeitlicher Prozesse und Klimate häufig nicht so ohne weiteres auszuschließen sein (vgl. etwa BRONGER 1985).

Die weitere Erforschung der Klimageschichte legt überdies nahe, daß im jüngeren Tertiär, einer Zeit, in der BÜDEL massive Flächenbildung am Wirken sah, vermutlich die klimatischen Bedingungen dafür nicht ausreichten (BORGER 2000). Andere Autoren sehen auch die Möglichkeit anderer Flächenbildungsprozesse als der doppelten Einebnung, wobei physikalische Verwitterung und Pedimentbildung als gegebenenfalls auch nur engräumiger wirkende Alternativen genannt werden (KLEBER 1987, STINGL & GARLEFF 1987, BOLDT 1998). Der nicht zuletzt durch die Klimamorphologie verschärfte Antagonismus zwischen Struktur- und Schnittfläche wurde beträchtlich zurückgenommen, indem Stufen- und Flächenbildung auch unter gleichem Klima nebeneinander vorkommen sollen, bzw. der klimatische Spielraum für solche Flächenbildung relativ weit zu sein scheint (GARLEFF, K. & STINGL, H. 1987, STINGL & GARLEFF 1987). In diesem Zusammenhang wurde auch den fluviatilen Faktoren (Lage des Gewässernetzes, Einschneidephasen) wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt (ebd.). Strukturformeneliminierung und schließlich Einebnung wäre nur bei lange stationäreren Rahmenbedingungen möglich (also bei einer unveränderlichen Erosionsbasis des Entwässerungssystems). Mit solchen Konzepten nähern sich die Autoren ausdrücklich wieder an zyklische Modelle im Sinne von DAVIS an (STINGL 1975, GARLEFF, K. & STINGL, H. 1987). Arbeiten in Frankenalb und Steigerwald (GARLEFF & KRISL 1997) haben verdeutlicht, wie differenziert die Abtragung seit dem ausgehenden Tertiär gewirkt hat, und wie wenig betroffene Gebiete solchen gegenüberstehen, in denen beträchtliche Ausräumung auch im Quartär stattfand.

Die fluviatile Erosion hat gegenüber der auf bestimmte Klimazonen nur eingeschränkt zur Wirkung kommenden Flächenbildung (im Sinne BÜDELS) in der Schichtstufenland-Diskussion an Gewicht gewonnen. Beträchtliche Bedeutung

kommt dabei der Frage zu, ob die Flüsse in den Tropen (wie BÜDEL und seine Schule postulieren) nur in der Lage sind, anderweitig aufbereitetes Verwitterungsmaterial abzuführen, oder ob sie (z.B. infolge tektonischer Anhebung des Geländes) nicht doch aktiv einschneiden und erodieren können. Wäre das nämlich der Fall, dann wäre auch der von BÜDEL angenommene, grundsätzliche Unterschied im fluviatilen Verhalten zwischen Tropen und Außertropen eben gar nicht grundsätzlich, sondern nur, je nach Situation, unterschiedlich modifiziert. Diese Kritik wurde auch von Geomorphologen vorgebracht, die die Bedeutung flächenbildender Prozesse durchaus in vielen Bereichen anerkannten (z.B. LOUIS 1973), und dürfte heute kaum mehr von der Hand zu weisen sein.

Würde, so wie es der Fall zu sein scheint, fluviale Einschneidung und damit fluvial gesteuerte Reliefformung in jedem Klima geschehen können, dann könnte man auch bei der Diskussion um die Schichtstufenlandgenese auf diese einfachste und wohl häufigste Ursache der Reliefgestaltung zurückgreifen. Schichtstufenlandschaften würden demnach in jedem Klima möglich sein (wie BLUME 1971 in seiner Zusammenschau auch als Tatsache feststellt), und fluviale Arbeit wäre dann auch als erstes für die Ausformung der süddeutschen Landschaft in Betracht zu ziehen.

Akzeptiert man eine fluvial gesteuerte Morphogenese, dann sind jedoch letztendlich tektonische Prozesse die ausschlaggebende Ursache. So wie tektonische Hebungsimpulse durch Anregung fluvialer Zerschneidung unter geeigneten strukturellen Bedingungen eine Schichtstufenlandschaft erzeugen könnten, so würde tektonische Ruhe zu einer Fixierung mit nur geringer Stufenrückwanderung führen, und die Landschaft würde, je nach Klima und regionaler Lage zum Entwässerungsnetz, langsamer oder schneller eingeebnet werden. Umgekehrt könnte eine Schichtstufenlandschaft nur dann dauerhaft bestehen, wenn Erosionsimpulse stärker das Relief beleben, als im Gegensatz dazu stabile Phasen der Relieferniedrigung Raum geben.

Würde man diese für die Formung relevanten Prinzipien akzeptieren, dann würde sich die Frage nach der Entstehung des Süddeutschen Schichtstufenlandes dahingehend verlagern, die Geschichte der regional zur Wirkung gekommenen Tektonik zu rekonstruieren. Dabei wird man aber wohl mit dem Problem konfrontiert, daß man die für die landschaftsgeschichtliche Entwicklung relevante Tektonik über weite Zeiträume der Vergangenheit nicht oder nicht fein genug auflösen kann – methodisch geht man außerdem eher den umgekehrten Weg, indem man über erhalten gebliebene (und datierbare) morphologische Zeugnisse die tektonische Entwicklung zu rekonstruieren versucht (vgl. dazu die Ergebnisse der „Morphotektonik“ SCHRÖDERS im folgenden Absatz). Aus solchen Gründen wäre es wenig sinnvoll, darüber zu streiten, ob vielleicht phasenweise in der Unterkreide oder im Alttertiär Schichtstufenlandschaften existiert haben könnten, wenn diese Auflösung nicht möglich ist, und spätere Denudationsphasen ein solches Relief wieder vernichtet haben können, ohne eine Spur davon zu hinterlassen.

4.4. Argumente für eine strukturbestimmte Landschaft

SCHMITTHENNER als ein bedeutender Vertreter für strukturgesteuerte Genese der Schichtstufenlandschaft hat die BÜDELSche Offensive (1957) nicht mehr erlebt. Auch WAGNER hat in der letzten Ausgabe seiner Landschaftsgeschichte nicht

mehr auf diese neuen Ansichten reagiert. Neue Gedanken zur strukturgesteuerten Genese der Schichtstufenlandschaft kamen daher von Autoren einer jüngeren Generation.

Ging WAGNER noch von einer weitgehend kontinuierlichen Zurückverlegung der Schichtstufen aus, so haben neuere Befunde ergeben, daß Bereiche einer Schichtstufe offenbar auch über lange Zeit quasi-stationär bleiben können. So haben die Auswurfmassen des Ries-Meteoriten im Obermiozän vor ca. 14 Millionen Jahren eine Schichtstufe und ein kräftiges, fluviatil geprägtes Relief verschüttet, das sich in gleicher Position wie die benachbarte, unverschüttet gebliebene und somit lange exponierte Stufe befindet (BADER & FISCHER 1987, BADER & SCHMIDT-KALER 1977, SCHMIDT-KALER 1991, 1994). Andererseits muß in Gebieten intensiver Hebung beträchtliche Zurückverlegung erfolgt sein – Belege hierfür liefern besonders Deckgebirgsschollen in tieferodierten Vulkanschloten (Katzenbuckel, Scharnhausen, Heldburger Gangschar, vgl. SCHRÖDER 1996.) Die Entwicklung der süddeutschen Landschaft ist somit offenbar regional sehr unterschiedlich verlaufen. SCHRÖDERS Forschungen in der von ihm als Morphotektonik bezeichneten Fragestellung zielen auf die Rekonstruktion tektonisch induzierter Abtragungsschübe hin, wobei er seinen Grundsatz bestätigt sieht: *Die Abtragung wird entscheidend von der Hebungsgeschichte gesteuert. Lithofazies und Klima sind nachgeordnete Faktoren* (1993, S. 290; ähnlich schon 1968, S. 10). Hinter dieser Aussage steht die erdgeschichtlich gut begründete Annahme, daß die Süddeutsche Großscholle während der Ablagerung der Schichten im Mesozoikum wie auch in der folgenden landschaftsgeschichtlich prägenden Zeit – weit häufiger als früher angenommen – von Bruch- und Verbiegungstektonik betroffen war. SCHRÖDER (1996) sieht in diesem Zusammenhang die Möglichkeit gegeben, daß sich je nach tektonischer Situation an dem einen Ort Skulpturformen, an einem anderen zu gleicher Zeit Strukturformen entwickelt haben können.

Ein weiteres Argument für eine zumindest in bestimmten Bereichen diskontinuierliche Stufenrückverlegung kommt von SIMON (1987). Demnach befinden sich die Schichtstufen in Baden-Württemberg überwiegend in tektonischen Muldenpositionen oder in Bereichen, in denen sich das Einfallen verstärkt. Wäre eine weitgehend kontinuierliche Zurückverlegung wirksam, so müßte man nach Ansicht dieses Autors Schichtstufen in beliebigen tektonischen Positionen finden können – was aber eben nicht der Fall wäre. Allerdings sind die Prozesse, die der Autor für eine solche Entwicklung als Erklärung heranzieht, aus unserer Sicht nur unbefriedigend ausgearbeitet.

Besonders durch die Betonung tektonisch-struktureller Faktoren haben Argumente, die die Bedeutung fluviatiler Prozesse hervorheben, wieder an Gewicht gewonnen. So hat ZEESE (1971a, 1971b, 1972, 1976) die Stufenrückwanderung im schwäbischen Keuperland vor allem durch in Einschneidungsphasen verstärkte fluviatile Rückseitenzerschneidung begründet – von einer Beschleunigung bei tektonischer Hebung bis zur Ruhe oder Fixierung in Zeiten der Ruhe oder Absenkung sieht er alle Möglichkeiten gegeben. Das Resultat wäre also im wesentlichen eine tektonisch induzierte, abschnittsweise Zurückverlegung. Diese Form der Stufenbildung und -wanderung soll schon ab dem frühen Tertiär gewirkt haben, und mit einem Seitenhieb gegen BÜDEL wird herausgestellt, daß es keine Hinweise auf Rumpfflächen gäbe (1972, 85ff.).

Auch neuere Geographielehrbücher argumentieren für die strukturbestimmte Genese der Schichtstufenlandschaft. AHNERT (1996), der selbst Modelle zur Schichtstufenentwicklung durchgerechnet hat (AHNERT 1976), sieht Schichtstufen

als strukturell bestimmte Landschaftsformen, die klimamorphologisch höchstens modifiziert, aber offenbar nicht umgangen werden können (1996, S. 297). Er betrachtet in traditioneller Weise den Stufenhang als das aktive Element der Landschaftsgestaltung, der durch Rückwanderung infolge Quellerosion, Sickerwasseruntergrabung und besonders effektiv durch fluviatile Zerschneidung (infolge rückschreitender Erosion) im Süddeutschen Schichtstufenland Rückverlegungsraten von durchschnittlich 1-3 km/1000 ka ermöglicht hat. AHNERT stellt sich somit gegen eine Interpretation der Schichtstufen als Rumpfstufen, und in Anlehnung an DONGUS (1977) betont er den metachronen Charakter der Stufenflächen. Die strukturellen Bedingungen (v.a. Einfallswinkel der Schichten) äußern sich außerdem deutlich im Abstand der Schichtstufen wie in der Zerlappung des Stufenrandes (vgl. dazu auch SCHMIDT 1980).

5. Das Zurückweichen von Stufenrändern in strukturell erhöhten Positionen – ein fluviatil gesteuertes Modell

Oben (Abschnitt 4.2) wurde bereits darauf hingewiesen, daß die häufig beobachtete Erhaltung von Stufenbildnern in tektonischen Mulden- oder Grabenpositionen bzw. das Zurückweichen in tektonisch erhöhten Positionen unseres Erachtens noch keine zufriedenstellende Erklärung gefunden hat und somit auch die Bedeutung dieses Phänomens für die Ausgestaltung der Schichtstufenlandschaft unbestimmt ist. Als Lösungsansatz erscheint es sinnvoll, zuerst anhand geologischer Verhältnisse, in denen diese Situation deutlich ausgeprägt ist, nach Erklärungen für das dortige Erscheinungsbild zu suchen. Am westlichen Rand der Nördlichen Frankenalb (GK Nr. 6132, Blatt Buttenheim) liegt eine solche Situation vor, und dem Kartenwerk ist zugleich eine sehr detailliert ausgearbeitete Streichkurvenkarte mitgegeben (MEYER 1979, S. 91, hier modifiziert Abb. 4).

Im Bereich der Alb wurde die Streichkurvenkarte anhand des Niveaus der Dogger/Malm-Grenze erstellt. Diese Grenze ist zugleich die lithologische Grenze zwischen Sockelbildner und Stufenbildner, so daß der Albrand (der Verlauf der Schichtstufe) unmittelbar auf die in der Streichkurvenkarte verzeichneten Höhenniveaus bezogen werden kann. So wird schon auf den ersten Blick deutlich, daß der Verlauf des Albrandes in den tektonischen Mulden sehr stark vor-, in den Sätteln sehr stark zurückspringt. Mulden und Sättel folgen sehr engräumig aufeinander, wobei ihre vorwiegend SW-NE bis N-S streichenden Achsen vorwiegend auf den Albrand zulaufen und zugleich auch in dieser Richtung (also mit dem Einfallen der Schichten) geneigt sind.

Würde man davon ausgehen, daß die Position des Albrandes von einer Schnittfläche bestimmt wäre, die die Albhochfläche auf einem bestimmten Niveau eingeebnet hätte, dann müßte man erwarten, daß am Albrand – als Rand dieser Schnittfläche – das Höhenniveau des Stufenbildners relativ gleichförmig wäre und der Verlauf dieses Randes im Idealfall die strukturellen Verbiegungen nachzeichnen würde (wäre die Alb z.B. auf einer Höhe von 500 m geschnitten, dann würde der Verlauf des 500 m-Niveaus der Streichkurvenkarte – also zugleich der Dogger/Malm-Grenze – auch den Verlauf des Albrandes markieren). Dies ist nun aber eindeutig nicht der Fall, denn der Albrand springt in den Sätteln viel weiter zurück und bildet tief eingreifende Buchten. Da aus diesen Buchten jeweils Bäche kommen, die ihren Ursprung als Stirnbäche am Albrand haben, ist es nahezu evident, daß die Einbuchtung das Werk dieser Flüsse selbst sein muß.

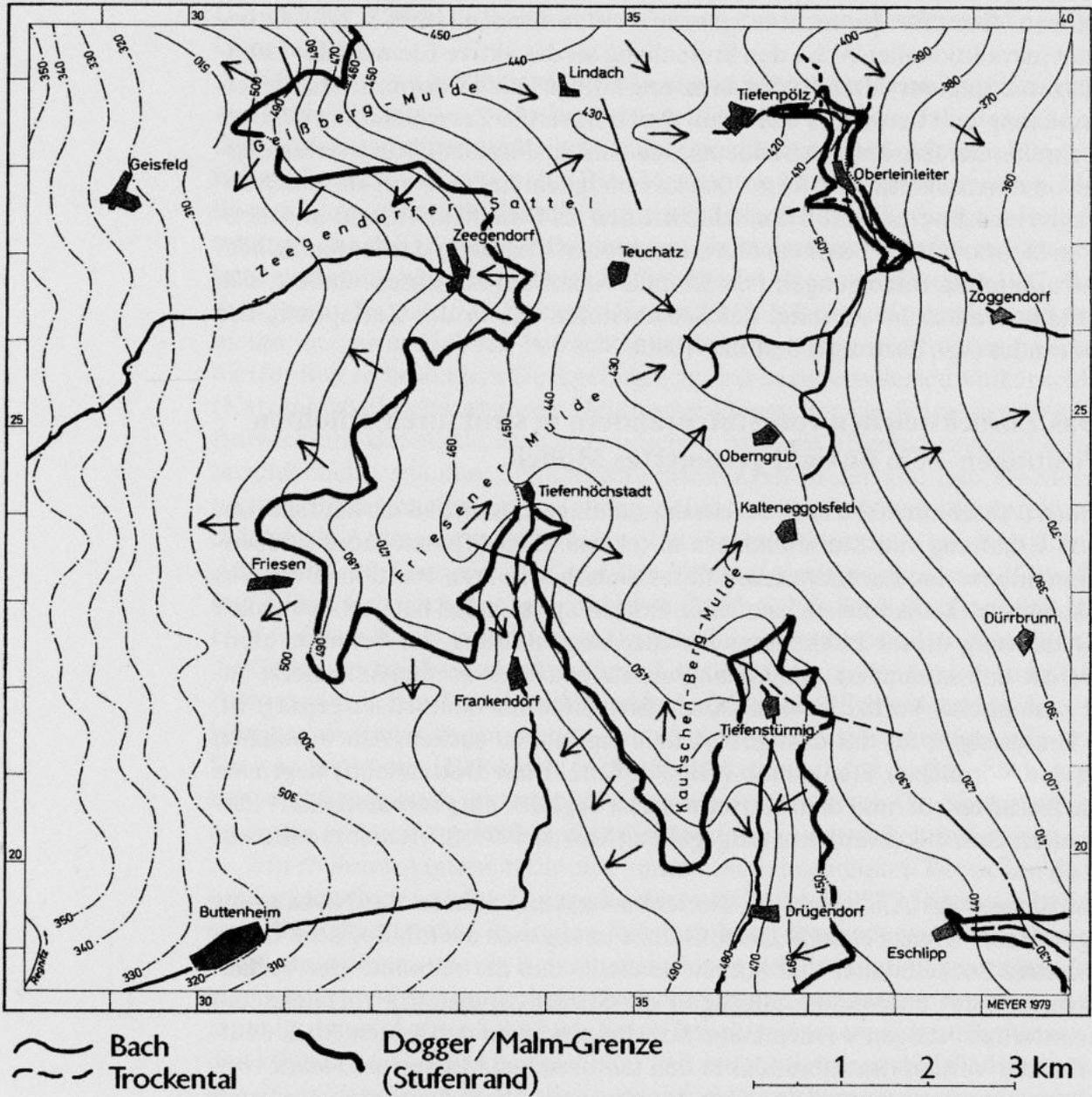


Abb. 4: Streichkurvenkarte aus den Erläuterungen zur GK Blatt Nr. 6132 Buttenheim (MEYER 1979, S. 91). Die hier überarbeitete Darstellung hebt den Stufenrand (Dogger/Malm-Grenze) sowie die Entwässerungslinien deutlicher hervor. Die Pfeile geben die Entwässerungsrichtungen an. Die durchgezogenen Streichlinien im mittleren und östlichen Bereich geben das Niveau der Dogger/Malm-Grenze wieder, während die unterbrochenen Linien im Westen auf die Lias Delta/Lias Epsilon-Grenze bezogen sind.

Für eine Erklärung dieser Erscheinung ist die unterschiedliche Eigenschaft von Sockelbildner und Stufenbildner hinsichtlich der Entwässerung bedeutsam. Der Sockelbildner (hier dominierend undurchlässige Tone des Lias und Dogger) ist leicht ausräumbar und fördert oberflächliche Abschwemmung. Setzen wir als Ausgangszustand eine Situation, in der der Stufenrand noch nicht so stark eingebuchtet ist, dann wird eine (durch fluviatile Einschneidung ausgelöste) Erosionsphase hier besonders wirksam und die buchtenförmige Zurückverlegung des Albrandes fördern. Es handelt sich hierbei offensichtlich um einen selbst-

verstärkenden Prozeß, der durch die einmal vorliegende topographische Situation begünstigt wird: in den Buchten findet eine konvergente Oberflächenentwässerung statt, und jede Zurückverlegung der Bucht verstärkt diesen Effekt – umgekehrt geht von den Spornen eine divergierende Entwässerung aus, so daß hier Abschwemmung und Zerschneidung relativ reduziert werden.

Die sich selbst verstärkende Ausräumung in den Buchten ist somit plausibel. Warum aber fließen die Flüsse überhaupt in den tektonischen Sätteln - aus welchen Gründen wird denn die Entstehung und Ausräumung der Buchten in diesen tektonischen Situationen überhaupt möglich? Wie also kann man sich einen möglichen Ausgangszustand für diese Entwicklung vorstellen? Ein solcher denkbarer Ausgangszustand wäre eine relativ ebene Schnittfläche: damit würde schon ein Zurückspringen des Stufenbildners in Sätteln vorliegen und die selbstverstärkende Einbuchtung könnte dann einsetzen. Doch versteht man Landschaftsgeschichte als einen dynamischen Prozeß, in dem es einen ruhenden Nullpunkt (und eine solche ideale Schnittfläche) nicht gibt, dann müßte man eine Erklärung im Kontext der stetig wirkenden Prozesse selbst suchen. Einer solchen Antwort kommt man vielleicht näher, wenn man auf die geologische Situation innerhalb der Albtafel bei Oberleinleiter blickt. Hier ist im Leinleitertal, weit innerhalb der Stufenfläche, der Sockelbildner nochmals angeschnitten und gleichsam als „Fenster“ freigelegt. Strukturelle Bedingung für diese Situation ist eine relative tektonische Hochlage der Dogger/Malm-Grenze östlich Tiefenpözl.

Um die Situation innerhalb der Stufenfläche zu verstehen, muß man sich vergegenwärtigen, daß die Entwässerung auf der Stufenfläche anders als im Bereich des Sockelbildners funktioniert. Die Malm-Karbonate sind insofern ein idealer Stufenbildner, weil hier der Abfluß kaum an der Oberfläche geschieht, sondern die Niederschläge vor allem unterirdisch durch Karsthohlformen abgeführt werden. Damit wird die Denudation stark reduziert und die relativ lange Erhaltung des Stufenbildners gefördert. Als Basis dieser unterirdischen Entwässerung dient aber auch hier noch immer der gleiche undurchlässige Sockelbildner, wie er am Stufenrand unter dem Stufenbildner ausstreicht. Der Abfluß im Bereich der Stufenfläche wird somit weniger durch die Form der Oberfläche bestimmt, sondern mehr durch die strukturellen Bedingungen, wie sie durch die Höhenlage der Kontaktfläche „durchlässiger Stufenbildner/undurchlässiger Sockelbildner“ im Untergrund gegeben sind. Daher folgt hier der Abfluß der Lagerung der Schichten (also ihrem Fallen), und entsprechend bewegt sich das Wasser zu den muldenförmigen Verbiegungen, entlang deren Achsen sich das Karstwasser sammelt. (Kleinräumig betrachtet wird das Wasser allerdings nicht den direkten Gefällsweg nehmen, sondern diesen gleichsam im Zickzack, den ebenfalls tektonisch vorgezeichneten Klüften und Karsthohlformen folgend, nachgehen. Wo die Geländeoberfläche den Karstwasserspiegel schneidet, setzt Oberflächenentwässerung ein. In Abb. 4 ist zu sehen, wie die oberflächlichen Gerinne der Alb in den Muldenstrukturen auftreten (die Pfeile geben die Ablafrichtung des Karstwassers an, die hier, im Gegensatz zu den Oberflächenverhältnissen im Bereich des Sockelbildners, in den Mulden konvergiert).

Kommen wir wieder zu der geologischen Situation bei Oberleinleiter. Tektonische Hochlagen sind Positionen, in denen der Karstwasserspiegel relativ zur Umgebung erhöht sein kann, sofern die Niederschläge den Abfluß zu den tektonisch tieferen Positionen übersteigen. Hier ist die Entstehung von oberflächlichen Karstwasseraustritten und damit die Entwicklung von oberflächlichem Abfluß begünstigt (vgl. die bekannten – „Tummler“ genannten – periodischen

Quellen im oberen Leinleitertal). In jedem Fall aber sind die tektonisch aufgewölbten Bereiche jene, in denen bei erosiver oder denudativer Tieferlegung der Region der Sockelbildner zuerst erreicht und schließlich angeschnitten wird. Damit entsteht in diesem Bereich ein „seichter Karst“ (die Karstbasis ist dann über der Geländeoberfläche), und ein beträchtlicher Teil der der allgemeinen Neigung des Sockelbildners folgenden Karstabflüsse wird hier trotz der relativen Aufwölbung für den Oberflächenabfluß verfügbar (vgl. die Situation bei Oberleinleiter, wo mehrere von Westen (dem allgemeinen Schichtfallen folgende), wie auch von Norden und Süden kommende (eher dem Streichen folgende) Gerinne in dem Dogger-Fenster zusammenfließen, während von Osten (entgegen dem Einfallen) kein Zufluß vorhanden ist (vgl. hierzu als genaueren Beleg die GK Blatt Buttenheim, Bayer. Geol. Landesamt 1979)). Westlich des Doggerfensters ist in Korrelation mit diesen asymmetrischen Abflußverhältnissen die Abtragung bereits sehr fortgeschritten, wobei, bezogen auf das lokale Denudationsniveau in den Oxford-Kalken (die basalen Glieder des Stufenbildners), bereits ein Zeugenberg aus dem Kimmeridge-2 isoliert ist (vgl. GK Blatt Buttenheim).

Die hier vorgebrachte Erklärung der Geländesituation bei Oberleinleiter kann unserer Meinung nach als Modell mit allgemeinerer Bedeutung verstanden werden. Schon bevor eine Stufenrandsituation vorliegt, in der Stirnbäche in tektonischen Sätteln tiefe Buchten aus dem Bereich des Stufenbildners herauschneiden, setzt dieser Prozeß hinter der Stufe bzw. innerhalb der Stufenfläche in solchen tektonischen Hochlagen ein. Es fällt nicht schwer, sich die Wirkung eines Erosionsimpulses in unserem Beispiel vorzustellen: das Doggerfenster von Oberleinleiter würde sich vergrößern, zugleich könnten von Westen (von Zeegendorf, Tiefenhöchstadt oder Tiefenstürmig) kommende Stirnbäche sich noch tiefer in den Stufenbildner hineinschneiden und Zu- oder gar Abflüsse des Doggerfensters anzapfen – die Folge wäre am Ende die Isolierung einer Malminsel (eines Zeugenberges) südwestlich des Doggerfensters, und in einer nächsten Phase die Aufzehrung dieser Malminsel (deren Kern im Bereich der Friesener und Kautschenberg-Mulde läge). Diese Aufzehrung wäre durch die konvergente Oberflächendenudation im Bereich des Sockelbildners gesteuert, und sie würde den tektonischen Hochlagen folgen, in denen sie bereits von Beginn (eben auch schon innerhalb der Stufenfläche) angelegt war.

Das Vorspringen von Stufenbildnern in tektonisch tiefen Positionen läßt sich somit sehr plausibel durch ein fluviatil gesteuertes Modell erklären. Zugleich könnte dies auch das dynamische Element in der Entstehung und Fortgestaltung des Schichtstufenlandes sein, so daß man mit diesen aktuell wirksamen Prozessen möglicherweise doch zu einer plausiblen Auflösung der Problemstellung kommen kann. Neben verkarstungsfähigen Karbonaten sind ja auch andere Stufenbildner (wie z.B. dichte Sandsteine) disponiert, sehr durchlässig zu sein und den Abfluß zu beträchtlichen Teilen unterirdisch an undurchlässigen Sockelbildnern zu konzentrieren, so daß ein analoges Verhalten auch an der Keuperstufe erwartet werden kann.

Zugleich ist aber zu bedenken, daß bei der wesentlichen Bedeutung fluviatil gesteuerter Landschaftsformung die Anlage des Gewässernetzes wichtige morphologische Weichenstellungen gibt. Ist z.B. eine Situation gegeben, in der Flüsse von außen in die Stufe hineinfließen, dann wird deren Weg eher durch die tektonische Struktur der Grenze Stufenbildner/Sockelbildner innerhalb der Stufenfläche bestimmt. Dieser Fall ist am E-Rand der Alb (GK Blatt Waischenfeld) zu

beobachten, wo mehrere Bäche in die Alb hinein zur Wiesent laufen. Der Eintritt in die Stufenfläche ist hier an Situationen gebunden, in denen die Albtafel an Brüchen besonders tief abgesenkt ist. Weitere Beispiele sind der Eintritt der Pegnitz in die Alb (GK Blatt Pegnitz), oder die Flüsse, die von Norden kommend durch die Südalb zur Donau entwässern. Da die Oberflächendenudation stets zu den Flüssen hin orientiert ist, findet man in diesen Fällen am Taleintritt Buchten in tektonisch tiefen Positionen, während dazwischen liegende Sporne (sofern sich am Stufenrand nicht eigenständige Stirnbäche entwickelt haben) in tektonischen Hochpositionen auftreten.

Aus der hier entwickelten Perspektive wäre es sinnvoll, zahlreiche und zugleich unterschiedliche Situationen auf die Beziehung zwischen tektonischer Struktur und Entwässerungsnetz zu prüfen, um die Erklärungsfähigkeit eines Modells zur fluviatil gesteuerten Morphodynamik des Süddeutschen Schichtstufenlandes so umfassend und – in seinen funktionalen Aspekten – so fundiert wie möglich zu gestalten.

6. Schluß

Im Rückblick ist festzustellen, daß die flächenbildenden Ansätze stets anschauungsferner als die strukturbetonten waren, indem diese erst durch räumliche oder argumentative Umwege begründbar waren, und die Flächen selbst (deren Genese ja auch zu erklären war) als „Stufenfläche“ niemals von dem Zusammenhang an die lithologisch-strukturellen Vorgaben losgelöst werden konnten. Denudationprozesse in undurchlässigen Sockelbildnern verlaufen im Vergleich zu denen im Stufenbildner um Größenordnungen rascher, so daß die Herauspräparierung des Stufenbildners durch „gewöhnliche“, im Prinzip auch heute wirksame erosive wie denudative Prozesse wohl ohne Schwierigkeiten auch ohne einen speziellen Mechanismus (wie BÜDELS „Doppelte Einebnung“) bewältigt werden kann. Modifikationen in klimatisch anderen Milieus der Vergangenheit wären damit nicht ausgeschlossen, diesen Wirkungsprinzipien aber in ihrem lediglich modifizierenden Beitrag nachgeordnet.

Besonders Erklärungen auf der Grundlage fluviatil gesteuerter Denudationsprozesse und einer damit einhergehenden Stufenrückverlegung haben den methodologischen Vorteil, das in seiner Wirkung am zuverlässigsten bekannte landschaftsgestaltende Mittel zum Ausgangspunkt zu nehmen. Sollte die Formungsdynamik der Süddeutschen Schichtstufenlandschaft auf die allgegenwärtigen fluviatilen Prozesse gründen, dann sollte es auch besonders leicht möglich sein, ein entsprechendes, empirisch gut belegbares, zugleich einfaches wie anschauliches genetisches Modell erstellen zu können.

Indem die Flächentheoretiker die Stufenflächen durchweg als alte Rumpfflächen sahen (eine solche Existenz kann natürlich von Fall zu Fall nicht ausgeschlossen werden), haben sie sich einige Schwierigkeiten eingehandelt. Besonders der extrem zugespitzte Ansatz BÜDELS, die Klimamorphologie über die tektonischen und die (ihnen folgenden) fluviatilen wie denudativen Prozesse zu stellen, zeigt dies deutlich. Indem aus dieser Sicht die gegenwärtig in Süddeutschland wirkenden (bzw. möglichen) Prozesse als irrelevant hingestellt wurden, mußte die über Struktur und Tektonik dominierende Flächenbildung erst einmal in klimatisch anders bestimmten Gebieten nachgewiesen werden. Dann wäre in einem zweiten Schritt der Nachweis zu erbringen gewesen, daß diese Prozesse un-

ter solchen Bedingungen nicht nur möglich sind, sondern notwendig stattfinden. Als nächstes hätte man zeigen müssen, ob solche Bedingungen einst auch in Süddeutschland geherrscht haben. Und schließlich wäre noch der Beleg zu leisten, daß die Flächen auch tatsächlich zu jener Zeit gebildet wurden, in denen diese Bedingungen bei uns geherrscht haben. In allen Schritten ergaben sich aber so viele Schwierigkeiten, daß dieser strenge klimamorphologische Ansatz mit der Zeit wieder an Kraft verlor. Auch wenn die Existenz alter Flächenreste im Süddeutschen Schichtstufenland durchaus möglich ist, so wäre daraus keinesfalls zu folgern, daß die Schichtstufenlandschaft, wie sie heute vor uns liegt, ihre Gestalt durch strukturschneidende, flächenbildende Prozesse (welcher Art auch immer) erhalten haben muß.

Darüber hinaus ist aber leicht einzusehen, daß die Schichtstufenlandkontroverse aufgrund dieser durch BÜDEL verursachten Zuspitzung zugleich auch noch zu einer mehr oder weniger verdeckten Debatte über den Vorrang der Klimamorphologie werden mußte, wodurch natürlich noch mehr Holz ins Feuer geriet. Die Klimamorphologie konnte aber auch deshalb eine solche Bedeutung erreichen, weil die Anhänger konventioneller Modelle ihren Standpunkt nicht genügend überzeugend ausgearbeitet hatten. Erst in jüngerer Zeit wurden stärkere Argumente für die Bedeutung fluviatiler Prozesse und ihrer tektonischen Ursachen vorgebracht, sowie die starke strukturelle Kontrolle der Stufenränder aufgezeigt. Der Autor hofft, mit dem hier vorgelegten Modell einen weiteren Schritt in diese Richtung unterstützen zu können.

Literatur.

- AHNERT, F. (1976): Darstellung des Struktureinflusses auf die Oberflächenformen im theoretischen Modell. - Z. Geomorph., N.F., Suppl. 24, 11-22.
- AHNERT, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie. - Stuttgart (Ulmer). 440 S.
- BADER, K. & FISCHER, K. (1987): Das präriesische Relief in den Malmkalken im südöstlichen Riesvorland (Riestrümmermassengebiet). - Geol. Bl. NO-Bayern 37, 123-142.
- BADER, K. & SCHMIDT-KALER, H. (1977): Der Verlauf einer präriesischen Erosionsrinne im östlichen Riesvorland zwischen Treuchtlingen und Donauwörth. - Geologica Bavarica 75, 401-410.
- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1955): Geologische Karte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 6134 Waischenfeld. - München (Bayerisches Geologisches Landesamt).
- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1961): Geologische Karte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 6235 Pegnitz. - München (Bayerisches Geologisches Landesamt).
- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1979): Geologische Karte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 6132 Buttenheim. - München (Bayerisches Geologisches Landesamt).
- BLUME, H. (1971): Probleme der Schichtstufenlandschaft. - Darmstadt: Wissenschaftl. Buchgemeinschaft. 117 S.
- BOLDT, K. (1998): Das Modell der restriktiven Flächenbildung - ein Ansatz zur Erfassung von Regeln der Landschafts-genese im Bereich wechselnd widerständiger Sedimentgesteine. - Z. Geomorph., N. F. 42, 21-37.
- BORGER, H. (1991): Indizien für kreidezeitliche bis alttertiäre Reliefrelikte auf der Schwäbischen Alb. - Laichinger Höhlenfreund 26, 3-16.
- BORGER, H. (2000): Mikromorphologie und Paläoenvironment: Die Mineralverwitterung als Zeugnis der cretazisch-tertiären Umwelt in Süddeutschland. - Relief, Boden, Paläoklima 15. 208 S. + Anhang.
- BREMER, H. (1971): Flüsse, Flächen- und Stufenbildung in den feuchten Tropen. - Würzburger Geogr. Arb. 35, 1-194.

- BREMER, H. (1981): Reliefformen und reliefbildende Prozesse in Sri Lanka. - Relief, Boden, Paläoklima 1, 7-183.
- BREMER, H. (1989): On the geomorphology of the South German Scarplands. - Catena Suppl. 15, 45-67.
- BREMER, H. & SPÄTH, H. (1989): Geomorphology in Germany: Introduction. - Geoökoforum 1 (Second international conference on geomorphology: Manual of field trips in and around Germany, ed. Otmar Seuffert), 3-88.
- BRONGER, A. (1985): Bodengeographische Überlegungen zum „Mechanismus der doppelten Einebnung“ in Rumpfflächengebieten Südindiens. - Z. Geomorph., N.F., Suppl. 56, 39-53.
- BÜDEL, J. (1957a): Grundzüge der klimamorphologischen Entwicklung Frankens. - Würzburger Geogr. Arb. 4/5, 5-46.
- BÜDEL, J. (1957b): Die „Doppelten Einebnungsflächen“ in den feuchten Tropen. - Z. Geomorph., N. F. 1, 201-228.
- BÜDEL, J. (1977): Klima-Geomorphologie. - Berlin und Stuttgart (Gebrüder Bornträger). XII + 304 S.
- DAVIS, W. M. (1899): The geographical cycle. - Geogr. J. 14, 481-504.
- DONGUS, H. (1974): Schichtflächen in Süddeutschland. - Heidelberger Geogr. Arbeiten 40, 249-268.
- DONGUS, H. (1977): Die Oberflächenformen der Schwäbischen Alb und ihres Vorlandes. - Marburger Geogr. Schr. 72, 486 S.
- GARLEFF, K. (1995): Landschaftsentwicklung der Fränkischen Schweiz und ihres Vorlandes während des Quartärs. - Schr. Fränkische-Schweiz-Museum 4, 117-128.
- GARLEFF, K. & KRISL, P. (1997): Beiträge zur fränkischen Reliefgeschichte: Auswertung kurzlebiger Großaufschlüsse im Rahmen von DFG-Projekten. - Bamberger geographische Schriften, Sonderfolge 5, 256 S. und Kartenbeilage.
- GARLEFF, K. & STINGL, H. (1987): Struktur- und Skulpturformen am argentinischen Andenrand unter randtropischen bis subantarktischen Bedingungen. - Z. Geomorph., N.F., Suppl. 66, 49-63.
- GRADMANN, R. (1919): Das Schichtstufenland. - Zeitschrift d. Gesell. f. Erdkunde zu Berlin 1919, 113-139.
- GRADMANN, R. (1931): Süddeutschland. - Stuttgart: J. Engelhorns Nachf.[2. unveränd. Aufl. Darmstadt 1956 (wiss. Buchgemeinschaft), 3. unveränd. Aufl. ebd. 1977].
- GRADMANN, R. (1952): Lokale Verebnungen im Schichtstufenland. - Petermanns Geogr. Mitt. 96, 29-32.
- KLEBER, A. (1987): Die jungtertiäre und altquartäre Entwicklung von Flächen und Tälern im nördlichen Vorland der Südlichen Frankenalb. - Bayreuther geowiss. Arb. 10, 94-106.
- LIEDTKE, H. & MARCINEK, J. (Hrsg.) (1995): Physische Geographie Deutschlands. - Gotha (Perthes). 559 S.
- LOUIS, H. (1973): Fortschritte und Fragwürdigkeiten in neueren Arbeiten zur Analyse fluviatiler Landformung besonders in den Tropen. - Z. Geomorph., N. F. 17, 1-42.
- MEYER, R. K. F. (1979): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 6132 Buttenheim. - München (Bayerisches Geologisches Landesamt). 136 S.
- NEUMAYR, M. (1877): Erdgeschichte. - Leipzig (Verlag d. Bibliogr. Instituts). 2 Bde.
- PENCK, A. (1894): Morphologie der Erdoberfläche. - Stuttgart (Engelhorn). 2 Bde.
- PENCK, W. (1924): Die morphologische Analyse: Ein Kapitel der physischen Geologie. - Stuttgart (Engelhorns Nachf.). 289 S.
- SCHMIDT, K.-H. (1980): Der Grundriß von Schichtstufen in Trockengebieten. - Die Erde 111, 231-246.
- SCHMIDT-KALER, H. (1991): Osterstreckung der Ries-Trümmernmassen bis über das Urdonatal bei Wellheim und ihre Erkundung durch die Forschungsbohrung Biesenhard. - Geologica Bavarica 96, 229-237.
- SCHMIDT-KALER, H. (1994): Der präriesische Urmain und seine Ablagerungen. - Geol. Bl. NO-Bayern 44, 225-240.

- SCHMITTHENNER, H. (1920): Die Entstehung der Stufenlandschaft. - Geograph. Zeitschr. 26, 207-229.
- SCHMITTHENNER, H. (1930): Probleme der Stufenlandschaft. - Petermanns Mitt. Ergänzungshefte 209, 97-109.
- SCHMITTHENNER, H. (1954): Die Regeln der morphologischen Gestaltung im Schichtstufenland. - Petermanns Geogr. Mitt. 98, 3-10.
- SCHMITTHENNER, H. (1956): Probleme der Schichtstufenlandschaft. - Marburger Geogr. Schr. 3, 1-87.
- SCHRÖDER, B. (1962): Liaseinschlüsse in den Basalten der Heldburger Gangschar (Bedeutung für präbasaltische Liasausdehnung und Tektonik). - Geol. Bl. NO-Bayern 12, 190-203.
- SCHRÖDER, B. (1968): Zur Morphogenese im Ostteil der Süddeutschen Großscholle. - Geol. Rundsch. 58, 10-38.
- SCHRÖDER, B. (1971): Daten und Probleme der Flußgeschichte und Morphogenese in Ostfranken. - Mitt. Fränk. Geograph. Ges. 18, 163-181.
- SCHRÖDER, B. (1974): Malm-Einschlüsse in einem Schlot der Heldburger Gangschar. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 1974, 54-64.
- SCHRÖDER, B. (1993): Morphotektonik am Nordrand der Süddeutschen Scholle - Rhön/Grabfeld als Beispielsgebiet. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläontol., Abh. 189, 289-300.
- SCHRÖDER, B. (1994): Cenozoic degradation history at the western margin of the Bohemian Massif. - KTB-Report 94, 185-190.
- SCHRÖDER, B. (1996): Zur känozoischen Morphotektonik des Stufenlandes auf der Süddeutschen Großscholle. - Z. geol. Wiss. 24, 55-64.
- SCHUNKE, E. & SPÖNEMANN, J. (1972): Schichtstufen und Schichtkämme in Mitteleuropa. - Göttinger Geogr. Abh. 60, 65-92.
- SIMON, T. (1987): Zur Entstehung der Schichtstufenlandschaft im nördlichen Baden-Württemberg. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg 29, 145-167.
- STINGL, H. (1975): Schichtkämme und Fußflächen als Stadien zyklischer Reliefentwicklung. - Z. Geomorph., N.F., Suppl. 23, 130-136.
- STINGL, H. & GARLEFF, K. (1987): Neue Ergebnisse zum alten Thema „Struktur- und Skulpturformen“. - Z. Geomorph., N.F., Suppl. 66, 65-71.
- THOMAS, M. F. (1994): Geomorphology in the tropics. - Chichester u.a. (John Wiley & Sons). XIX + 460 S.
- WAGNER, G. (1927): Morphologische Grundfragen im süddeutschen Schichtstufenland. - Z. dt. geol. Ges. 79, 355-374.
- WAGNER, G. (1960): Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte mit besonderer Berücksichtigung Süddeutschlands. - Öhringen (3. Aufl.). 694 S.
- WIRTHMANN, A. (1994): Gedanken zur Genese der Gäufläche oder die Grenzen der Klima-Geomorphologie. - Würzburger Geogr. Arb. 89, 65-71.
- ZEESE, R. (1971a): Die Stufenrückwanderung im Keuperbergland Nordost-Württembergs. - Tübinger Geogr. Studien 46, 53-57.
- ZEESE, R. (1971b): Reliefgenerationen im Keuperbergland Nordost-Württembergs. - Tübinger Geogr. Studien 46, 41-52.
- ZEESE, R. (1972): Die Talentwicklung von Kocher und Jagst im Keuperbergland: Flußgeschichte als Beitrag zur Deutung der Schichtstufenmorphogenese. - Tübinger Geogr. Studien 49, 1-121.
- ZEESE, R. (1976): Die Reliefentwicklung zwischen Alb und Gäulandschaften in Ostwürttemberg. - Z. Geomorph., N.F., Suppl. 24, 48-55.

Anschrift des Verfassers:
Dr. Gottfried Hofbauer
 Anzengruberweg 2
 91056 Erlangen