

holten Malen strengstens verboten. Dennoch führen auch die zwei modernen Verkehrswege (die schmal- und eingleisige Bahnlinie und eine jüngst verbreiterte Autostraße) noch heute zum Großteile auf hadrianischem Unterbau!

Der vorliegende kurze Bericht zeigt, wie die prähistorisch-archäologische Bodenforschung, Speläologie und Geschichtskunde von der höheren geographischen Warte des Überblickes aus die tieferen inneren Zusammenhänge offenbaren und die fließenden Grenzen unserer Wissensgebiete überbrückend, zur Kenntnis der engeren Landeskunde beitragen.

Zum Problem der Piedmonttreppe.

Von Hans Spreitzer.

(Mit 2 Abbildungen.)

I.

Die Verbreitung des Formenschatzes.

Der Formenschatz, für den W. Penck die Bezeichnung „Piedmonttreppe“ gewählt hat (37), ist so auffällig und in der Natur so gut zu beobachten, daß der von ihm neu geprägte Begriff sich sogleich allgemein eingebürgert hat, ebenso wie der schon lange übliche Ausdruck „Piedmontfläche“ seit dem Erscheinen der „Morphologischen Analyse“ nicht mehr gebraucht werden kann, ohne daß man sich des neuen Inhalts bewußt wäre, den W. Penck ihm gegeben hat. Das ist umso bemerkenswerter, als die Erklärung, die er selbst für die Entstehung dieser Oberflächenform gefunden hat, in einem sehr wesentlichen Punkte fast allgemein abgelehnt wird, wie weiter unten zu zeigen ist. Wohl ist auch schon früher das Bestehen dieses fast noch namenlosen Formenschatzes erkannt worden, aber doch nur mehr vereinzelt, und erst seit W. Pencks Werk hat sich die allgemeine Verbreitung von Piedmonttreppe herausgestellt. Erst jetzt ist das zuvor so oft übersehene Vorkommen in den verschiedensten Teilen der Erde nachgewiesen. Die für die Erkenntnis der Oberflächengestaltung und für das Landschaftsbild so maßgebenden Formen werden seit dem Erscheinen der „Morphologischen Analyse“ — wenigstens von deutscher Seite aus — geradezu systematisch beobachtet. Das geht ohne Zweifel auf die reichen Anregungen des Buches zurück und ist deshalb ein besonderes Verdienst W. Pencks, weil die Piedmonttreppe nicht nur eine eigene morphologische Erscheinung darstellt, sondern ihre Erforschung auch ein Mittel

zur Lösung anderer Fragen, tektonischer und stratigraphischer Art, bietet. Sie läßt uns ein neues Bild von der Bildung vieler heutiger Gebirge gewinnen und den Zusammenhang zwischen den Oberflächenformen der Gebirge und dem Absatz der korrelaten Schichten der Vorländer erklären.

Wie wichtig die Beobachtungen sind, die W. Penck zur Einführung des neuen Begriffs und zur Aufstellung seiner Theorie veranlaßt haben, spiegelt sich auch darin wider, daß man mehrmals versucht hat, das nicht gerade bequem zu gebrauchende Wort durch deutsche Ausdrücke zu ersetzen. A. Penck will „Piedmonttreppe“ durch „Landstufenland“, „Piedmontfläche“ durch „Landstufe“ ersetzt wissen (34). J. F. Gellert schreibt von „Rumpfstufen“, „Rumpftreppen“, „Rumpfstufenland“, „Rumpfleisten“ (18) und übersetzt in einer etwas späteren Arbeit den von C. W. Kockel (25) gebrauchten, recht anschaulichen Ausdruck „Piedmonttreppenkuppel“ mit „Rumpftreppenkuppel“ (19). R. Stieckel sagt gelegentlich „Flächentreppe“ für „Piedmonttreppe“ (50) und W. Panzer auch „Sockel“ für „Piedmontfläche“ (32), beide allerdings ohne Anspruch auf Einführung der gewählten Bezeichnungen. Schon vor W. Penck hat G. Braun von einer „Fußebene“ gesprochen (7). — So fehlt es nicht an deutschen Ausdrücken, unter denen die von J. F. Gellert geprägten der Kürze wegen wohl den Vorzug verdienen. An der Gellertschen Namengebung ist nur auszusetzen, daß statt „Piedmontfläche“ „Rumpfstufe“ gesagt wird. Da das sprachlich analoge „Rumpffläche“ bereits vergeben ist, wäre ein Ausdruck wie „Rumpfflur“ vorzuziehen. In unseren Ausführungen soll gezeigt werden, daß wir im großen ganzen zwei der Entstehung nach verschiedene Hauptarten von Piedmonttreppen feststellen können (S. 354), für die bei einer Bestätigung der vorzutragenden Ansichten vielleicht auch eigene Namen zu geben sind. Darum sei in dieser Arbeit die von W. Penck gebrauchte Namengebung beibehalten.

Wenn wir im folgenden versuchen, eine Übersicht über die in der Literatur nachgewiesenen Piedmonttreppen zu geben, um zunächst ihre allgemeine Verbreitung und auch eine gewisse Verschiedenartigkeit der Ausbildung zu zeigen, so muß vorausgeschickt werden, daß nicht alle Formen, die von den einzelnen Beobachtern — auch nach dem Erscheinen der „Morphologischen Analyse“ und unter Berufung auf W. Penck — als Piedmonttreppen angesprochen wurden, es tatsächlich sind; auch dann nicht, wenn wir nicht alle Punkte der Theorie W. Pencks von ihrer Entstehung als richtig oder wesentlich anerkennen. Nicht jede stockwerkartige Anordnung von Rumpfflächen kann als Piedmonttreppe bezeichnet werden. Andererseits stellen gewiß Formengemeinschaften, die von verschiedenen Autoren schon vor W. Pencks Werk beschrieben worden sind, doch Piedmonttreppen dar, wenn auch der Ausdruck selbst noch fehlt.

Rein morphographisch, ohne Berücksichtigung der Entstehungsart können

wir schematisch drei verschiedene Erscheinungsformen stockwerkartiger Aufeinanderfolge von subaëril gebildeten Rumpfflächen auseinanderhalten¹. Die kreisförmige zonale Anordnung der einzelnen Flächen um ein zentrales Bergland ist das Merkmal der Piedmonttreppe im engeren Sinne. Eine wenigstens zonale (aber nicht mehr kreisförmige), stockwerkartige Anordnung solcher Flächen muß gewiß noch als Piedmonttreppe bezeichnet werden, denn ganz die gleichen Probleme können auch hier aufgeworfen werden, und hinsichtlich ihrer Entstehung gibt es für die beiden genannten Erscheinungsformen die gleichen Erklärungsmöglichkeiten. Wenn aber endlich nur eine Stufenfolge alter Rumpfflächen ohne jegliche zonale Anordnung etwa in enger Anlehnung an ein Flußnetz festgestellt wird, dann darf der Begriff nicht mehr angewendet werden. Unter Piedmontflächen werden wir immer nur solche Flächen verstehen können, die zugleich Vorflächen, wenn nicht eines „Zentralen Berglandes“, so doch eines höheren Geländes darstellen. Auch nur bei den ersten beiden Erscheinungsarten können wir von einem Piedmonttreppenproblem sprechen, allerdings selbst hierbei nur dann, wenn neben dem morphographischen Bild gewisse morphologische Voraussetzungen erfüllt sind, von denen wir weiter unten sprechen werden.

Zwischen den einzelnen Arten bestehen Übergänge. Die folgende Zusammenstellung gibt darum wohl keine vollständige Übersicht. Auch ist für die Anführung von Vorkommen vorerst nur das morphographische Bild maßgebend. Wenn trotzdem Beispiele mitgenannt werden, für die schon die morphographische Form die Anwendung des Begriffs Piedmonttreppe nicht mehr gestattet, so geschieht es, um die verschiedenen Formen, die als Piedmonttreppen bezeichnet wurden, oder bei denen das Problem aufgeworfen worden ist, oder die auch unter Umständen als solche angesehen werden könnten, möglichst vollständig zu überblicken.

Am Beispiel des Harzes und am Fichtel- und Erzgebirge hat W. Penck zuerst das Wesen der Piedmonttreppe dargelegt. Noch in der „Morphologischen Analyse“ hat er auf das Vorhandensein dieses Formenschatzes in den Appalachen², in Skandinavien, in den Alpen, in Anatolien und in den Kordillieren hingewiesen. Der Piedmonttreppe des Schwarzwaldes hat er eine besondere Arbeit gewidmet (38), die zugleich eine wichtige Ergänzung zu seiner in der „Morphologischen Analyse“ ausgeführten Theorie darstellt. Das wesentliche Ergebnis der Untersuchung W. Pencks über den Schwarzwald, das piedmonttreppenartige Ansteigen des Gebirges aus dem Osten, hat auch S. v. Bubnoff in einer eingehenden, das Gebiet der oberen Wutach und des Feldberges behandelnden Arbeit bestätigt und in seiner Kritik nur darauf hingewiesen, wie wichtig die Berücksichtigung junger Bruchbildung auch für das Studium dieser Frage ist, sowie darauf, daß der Verlauf der Piedmontflä-

¹ Vom Schichtstufenland sehen wir hierbei ab; seine Flächen sind auch besser nicht als Rumpf- sondern als Schnittflächen zu bezeichnen.

² Der morphologische Formenschatz dieses Gebirges ist u. a. ausgezeichnet schon bei Cl. Lebling beschrieben, obwohl er ihm eine andere Deutung gibt (27). Der steile Absturz der Blue Ridge wird von ihm als junger rückverwitterter Bruchrand angesehen, an dem durch Verwerfung die Zerlegung einer ursprünglich einheitlichen Fastebene in Stufen erfolgt ist. W. Penck hat gezeigt, daß wir hier tatsächlich von einer Piedmonttreppe sprechen können (37).

chen im einzelnen auch von Strukturgrenzen des Gebirgskörpers abhängt (15). Daß S. v. Bubnoff im Gegensatz zu W. Penck im Schwarzwald nicht eine selbständige Kuppel sehen will, ist für uns belanglos, da er für den die Piedmonttreppe aufweisenden Osthang des Gebirges keine andere tektonische Entwicklung annimmt als W. Penck. In derselben Arbeit weist S. v. Bubnoff auf die Möglichkeit hin, auch im Riesengebirge diesen Formenschatz festzustellen. Tatsächlich zeigt dieses Gebirge nicht allein in der Dreigliederung von Kamm, Vorstufe und Kessel eine durch die Strukturflächen des Granits beeinflusste Art von Piedmonttreppe sondern noch mehr auf seinem südlichen Abstieg gegen Böhmen.

Frühzeitig schon hat K. Oestreich das Vorhandensein eines Stockwerks von Rumpfflächen im Rheinischen Schiefergebirge erkannt (30, 31). 1919 hat O. Maull für den Ostrand des Schiefergebirges die treppenförmige Anordnung der Rumpfflächen nachgewiesen (29). Am Nordwestabfall der Eifel hat M. Kirchberger (24), am Abfall der Eifel gegen die Niederrheinische Bucht R. Sticklel (49) das stufenförmige Absinken des Gebirges in einzelnen zu verschiedenen Zeiten gebildeten Abtragungsflächen beobachtet. Hier am Außenrande des Gebietes können wir sicher von einer Piedmonttreppe wenigstens im morphographischen Sinne sprechen (vgl. S. 334). In einer jüngeren, nach dem Werke W. Pencks erschienenen Arbeit verfolgt R. Sticklel die einzelnen Systeme der Rumpfflächen und hoch gelegenen Terrassen auch im Inneren des linksrheinischen Schiefergebirges und in angrenzenden Gebieten (50). Doch ist es nach seiner Untersuchung unmöglich, hier etwas anderes zu sehen als eine Stufenfolge von unregelmäßig ineinander geschalteten Endrumpfflächen¹. Aber im rechtsrheinischen Schiefergebirge wird ein im wesentlichen übereinstimmender Formenschatz von C. W. Kockel (25) und J. F. Gellert (19) im Sinne der Piedmonttreppentheorie erklärt. Hiernach bilden Taunus und Rothaargebirge die Zentren zweier selbständiger Aufwölbungsgebiete, die zur

¹ R. Sticklel berücksichtigt folgerichtig, daß wir in seinem Untersuchungsgebiet nur dann die einzelnen Rumpfflächen als Piedmontflächen ansehen können, wenn es sich erweisen läßt, daß mehrere selbständige Hebungszentren vorhanden sind, deren jedes für sich zur Ausbildung einer Piedmonttreppenkuppel geführt hat. Nur dann ließe sich vielleicht die unregelmäßige Verzahnung der einzelnen Flächensysteme in eine zonenförmige Anordnung umdeuten, die unbedingt nötiges Merkmal einer Piedmonttreppe sein muß, wie man sich auch zu den Ursachen ihrer Entstehung stellen mag. Die Verbreitung der einzelnen Flächen über die Schollengrenzen hinweg, ihre Niveaubeständigkeit, die Anlehnung der Flächen an Täler und Talsysteme sind ihm aber ein Zeichen dafür, daß wir in diesem Gebiet nicht von einer Mehrheit von einzelnen „Flächentreppen“ (im Sinne von einzelnen Piedmonttreppenkuppeln) sprechen können. Bei einer solchen Auffassung dürfen wir auch nach unserer Ansicht nicht einmal im morphographischen Sinne von Piedmontflächen oder -treppen sprechen. Es fehlt die zonale Anordnung der Flächen, sobald wir das ganze Gebiet als eine entwicklungsgeschichtliche Einheit auffassen. Die endgültige Lösung hängt aber davon ab, ob wir nicht doch etwa Eifel und Hunsrück als selbständige Hebungsgebiete ansehen dürfen, um die herum sich die einzelnen tieferen Flächen tatsächlich zonal ausbreiten würden. Nach der Darstellung R. Sticklels ist eine solche Deutung freilich ausgeschlossen.

Ausbildung echter Rumpftreppenkuppeln geführt haben. Die Beobachtungen der beiden Forscher knüpfen zum Teil an die K. Oestreichs (30, 31) an und bauen sie weiter aus. Nicht in allen, aber in den wichtigen Punkten decken sich die Feststellungen H. Wenzels (53) am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges zwischen Dill und Diemel mit denen C. W. Kockels. Auch er weist die Stufenfolge von einzelnen Rumpfflächen nach und gibt eine Aufwölbung der alten einheitlichen Rumpfebene zu. Die Piedmonttreppe des Rothaargebirges hat desgleichen W. Hartnack in einer noch nicht gedruckten Schrift¹ behandelt.

Im Odenwald sind nach J. P. Bakker drei Niveaus von Piedmontflächen festzustellen (3). Bakker will auch die von N. Krebs (26) nachgewiesene Verbiegung der einheitlichen unterfränkischen Rumpfebene in eine Piedmonttreppenbildung umgedeutet wissen. Im Gebiet der Rhön unterscheidet J. Siebert (45) drei Flächensysteme, die er als Piedmonttreppe auffaßt, und die wir unter Berücksichtigung der Einwände, die J. P. Bakker (3, S. 95 f.) vor allem hinsichtlich ihrer Altersstellung ausgesprochen hat, als solche bezeichnen dürfen.

Schon W. Penck selbst hat darauf hingewiesen, daß wir auch im Harz vielleicht eine Piedmonttreppe und nicht nur eine Piedmontfläche um ein „Zentrales Bergland“ vor uns haben (37, S. 264). Die gleiche Beobachtung machen R. Herrmann (22) und E. Becksmann (4), und durch sorgfältige Untersuchung und Zusammenfassung aller Beobachtungstatsachen hat G. Frebold in einer vorerst nur im Manuskript vorliegenden Arbeit das Vorhandensein einer von der Harzhochfläche zum Brockengipfel hinaufführenden, klar und schön ausgebildeten Piedmonttreppe endgültig nachgewiesen. Weitere Beispiele aus den deutschen Mittelgebirgen führt G. Braun an (9). Die Verbreitung der Piedmonttreppen läßt ihn wichtige Ergebnisse über die Art der mitteldeutschen Gebirgsbildung und darüber hinaus die Bestätigung des von ihm aufgestellten allgemein gültigen Satzes über die Bedeutung, die für das heutige Bild der Erdoberfläche die Tektonik gegenüber der Struktur hat, gewinnen. In einer besonderen Arbeit versucht G. Braun am Beispiel des Dün zu zeigen, daß auch im deutschen Mesozoikum trotz des so starken Einflusses, den die regelmäßige Wechselfolge von widerstandsfähigen und nicht widerstandsfähigen Schichten auf die Oberflächengestaltung ausüben muß, Piedmonttreppen entstehen können, freilich modifiziert durch die Schichtstufenbildung (10)².

Auch außerhalb Deutschlands ist die Form nachgewiesen. G. Braun deutet die schon vor W. Penck beobachteten Formen im nördlichen Appenin, in den Karpathen und im nördlichen Ural als Piedmonttreppen (9). In derselben und in anderen Arbeiten bespricht er eingehend die Piedmonttreppe des Kjölen an der schwedisch-norwegischen Grenze und weist eine kuppelförmige Aufwölbung dieses Gebietes nach (8, 11, 12). Wir dürfen auch an ein Vorhandensein der Form im nördlichen Finnland denken, wenn wir bei A. Penck von einer treppenförmigen Anordnung von Rumpfflächen lesen, die von einer stockwerkartigen, vor der Eiszeit erfolgten Abtragung des Landes zeugt (36). In der von L. Duparc aus dem Wischerabecken des Ural beschriebenen Formengemeinschaft will S. v. Bubnoff eine direkt klassisch ausgebildete Piedmonttreppe erblicken (14, 15). In den äußeren Hebriden ist die Form durch

¹ Nach Angabe G. Brauns (9).

² Vgl. hierzu S. 334.

W. Panzer festgestellt (32, 33). Endlich werden Piedmonttreppen durch J. F. Gellert aus dem Balkangebirge (18) und wird durch A. Penck eine vielleicht als Piedmonttreppe zu deutende Form aus der Witoša Planina (35) beschrieben. Es sind vor allem die Gebiete von der Art der deutschen Mittelgebirge, die am besten die Form der Piedmonttreppe zeigen. Auch die Gebirgsgruppen der Ostalpen (Gurktaler Alpen, Seetaler Alpen, Wechselgebirge), für die A. Aigner die Möglichkeit einer Piedmonttreppenbildung zugibt (1), sind in jenem Teil des Gebirges gelegen, das im großen ganzen schon vielfach Mittelgebirgscharakter hat. Hier liegt auch die Koralpe, von der uns A. Winkler ein Bild zeichnet und in Karte und Profil vorführt, das das einer Piedmonttreppe ist, wenn auch die Bezeichnung selbst nicht gebraucht wird (55).

Daß aber die Form nicht auf das Mittelgebirge beschränkt ist, zeigen nicht allein die von W. Penck selbst gebrachten Beispiele. In den Hochalpen mag die Vorgeschichte der Gipfflurtreppe M. Richters (42) — worunter wir die Ausbildung der verschiedenen Niveaus verstehen, durch deren Zerschneidung es erst zur Entstehung der Gipffluren kam — als Piedmonttreppenbildung aufgefaßt werden. In der von M. Richter u. a. besprochenen Silvrettagruppe zeigen z. B. die stockwerkartig und zonal angeordneten alten Flächen (aus denen in den peripheren Teilen schon Gipffluren hervorgegangen sind) ein Ansteigen gegen das Zentrum des Gebietes sowie die charakteristische zonale Anordnung. Es dürfte hier, wie in so manch anderer Gruppe der Alpen eine selbständige kuppelförmige Aufwölbung im Laufe des allgemeinen Hebungsvorganges die erste und zwar piedmonttreppenartige Ausbildung von Großformen hervorgerufen haben.

Aus den asiatischen Hochgebirgen beschreibt uns H. de Terra vom Nordrand des Kwenlun eine Piedmontfläche, die heute in ein Mittelrelief aufgelöst ist und einem Steilrelief vorlagert (52). Das seiner Arbeit beigegebene Bild zeigt hervorragend klar das Verhältnis zwischen der Piedmontfläche und dem dahinter ansteigenden Bergland. Aber die Fläche darf nur morphographisch eine Piedmontfläche genannt werden. Gegen das Steilrelief im Süden und gegen das Vorland im Norden ist sie durch Bruchlinien begrenzt. Es liegt freilich auch keine reine Bruchstaffel vor, denn eine mittlere Längsstörung wird wiederum von der Piedmontfläche gleichmäßig überzogen. — Endlich sei darauf hingewiesen, daß der Steilabfall des Great Escarpment (Südafrika) nach A. Born eine Piedmonttreppe darstellt (6). Seine Darlegung ist überzeugend, obwohl einige der Stufen auch an feste Gesteine gebunden und also zugleich Denudationsstufen sind.

Es muß bei dieser Übersicht auffallen, daß so gut wie ausschließlich deutsche Gelehrte die Begriffassung W. Pencks angewendet und von seiner Theorie gewonnen haben. Tatsächlich findet sich in der französischen, englischen, amerikanischen und russischen Literatur kaum ein Hinweis auf die Piedmonttreppe¹, obwohl auch hier Formen beschrieben werden, für die der Ausdruck und die Theorie W. Pencks angewendet werden kann. Das mag nicht zum geringen Teil auf die nicht leicht faßliche Darstellung des Problems durch W. Penck

¹ Durchgesehen wurden die Zeitschriften: Annales de Géographie, The Geographical Journal, The Scottish Geographical Magazine, The Geographical Review, Iswestija gosudarstvennogo russkogo geografitscheskogo obschestwa, Semlewedenije; sämtliche Jahrgänge von 1924 an.

zurückzuführen sein, die Anderssprachigen das Verständnis erschwert¹. Von Seiten deutscher Forscher allerdings ist das Vorkommen oft genug nachgewiesen worden.

Die obige Anführung von in der Literatur behandelten Beispielen hat das morphographische Bild im Auge gehabt. In diesem Sinne genügt die zonenförmige, stockwerkartige Anordnung von subaëril gebildeten Rumpfflächen zur Bezeichnung des Formenschatzes als Piedmonttreppe. So hat auch H. de Terra seine von Verwerfungen begrenzte, dem Steilrelief vorgelagerte Rumpffläche noch als Piedmontfläche bezeichnet, und selbst wenn feststände, daß die Vorfläche der Appalachen tatsächlich im Sinne der Ausführungen von Cl. Lebling (27) nur ein durch tektonische Vorgänge an einer Verwerfung abgesunkenes Stück einer ursprünglich einheitlichen Fastebene darstellte, dürfte man sie doch auch als Piedmontfläche bezeichnen, ist sie doch das Urbild einer solchen. Im morphologischen Sinne muß aber eine Beschränkung des Begriffs erfolgen. Nur jene zonenförmig angeordneten und stockwerkartig aufsteigenden Rumpfflächen, von denen feststeht, daß sie aus einem (relativ) aufsteigenden Gebiet durch exogene, hauptsächlich erosive Kräfte herausgearbeitet sind, können auch im morphologischen Sinne als Piedmontflächen bezeichnet werden, nicht aber irgend welche an Bruchlinien zurückgebliebenen Teile einer ursprünglich zusammenhängenden Rumpfebene.

Überblicken wir die angeführten Beispiele, so können wir feststellen, daß auch die Piedmonttreppen im morphologischen Sinne dieselben zwei nach der Art ihrer Erscheinung, also morphographisch verschiedenen Hauptarten umfassen: solche Piedmonttreppen, bei denen die kreisförmig sich erstreckenden Flächen gewissermaßen zu einer Kuppel aufsteigen, und solche, bei denen eine kreisförmige Anordnung fehlt, aber mehr oder weniger langgestreckte Rumpfflächen sich zu einem Stockwerk übereinander ordnen und zu höherem Gelände emporführen. Dieser Unterschied wird erwähnt, weil hervorgehoben werden soll, daß das Problem der Entstehung der Piedmonttreppe nicht nur bei kuppelförmiger sondern auch bei langgestreckter einachsiger Aufwölbung uns entgegentritt. Ja, die Form kann auch nur auf der einen Seite eines derart sich aufwölbenden Gebietes vorkommen. Wesentlich für die Auffassung des morphologischen Begriffs ist die erosive Ausräumung. Damit ist aber noch nicht Stellung genommen zur Hauptfrage des Problems, worauf die erosive

¹ So heißt es in der Besprechung des *Geographical Journal* (20): „It makes extremely difficult reading: the sentences are long and involved, and it is, perhaps, more than usually difficult to find English equivalents for many of the terms used.“

Ausräumung der einzelnen Flächen zurückzuführen ist. Wir werden zeigen können, daß in dieser Hinsicht zwei Erklärungsmöglichkeiten sich gegenüberstehen. Die eben genannte Gliederung der „morphologischen“ Piedmonttreppen nach äußerlichen, morphographischen Gesichtspunkten wird damit von einer Einteilung gekreuzt, die die Ursachen der Ausbildung der einzelnen Flächen zur Grundlage hat.

Von den von uns gebrachten Beispielen kann das linksrheinische Schiefergebirge nach der Beschreibung von R. St i c k e l schon morphographisch nicht als Piedmonttreppe angesehen werden, wohl aber der Abfall der Eifel zu ihrem nordwestlichen Vorland und zur Niederrheinischen Bucht. Dieser ist es sogar im morphologischen Sinne, denn es steht fest, daß es sich hierbei nicht um ein tektonisch bedingtes Absinken einzelner Flächenstücke handelt. Wohl als Piedmontfläche im morphographischen Sinne, aber nicht im morphologischen kann die von H. de Terra beschriebene bezeichnet werden. Kaum noch wird man die von G. Braun als Piedmonttreppe gedeutete Form des Dün als solche ansehen können. Es überwiegt der Einfluß der Gesteinsunterschiede, wodurch auch bestimmte Abweichungen der morphologischen Form erzielt werden.

Als eigentliche Piedmonttreppenkuppeln sind auf Grund der vorliegenden Beschreibungen der einzelnen Beobachter mit Sicherheit nur die von W. Penck selbst beschriebenen Vorkommen, dann die am Taunus, am Rothaargebirge, am schwedisch-norwegischen Grenzgebirge des Kjällen, am Schipka-Balkan und am östlichen Balkan nachgewiesenen Formengemeinschaften anzusehen.

Auf Grund unserer Darlegungen kommen wir zu folgender systematischen

Übersicht über stockwerkartig angeordnete subaëriale Rumpfflächen.

1. Fehlen einer gesetzmäßig zonalen Anordnung, regellose Ausdehnung der einzelnen Flächen. Die Bezeichnung „Piedmonttreppe“ kann nicht angewendet werden. Beispiel: das linksrheinische Schiefergebirge nach der Beschreibung und Auffassung von R. St i c k e l.
2. Piedmontflächen bzw. -treppen, die es nur im morphographischen Sinne sind. Zonenhafte, treppenartige Anordnung. Die einzelnen Flächen sind durch tektonische Kräfte an Bruch- oder Flexurlinien versenkt bzw. zurückgeblieben. Beispiel: Nordrand des Kwenlun nach H. de Terra.

3. Piedmontflächen bzw. -treppen im morphologischen (und morphographischen) Sinne. Die Flächen sind durch die Wirksamkeit der exogenen Kräfte herausgearbeitet. Morphographische Unterteilung:
- a) Piedmonttreppenkuppel. Beispiel: das Fichtelgebirge.
 - b) Piedmonttreppe mit einfach zonaler Anordnung. Beispiel: die Appalachen.

Diese Unterteilung wird von einer anderen gekreuzt, die von den Ursachen der Entstehung der einzelnen Niveaus ausgeht.

Nur von der Piedmonttreppe im morphologischen Sinne wird im folgenden zu handeln sein. Die im obigen gebrachten Beispiele gestatten es, von einer universalen Verbreitung der Form zu sprechen, besonders wenn man bedenkt, daß seit dem Antriebe, den das Erscheinen der „Morphologischen Analyse“ der Forschung gegeben hat, erst sieben Jahre vergangen sind, und daß die angeführten Vorkommen nicht nur in räumlich weit getrennten sondern auch in verschiedenen alten Gebieten nachgewiesen sind.

Wohl finden sich in der Literatur häufig kritische Bemerkungen zur Auffassung W. Pencks über die Entstehung der Piedmonttreppe. Ein Ausbau seiner Theorie ist aber nicht erfolgt, und oft genug muß man feststellen, daß seine Meinung auch mißverstanden worden ist. Die vorliegende Untersuchung soll einen Versuch zur weiteren Klärung des Problems darstellen.

II.

Die Theorie W. Pencks und ihre Kritik.

Wir gehen von dem Idealfall einer Piedmonttreppe aus, den wir im folgenden zunächst morphographisch betrachten und dann mit W. Penck zu erklären versuchen, wobei wir zugleich die bisher von der Kritik geäußerten Einwände anführen.

Skizzen und Abbildungen finden sich bei W. Penck (37) und A. Priem (41). Es sei hier darauf hingewiesen, daß A. Priems Fig. 3 und 4, deren Darstellungsart auch G. Braun übernommen hat (13, Abb. 17, S. 47), nicht dasselbe wiedergeben, wie das von W. Penck gebrachte Vorbild (37, Fig. 16, S. 176). W. Penck stellt in seiner Abbildung durch die punktierte Linie eine Fläche dar, die tatsächlich einmal Stufenhang gewesen ist. Ihr vorgelagert und deutlich durch einen Gefällsknick von ihr getrennt, ist der als Primärrumpf ausgebildete periphere Teil der Piedmontfläche (von ihm mit II bzw. II' bezeichnet). Folgerichtig müssen hierbei die aus dem ursprünglichen Stufenhang herausgearbeiteten Inselberge bis zur punktierten Linie heranreichen. Auch

auf A. Priems Figuren gehen die Inselberge bis zur punktierten Linie empor. Aber der periphere Teil der Piedmontfläche fehlt vollständig. Seine punktierte Linie kann also nichts anderes angeben als diejenige Höhe, bis zu der die Wölbung emporgewachsen wäre, wenn die Piedmonttreppenbildung nicht durch die doch unbedingt nötige und von niemand geleugnete, nur nach den Ursachen ihrer Entstehung umstrittene, erste Anlage der peripheren Teile eingeleitet worden wäre. So ist nicht nur ein wesentlicher Bestandteil des Formenschatzes durch die Vereinfachung der Zeichnung übergangen, es sind zugleich die Inselberge unrichtig gezeichnet. Diese Art der Schematisierung ist unstatthaft. Den Unterschied kann man auf unserer Abbildung 1 erkennen. Hier gibt die punktierte Linie das Ausmaß der Aufwölbung wieder (= punktierte Linie A. Priems), die gestrichelte Linie bezeichnet die primär entstandenen Formen des Stufenhangs (= punktierte Linie W. Penck's) und des peripheren Teils der Fläche, durch dessen weiteres Wachstum erst der proximale Anteil gewonnen und die heutige Oberflächenform herausgearbeitet wird.

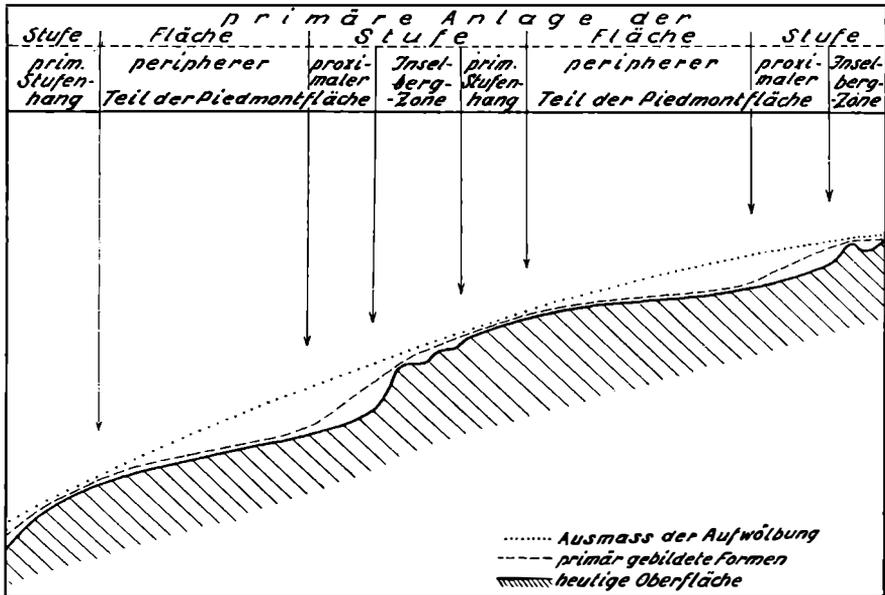


Abb. 1.

Der vollkommenste Fall einer Piedmontterrasse ist die Piedmontterraspenkuppel (nach dem Ausdruck C. W. Kockels, Rumpftreppenkuppel nach J. F. Gellerts Bezeichnung). Die höchsten Teile des Gebiets werden von einem mehr oder weniger geschlossenen Bergland eingenommen,

dem Zentralen Bergland. In dem einzigen Fall, in dem W. Penck auf ihm größere Reste eines alten Flachreliefs erhalten sieht, sind diesem Formen der absteigenden Entwicklung aufgesetzt, ausgezeichnet durch konkave Hangprofile (Restberge und Klippen). So deutet er diese Reste als die letzten Überbleibsel eines ehemals höher ragenden Geländes, auf dessen Kosten hier Flachformen entstanden sind. Aber dieses Merkmal ist nicht wesentlich für die Flächen, die unter Umständen auf den Höhen des Zentralen Berglandes sich finden. Hier kann nämlich auch die Ausgangsform der Piedmonttreppe noch erhalten sein. Da nun — wie weiter unten ausgeführt wird — wenigstens in unseren schon variskisch gefalteten Gebirgskörpern nur ein bereits eingerumpftes Gebiet von der Piedmonttreppenbildung betroffen worden sein kann, so kann diese Ausgangsform auch ein Primärrumpf sein, dessen letzte Reste wir auf den Höhen des Zentralen Berglandes antreffen können. Dann müssen die hier erhaltenen Flächen aber auch die Merkmale von Primärrümpfen, also solche der aufsteigenden Entwicklung, haben.

Allerdings wird dieser Fall nur selten eintreten. Meist werden nämlich Reste derjenigen Rumpffläche, die das Land unmittelbar vor der Piedmonttreppenbildung überspannt hat, auf den Höhen des Zentralen Berglandes nicht mehr erhalten sein. Dieses ist ja am längsten von allen Formgebilden der Piedmonttreppe der Zerstörung ausgesetzt gewesen. Durch das ständige Zurückwandern der einzelnen Piedmontflächen wird häufig oder fast immer die älteste Anlage des Zentralen Berglandes zerstört sein. Das heutige Zentrale Bergland ist dann aus ursprünglich tieferen Stufen der Piedmonttreppe herausgearbeitet. Die Flächen, die so auf seinen Höhen noch erhalten sind, können nur Formen der absteigenden Entwicklung tragen.

Konvexe Formen leiten von den Höhen des Zentralen Berglandes zu seinen Hängen, aber nach unten müssen sie in konkave Hangformen übergehen. Nach außen hin ist das Zentrale Bergland durch jugendliche Erosionsfurchen, aber auch durch alte, von dem nächst tiefer gelegenen Niveau ausgehende Talungen gegliedert. In vielen Fällen ist dadurch die Zerstörung des Zentralen Berglandes — wie schon angedeutet — so weit fortgeschritten, daß nur eine Gruppe von Restbergen noch den Kern des Gebietes bildet, wenn nicht überhaupt schon das ursprüngliche Bergland durch einen jüngeren Nachfolger ersetzt ist.

Die Piedmontflächen sind stockwerkartig und konzentrisch um das Zentrale Bergland angeordnet. Die Flüsse auf ihnen sind in breite, seichte Talungen eingebettet. Die Flächen gliedern sich jeweils in einen proximalen und peripheren Teil. Die flachen Zwischentalwasserscheiden des peripheren Anteils weisen durchaus konvexe Hangprofile

auf; Restberge können hier nicht vorkommen. Solche stellen sich erst auf dem proximalen Anteil ein. Sie sind durch Formen der absteigenden Entwicklung ausgezeichnet. Mit der Annäherung an die nächst höhere Stufe bzw. an das Zenitale Bergland nehmen die Restberge an Höhe zu, so daß ihre Berührende bei einigermaßen gutem Erhaltungszustand einen kontinuierlichen Übergang von der tieferen zur höheren Piedmontfläche bietet. In Form breiter Talungen setzen sich die tieferen Piedmontflächen in die nächst höhere hinein fort. Solche Talungen können auch noch weiter zurückgreifen. Im günstigen Falle kann man die Piedmonttreppe so weit in den Sedimentationsraum des Vorlandes verfolgen, daß man sie noch unter den Ablagerungen desselben nachweisen kann.

Die Stufen zwischen den einzelnen Piedmontflächen zeigen an ihrem Übergang zur höheren Fläche konvexe, zur tieferen Fläche konkave Formen. Sie werden im Grundriß durch die erwähnten breiten Talungen und durch jugendliche Flußkerben zerschnitten. Aber auch im Aufriß sind sie gegliedert: an den Stufenhängen kann man *Zwischen-niveaus* feststellen, die im wesentlichen dasselbe bedeuten wie die Piedmontflächen selbst, aber ihrer geringeren Ausdehnung und unvollständigen Ausbildung wegen nicht als solche angesehen werden können. — Ein weiteres wesentliches Kennzeichen der Piedmonttreppe ist, daß alle Flächen und Stufen sich gleichsinnig nach außen abdachen.

Die Täler der Piedmonttreppe zeigen charakteristische Längsprofile und einen bezeichnenden Wechsel im Querschnitt. Aber nur die allgemeine Eigenschaft, daß sie in ihrem Längsprofil eine Reihe von Gefällsknicken aufweisen, flußaufwärts an Taltiefe ab-, an Talbreite zunehmen und in ihrem Oberlauf geringere Hangneigung zeigen, ist notwendiges Kennzeichen. W. Penck erscheint noch ein weiteres Merkmal für die Talformen der Piedmonttreppe wichtig. Die Talkurve des Längsprofils der Flüsse weist danach Gefällsknicke auf, die nach unten stetig sich vergrößern. Diese Beobachtung macht er sowohl an den Flüssen, die von der Harzhochfläche gegen das Vorland hinausführen — obwohl von ihm unter der Harzhochfläche keine tiefere Piedmontfläche mehr festgestellt wird —, als auch an den Tälern des Fichtelgebirges, wo eine ganze Treppe von Piedmontflächen von Flüssen mit solchem Längsprofil durchlaufen wird. So scheinen die Beziehungen zwischen diesen Eigenschaften der Täler und der Piedmonttreppebildung trotz der Folgerungen, die W. Penck daran knüpft, noch nicht geklärt zu sein. Was das Verhalten der Harzflüsse anbelangt, so steht die Ausbildung der Gefällsknicke der Flüsse nicht im ursächlichen Zusammenhang mit der Bildung der von W. Penck geschilderten Fläche des

Harzes, wohl aber in Beziehung mit von ihm nicht beobachteten tieferen Niveaus. Die letzteren aber haben sich nicht am Rande eines Gewölbes mit wachsender Phase (s. u.), sondern am Bruchrand des Harzes bei gewissen Stillständen der Hebung ausgebildet und dürfen also nicht in eine Reihe mit den übrigen Piedmontflächen gestellt werden.

Die geschilderte Form einer Piedmonttreppe kann nur bei der Bildung von Gewölben mit wachsender Breite (Phase) entstehen, wobei ständig immer neue Außenzonen in den Bereich der Hebung einbezogen werden. Bei einem tektonischen Vorgang dieser Art ist wohl das Ausmaß der Erhebung im Zentrum der Wölbung am stärksten, aber dafür ist dieses Gebiet auch zuerst der Wirkung der außenbürtigen Kräfte ausgesetzt. Der Unterschied, der zwischen dem Ausmaß der Erhebung im Zentrum und dem an den Rändern des entstehenden Gebildes vorhanden ist, genügt also noch nicht, um die Form zu erklären. W. Penck hat darum einen weiteren Faktor in Rechnung gezogen und am klarsten in seiner Schwarzwaldarbeit dargelegt. Die Wirkung der in diesem Falle ausschlaggebenden außenbürtigen Kraft, des fließenden Wassers, wird nach außen hin -- wo auch die Aufwärtsbewegung die geringsten Beträge aufweist -- am stärksten. Die Flüsse haben hier die größte Wassermenge¹. So ist es möglich, daß (nachdem das neue Gebilde ein gewisses Größenausmaß erfahren hat) die Flüsse in den randlichen Teilen des Gewölbes der hier eben erst beginnenden Hebung so erfolgreich entgegenarbeiten, daß die Hebung morphologisch nicht mehr zum Ausdruck kommen kann und ein Primärrumpf sich bildet, während im Inneren das Gewölbe orographisch in die Höhe wächst.

Aber W. Penck geht noch weiter und führt auch endogene Beeinflussung an, wenn er annimmt, daß die erst langsame Aufwärtsbewegung ein Rascher werden erfährt und in eine stetig beschleunigte übergeht (38, S. 91). Die Anlage des konvexen Gefällsbruchs, der von den auf dem Zentralen Bergland befindlichen Kuppelflächen zur ersten, auf die oberste Piedmontfläche hinabführenden Stufe überleitet, würde damit voll erklärt. Das Problem als Ganzes wird aber dadurch sehr erschwert, daß W. Penck nun nicht wieder eine Abnahme der Hebungsintensität zuläßt, welche Abnahme das Entstehen der folgenden Piedmontfläche erklären müßte. Bei ständiger Zunahme der Hebungsintensität müßten immer neue konvexe Gefällsknicke sich bilden und der Außenrand der Bildung immer steiler werden. So muß man W. Pencks Theorie schon abändern, selbst wenn man nur die Entstehung

¹ Der allgemeine Grundsatz, daß die Abtragung mit der Meereshöhe zunimmt, kommt hier nicht in Frage, dazu ist der Höhenunterschied zu gering.

einer einzigen Piedmontfläche um ein Zentrales Bergland, die überdies noch nicht gegen das Vorland irgendwie abgesetzt sein darf, erklären will. Würde er nur die Wirkung der exogenen Kräfte bei zeitlich gleichförmiger Hebung im Auge haben, so wäre es — wie oben gezeigt wurde — wenigstens möglich, die erste Anlage der Form zu erklären.

Es gibt aber ja nicht nur eine Piedmontfläche sondern eine ganze Treppe von solchen, die immer wieder von einander durch Stufen getrennt sind, und doch betont W. Penck wiederholt und mit aller Bestimmtheit, daß allein die stetige Beschleunigung der Aufwölbung des Gebildes mit wachsender Phase zur Ausbildung der Piedmonttreppe führen muß. Die Erklärung ist in der Form, wie W. Penck sie gegeben hat, unannehmbar. Hier hat demnach auch die Kritik vor allem eingesetzt.

Während eine Reihe von Autoren zu dieser Frage nicht weiter Stellung nimmt (so F. Jaeger (23), A. Aigner (2), L. Distel (17) bei Besprechung der „Morphologischen Analyse“; C. W. Kockel (25), J. F. Gellert (18, 19), W. Panzer (32), H. de Terra (52) bei Behandlung von Piedmonttrepplandschaften), ist von anderer Seite die Möglichkeit, die Piedmonttreppe im Sinne W. Pencks zu erklären, entschieden bestritten worden. J. Sölich weist darauf hin, daß man die Piedmonttreppe nur erklären kann, wenn man wenigstens leicht sprunghafte Änderungen in der Erosionsintensität annimmt, die er sich wohl als Folge einer sprunghaften Änderung der Hebungsintensität deutet (47). H. Schrepfer spricht von einer etappenweisen Tieferlegung der Erosionsbasis (44). F. Machatschek leugnet die Möglichkeit der Annahme eines stetigen endogenen Entwicklungsganges zur Erklärung der Form (28). L. Henkel zeigt in einem kleinen Aufsatz, daß die Gefällsbrüche der Piedmonttreppe nur durch Unstetigkeiten in der Bewegung zu erklären sind (21). Im gleichen Sinne wird die Frage in der Neuauflage von Supans „Grundzüge der physischen Erdkunde“ beurteilt (51). Die von W. Penck angenommene kontinuierliche Aufwölbung lehnt auch A. Philippson ab; er meint, daß die mehrfache Folge von Flächen nur durch episodenhafte Hebung gebildet sein kann (40, S. 410 f.). H. Schmitthener hat die gleiche Auffassung (43); ebenso Axel Born (6). Wohl auch K. Oestreichs Gedankengang bei Besprechung der Flächen des Rothaargebirges liegt die Annahme einer periodischen Änderung in der Hebungsintensität zugrunde (31). G. Braun stellt zwar die Theorie im Sinne W. Pencks dar (13, S. 46 f.), nimmt aber bei Besprechung konkreter Fälle doch eine Entstehung durch wiederholte Hebung und fluviale Einebnung an (so 13, S. 100).

A. Priem wiederum legt in W. Pencks Worte einen anderen

Sinn, wenn er den Ausdruck „stetiges Rascherwerden“ so interpretiert, als wolle W. Penck damit sagen, daß der Hebungsvorgang zwar stetig sei, die Intensität aber unstetig wachse, so daß Perioden gleicher oder nur wenig gesteigerter Hebungintensität und solche stärker wachsender Intensität wechseln (41, S. 377). Auch S. v. Bubnoff läßt W. Penck selbst die Piedmonttreppe als eine Form bezeichnen, die infolge räumlich und zeitlich verschieden intensiver Hebung entsteht (15).

Und doch hat W. Penck nichts derartiges vor Augen gehabt. Seine Ausführungen lassen keinen Zweifel darüber, daß er selbst die Form ohne irgendwelche zeitweisen Unterbrechungen oder Verzögerungen des endogenen Hebungsvorganges erklärt wissen will. Das haben nicht nur diejenigen erkannt, die sich gegen W. Pencks Auffassung gewandt haben; rein berichtend schreibt A. Penck: „Doch warnt W. Penck, in derartigen Ländstufen (= Piedmontflächen) und weiter in den Terrassen der Täler Formen intermittierend gewesener Hebungen zu erblicken; er (W. Penck) führt aus, daß sie auch bei kontinuierlichen Hebungen entstehen können, wenn sich der Schauplatz der intensivsten Hebung verschiebt, wie denn überhaupt er wiederholt darauf hinweist, daß Unstetigkeiten der Formenentwicklung nicht unbedingt auf Unstetigkeiten im Formen bildenden Vorgang zurückzuführen sind“ (34, S. 1716).

Soweit zu dem Problem ausdrücklich Stellung genommen ist, wird W. Pencks Anschauung in diesem einen Punkte abgelehnt. Die Ansichten wurden so ausführlich referiert, weil gerade hierbei ein weiterer Ausbau der Theorie möglich ist (s. S. 347 ff.).

Nehmen wir indes vorläufig an, daß auf irgend eine Weise, sei es bei periodischer Hemmung der Hebungintensität, sei es bei kontinuierlichem und stetig beschleunigtem oder auch ständig gleichbleibendem Wirken derselben eine Anzahl von stockwerkartig angeordneten Primärrumpfflächen um das Zentrale Bergland entsteht, so kommen wir zur zweiten Hauptfrage des Problems: dem selbständigen Wachstum der Flächen, die jede für sich der allgemeinen Erosionsbasis durch den darunter folgenden Stufenhang entzogen sind und sich nunmehr auf Kosten der nächst höheren Fläche bzw. des Zentralen Berglandes hangeinwärts verschieben. Von den Stufen zwischen den einzelnen Flächen müssen in großer Zahl Flüsse herabfließen, deren Lauf beim Übertritt auf die vorgelagerte Ebene einen konkaven Gefällsknick aufweist. Naturgemäß schiebt dieser sich zurück, und wenn die Flüsse nur dicht genug beisammen sind, wird die ganze Stufe zurückverlegt. Dies vor allem deshalb, weil die Flüsse unterhalb des sich zurückverlegenden Gefällsknickes

nicht mehr in die Tiefe arbeiten müssen, sondern Seitenerosion ausführen und dabei die zwischen den Unterläufen der Täler gelegenen Bergrücken erfolgreich angreifen können. Man kann unter günstigen Umständen wohl schon durch die Flußtätigkeit sich so das Zurückschieben der Stufen und das Wachstum der ursprünglichen Piedmontflächen erklären. Diese Vorstellung führt K. Oestreich zu dem anschaulichen Bild auf S. 155 seiner zusammenfassenden Arbeit über die Formenwelt des Rheinischen Schiefergebirges (31), mit dem er die Rückverschiebung der Großstufe des Sauerlandes darstellt. Sein Bild soll aber nicht die Entstehung der Piedmonttreppe darstellen sondern nur das Zurückweichen der Stufe. Die beiden Ebenheiten der oberen und unteren Fläche sind bereits da, und ihr Bestehen macht einen wesentlichen Bestandteil seiner Auffassung aus.

Die Frage nach der Rückverlegung der Stufen zwischen den Piedmontflächen hängt bei dieser Erklärung davon ab, ob das Flußnetz dicht genug ist, was man aber nicht ohne weiteres annehmen kann. Darum ist noch ein zweiter Vorgang zu berücksichtigen. So wie die Stufen sind auch die einzelnen Piedmontflächen selbst nach auswärts geneigt, wenn auch im geringeren Maße. Man kann den Schnitt, der von einer Piedmontfläche aus zur nächst höheren Stufe führt, auch als das Profil eines Hanges mit konkavem Gefällsknick auffassen. Auch ohne Einwirkung des Flußnetzes muß sich dann der konkave Gefällsknick nach den Gesetzen W. Pencks über die Hangentwicklung hangeinwärts verschieben. Neben der Rückverlegung der konkaven Gefällsknicke der Flüsse spielt diese Möglichkeit jedenfalls eine bedeutende Rolle für das selbständige Weiterwachsen der Piedmontfläche. In diesem Sinne glaubt auch beispielsweise W. Panzer unter Bezugnahme auf das Problem der Piedmonttreppe, daß die große Breite der „Talbodenfläche“ der Insel Lewis in ähnlicher Weise durch rückschreitende Verwitterung entstanden ist (32, S. 196). Wir kommen im letzten Abschnitt dieser Arbeit auf diese Frage zurück, denn ihre Lösung ist auch für andere Streitfragen der Morphologie wichtig.

Die weiteren Folgerungen, die sich aus dem selbständigen Wachstum der Piedmontfläche ergeben, die ständige Fortbildung und Erneuerung der Formen, die Unterschiede im Alter der ersten Anlage und der heute bestehenden Formen sind selbstverständlich. W. Penck hat sie besonders klar hervorgehoben bei Besprechung des Fichtelgebirges (37) und in einer späteren Arbeit (39).

III.

Merkmale von Primär- und Endrumpfflächen.

Die einzelnen Piedmontflächen bestehen aus Teilen verschiedener Genesis: die peripher gelegenen Teile sind so entstanden, daß hier das Gelände nie über die Form einer Ebene emporgewachsen ist. Es sind Primärrumpfflächen. Die proximalen Anteile der einzelnen Flächen sind dagegen durch die exogenen Kräfte aus dem höher ragenden Teil des Stufenhanges herausgearbeitet. Dem entsprechend sieht W. Penck als Merkmal der peripheren Anteile Formen der aufsteigenden, als Merkmal der proximalen solche der absteigenden Entwicklung an, wie wir es oben bei der Beschreibung der peripheren und proximalen Teile der Piedmontflächen geschildert haben. Gibt es aber tatsächlich so eindeutige Merkmale für Primär- und Endrumpfflächen, wie W. Penck annimmt? Die Frage ist von besonderer Bedeutung.

Der endogenen Störung eines Gebietes arbeiten die außenbürtigen Kräfte entgegen. Gelingt ihnen dies in solchem Maße, daß die Störung morphologisch nicht zum Ausdruck kommt, so entsteht ein Primärrumpf, sofern die Ausgangsform eine Ebene war¹. Bei diesem Vorgang können Hangprofile erst kenntlich werden, wenn die Flüsse sich doch bereits einigermaßen in das aufsteigende Gebilde einschneiden, ohne daß diese Erosionstätigkeit den Charakter der Ebene schon zerstören könnte, welche letztere Annahme gemacht werden muß, weil wir sonst ja nicht mehr von einer Rumpfebene sprechen könnten. Das Hangprofil der Zwischentalwasserscheiden muß nach den Gesetzen der Hangentwicklung — die wir im großen ganzen als richtig ansehen — konvex sein. In diesem Falle ist das Vorhandensein konvexer Profile tatsächlich Kennzeichen eines Primärrumpfes. Bildung der Ebene und Formung der Hänge gehören ein und demselben Zyklus an. Nehmen wir an, das Stück einer Endrumpfebene, bei der die absteigende Entwicklung so weit fortgeschritten ist, daß keine Restberge oder Klippen ihr mehr aufgesetzt sind, werde gehoben und zwar in einer Weise, daß die außenbürtigen Kräfte der Hebung nicht mehr entsprechend entgegenarbeiten können, so gibt es zwei Fälle, in denen dasselbe morphologische Bild entstehen kann. 1. Im Anfangsstadium der Hebung, solange das tektonische Gebilde nicht in zu große Höhen gewachsen ist, wird der Charakter der Ebene als Ganzes noch vorhanden sein. Die Hänge, die von den Zwischentalwasserscheiden zu den Tälern hinableiten, sind konvex. Es wird sich kein

¹ Es ist natürlich denkbar, daß auch in einem Gebirgsland die Wirkung endogener Kräfte durch die Tätigkeit der außenbürtigen Kräfte morphologisch unterdrückt wird.

Unterschied gegenüber dem oben dargestellten Bild eines Primärrumpfes ergeben, und doch hat die Ebene Endrumpfnatur. Die Flüsse aber, die im obigen Falle die Primärrumpfebene erzeugen, sind hier daran, in einem neuen Zyklus die aus dem abgelaufenen stammende Ebenheit zu zerstören. 2. Das gleiche Bild entsteht, wenn das Stück eines Endrumpfes horstartig ziemlich rasch aus der Ebene herausgehoben wird. Dann wird wohl am Rande des Horstgebirges sogleich die zerstörende Kraft der Flüsse ihre Arbeit beginnen. Weiter gegen das Innere aber folgt zunächst eine Zone mit nur geringer Tiefenerosion, in der die Form der Ebenheit erhalten bleibt, während die Flüsse zugleich sich schon einigermaßen einschneiden. Wiederum haben wir dasselbe Bild: eine Endrumpfebene, von der konvexe Hänge zu den erst schwach eingeschnittenen Tälern hinabführen.

Wir können aber auch annehmen, daß die Aufwölbung eines schon lange gebildeten Endrumpfes in einem neuen Zyklus sehr langsam vor sich geht. Dann kann es dazu kommen, daß dieser neuerlichen Aufwölbung die exogenen Kräfte entsprechend Schritt halten. Es wandelt sich in diesem Falle der Endrumpf in einen Primärrumpf. In gleicher Weise kann es auch vorkommen, daß ein in einem früheren Zyklus gebildeter Primärrumpf, dessen Untergrund schon lange Zeit in tektonischem Ruhezustand sich befunden hat, neuerlich aufgewölbt wird und nun ein neuer Primärrumpf den ersten ablöst. Diese beiden Fälle haben insofern auch für die Frage der Piedmonttreppe besondere Bedeutung, als auch deren Bildung immer erst in einem zweiten Zyklus der Entwicklung sich vollziehen kann (s. Abschnitt IV).

Zusammenfassend kann man sagen, daß die allgemeine Lehre W. Pencks, daß Primärrumpfflächen durch konvexe (aufsteigende), Endrumpfflächen durch konkave (absteigende) Hangformen ausgezeichnet sind, richtig ist, daß es aber im tatsächlichen Falle darauf ankommt, zu entscheiden, ob die Ausbildung der Hangformen in denselben Zyklus der Entwicklung der Oberflächengestaltung zu stellen ist wie die Ausbildung der Ebenheit. Und da dies so schwer, ja, oft geradezu unmöglich ist, ergeben sich nach obigem für die Unterscheidungsmerkmale von Primär- und Endrumpfflächen folgende Grundsätze: Primärrumpfflächen müssen konvexe Hangprofile aufweisen, aber konvexe Hangprofile sind nicht ausschließliches Kennzeichen der Primärrumpfe, unter Umständen zeichnen sie auch Endrumpfflächen aus. Flächen, die nur Spuren der absteigenden Entwicklung zeigen, sind Endrumpfe, aber es gibt auch Endrumpfflächen, die durch den Eintritt in einen neuen Zyklus bereits konvexe Profile zeigen können. Die Unterscheidung wird dadurch erleichtert, daß die Endrumpfflächen häufig noch Reste der absteigenden Ent-

wicklung auf ihren Zwischentalwasserscheiden tragen. In Anwendung der dargelegten Grundsätze auf die Flächen einer Piedmonttreppe kann man sagen, daß die proximalen Stücke durch die Kennzeichen der absteigenden Entwicklung eindeutig als Endrumpfe festgestellt sind. Bei den peripheren Teilen wird der Primärrumpfcharakter durch die ständige Wiederholung desselben Formenschatzes auf den gleichartigen Flächenstücken bewiesen.

Rein theoretisch müssen wir weitere Merkmale zur Unterscheidung von Primär- und Endrumpfflächen auch in den korrelierten Schichten treffen. Gelänge es, die vollständige, dem endogenen Gebirgsbildungsprozeß äquivalente und zugehörige Schichtenfolge am Rande einer Rumpfebene zu finden, so könnte man aus dem Charakter der einzelnen Schichtglieder auch Schlüsse auf die morphologische Geschichte des Abtragungsraumes ziehen. Ist das Gebilde nie in größere Höhe emporgewachsen, sondern immer eine Ebene geblieben, so werden die zugehörigen Schichten im Idealfalle gleichmäßig feines Korn zeigen, wenigstens dann, wenn die Hebungintensität während des Vorganges nie besonders groß war. Anders, wenn ein orographisches Gebirgsland zur Endrumpfebene erniedrigt worden ist. Hier wird man bei den zugehörigen Sedimenten erst eine Zunahme der Korngröße, dann aber jedenfalls gegen die hangenden Schichten hin eine Abnahme derselben feststellen können. — Daß der Übergang einer Rumpffläche in eine Schichtfuge konkordanter Ablagerungen unter einer übergreifenden Schicht kein beweisendes Merkmal für ihre Primärrumpfnatur ist, hat schon R. Sticke l dargetan (50).

IV.

Notwendige Vorbedingungen für die Entstehung einer Piedmonttreppe.

Ehe wir in der Besprechung der Theorie der Piedmonttreppe weitergehen, sei vorerst auf einige fast selbstverständliche Voraussetzungen hingewiesen.

Die Ausbildung einer Piedmonttreppenlandschaft erheischt eine gewisse Homogenität des Gesteins. Härteunterschiede der Gesteine beeinflussen ja außerordentlich die Tätigkeit der Flüsse sowie die flächenhafte Abtragung der Oberfläche. Das ist einer der Gründe, warum die Form am besten in dem stark durchkneteten variskischen Grundgebirge zu beobachten ist, wo auch die tonigen und sandigen Gesteine immer bereits stark verfestigt sind, wenigstens niemals als Lockergesteine auftreten, wie es im deutschen Mesozoikum so häufig der Fall ist. Auch sind

die immerhin bestehenden Härteunterschiede hier dank der variskischen Faltung nicht so sehr an ganz bestimmte orographische Zonen gebunden wie in unserem Mesozoikum. Wohl könnte es theoretisch im Bereich des letztgenannten bei einer kuppelförmigen Aufwölbung der noch horizontal gelagerten Schichten zu einer ähnlichen Bildung kommen, wobei die harten Schichten die Stelle der Stufen, die weichen Schichtglieder die der Flächen einnehmen müßten. Dann hätten wir einen Grenzfall der Piedmonttreppenbildung vor uns, auf den schon G. Braun hingewiesen hat (9, 10, 13). Aber der Einfluß der Gesteinsunterschiede ist dann doch so überragend gegenüber dem der Bildung von eigentlichen Piedmontflächen, daß es kaum noch angängig ist, eine solche Landschaft als Piedmonttreppe zu bezeichnen. Und Kennzeichen auch dieses Grenzfalles müßte naturnotwendig sein, daß die Stufen und die dazwischen gelegenen Flächen sich gleichsinnig, wenngleich mit verschiedenem Gefälle, nach außen hin abdachen. Gerade diese Eigenschaft lassen unsere Schichtstufenlandschaften vermissen. Sie fehlt auch dem Dün, dem Beispiel, das G. Braun besonders behandelt hat (10) ¹.

Noch ein weiterer Unterschied kommt hinzu. In dem fast als homogen zu bezeichnenden Gestein des deutschen Grundgebirges braucht die für die Piedmonttreppenbildung nötige kuppelförmige Aufwölbung nur eine sekundäre Erscheinung im Rahmen eines größeren Vorganges, etwa der Schrägstellung einer Großregion, darzustellen, und doch wird sich die Form der Piedmonttreppe entwickeln können. Wenn aber etwa die schräggestellten Schichtentafeln der südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft eine sekundäre kuppelförmige Aufwölbung in einem beschränkten Bezirk ihres Bereiches erfahren, so kann hier doch niemals das Bild einer Piedmonttreppe mit den oben hervorgehobenen Kennzeichen sich bilden, womit selbstverständlich die Möglichkeit kuppelförmiger Aufwölbungen auch in diesem Gebiet nicht bestritten wird. Sobald aber die Voraussetzung annähernder Gesteinshomogenität gegeben ist, kann auch im deutschen Mesozoikum echte Piedmonttreppenbildung einsetzen. So ist es zwischen Spessart und Rhön der Fall, wo der mächtige und im großen und ganzen recht einheitlich ausgebildete Buntsandstein von der Bildung betroffen ist und wo auch eine Piedmonttreppe nachgewiesen ist, die aber nicht über die so ganz anders gearteten anderen Schichtglieder des Mesozoikums hinweggreift.

Wie erwähnt, weist schon der Gesteinsbeschaffenheit wegen gerade das variskisch gefaltete Mittelgebirge Piedmonttreppen auf. Ja, die Pied-

¹ Nur für den Abfall des Plateaus von Keula gegen S kann man nach G. Brauns Beschreibung von einer Piedmonttreppe sprechen. Aber es liegt etwas ganz anderes vor als der Grenzfall einer Schichtstufenlandschaft.

monttreppe ist sogar als der normale Oberflächentypus desselben bezeichnet worden (25). Es ist dabei klar, daß derjenige Zyklus, der die Abtragung der variskischen Falten gebracht hat, abgeschlossen sein muß, ehe die Piedmonttreppenbildung beginnt. In einem variskisch gefalteten Gebiet kann nur eine Rumpfebene unmittelbare Ausgangsform der Piedmonttreppenbildung sein. Erst durch deren Aufwölbung (und nicht mehr Faltung) wird die Form entstehen. Es ist dabei gleichgültig, ob die als Ausgangsform unbedingt anzunehmende Rumpffläche als Endrumpffläche durch die Abtragung eines auch orographisch hervortretenden variskischen Gebirges oder ob sie ursprünglich als Primärrumpffläche zugleich mit der variskischen Faltenbildung entstanden ist. Hier soll erwähnt werden, daß diese Rumpffläche vielfach von den Ablagerungen des Mesozoikums bedeckt worden ist, und daß der Aufwölbungsvorgang zugleich eine gewaltige Schichtenfolge des Deckgebirges mit in die Höhe gebracht hat, welche erst durch die exogenen Kräfte entfernt werden mußte, ehe die Piedmonttreppenbildung in dem frei gewordenen Raum einsetzen konnte.

Unbestritten ist es, daß der tektonische Vorgang, der die Bildung einer Piedmonttreppe hervorgerufen hat, der einer Aufwölbung mit wachsender Phase sein kann. In unserem Idealfall ist eine kuppelförmige Aufwölbung angenommen worden. Aber es gibt eine weitere Möglichkeit: die einachsige Aufwölbung in der Art eines Sattels mit wachsender Phase. Ganz dasselbe Kräftespiel muß sich hier vollziehen, nur mit dem Unterschied, daß die nun entstehenden Piedmontflächen nicht konzentrisch sondern einfach zonal angeordnet sind. Für die Entstehung einer zweiten morphologischen Hauptart von Piedmontflächen braucht aber die Voraussetzung einer Wölbung mit zunehmender Breite nicht unbedingt zuzutreffen. Wir kommen damit zur Besprechung der Ursachen der Piedmonttreppenbildung.

V.

Die Piedmonttreppe als Ausdruck eines rhythmischen Wirkens der exogenen Kräfte.

Es wurde gezeigt, daß W. Penck bei der Erklärung der Piedmonttreppenbildung an einen zeitlich gleichförmigen, wohl stetig beschleunigten, aber nicht episodenhaft unterbrochenen oder gehemmten Aufwölbungsvorgang gedacht hat, und daß gerade an diesem Punkte seiner Theorie die Kritik eingesetzt hat. Gibt es eine Möglichkeit, die Ausbildung der Form auch bei gleichförmig bleibender endogener Bewegung zu erklären? Wie oben gezeigt wurde, befriedigt W. Pencks Erklä-

rung in dieser Hinsicht nicht. Wenn wir diese Möglichkeit weiterhin theoretisch untersuchen, so müssen wir allerdings von einer stetig beschleunigten Bewegung, wie W. P e n c k sie annimmt, absehen und den einfachsten Fall einer ständig gleich intensiven Aufwölbung mit wachsender Phase zur Voraussetzung machen.

a) Ein Gewölbe wächst mit zunehmender Phase (Breite) in stetig gleichförmiger Hebung empor. Das Hebungsausmaß ist dann im Zentrum des Aufwölbungsgebiets das größte, umgekehrt ist die Kraft der Flüsse, die der Hebung entgegenarbeiten, der Wassermenge wegen am stärksten in den randlichen Teilen des entstehenden Gebildes. Bei der stetigen Zunahme der Erosionskraft nach außen hin wird an einer Stelle der Grenzwert überschritten werden, innerhalb dessen die Wölbung noch orographisch zum Ausdruck kommen kann. In den nunmehr immer neu in den Hebungsvorgang einbezogenen randlichen Gebieten haben die Flüsse die Fähigkeit, der Aufwärtsbewegung so wirksam entgegenzuarbeiten, daß der endogene Vorgang nicht mehr orographisch zum Ausdruck kommen kann und sich hier eine Primärrumpffläche bildet.

Es ist auf diese Weise möglich, die Ausbildung einer obersten Fläche um ein Zentrales Bergland herum zu erklären bzw. bei einer nichtkuppelförmigen Aufwölbung die Ausbildung zweier am Rande der Aufwölbungsachse sich zonal erstreckender Primärrumpfflächen¹. Aber diese oberste Fläche kann noch nicht gegen das Vorland irgendwie abgesetzt sein. Dann aber wird folgende Erscheinung eintreten: dort, wo die Flüsse an der Grenze des orographisch hervortretenden Berglandes auf den randlichen Teil des Gebildes übertreten, besitzen sie die ganze Kraft der Erosion, die ihnen durch das Gefälle der dahinter ansteigenden Erhebung gegeben ist. Sie können mithin so lange dem Anwachsen des Gewölbes entgegenarbeiten und eine Primärrumpffläche ausbilden, bis diese eine solche Breite erreicht, daß die auf ihnen dahinströmenden Flüsse in der Art von Tieflandsflüssen nicht mehr die Kraft zur Tiefenerosion haben. Der Aufwölbungsvorgang geht aber nach unserer Voraussetzung gleichförmig weiter, und so wird es nach Erreichung einer bestimmten Breite der randlichen Primärrumpffläche möglich, daß die immer neu sich angliedernden randlichen Zonen des Gewölbes auch orographisch wieder in die Höhe wachsen. Aber die erst angelegte Fläche ist nunmehr der unmittelbaren Wirkung der allgemeinen Erosionsbasis entzogen. Sie bildet sich selbständig weiter und ist eine Piedmontfläche. Dieser Wechsel im Kräftespiel genügt jedenfalls, um die Entstehung der Form zu erklären.

¹ Auch ein asymmetrischer Aufwölbungsvorgang ist denkbar, bei dem nur auf einer Seite eine Piedmontfläche sich bilden wird.

Ist aber für die Kraft der Erosion der Flüsse und damit für die primäre Anlage einer solchen Fläche unter sonst gleichen Bedingungen (gleiches Gefälle und gleiche Wassermenge) nicht vielleicht auch der absolute Höhenabstand zwischen dem oberen und unteren Ende einer Steilstrecke von gleichem Gefälle, in unserem Falle zwischen der Höhe des Zentralen Berglandes und dem Niveau der Fläche und dann wieder zwischen den einzelnen Piedmontflächen, von maßgebender Bedeutung? Das ist eine Frage, deren Bejahung allein schon das ganze Problem der Piedmonttreppe lösen würde, deren Beantwortung aber nicht ohne weiteres und nicht auf Grund des heute vorliegenden Beobachtungsschatzes möglich ist. Sie sei hier nur aufgeworfen. Daß eine solche Erscheinung aber nicht außer dem Bereich der Möglichkeit liegt, ergibt sich aus folgendem Beispiel. Ein Fluß mit bestimmter Wassermenge fließe eine gewisse Strecke mit 1° Gefälle dahin, gehe dann an einem konvexen Gefällsknick seines Laufes in ein Gefälle von 3° über und behalte dieses auf einen Höhenunterschied von 50 m bei, um dann wieder das Gefälle von 1° anzunehmen. Der Fluß erfährt dabei durch die Versteilung seines Gefälles eine Verstärkung der Erosionskraft, die in dem unteren Teil der Steilstrecke gewiß größer ist als in dem oberen, denn erst hier kommt die Wirkung der Beschleunigung mit zur Geltung. Die verstärkte Erosionskraft wirkt aber nicht nur in dem Laufstück von 3° Neigung, sondern wird sich auch in dem darunter befindlichen von 1° Gefälle noch eine gewisse Strecke weit auswirken. — Ein anderer Fluß habe oberhalb des konvexen Gefällsknickes genau dieselbe Länge und Wassermenge und das gleiche Gefälle von 1° , gehe dann ebenfalls an einem konvexen Gefällsknick in eine Laufstrecke von 3° Gefälle über, behalte dieses aber auf einen Höhenabstand von 150 m bei (wobei wir der Genauigkeit wegen annehmen, daß er auf dieser Steilstrecke nicht mehr Wasser aufnehme, als der erste Fluß auf seinem kürzeren Gefällsstück von 3° aufgenommen hat) und gehe schließlich ebenfalls wieder in eine Laufstrecke von 1° Gefälle über. Auch hier wird die in dem steilen Laufstück erreichte Verstärkung der Erosionskraft sich noch unterhalb des Übergangs in das untere flache Laufstück auswirken, und da die Steilstrecke, in der der Fluß seine Beschleunigung erfahren hat, länger ist, der Höhenabstand zwischen dem oberen und dem unteren flach geneigten Laufstück in diesem Falle das dreifache erreicht, wird die Erosionstätigkeit des Flusses auch unterhalb des konkaven Gefällsknickes eine stärkere sein als in dem ersten Falle. Und doch sind nach unserer Annahme alle übrigen Voraussetzungen gleich geblieben. Es ist die Erosionstätigkeit des Flusses auf dem unteren flachen Gefällsstück nicht nur von der in beiden Fällen gleichen Wassermenge und dem gleichen Gefälle des be-

treffenden Laufstückes selbst abhängig, sondern auch von der Beschleunigung, die der Fluß in dem dahinter ansteigenden Gefällsstück erfahren hat, und die wegen der entgegengesetzt wirkenden, mit der Geschwindigkeit des Fließens wachsenden Reibung mindestens bis zur Erreichung eines gewissen Schwellenwertes¹ wirksam sein muß. Die Beschleunigung des Flusses und seiner Erosionskraft ist aber zugleich abhängig von der Dauer, in der das steilere Gefälle den Fluß zwingt, rascher zu fließen, das heißt also auch von dem absoluten Höhenunterschied zwischen der oberen und unteren unmittelbaren Erosionsbasis. Die Anwendung dieser Überlegung auf das Problem der Piedmonttreppe würde bedeuten, daß beim Aufsteigen des Zentralen Berglandes um 50 m die Flüsse noch nicht die Kraft haben, der Aufwölbung erfolgreich entgegenzuarbeiten, daß aber vielleicht bei 150 m oder bei 200 m unter sonst gleichen Umständen der Grenzwert² erreicht wird, in dem das eintritt. Wie dem aber auch sei, jedenfalls genügt schon die oben geschilderte Wirkung der vergrößerten Wassermenge in wiederholter Abwechslung mit der Wirkung der Abnahme der Erosionskraft der Flüsse auf den Flächenstücken zur Erklärung der Form.

Derselbe Vorgang, der am Rande des Zentralen Berglands zur Anlage einer ersten Fläche geführt hat, wiederholt sich nunmehr bei andauernder Hebung. Hat diese wiederum ein gewisses Ausmaß erreicht, so werden die Flüsse, deren Wassermenge weiterhin ständig zunimmt, der Hebung in gleicher Weise erfolgreich entgegenarbeiten können, wie sie es bei der Anlage der ersten Primärrumpffläche tun konnten. Es bildet sich eine neue Fläche, die wieder dieselbe Entwicklung erfährt wie die erste. So ist es theoretisch möglich anzunehmen, daß eine Reihe von konvexen und konkaven Gefällsknicken entstehen kann, ohne daß Unstetigkeiten in dem endogenen Vorgang notwendige Ursache sein müßten. Die Piedmonttreppe ist dann nichts anderes als allein Ausdruck eines

¹ Dieser steht allerdings noch in keiner Weise fest, und nur darum darf man dieses Verhalten der Flüsse und ihrer Erosionskraft nicht ohne weiteres in Rechnung setzen, um die Form der Piedmonttreppe zu erklären.

² Dieser Grenzwert ist selbstverständlich etwas ganz anderes als der oben angeführte Schwellenwert, nach dem infolge der entgegengesetzt wirkenden Reibung eine weitere Beschleunigung des Fließens bei gleichbleibendem Gefälle nicht mehr eintreten kann. Aber zwischen beiden Werten besteht insofern ein gewisser Zusammenhang für das Problem der Piedmonttreppe, als der Grenzwert, nach dessen Erreichung der Fluß der Aufwölbung wirksam entgegenarbeiten kann, sich einstellen muß, noch bevor der andere Schwellenwert erreicht ist. Nach dessen Erreichung kann ja eine weitere Hebung des Gebildes bei gleichbleibendem Gefälle keine weitere Beschleunigung des Fließens und damit keine weitere Verstärkung der Erosionskraft des Flusses bringen.

rhythmushaften Wirkens der exogenen Kräfte, die jeweils nach Erreichung eines gewissen Grenzwertes zum Wechsel in der Art ihrer Einwirkung auf das aufsteigende Gewölbe gezwungen werden.

b) Es gibt noch eine zweite Möglichkeit, die Piedmonttreppe sich allein durch das Wirken der außenbürtigen Kräfte zu erklären. Auf dem Rumpfe des variskischen Gebirges hat sich die Schichtenfolge des Mesozoikums abgelagert. Ständig wechseln harte, wasserdurchlässige mit weichen, wasserundurchlässigen Schichten ab. Nehmen wir an, ein bestimmter, petrographisch einheitlicher Horizont des Buntsandsteins etwa bilde in gleichmäßiger Mächtigkeit die dem Grundgebirge unmittelbar aufliegende Basisschicht des Mesozoikums. Dann kommt es nur darauf an, daß die ganze Schichtenfolge über dem Grundgebirge entfernt wird, ehe eine Entwicklung der Landschaft zur Piedmonttreppe in der oben geschilderten Weise erfolgen kann. In diesem Falle wird das Deckgebirge keinen Einfluß auf die Oberflächengestaltung des mit wachsender Breite auftauchenden Grundgebirges ausüben. Es ist aber bekannt, daß die einzelnen Stöcke der deutschen Mittelgebirge schon frühzeitig orographisch hervortretende Vorläufer gehabt oder doch wenigstens Schwellen in den mesozoischen Meeren gebildet haben. Unter diesen Umständen brauchte über ihnen nicht eine zur Grenzfläche des Grundgebirges konkordante Schichtenfolge zum Absatz zu kommen. Die Schichten konnten sich in einer Weise abgesetzt haben, wie es Abbildung 2 veranschaulichen will. Das Wesentliche dabei ist, daß Gesteine verschiedener Art unmittelbar an das Grundgebirge herantreten.

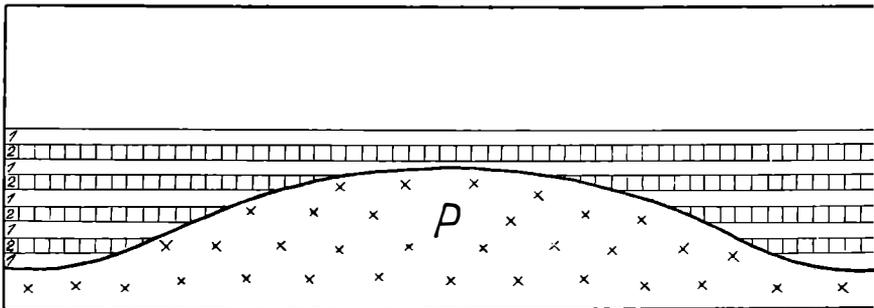


Abb. 2.

Absatz des mesozoischen Deckgebirges über einer alten Schwelle¹.

- 1 Undurchlässige und wenig widerständige Schichten des Mesozoikums.
- 2 Durchlässige und widerständige Schichten des Mesozoikums.
- P Grundgebirge.

¹ Dargestellt ist der Einfachheit wegen eine schon vor Absatz der ältesten Schicht bestehende, ruhende Schwelle. Bei der Annahme einer während des Ab-

Setzt nunmehr ein Wölbungsvorgang ein, von dem wir nicht einmal unbedingt annehmen müssen, daß er ein solcher mit wachsender Phase sei, so werden zunächst die Deckschichten angegriffen und entfernt. Im Zentrum der Wölbung tritt das Grundgebirge an die Oberfläche, während die schräggestellten Schichten in einer Schichtstufenlandschaft zurückfliehen, wie es H. Schmitt h e n n e r — der allerdings an intermittierende Hebung glaubt — in einer so anschaulichen Abbildung darstellt (43). Die Wirksamkeit der abtragenden Kräfte auf dem Grundgebirge, besonders der Flüsse, ist aber auch von der Beschaffenheit desjenigen Gesteins abhängig, das dem Grundgebirge unmittelbar dort auflagert, wo dieses aus seiner Sedimenthülle heraustritt, und das die unmittelbare Erosionsbasis für die Flüsse des Grundgebirges abgibt. Mit fortdauernder Aufwölbung bekommen bei einer in Abbildung 2 dargestellten Lagerungsart des Mesozoikums in ständigem Wechsel bald durchlässige, bald undurchlässige, bald widerstandsfähige, bald leicht zerstörbare Gesteine die Aufgabe, Träger der unmittelbaren lokalen Erosionsbasis für die aufsteigende Grundgebirgskuppel zu sein.

Am Südrand und südlichen Westrand des Harzes kann man sehen, daß entlang des zwar widerstandsfähigen, aber durchlässigen Zechsteins das Grundgebirge — das hier in Form einer Wölbung und nicht an einem Bruchrand emporsteigt — ungehindert, ziemlich steil in die Höhe wächst. Nur eine große, aber nicht sehr breite Längstalung stellt sich ein, die offenbar zur Verteilung der ansteigenden Gebirgshänge noch mit beiträgt. Am Ostrande des Schwarzwaldes dagegen bildet der Buntsandstein eine so andersartige Erosionsbasis, daß seine Oberfläche sich als Rumpffläche auf das benachbarte Grundgebirge fortsetzt. In dem ersten Falle begünstigt das angrenzende Gestein die Ausbildung einer Gefällsversteilung des Grundgebirges, im zweiten die Ausbildung einer Fläche. Bei der Mannigfaltigkeit der Schichtenfolge des deutschen Mesozoikums kann dieser Unterschied wiederholt eintreten. Stufen und Flächen, das sind Piedmontstufen und Piedmontflächen, wechseln dann im Grundgebirge miteinander ab. Wir können wiederum die Piedmonttreppe als den Ausdruck eines rhythmushaften Wirkens der exogenen Kräfte bezeichnen, in diesem Falle, weil ihr Spiel auch abhängig ist von der jeweils verschiedenen Beschaffenheit der unmittelbaren lokalen Erosionsbasis.

Auch diese Möglichkeit ist hier zunächst nur theoretisch besprochen. Nur besondere Kenner der einzelnen Gebiete werden die Entscheidung treffen können, erstens, ob der Sedimentationsvorgang sich in der an-

satzes fortdauernden langsamen Wölbung des Grundgebirges müßten alle Schichten gegen das Zentrum hin hochgezogen sein und zwar am meisten die liegenden. Diese Möglichkeit hat noch mehr Wahrscheinlichkeit.

genommenen Weise vollzogen hat, und zweitens, wie die einzelnen so verschieden ausgebildeten mesozoischen Schichten als Träger der unmittelbaren Erosionsbasis auf das aufsteigende Grundgebirge zurückwirken. Erwähnt sei, daß diese Erklärungsmöglichkeit sich unter Umständen auch dann anwenden läßt, wenn ein entsprechender Fazieswechsel in ein und derselben, dem Grundgebirge unmittelbar aufliegenden Schicht nachzuweisen ist.

c) Eine dritte Möglichkeit, die Entstehung der Piedmonttreppe ohne Annahme einer ruckweisen Änderung der Hebungsintensität zu erklären, sei nur der Vollständigkeit halber angedeutet. Die Form könnte wohl auch als Ausdruck eines wiederholten entsprechenden Klimawechsels erklärt werden. Doch ist es jedenfalls nach dem heutigen Stande des Wissens völlig ausgeschlossen, den Nachweis zu bringen, daß dieser Vorgang irgendwo wirksam gewesen sei.

Wenn wir die Piedmonttreppe in dem oben dargelegten Sinne als den Ausdruck des rhythmischen Wirkens der exogenen Kräfte ansehen, dann gilt vor allem erst die Stellung, die ihr R. S t i c k e l zugewiesen hat, indem er sie in eine Entwicklungsreihe stellt, deren einen Grenzfall die Endrumpfebene D a v i s', deren anderen die Primärrumpfebene W. P e n c k s (Trugrumpfebene J. S ö l c h s) bildet (50, S. 21).

Es wurde versucht, theoretisch nachzuweisen, daß die Entstehung von Piedmonttreppen auch ohne Annahme eines episodenhafte sich äußernden endogenen Hebungsvorganges, allein bei einer einmaligen, lang andauernden Aufwölbung erklärt werden kann. Die morphologische Deutung der Schichtstufenlandschaft geht heute in gleicher Weise darauf aus, auch hier in dem Wechsel von Stufen und Flächen nur die Wirkung exogener Kräfte zu erblicken, während es eine Zeit gegeben hat, in der man glaubte, die einzelnen Landterrassen als Stillstandsmarken eines endogenen Hebungsprozesses ansehen zu müssen. Diese Annahme ist heute nicht mehr nötig. Wir wissen, daß alle Landterrassen einer Schichtstufenlandschaft sich gleichzeitig, ohne weitere endogene Beeinflussung bilden können. Daß R. G r a d m a n n, H. S c h m i t t h e n n e r, W. P e n c k nicht dasselbe Spiel der exogenen Kräfte wirken lassen, steht erst in zweiter Linie. Der Fortschritt gegenüber den Erklärungsversuchen der vorangehenden Periode der Forschung liegt darin, daß man sich heute die Entwicklung der Schichtstufenlandschaft als einen einzyklischen Vorgang vorstellen darf, wobei nur noch Meinungsunterschiede über die Ausgangsform bestehen. Dieselbe Entwicklung unserer Anschauungen würde es bedeuten, wenn wir die Piedmonttreppe nur als das Ergebnis des verschiedenen Wirkens der außenbürtigen Kräfte ohne

Annahme besonderer Haltepunkte der Aufwärtsbewegung erklären können. Selbstverständlich kann die in diesem Abschnitt vertretene Ansicht vorläufig nur den Wert einer Arbeitshypothese haben, vielleicht aber auch als solche unsere Anschauung über die Entstehung der Piedmonttreppe fördern.

Es besteht jedoch kein Zweifel, daß zeitweise Hemmungen in der Hebungsintensität des Aufwölbungsvorganges die Ausbildung der Form besonders begünstigen müssen, und daß es im morphologischen Sinne eine zweite Hauptart von Piedmonttreppen geben muß, die auf diese Weise zu erklären sind. Die Unterschiede in der Oberflächengestaltung, die zwischen beiden Arten bestehen müssen, können wir auf Grund theoretischer Erwägungen an einigen Beispielen erkennen.

Die S. 335 angeführte Untergliederung der Piedmonttreppen im morphologischen Sinne vermögen wir nun zu ergänzen, indem wir nach den Ursachen der Ausbildung der einzelnen Flächen unterscheiden:

- a) Piedmontflächen bzw. -treppen als Folge von Unterbrechung oder Hemmung der Hebungsintensität eines aufsteigenden Gebildes. Sie sind nicht unbedingt an Gewölbe mit wachsender Phase gebunden.
- b) Piedmontflächen bzw. -treppen als Ausdruck des rhythmusartigen Wirkens der exogenen Kräfte.
 - a) Entstehung der Form durch den Wechsel der Wirkungsweise der exogenen Kräfte nach Erreichung eines gewissen Grenzwertes. Unbedingt nötige Voraussetzung ist die Aufwölbung des Gebildes mit wachsender Phase.
 - β) Entstehung der Form durch die verschiedene petrographische Beschaffenheit der unmittelbaren Erosionsbasis. Aufwölbung mit wachsender Phase ist nicht unbedingt nötige Voraussetzung.
 - γ) Nur als theoretische Möglichkeit kommt Entstehung der Form bei öfterem Klimawechsel in Frage.

VI.

Unterscheidungsmerkmale und Beispiele für die zwei morphologischen Haupttypen der Piedmonttreppe.

Unsere Ausführungen sollten mit neuen Mitteln den Beweis erbringen, daß die Annahme ruckweiser Hebung zur Erklärung der Piedmonttreppe nicht nötig ist; es kann aber daneben auch die andere Art von Piedmontflächen geben, die durch Hemmung der Hebungsintensität sich ausgebildet haben. Die Beweisführung muß rein theoretisch bleiben, so-

lange es nicht gelingt, nachzuweisen, daß beide Typen in der Natur vertreten sind.

Es sei vorausgeschickt, daß wir natürlich nur dann im Zweifel sein können, wenn wirklich eine Aufwölbung mit wachsender Phase vorhanden oder ihre Annahme möglich ist. Wo ein Gebirge etwa an einem Bruchrand steil emporgestiegen ist, können ja auch an seinem Rande Piedmontflächen durch die Wirksamkeit der abtragenden und erosiven Kräfte ausgebildet sein, aber sie können nur bei zeitweiser Hemmung der Hebungintensität entstanden sein. Die Annahme eines rhythmusartigen Wirkens der exogenen Kräfte ist in diesem Falle ausgeschlossen.

Hiervon also abgesehen, können wir als Unterscheidungsmerkmale der beiden Hauptarten deduktiv die nachstehenden Anhaltspunkte gewinnen. Wenn der Höhenabstand zwischen den einzelnen Flächen einer Piedmonttreppe ein sehr gleichmäßiger ist oder auch gleichmäßig in einer Richtung zu- oder abnimmt, so besteht die Wahrscheinlichkeit, daß ein rhythmusartiges Wirken der exogenen Kräfte die Stufen hervorgerufen hat. Der Vorgang, den wir oben als erste Erklärungsmöglichkeit für diese Art von Piedmonttreppen geschildert haben, beruht ja geradezu darauf, daß jeweils die Erreichung eines gewissen Grenzwertes in dem Größen- und Höhenausmaß der Hebung sozusagen automatisch einen Wechsel in dem Wirken der exogenen Kräfte herbeiführt. Andererseits ist es jedenfalls einfacher, nur einen einmaligen einheitlichen endogenen Vorgang anzunehmen, als eine Reihe ruckweiser Unterbrechungen desselben, die jedesmal wieder abgelöst werden von einem das gleiche Höhenausmaß erreichenden Hebungsvorgang. Dem Merkmal wird dann noch größere Bedeutung zukommen, wenn die Stufen sehr zahlreich sind und auch etwa eine Reihe von Zwischenniveaus vorhanden ist.

Ein weiteres Kennzeichen mag die Breite der Piedmontflächen sein. Die Ausbildung einer Primärrumpffläche am Rande des aufsteigenden Gewölbes nimmt bei der Annahme der alleinigen Ausgestaltung der Stufung durch die exogenen Kräfte nach unserer ersten, der Grenzwerttheorie, dann ein Ende, wenn die Flüsse unterhalb des Gefällsknickes, der von dem Stufenhang zur Fläche führt, so viel von der Beschleunigung und Wirkungskraft verloren haben, daß sie nicht mehr in die Tiefe nagen können. Ist dies eingetreten, dann wächst das Gebilde wiederum orographisch in Form einer Stufe empor. Auf den höheren Piedmontflächen, wo der Wasserreichtum der Flüsse geringer ist, wird der Wechsel früher eintreten als auf den tieferen. Stellen also die einzelnen Flächen einer Piedmonttreppe eine Reihe von oben nach unten an Breite zunehmender Flächen dar, so ist ebenfalls die Wahrscheinlichkeit ge-

geben, daß wir die Form allein durch das rhythmusartige Wirken der exogenen Kräfte erklären können.

Keines der angeführten Merkmale ist für sich allein überzeugend. Die Summe der Merkmale aber kann Beweiskraft gewinnen.

Im Zusammenhang mit benachbarten Schichtstufenlandschaften vermögen wohl die stratigraphischen Verhältnisse Hinweise zu geben. Gelingt der Nachweis des Auskeilens der verschiedenen petrographischen Schichten gegen das Grundgebirge in der oben geschilderten Weise, so ist wenigstens die Möglichkeit gegeben, daß die Stufung im Grundgebirge nicht auf ruckweise Hebung sondern auf das verschiedene Verhalten der unmittelbaren lokalen Erosionsbasis zurückzuführen ist. Aber erst der nur bei geradezu idealem Erhaltungszustand mögliche Nachweis, daß die konstruierte Fortsetzung der Schichtgrenzen zwischen Ablagerungen verschiedener petrographischer Beschaffenheit des Vorlandes jeweils auf die konkaven bzw. konvexen Gefällsknicke am Übergang der Piedmontflächen zu den einzelnen Stufen trifft, könnte den ursächlichen Zusammenhang tatsächlich beweisen.

Auch die Beschaffenheit der korrelaten Schichten kann Aufschluß geben. Wo etwa, wie im Sedimentationsraum der „Piedmonttreppe“ der Koralpe ein solcher Wechsel in den Sedimenten von groben, ja, wildbachschuttartigen Schichten und solchen feinsten Korns in wiederholter Folge auftritt (54, 55), kann man wohl nur an eine Entstehung der entsprechenden Stufenhänge durch ruckweise endogene Hebung denken. Gerade bei diesem Beispiel zeigt sich aber auch, daß der Abstand zwischen den einzelnen Höhenstufen ein sehr unregelmäßiger ist.

Der Formenschatz der einzelnen Piedmontflächen selbst, die Möglichkeit, sie in periphere Anteile mit aufsteigender, proximale Anteile mit absteigender Entwicklung zu gliedern, kann dagegen keinen Aufschluß geben. Nicht der Schwierigkeit wegen, mit der sich diese Formen auseinanderhalten lassen, sondern weil die Ausbildung einer Primärrumpfebene am Rande des aufsteigenden Gewölbes ihre Ursache auch in dem Langsamerwerden der Bewegung des Gebildes, also in einem rein endogenen Vorgang, haben kann.

Am Fichtelgebirge sind nach der Beschreibung W. Pencks die Voraussetzungen gegeben, die eine Bildung der Piedmonttreppe ohne ruckweise Unterbrechung des Hebungsvorganges annehmen lassen. Abgesehen von dem höchsten, stark zerstörten Niveau P_1 folgen die einzelnen Flächen im gleichmäßigen Höhenabstand. Es ist nicht leicht, den mittleren Abstand festzustellen. Er hat ungefähr folgende Werte:

zwischen der P_2 - und P_3 -Fläche 250 m
 zwischen der P_3 - und P_4 -Fläche 200 m
 zwischen der P_4 - und P_5 -Fläche 200 m.

Wenn wir den Wert für die Höhenlage der P_5 -Fläche nicht als vollwertig annehmen wollen, weil sie nur stellenweise nachzuweisen ist und vielleicht frühzeitig unter der Sedimentationsdecke des Vorlandes vergraben wurde, so ergibt die Berücksichtigung des untersten Zwischen-niveaus ebenfalls einen sehr gut in die übrige Reihe passenden Höhenabstand. Dieser beträgt nämlich

zwischen der P_4 -Fläche und dem Zwischenniveau 150 m.

Nicht so hoch wie die mittleren Abstände können natürlich die einzelnen Stufenhöhen sein, da alle Flächen sich vom Innern des Gebirges nach außen hin abdachen. Sie sind aber auch nicht so gleichmäßig hoch, denn die Höhe der Stufe ist zugleich auch das Ergebnis des verschieden starken selbständigen Wachstums der Fläche nach rückwärts und darum kein wichtiges Kriterium. Aber der Höhenabstand zwischen den Flächen selbst ist regelmäßig, und dazu kommt ihre große Zahl sowie die Tatsache, daß nach unten hin immer breitere Flächen folgen.

Auch am Schwarzwald ist es nach den vorliegenden Beschreibungen von W. Penck und S. v. Bubnoff wahrscheinlich, daß wir eine gleichartige Piedmonttreppe vor uns haben. Ob das von W. Deecke für verschiedene Schichten des Mesozoikums festgestellte Auskeilen gegen das Grundgebirge hin (16) vielleicht selbst die Ursache hierfür ist, kann nicht entschieden werden. Vielmehr scheint auch hier der Umstand, daß die tieferen Flächen jeweils breiter sind als die höheren sowie die Gleichmäßigkeit im Höhenabstand der einzelnen Flächen für eine Annahme der Grenzwerttheorie zu sprechen. Die Höhenunterschiede bilden nach den Forschungsergebnissen W. Pencks etwa folgende Reihe:

zwischen Niveau V und Niveau IV 200 m
 zwischen Niveau IV und Niveau III 200 m
 zwischen Niveau III und Niveau II 150 m
 zwischen Niveau II und Niveau I 150 m.

Eine endgültige Entscheidung zu treffen, werden freilich nur die besten Kenner des Gebietes imstande sein. Die angeführten Beispiele wurden gebracht, um zu zeigen, wie etwa die theoretisch abgeleiteten Anhaltspunkte ausgewertet werden können. So sollen denn auch weitere Beispiele nicht näher behandelt und nur noch einige Beobachtungen vom Harz mitgeteilt werden.

Der Harz weist außer seiner Hochfläche noch eine Reihe anderer

Ebenheiten auf. Von der allgemeinen Hochfläche des Harzes führt eine schön ausgebildete Piedmonttreppe zum Brocken hinauf, die aus vielen einzelnen Flächen besteht. Wenn aber eine Gewölbebildung mit wachsender Phase das Zentrale Bergland um den Brocken emporgewölbt hat, dann besteht auch die Möglichkeit, die allgemeine Harzhochfläche als eine Piedmontfläche zu erklären. Sie kann aber nicht in der jetzigen, einseitig langgestreckten Form und nicht in der heutigen Höhenlage über der allgemeinen Erosionsbasis sich als solche gebildet haben. Sie muß mehr kreisförmig gewesen sein. Ihre gegenwärtige Höhenlage und Abgrenzung ist aber das Ergebnis eines besonderen Hebungsvorganges, der sie aus einer Endrumpfebene oder aus einer größeren Primärrumpfebene herausgeschnitten und emporgehoben hat, aus jener Rumpfebene, die auch im Niedersächsischen Berg- und Hügelland nachzuweisen ist, und die zugleich Ausgangsform für die Piedmonttreppe des Brockengebietes gewesen sein muß.

Auch unter der Harzrumpfebene lassen sich noch tiefere Niveaus feststellen. Als oberstes muß das von W. Behrmann (5) und H. Spreitzer (48) beschriebene Gipfelniveau, das Niveau der ältesten, breit ausmündenden Talböden bezeichnet werden. Es greift gewissermaßen buchtartig in das Gebirge ein und ist am besten und zwar in der Form einer Piedmontfläche an der Nordseite des Harzes ausgebildet, dort also, wo es ganz unmöglich ist, von einer Aufwölbung des Gebirges mit wachsender Phase zu sprechen. Dieses „ältere präglaziale“ Niveau kann daher auch nur einem Stillstand im Aufsteigen des Gebirges seine Entstehung verdanken. Ein noch jüngerer Stillstand in der Hebung des Gebirges ist in der Hauptsache nur mehr in einer jüngeren präglazialen Talterrasse nachzuweisen, zeigt aber am Westrande des Harzes die Form einer Rampe, die man auch als stark zerstörte Piedmontfläche auffassen kann.

Heute dürfte der Harz gegenüber der Tertiärzeit wenigstens relativ im Ruhezustand verharren. An seinem Rande, so besonders an seiner Nordwestecke, kann man denn auch beobachten, in welcher Weise sich beim Stillstand des Gebirges die Rückverlegung des Hanges und das Wachstum der Flächen vollzieht. Die zahlreich ausmündenden Täler füllen sich gerade am Ausgang aus dem Harze mit jugendlichen Schottern der Talau. Auf ihnen verschiebt sich der Fluß seitwärts, nagt die Hänge an, die zugleich durch den noch zu schildernden Vorgang der Rückverwitterung zurückgeschoben werden. Die seitliche Erosion der Flüsse geht so weit, daß ihre Ablagerungen sich in breiter Fläche vor dem Rande miteinander verbinden. Genau derselbe Vorgang wie heute hat in der Eiszeit stattgefunden, als die aus dem Ausgang der ersten Eiszeit stam-

mende Oberterrasse das Erosionsniveau für die Flüsse des nördlichen Westrandes des Harzes gebildet hat.

Die unter der Harzhochfläche befindlichen tieferen Niveaus der älteren und jüngeren präglazialen Terrasse sind sicher auf Stillstände in der Hebungsintensität des Gebirges zurückzuführen. Hier ist auch wiederum — ganz im Gegensatz zum Fichtelgebirge und zum Schwarzwald, für die wir eine andere Entstehungsart der Piedmontflächen als wahrscheinlich annehmen, und in gleicher Weise wie im Gebiet der Korralpe, wo wir aus dem Verhalten der korrelierten Schichten ebenfalls auf eine ruckweise Hebung des Gebirges geschlossen haben — der Höhenabstand zwischen den einzelnen Flächen ein sehr unregelmäßiger. Am Nordwestrande des Harzes beträgt der Höhenunterschied

zwischen Harzhochfläche und älterem präglazialen Niveau	250 m
zwischen älterem und jüngerem präglazialen Niveau	50 m
zwischen jüngerem präglazialen Niveau und dem heutigen Talbodenniveau	120 m.

VII.

Das Wachstum der einzelnen Piedmontflächen.

Die zweite Hauptfrage der Ausbildung der Piedmonttrepplandschaft betrifft das selbständige Wachstum der Flächen (s. S. 341 ff.). Es allein durch die Rückverlegung der konkaven Gefällsknicke der konsequenten Flußläufe und durch die zerstörende Tätigkeit der vielen Bächlein des Gehänges, die es gliedern und zerstören, zu erklären, genügt wohl nur unter besonders günstigen Umständen. Verfolgen wir darum weiter die Annahme, daß das Rückwandern der Piedmontstufen wesentlich unterstützt, ja, vielleicht sogar getragen wird durch den Vorgang der Rückverwitterung und Massenabwanderung.

Nach den Gesetzen der Hangentwicklung, wie sie W. Penck in seiner „Morphologischen Analyse“ ausgeführt hat, rücken konkave Gefällsknicke nicht nur hangaufwärts sondern auch hangeinwärts vor (37, S. 109 ff.). Einen derartigen konkaven Gefällsknick stellt auch der Übergang einer Piedmontstufe zur nächst niederen Fläche dar. An W. Pencks theoretisch einwandfreier Lehre muß aber nicht nur der von H. Schmitthener (43) erkannte Mangel ausgestellt werden, daß dabei nur die linienhafte, nicht aber die flächenhafte oder dreidimensionale Entwicklung des Hanges berücksichtigt wird. In unserem Falle ist ein weiterer Einwand zu prüfen, der gegen das allgemeine Gesetz des Wanderns konkaver Gehängeknicken erhoben werden kann, welches Gesetz

an sich geeignet wäre, das Rückwandern der Stufen und damit das Wachsen der Fläche restlos zu erklären.

Der Hauptmangel in der Deduktion W. Penck's, der sich bei der Anwendung des angeführten Gesetzes auf unseren besonderen Fall ergibt, scheint darin zu liegen, daß W. Penck wohl das Abwandern der Lockerstoffe berücksichtigt, aber in diesem Falle nicht ihre Anhäufung. Das spielt keine Rolle, solange kein allzu großer Unterschied in der Steilheit der Gehänge oberhalb und unterhalb des Gefällsknickes vorhanden ist. Die in der Zeiteinheit durch Verwitterung und Abwanderung von dem höheren Hangstück herabkommenden Lockermassen werden dann auch auf dem darunter gelegenen flacheren Hangstück in der gleichen Zeit weggeschafft werden können. Sie sind durch die längere Dauer des Aufbereitungsprozesses leichter beweglich und brauchen überdies auf der tieferen Fläche nur weggeschafft, nicht aber erst durch Verwitterung eines festen Gesteins beweglich gemacht zu werden. Letzteres ist auf dem steileren Hangstück über dem konkaven Gefällsknick der Fall, wo dafür der Abwanderungsvorgang sich rascher vollzieht. Aus Anschaulichkeitsgründen zeigen die den Ausführungen W. Penck's beigegebenen Skizzen auch unterhalb des Gefällsknickes recht steiles Gefälle der Hänge. Das erschwert es, zu erkennen, worin der Mangel seiner Deduktion liegt, wenn wir nun annehmen, daß zwischen der Neigung des oberhalb und unterhalb des Gefällsknickes vorhandenen Gehänges ein großer Unterschied besteht.

In diesem Falle muß es naturnotwendig dazu kommen, daß die vom steileren Hang in großer Menge gelieferten Lockermassen auf dem nach unserer Annahme ganz flachen Hangstück unterhalb des Gefällsknickes nicht mehr in derselben Zeit abwandern können. Gerade am Gefällsknick häufen sie sich an. Statt daß dieser nun nach dem W. Penck'schen Gesetz der Hangentwicklung zurückwandern würde, wird er vielmehr durch die Anhäufung des Lockermaterials mehr und mehr ausgeglichen und muß mit der Zeit gänzlich verschwinden. Daß der konvexe Gefällsknick am oberen Rande einer Stufe gegen die nächst höhere Piedmontfläche bzw. am unteren Rande der Fläche gegen die nächst niedere Stufe unter allen Umständen zurückwandern muß, ist selbstverständlich. Wenn sein Zurückwandern aber nicht auch von einem Zurückwandern des konkaven Gefällsknickes an ihrem Fuße begleitet ist, so muß die ganze Stufe mit der Zeit verschwinden: das ursprünglich gestufte Gehänge wird ausgeglättet.

Für unseren Sonderfall kommt es darauf an, zu untersuchen, ob das Ausmaß des Neigungsunterschiedes zwischen Piedmontstufe und darunter gelegener Fläche schon zu groß ist, als daß es noch zu einer

Rückwanderung des konkaven Gefällsknicks kommen könnte, oder ob diese noch stattfinden kann. Bei der Piedmonttreppe sind wenigstens im Anfang der Entwicklung, solange die primäre Stufenform an das Primär-rumpfstück der Ebenheit angrenzt, die Gefällsunterschiede gewiß nicht bedeutend. Berücksichtigt man noch, daß der Vorgang der Massenabwanderung im gleichen Sinne durch die Tätigkeit der konsequenten Flüsse unterstützt wird, so wird die Rückwanderung der Stufen und das Wachstum der Flächen voll verständlich.

Die gleichen Grundsätze für die Rückwanderung von konkaven Gefällsknicken wird man aber auch anwenden können, um das noch immer nicht befriedigend gelöste Problem der großen Tallichte der alten Talböden zu erklären, die man beim Studium der alten Erosionsterrassen der Täler allgemein feststellen kann. Insbesondere in vielen Alpentälern sind ja die Reste der alten Talböden trotz der Verflachungen noch so steil, daß das von den höheren Berghängen gelieferte Material auf ihnen mühelos und rasch abwandern und die Rückverlegung und das Einwärtswandern des konkaven Gefällsknickes stattfinden kann. Dadurch tritt von selbst eine ständige Erweiterung der alten Talbodenreste ein, die hangeinwärts wandern, während sie zugleich gegenüber den darunter gelegenen Talhängen an Raum verlieren. Nur dann, wenn der alte Talboden sehr flach, der aufsteigende Hang aber sehr steil ist, wird man die Lehre von der Rückverwitterung der Berghänge nicht mehr heranziehen dürfen, um die große Tallichte alter Talböden zu erklären. Nur in dieser Beschränkung gilt der von J. Sölch ausgesprochene Gedanke, daß nur eine Verschrägung der Gehänge, nicht aber ein Hangeinwärtswandern alter Talböden und dadurch ihre selbständige Verbreiterung möglich ist (46).

Nachtrag. 1932 erschien: W. M. Davis, Piedmont Benchlands and Primärrümpfe. Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 43, 1932, PP. 399—440. Davis leugnet in dieser dem Verf. erst nach der Drucklegung der vorliegenden Arbeit zur Kenntnis gekommenen Untersuchung in sehr bestimmter Weise die Möglichkeit, die Form der Piedmonttreppe mit den von W. Penck gebrachten Beweismitteln als bei ständig beschleunigter Aufwölbung entstanden zu erklären; nur bei intermittierendem Wölbungsvorgang könne sie sich bilden. Seine Arbeit bringt Neues bes. zur Frage der Hangentwicklung. Manche der von ihm geäußerten Gedanken decken sich mit den Ausführungen (bes. der Abschnitte II und III) der vorliegenden — im November 1931 abgeschlossenen — Arbeit.

Schriftennachweis.

1. A. Aigner, Die geomorphologischen Probleme am Ostrande der Alpen. Zeitschr. f. Geomorphologie, I. Bd., 1925/26, S. 29 ff., 105 ff., 187 ff.
2. A. Aigner, Besprechung der „Morpholog. Analyse“ von W. Penck. Zeitschr. f. Geomorphologie, I. Bd., 1925/26, S. 165—166.
3. J. P. Bakker, Einige Probleme der Morphologie und der jüngsten geologischen Geschichte des Mainzer Beckens und seiner Umgebung. Utrecht 1930.
4. E. Becksmann, Geologische Untersuchungen an jungpaläozoischen und tertiären Landoberflächen im Unterharzgebiet. Neues Jahrbuch f. Mineralogie usw., 64. Beilage-Bd., Abt. B, 1930, S. 79—146.
5. W. Behrmann, Die Oberflächengestaltung des Harzes. Forsch. z. deutschen Landes- u. Volkskunde, XXII. Bd., H. 2, Stuttgart 1912.
6. A. Born, Das Great Escarpment (Südafrika) als Piedmonttreppe. Fortschr. d. Geol. u. Palaeontol. Bd. XI, H. 36. Berlin 1932, S. 307—326.

7. G. Braun, Zur Morphologie der Umgebung von Basel II. Verh. d. Naturforsch. Ges. Basel, 28, II, 1917, S. 307
8. G. Braun, Einige Beobachtungen zur Morphologie von Finnmarken und Lappland. Die Naturwissenschaften, 13. Jahrg., 1925, S. 919—921.
9. G. Braun, Synthetische Morphologie. 45./46. Jahrb. d. Pommerschen Geogr. Ges., 1927/28, S. 1—23.
10. G. Braun, Südhaz und Dün. Die Naturwissenschaften, 16. Jahrg., 1928, S. 574—576.
11. G. Braun, Die Piedmonttreppe des Kjölen. Peterm. Mitt., 74. Jahrg., 1928, S. 82—84.
12. G. Braun, Das Südende des Kjölen in Nord-Tröndelag, Jämtland und Süd-Västerbotten. Die Naturwissenschaften, 18. Jahrg., 1930, S. 693—696.
13. G. Braun, Grundzüge der Physiogeographie. II. Bd. Allgemeine vergleichende Physiogeographie. 3. Aufl., Leipzig und Berlin 1930.
14. S. v. Bubnoff, Geologie von Europa. 1. Bd., Berlin 1926.
15. S. v. Bubnoff, Zur Frage der Piedmonttreppe im südlichen Schwarzwald. Zeitschr. f. Geomorphologie, III. Bd., 1927/28, S. 90—98.
16. W. Deecke, Geologie von Baden. 3 Teile. Berlin 1916—1918.
17. L. Distel, Walther Pencks morphologische Analyse. Geogr. Anzeiger, 27. Jahrg., 1926, S. 145—148.
18. J. F. Gellert, Zur Morphologie des Balkangebietes. Geolog. Rundschau, XVIII. Bd., 1927, S. 164—188.
19. J. F. Gellert, Zur Groß-Morphologie des östlichen Rheinischen Gebirges. Zeitschr. f. Geomorphologie, III. Bd., 1927/28, S. 77—89.
20. The Geographical Journal, Vol. LXVII, 1926/1, S. 272 f. Besprechung v. W. Pencks „Morphologische Analyse“.
21. L. Henkel, Einwände gegen wichtige Punkte in W. Pencks Erosionstheorie. Peterm. Mitt., 72. Jahrg., 1926, S. 263—264.
22. R. Herrmann, Erdgeschichtliche Grundfragen der Oberflächenformung in Mitteldeutschland. Beitr. z. Landeskunde Mitteldeutschlands. Festschr. z. 23. Deutschen Geographentage Magdeburg, 1929, S. 71—108.
23. F. Jaeger, Walther Pencks morphologische Analyse. Peterm. Mitt., 71. Jahrg., 1925, S. 198 f.
24. M. Kirchberger, Der Nordwestabfall des Rheinischen Schiefergebirges zwischen der Reichsgrenze und dem Rurtalgraben. Abh. d. Naturhist. Ver. d. Preuß. Rheinlande, 1917.
25. C. W. Kockel, Zur Piedmonttreppe im Rheinischen Schiefergebirge. Centralblatt f. Mineralogie usw., 1926, Abt. B, S. 289—297.
26. N. Krebs, Morphologische Probleme in Unterfranken. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1919, S. 307—335.
27. Cl. Lebling, Tektonische Forschungen in den Appalachen. Geolog. Rundschau, V. Bd., 1915, S. 449 ff. u. 511 ff.
28. F. Machatschek, Morphologische Analyse. Mitt. d. Geogr. Ethnograph. Ges. Zürich, Bd. XXVI, 1925/26, S. 5—17.
29. O. Maull, Die Landschaft um Marburg a. L. in ihren morphologischen Beziehungen zur weiteren Umgebung. Jahresber. d. Frankfurter Ver. f. Geographie u. Statistik, 81.—83. Jahrg., 1916/1919, S. 5—97.
30. K. Oestreich, Die Oberfläche des Rheinischen Schiefergebirges. Geogr. Anzeiger, 14. Jahrg., 1913, S. 195—198.

31. K. Oestreich, Die Entwicklung unserer Kenntnisse von der Formenwelt des Rheinischen Schiefergebirges. Zeitschr. f. Geomorphologie, II. Bd., 1926/27, S. 135—159.
32. W. Panzer, Zur Oberflächengestalt der Äußeren Hebriden. Zeitschr. f. Geomorphologie, III. Bd., 1927/28, S. 169—203.
33. W. Panzer, Die Hebrideninsel Lewis. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1928, S. 38—64.
34. A. Penck, Morphologische Analyse. Deutsche Literaturzeitung, N. F. 1. Jahrg., 1924, S. 1709—1720.
35. A. Penck, Geologische und geomorphologische Probleme in Bulgarien. Der Geologe, Nr. 38, Leipzig 1925, S. 849—873.
36. A. Penck, Finnlands Natur. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1927, S. 482—508.
37. W. Penck, Die morphologische Analyse. Stuttgart 1924. (Geogr. Abh., herausgegeben v. A. Penck, II/2.)
38. W. Penck, Die Piedmontflächen des südlichen Schwarzwaldes. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1925, S. 81—108.
39. W. Penck, Über den Gang der Abtragung. Mitt. d. Geogr. Ges. Wien, 71. Bd., 1928, S. 200—218.
40. A. Philippson, Grundzüge der allgemeinen Geographie II/2. 2. Aufl., Leipzig 1931.
41. A. Priem, Über die Merkmale und den Entwicklungsgang der Piedmonttreppe. Geogr. Anzeiger, 28. Jahrg., 1927, S. 373—381.
42. M. Richter, Zum Problem der alpinen Gipfelflur. Zeitschr. f. Geomorphologie, IV. Bd., 1928/29, S. 149—160.
43. H. Schmitthener, Probleme der Stufenlandschaft. Peterm. Mitt., Erg.-H. 209, 1930, S. 97—109.
44. H. Schrepfer, Die morphologische Analyse nach Walther Penck. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1926, S. 323—335.
45. J. Siebert, Morphologie des Sinntales. (Grenzgebiet Spessart-Rhön.) Frankfurter Geogr. Hefte, II. Jahrg., 1928, H. 2, S. 53—110.
46. J. Sölch, Eine Frage der Talbildung. Festband Albrecht Penck, Stuttgart 1918, S. 66—92.
47. J. Sölch, W. Pencks morphologische Analyse. Geogr. Zeitschr., 32. Jahrg., 1926, S. 31—36.
48. H. Spreitzer, Die Talgeschichte und Oberflächengestaltung im Flußgebiet der Innerste. Jahrb. d. Geogr. Ges. Hannover, 1931, S. 1—119.
49. R. Stickel, Der Abfall der Eifel zur Niederrheinischen Bucht. Beitr. z. Landeskunde d. Rheinlande, herausgegeben v. A. Philippson, 3. H., Leipzig 1922.
50. R. Stickel, Zur Morphologie der Hochflächen des linksrheinischen Schiefergebirges und angrenzender Gebiete. Beitr. z. Landeskunde d. Rheinlande, herausgegeben v. A. Philippson, 5. H., Leipzig 1927.
51. A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde. 7. Aufl., herausgegeben v. E. Obst. II/1, Berlin und Leipzig 1930.
52. H. d. Terra, Geomorphologische Studien zwischen oberem Indus und südlichem Tarimbecken. Zeitschr. f. Geomorphologie, V. Bd., 1930, S. 79—131.

53. H. Wenzel, Der Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges zwischen Dill und Diemel. Festschrift für Alfred Philippson, Leipzig und Berlin 1930, S. 81—97.
54. A. Winkler, Das jüngere Entwicklungsbild der Ostalpen. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1926, S. 381—398.
55. A. Winkler, Über die Zusammenhänge zwischen geologischer und geomorphologischer Gebirgsentwicklung am Südostende der Zentralalpen im Jungtertiär. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1928, S. 315—331.
- Die S. 331 erwähnte Arbeit von G. Frebold: „Die Oberflächengestaltung des Brockengebietes“ erscheint im Jahrb. d. Geogr. Ges. Hannover, 1932.

Verwitterungserscheinungen an Bausteinen.

Von Dr. Alois Kieslinger, Dozent an der Technischen Hochschule in Wien.
(Mit 6 Abbildungen.)

Verwitterung ist die Anpassung der Gesteine — die fast durchwegs unter anderen Temperatur-Druck-Bedingungen entstanden sind oder wenigstens ihre letzte Prägung erfahren haben — an die Verhältnisse der Erdoberfläche, d. i. einfachen Atmosphärendruck, Reichtum an Kohlensäure, Sauerstoff, Wasser, in den Großstädten auch Schwefelsäure. Diese Vorgänge sind unvermeidlich, verlaufen aber unter Umständen so langsam, daß sie praktisch für uns bedeutungslos werden.

Das Ziel der bautechnischen Verwitterungsforschung ist es also, verlässliche Kennzeichen für genügend wetterfeste Baustoffe zu finden und Verfahren auszuarbeiten, welche an schon bestehenden Gebäuden und Denkmälern den Ablauf der Zerstörungen auf ein unvermeidliches Mindestmaß verlangsamen.

Die chemischen und physikalischen Vorgänge bei der Baugesteinsverwitterung weichen vielfach von den Erscheinungen in der freien Natur in unseren Zonen ab. Dagegen haben sie viele Ähnlichkeit mit Vorgängen, die man bis vor kurzem als bezeichnend für Wüstenverwitterung gehalten hat. In neueren Arbeiten wurde die große Verbreitung der angeblichen Wüstenerscheinungen nachgewiesen. Kaiser hat¹ hervorgehoben, daß die alte, vorwiegend klimatologische Auffassung der Verwitterungsvorgänge den Erscheinungen nicht ganz gerecht wird, daß vielmehr die örtlichen Umstände, die Gesteinsbeschaffenheit, Durchfeuchtung usw. mindestens ebenso wichtig sind. Man könne nicht von kleinen Inseln abweichenden Klimas sprechen, vielmehr seien diese Abweichungen eben auf Besonderheiten des Untergrundes usw., nicht auf ein beson-

¹ E. Kaiser, Über edaphisch bedingte geologische Vorgänge und Erscheinungen. Sitzber. Bayr. Akad. Wiss. Mathem.-naturw. Abteilg. 1928, pp. 37—70.