

BÜCHEREI FÜR LANDWIRTE
Herausgegeben von Professor Dr. Hanns v. Lengerken
Landwirtschaftliche Hochschule Berlin

Geologie

von

Dr. Robert Potonié und **Dr. Otto Seitz**

Privatdozent an der Techn. Hochschule zu Berlin,
Assistent an der Preuß. Geologischen Landesanstalt

Assistent an der Preußischen Geologischen
Landesanstalt

sowie anderen Fachgelehrten

Mit 150 Abbildungen



Berlin und Leipzig 1925

Walter de Gruyter & Co.

vormals G.J. Göschen'sche Verlagshandlung / J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten.

Copyright by Walter de Gruyter & Co., Berlin und Leipzig, 1925.

Vorwort zur Sammlung.

Mit der vorliegenden „Geologie“ beginnt die „Bücherei für Landwirte“ ihr Erscheinen.

Die Bücherei soll eine Sammlung kurz gefaßter Werke von Grundrißcharakter aus allen zur Landwirtschaft in Beziehung stehenden Wissensgebieten werden. Sie wendet sich an den Studierenden, den Landwirtschaftslehrer, den Tier- und Pflanzenzüchter und rechnet sowohl mit dem praktischen Landwirt als auch auf landwirtschaftlich sowie züchterisch interessierte Kreise im weiteren Sinne.

Die in sich selbständigen Einzelwerke sollen in zwangloser Folge erscheinen. Weitere Bände sind in Bearbeitung bzw. im Druck.

Demnächst werden erscheinen: „Unkräuter“, „Geschichte der Haustiere“, „Rindviehzucht“, „Fütterungslehre“ und „Physik“.

Hanns v. Lengerken.

Inhalt.

	Seite
Vorwort	III
A. Ziele, Arbeits- und Darstellungsweisen der Geologie (v. Bülow)	1
B. Die geologischen Vorgänge (Potonié und Seitz)	3
I. Allgemeines (Potonié)	3
II. Exogene Vorgänge (Potonié)	6
a) Die Wirkungen des Wassers	6
1. Über mechanische und chemische Wirkungen	6
2. Das fließende Wasser des Festlandes	12
3. Die Tätigkeit des Meereswassers (einschließlich Seenkunde)	24
α) Die zerstörende Tätigkeit des Meeres	24
β) Neubildungen des Meeres	26
b) Die Wirkungen des Eises	31
1. Gletscher oder Ferner	31
2. Die Abtragung durch das Gletschereis	34
3. Das Inlandeis	35
c) Von den Wirkungen des Windes	46
1. Zerstörende Tätigkeit des Windes (einschließlich Insolation)	46
2. Neubildungen des Windes	49
α) Dünen	49
β) Steppen	53
d) Wirkungen der Organismen	55
1. Zerstörende Wirkungen	55
2. Die neubildende Tätigkeit der Lebewesen	59
III. Endogene Vorgänge (Seitz)	59
a) Allgemeines	55
b) Plutonismus	59
1. Alter der Intrusionen	59
2. Form der Intrusionen	61
α) Batholithe	61
β) Konkordante Lakkolithe	62

	Seite
γ) Diskordante Lakkolithe	62
δ) Gänge	63
c) Vulkanismus	63
1. Vulkanformen	63
α) Spaltenvulkane	63
β) Schlotvulkane	64
2. Eruptionen	67
d) Orogenese	67
1. Allgemeines	67
2. Schollengebirge	69
α) Gemeine Klüfte	69
β) Verwerfungen und Überschiebungen	70
γ) Gräben und Horste	72
3. Faltengebirge	74
α) Der Faltungsvorgang	74
β) Beispiele	76
γ) Salztektunik	77
δ) Nichttektonische Faltungen	79
4. Rumpfschollengebirge	80
e) Epirogenese	81
f) Erdbeben	82
1. Wirkung der Erdbeben	82
2. Einteilung der Erdbeben	83
g) Über die Ursachen endogener Vorgänge	85
1. Der Zustand des Erdinnern	85
2. Theorien	87
C. Das Material der Erdrinde (v. Bülow)	89
I. Gesteinsbildende Mineralien	89
II. Die Hauptgesteine der Erdrinde	95
a) Erstarrungsgesteine	96
Übersicht über die Erstarrungsgesteine	103
b) Sedimentgesteine	105
1. Tongesteine	110
2. Sandgesteine	114
3. Kalkgesteine	118
α) Marine Kalke	118
β) Festlandskalke	121
4. Organogene und chemische Kieselgesteine	124
5. Kohlengesteine	125
6. Anorganisch-chemische Gesteine	130
7. Anhang	132
α) Vulkanische Tuffe	132
β) Erze	133
8. Übersicht über die Sedimente	134

D. Die Umwandlung der Gesteine (Diagenese, Metamorphose, Verwitterung und Bodenbildung) (v. Bülow)	135
I. Diagenese und Metamorphose.....	135
II. Verwitterung	138
a) Mechanische Verwitterung	139
b) Chemische Verwitterung	140
c) Organische Verwitterung	142
d) Klima und Verwitterung.....	143
e) Kleinformen der Verwitterung	145
III. Bodenbildung	150
a) Allgemeines über Bodenbildung.....	151
b) Einige wichtige Eigenschaften der Böden.....	154
c) Klimazonen der Bodenbildung.....	158
1. Tropische Böden	158
α) Böden tropisch-arider Gebiete (Wüstenböden).....	158
β) Tropisch-humide Gebiete	159
2. Subtropische Böden	159
3. Böden der gemäßigten Zone.....	160
4. Böden der kalten Zone	163
d) Die deutschen Böden	164
1. Böden der Erstarrungsgesteine (einschließlich einiger kristalliner Schiefer)	164
2. Böden der Sedimentgesteine	170
3. Böden diluvialer und alluvialer Gesteine.....	174
e) Die Pflanzen der verschiedenen Bodenarten	179
E. Grundwasser und Quellen (v. Bülow)	185
F. Der Kreislauf der Gesteine (v. Bülow)	195
G. Geologie und Landwirtschaft (v. Bülow)	198
H. Einiges aus der historischen Geologie (Potonié)	201
I. Allgemeines	201
II. Ursprung und frühester Zustand der Erde	203
III. Urgebirge (Archaische Formationsgruppe)	204
IV. Algonkium (Proterozoische Formationsgruppe)	205
V. Paläozoikum (Paläozoische Formationsgruppe)	207
a) Kambrium	208
b) Silur	209
c) Devon	211
d) Karbon	214
e) Perm	218
1. Allgemeines	218

VIII

Inhalt.

	Seite
2. Rotliegendes	220
3. Zechstein	220
VI. Mesozoikum (Mesozoische Formationsgruppe).....	222
a) Trias	223
1. Fauna der Triaszeit	224
2. Buntsandstein.....	226
3. Muschelkalk	228
4. Keuper	229
b) Jura	230
c) Kreide	236
VII. Känozoikum (Neo- oder Känozoische Formationsgruppe)	239
a) Tertiär	239
b) Quartär	243
1. Diluvium	243
2. Alluvium	248
VIII. Tabelle zur historischen Geologie.	

A. Ziele, Arbeits- und Darstellungsweisen der Geologie.

Die Geologie umfaßt die Wissenschaften von der Zusammensetzung, dem Aufbau und der Entwicklungsgeschichte der Erde. Die beiden Erstgenannten sind der Forschung Mittel zur Aufhellung der Gesamtentwicklung der Erdrinde und schließlich des Erdkörpers, ihrem vornehmsten Ziel, während sie für die Praxis den wesentlichen Inhalt der Geologie darstellen.

Es ist falsch, „Geologie“ wörtlich mit „Erdkunde“ zu übersetzen. Diese Bezeichnung hat sich die „Wissenschaft von der Erdoberfläche“, die Geographie vorbehalten. Vielmehr ist Erdgeschichte die treffendste Bezeichnung.

Der Weg der Forschung zur Erreichung des oben genannten Zieles ist die Erforschung der die Erdrinde zusammensetzenden Gesteine, ihrer Lagerungsform, ihrer Entstehung und ihres Fossilinhaltes.

Gesteine sind Gemenge von Mineralien, die nennenswert am Aufbau der Erdkruste beteiligt sind. Darum sind Mineralogie und Gesteinskunde (Petrographie) wichtige Hilfswissenschaften der Geologie.

Die Anhäufung von Mineralien zu Gesteinsmassen ist das Werk gesteinsbildender Kräfte, mögen diese ihren Ursprung im Innern der Erde haben oder von außen auf sie einwirken (vgl. Kap. B u. D).

Die Kenntnis vom Wirken dieser Kräfte befähigt zur Erklärung der Entstehung der Gesteine, der Bauelemente der Erdrinde und somit schließlich dieser selbst.

Die Beobachtung der heute auf der Erde tätigen geologischen Kräfte ist darum der Ausgangspunkt der geologischen Forschung. Das „aktualistische Prinzip“,

von der Gegenwart auf die Vergangenheit zu schließen, ist der Eckpfeiler der Geologie¹⁾).

Zu den Hilfsmitteln der Geologie gehört in erster Linie die geologische Aufnahme, die die Verbreitung und Lagerung der Gesteine im Raum kartenmäßig festhält und große Erdräume auf einen Blick zu übersehen gestattet. Neben die reine Beobachtung, die einfach sinnlich aufnehmende und verarbeitende Tätigkeit des Kartierenden treten — zumal in neuerer Zeit — eine Reihe von Methoden, die es ermöglichen sollen, den Beobachtungsbereich in die Tiefe auszudehnen. Abgesehen von dem schon alten Hilfsmittel der Schacht- und Bohraufschlüsse sind es besonders:

die seismische Methode, die die Fortpflanzung und Brechung der Erschütterungswellen künstlicher Erdbeben (Explosionen) in der Erdrinde verfolgt;

die magnetometrische Methode, die sich auf die Eigenschaft der Gesteine gründet, die Magnetnadel verschieden stark abzulenken;

die elektrischen Methoden, die aus dem Verlauf elektrischer Wellen oder Ströme auf den Bau des Untergrundes schließen;

die Schwerkraftmethode, die auf der verschiedenen Schwere der Gesteine und der dadurch bedingten verschieden starken Anziehungskraft auf das Pendel bzw. auf die Drehwaage basiert.

Die Aufnahme eines Geländes erfordert also folgende Arbeiten: Begehung zur Feststellung der Gesteinsgrenzen (evtl. mit Hilfe eines Handbohrers); die Feststellung der Lagerung der Gesteine mittels Kompaß und Neigungsmesser (Klinometer), die Bestimmung des relativen Alters der Schichten an Hand der eingeschlossenen Versteinerungen und der gegenseitigen Lagerungsverhältnisse. Dazu treten gegebenenfalls: Grundwasser- und Quellenbeobachtungen,

¹⁾ Die Geologie ist demnach einerseits eine systematische Wissenschaft, insofern sie — ausgehend von den Forschungen der Chemie, Physik, Mineralogie, Astronomie, Meteorologie, Zoologie, Botanik usw. — den Aufbau und die Zusammensetzung der Erde untersucht und Hand in Hand damit eine Gruppierung, ein System der geologischen Vorgänge nach den verschiedensten Gesichtspunkten vornimmt und ihre Wirkungen untersucht; sie ist aber auch andererseits eine historische Wissenschaft, insofern sie die Aufeinanderfolge der Ereignisse, Bewegungen, Veränderungen feststellt, sie zeitlich ordnet und so eine möglichst vollständige Entwicklungsgeschichte unseres Planeten anstrebt.

Gletscher-, Vulkan- und Unterwasseraufnahmen, sowie die Anwendung der genannten physikalischen Hilfsmethoden.

Das Ergebnis der Aufnahme ist die geologische Karte, die die Summe aller irgendwie wertvollen und darstellbaren Beobachtungen und Erfahrungen enthält; aus der also sowohl der Wissenschaftler, als auch der Praktiker das jeweils Belangreiche ablesen können.

Die Karte stellt im allgemeinen nur die Erdoberfläche dar. Zur Veranschaulichung des Baues des Untergrundes werden Profile entworfen, senkrechte Schnitte durch die Erdkruste. Die in den Profilen enthaltenen Angaben über Lagerung, Mächtigkeit usw. der Schichten, das Verhalten des Grundwassers u. a. werden den Feststellungen „über Tage“, sowie Bohrungen und anderen Aufschlüssen unter Tage (Bergwerke) entnommen und liefern in ihrer Gesamtheit ein Bild von der gegenwärtig gültigen Anschauung über den Bau des betr. Teiles der Erdkruste.

Eine perspektivische Vereinigung von Grundriß und Durchschnitt — Karte und Profil — liefert, gezeichnet, das sog. Blockdiagramm (Abb. 24) und geformt, das geologische Modell, die verkleinerte und schematisierte Nachbildung eines Ausschnittes aus der Erdkruste und damit die anschaulichste und aus sich ohne weiteres verständliche Darstellungsweise geologischer Forschungsergebnisse.

Beschaffenheit und Mächtigkeit, Aufeinanderfolge und Lagerungsformen, Umbildungserscheinungen und Wasserführung der Gesteine und vieles andere mehr, kurz die Angaben der geologischen Karten und Profile sind Dinge, die für den Praktiker des Hoch- und Tiefbaues, der Hydrologie und des Bergbaues, der Land- und Forstwirtschaft von weitreichendem Interesse sind und geologische Kenntnisse als wichtiges Hilfsmittel der Praxis erscheinen lassen. Auch die Erfahrungen des jahrelangen Stellungskrieges und seiner umfangreichen Erdarbeiten haben den oft unschätzbaren Wert der Geologie als angewandter Wissenschaft ins hellste Licht gerückt.

B. Die geologischen Vorgänge.

I. Allgemeines.

Viele der geologischen Fragen, die den Landwirt bewegen, laufen darauf hinaus, die Entstehung und den gegenwärtigen Zustand

der Ackerböden, Wiesen, Moore, der Wasserverhältnisse usw. zu begreifen. Hierzu aber ist erforderlich, sich mindestens einen kurzen Gesamtüberblick der dynamischen Geologie zu verschaffen. Die dynamische Geologie (dynamis = Kraft) erörtert die Frage nach den geologischen „Kräften“ und bespricht somit auch diejenigen „Kräfte“, die das Ausgangsmaterial der Ackerböden geschaffen und weiterhin in die ganze Mannigfaltigkeit der dem Landwirt bekannten Bodenarten verwandelt haben. — Wir kommen also zu folgender Formulierung: Die dynamische Geologie beschäftigt sich mit den Bewegungen und Veränderungen, die sich im Erdinnern und an der Oberfläche der festen Erdkruste vollziehen. — Danach unterscheidet man die innenbürtigen oder endogenen von den außenbürtigen oder exogenen Vorgängen. Es ist jedoch zu bedenken, daß es zwischen beiden Gruppen keine scharfe Scheide gibt. Manche „endogenen“ Vorgänge stehen wohl letzten Endes, ganz wie die „exogenen“ Erscheinungen, unter dem Einfluß der Sonne, des Mondes usw. Die meisten der exogenen Kräfte werden durch die Einwirkung der Sonne auf die Erdoberfläche erzeugt. Zu den endogenen Äußerungen der Erde (vgl. S. 59) rechnet man 1. den Plutonismus und den Vulkanismus, 2. die seismischen Erscheinungen (Erdbeben) und 3. die gebirgsbildenden Vorgänge (Orogenese) sowie die säkularen Hebungen und Senkungen (Epirogenese).

Die exogenen Kräfte äußern sich in den Wirkungen der Luft, des Wassers, des Eises, der Sonnenstrahlung und der Organismen. Sie betätigen sich einerseits als Zerstörer, andererseits als Erbauer von Oberflächenbildungen der Erdrinde.

Wo der Wind als abtragender Faktor wirksam wird, spricht man von Deflation (vom lat. *deflare* = wegwehen). Zersägt das fließende Wasser das Festland, so bezeichnet man dies als Erosion (vom lat. *erodere* = abnagen, wegfressen). Der Begriff der Abrasion (vom lat. *abradere* = abkratzen) umfaßt die zerstörende Tätigkeit der Meereswoge, und wo endlich das Eis (als Gletschereis) über den Untergrund hobelt und so den Gesteinsschutt wegräumt und dann weiter als Schleifmaterial benutzt, sprechen wir von der Korrasion des Gletschereises (vom lat. *corradere* = zusammenscharren).

Bei der Deflation, Erosion, Abrasion und Korrasion

findet alles in allem eine fortgesetzte Entblößung, d. h. die Denudation der Erdoberfläche statt. Wir beobachten ein vereinigtes Streben der aufgezählten Faktoren, die Höhenunterschiede des Festlandes so weitgehend wie möglich zu beseitigen, um schließlich eine Fastebene (Peneplain) zu schaffen. Man bezeichnet solche Ebenen u. U. als Rumpfflächen (siehe S. 80 u. Abb. 61).

Als Denudation wäre also der allgemeine Massenverlust des Festlandes zu bezeichnen. Letzten Endes aber ist die Denudation bestrebt, den ganzen Erdball so weitgehend wie möglich einzuebnen.

Je höher sich ein Teil des Festlandes über den Meeresspiegel erhebt, desto stärker ist im allgemeinen die Denudation. Es liegt dies an der mit der Meereshöhe steigenden Häufigkeit der Niederschläge und des Frostes. Am schnellsten sehen wir die Abtragung in unseren jungen Hochgebirgen vor sich gehen. Die Höhe der Gebirge ist somit z. T. eine Funktion ihres Alters. Die Alpen z. B. sind erst zur Tertiärzeit aufgetürmt worden. Sie zeigen uns noch heute das zackige Relief jugendlicher Gebirge. Sanfte niedrige Formen als Folgen großen Alters finden wir dagegen bei einigen bereits im Paläozoikum entstandenen deutschen Mittelgebirgen. Sie sind die letzten Reste der varistischen Alpen des Altertums der Erde.

Wenn es in der doch recht langen Zeit der Sonneneinwirkung auf die erkaltete Erdrinde noch nicht zu einer restlosen Einebnung der Erdoberfläche gekommen ist, so liegt dies daran, daß den exogenen Kräften die endogenen oder innenbürtigen Kräfte gegenüberstehen. Diese sorgen stets von neuem für die Erschaffung neuer Unebenheiten.

Es muß hervorgehoben werden, daß in allen Fällen der Denudation die zur Abtragung notwendige Vorarbeit von der Verwitterung geleistet wird. Die Verwitterung besteht in den vereinigten Wirkungen der direkten Sonnenstrahlung (Insolation), in den chemischen Eigenschaften des Wassers (Lösung, Fort- bzw. Zusammenführung und damit zusammenhängende chemische Umsetzung der Stoffe), in der Wirkung des Spaltenfrostes und in dem Einfluß der Organismen auf die Gesteine.

Wo keine Fortführung der Verwitterungsprodukte erfolgt, er-

halten wir Oberflächenprodukte wie den Lehm oder den roten Laterit tropischer Zonen.

In vielen Fällen jedoch findet ein Abtransport der Verwitterungsprodukte statt. Wo sie dann an tiefer gelegenen Stellen der Erdoberfläche zur Ruhe kommen, beobachten wir einen Neuaufbau von Gesteinen.

II. Exogene Vorgänge.

a) Die Wirkungen des Wassers.

1. Über mechanische und chemische Wirkungen.

Daß sich die meisten der exogenen Kräfte auf die Sonne zurückführen lassen, zeigt besonders deutlich der Kreislauf des Wassers. Durch Verdunstung wird von der über Meeresräumen befindlichen Atmosphäre eine beträchtliche Menge Wassers aufgenommen und gelangt mit letzten Endes wesentlich durch die Sonne verursachten Luftströmungen (Winden) ins Festland. Hierbei nimmt der Wassergehalt der Atmosphäre und somit die Niederschlagsmenge im allgemeinen mit der Entfernung von der Küste ab (Kontinentalklima). Andererseits nimmt die Wasserabgabe der Luft mit der Erhebung eines Festlandes über den Meeresspiegel zu. An den kalten Kämmen der Gebirge schlagen sich die Wasser nieder. Die abgekühlte Luft vermag das in ihr vorhandene Quantum nicht zu halten.

Ein Teil des Niederschlagswassers versickert sofort im Erdboden und entfaltet hier seine gesteinszerstörende Tätigkeit. Ein anderer Teil fließt oberflächlich ab und entführt Lösungsprodukte und Gesteinsschutt. Ein drittes, nicht unbeträchtliches Quantum verdunstet.

Die Wirkung der Sickerwasser wird wegen ihrer großen Bedeutung für den Landwirt in einem besonderen Abschnitt (Verwitterung usw.) genauer zu besprechen sein. Hier sei nur kurz erwähnt, daß diese Wasser unter anderem einen weitgehenden Einfluß auf die Oberflächengestaltung des Geländes haben. Das Felsgerüst der Erdoberfläche besteht ja aus den verschiedensten Gesteinsarten, die dem Einfluß der Sickerwasser in der verschiedensten Weise widerstehen. Es ist daher verständlich, daß festere

Partien herausmodelliert werden, weil weichere unter Mitwirkung der Schwerkraft rascher verschwinden. Dies zeigt unsere Abbildung eines Muschelkalkrückens im nördlichen Harzvorlande (Abb. 1). Die Schichten des Mesozoikums sind hier durch das „Aufsteigen“ des Harzes aus ihrer horizontalen Lagerung gebracht und aufgerichtet worden. Sie stehen jetzt „auf dem Kopfe“, d. h. sie haben sich fast senkrecht gestellt. Auf der geologischen Karte erscheinen daher parallel zum Nordrande des Harzes verlaufende schmale Strei-



Abb. 1. Durch Denudation herausmodellierter, bahndammartiger Muschelkalkrückens; der parallel zum Nordrande des Harzes verlaufende Schulmeierholzberg nordwestl. Thale. (Orig. R. Potonié.)

fen von Buntsandstein, Muschelkalk usw. Gewisse Schichten von Buntsandstein und Muschelkalk aber haben der Verwitterung besser getrotzt als andere, so daß diese Schichten jetzt in Form langer schmaler Rücken erscheinen. Eine beträchtliche Wirkung hat bei dieser Modellierung der Erdoberfläche der Spaltenfrost. Das von den feinsten Gesteinsfugen durch Kapillarkwirkung aufgenommene Wasser gefriert und erweitert hierbei die Gesteinsspalten. Hat doch das Eis ein größeres Volumen als das Wasser, aus dem es hervorgegangen ist. Hierdurch, aber auch durch die Lockerung, die das Gestein durch die chemische Tätigkeit

der Sickerwasser erfährt (siehe dort), werden die Höhenunterschiede der Erdoberfläche gemildert, was sich am deutlichsten durch das Hakenschlagen steil aufgerichteter Schichten zu erkennen gibt. Abb. 2 zeigt uns einen Aufschluß im Jura des Harzrandes. Die Schichten fallen steil nachrechts zum Harz hin ein (vgl. auch S. 153,

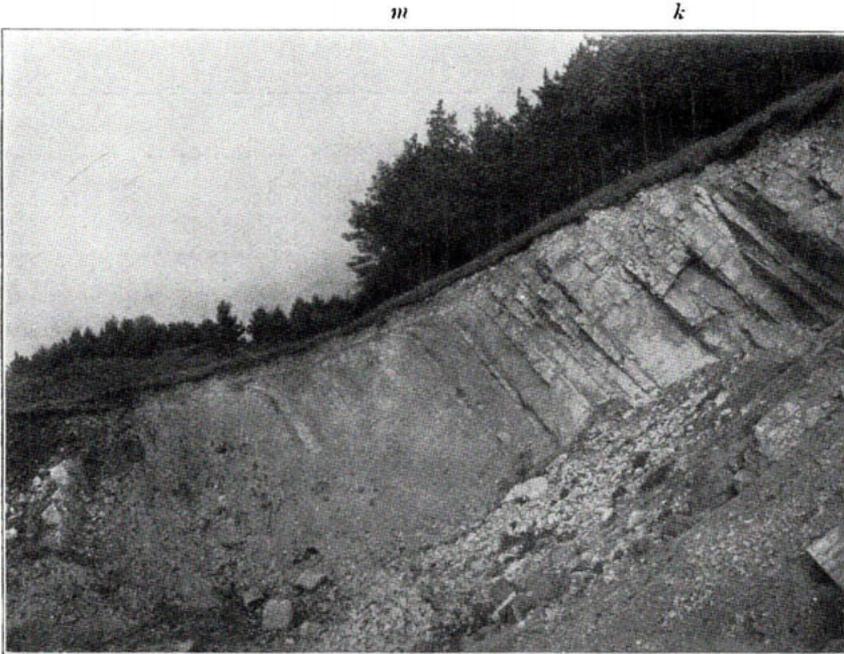


Abb. 2. Die unter dem *m* befindlichen mergeligen Schichten fallen ganz wie der unter dem *k* befindliche Kalk steil nach rechts ein, sie biegen indessen im Gegensatz zu den Schichten des letzteren (wegen ihrer geringeren Widerstandsfähigkeit) in ihrem oberen Teil nach links um und rutschen den Abhang hinab, diesen dabei verflachend: Hakenschlagen. Steinbruch am Langen Berg bei Harlingerode im Harz (Kimmeridge). (Orig. Horst Potonié.)

Abb. 84). Bei genauerer Betrachtung bemerken wir jedoch, daß sie im mittleren Teil des Bildes an ihren oberen Enden nach links umbiegen. Sie sind eben gelockert worden und gleiten nun allmählich nach links den Abhang hinunter. Dergleichen ist bei den festeren Schichten im rechten Teil des Bildes nicht bemerkbar. Deshalb auch ist der Abhang hier steiler als über den weicheren (mergeligen) Schichten.

Als direkte Einwirkung des niederfallenden Regens seien

beiläufig die Regentropfeneindrücke erwähnt, wie sie auf weicherem Untergrund entstehen. In den Letten des obersten Buntsandsteins (Röt) findet man sie in fossiler Form. Sie dürften beim Aufprallen einzelner Regentropfen auf die Oberfläche weichen Schlammes entstanden sein.

Das einmal in den Boden hineingelangte Wasser entfaltet hier eine mannigfaltige Tätigkeit. Hierüber wird in den Abschnitten über Grundwasser- und Quellenkunde ausführlicher zu berichten sein (vergl. auch S. 11).

Wo das unterirdische Wasser in vulkanischen Gebieten durch in der Tiefe befindliche heiße Gesteinsmassen auf höhere Temperaturen erhitzt wird, bildet es, sofern es wieder an die Oberfläche zu gelangen vermag, die als Thermen bezeichneten warmen bis heißen Quellen. Solche warmen Wasser sind natürlich besonders fähig, mineralische Bestandteile aufzulösen. Das zeigen uns u. a. die als Geysir bezeichneten heißen Springquellen, von denen die isländischen und die des Yellowstone-Parkes in Nordamerika ebenso wie die auf Neuseeland eine große Berühmtheit erlangt haben (Abb. 119, S. 193). In oft mächtigen Fontänen schäumt hier das in der Tiefe überhitzte Wasser in regelmäßigen Zeitabständen empor. Hierbei kühlt es sich ab und scheidet infolgedessen die in ihm gelöst gewesenen mineralischen Bestandteile als Sinterbildungen von oft bizarrer Gestalt wieder aus. Nach der Abkühlung zieht sich das Wasser wieder in die Tiefe zurück, aber nur, um nach einer ganz bestimmten Zeit wieder weit genug für eine neue Eruption erhitzt zu sein.

Nicht nur die heißen Quellen und Geysir vermögen Sinterbildungen zu erzeugen. Ein Gleiches können wir auch bei kalten Quellen kalkreicher Gebiete beobachten. Das mit Kalk gesättigte Wasser gibt einen Teil des Minerals zunächst schon dann ab, wenn es über eine schiefe Ebene rieselt, wird doch durch die Bewegung Verdunstung bewirkt. Der Kalk befindet sich im Wasser wesentlich in Form von saurem Calciumcarbonat. Dies ist ein Salz, das bei der Ausscheidung unter Verlust eines Teils seiner Kohlensäure in das schwerer lösliche Calciumcarbonat übergeht. — Häufig ist die Überkrustung der in Mineralquellen wachsenden Pflanzen mit Kalk. Hierbei beteiligt sich wohl noch ein anderer Faktor. Die Pflanze bedarf bekanntlich zum Aufbau

ihres Körpers der Kohlensäure und entzieht so dem Wasser die Eigenschaft, größere Mengen Kalks in Lösung halten zu können. In erster Linie aber führt die Verdunstung des Wassers zu Kalksinterausscheidung.

Wo Regenwasser, das ja in der Atmosphäre Kohlensäure aufgenommen hat, auf kahle Kalkabhänge fällt, vermag es auf den Kalk



Abb. 3. Miniaturhöhle, aufgeschlossen in einem Kalkbruch im Zechsteinkalk des Kalkberges bei Kittelsthal unweit Eisenach im Thüringer Wald. Das Hangende der Höhle zeigt sich durch die auflösende Kraft des hindurchsickernden Wassers von vielen kleinen, sich allmählich zu einem größeren Hohlraum vereinigenden Löchern durchsetzt. (Orig. R. Potonié.)

(eben wegen dieses Kohlensäuregehaltes) verhältnismäßig stark lösend zu wirken. Es erzeugt daher beim Abfließen feine Rinnen, die sich allmählich in ziemlich tiefe Furchen umzubilden vermögen. Wo solche Furchen die ganze Oberfläche eines Kalkabhanges dicht besetzen, spricht man von Karrenfeldern. Zwischen den einzelnen Furchen befindensich oft „messerscharfe“ Kämme und auf den Abhängen dieser Kämme bilden sich kleine Seitenfurchen. Karren-

felder sind z. B. in den Kalkgebieten unserer Alpen vielfach und schön ausgebildet vorzufinden.

Wo in Kalkgebieten die Oberfläche ein zum „vollkommenen“ oberflächlichen Abfluß zu geringes Gefälle hat, versickert (wegen der bedeutenden Wasserdurchlässigkeit des Kalkes) ein beträchtliches Quantum des Niederschlages in die Tiefe, um auch dort stark auf-

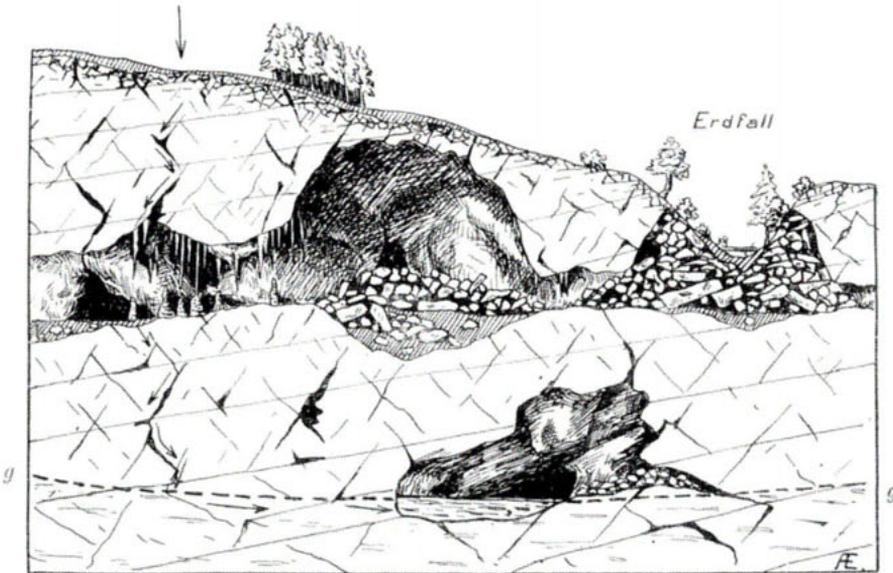


Abb. 4. Höhlenbildung oberhalb des Grundwasserspiegels (*g-g*) in stark zerklüftetem Kalk. Die Klüfte erleichtern dem Regenwasser das Eindringen (vgl. links: \rightarrow) und werden durch Auflösung des angrenzenden Kalkes erweitert. In den Höhlen Tropfsteine (links), Höhlenlehm (in der Mitte auf dem Boden, schraffiert) und von der Decke der Höhlen heruntergestürzter Gesteinsschutt. Rechts Erdfall oder Doline. Vergl. auch die Erläuterung des Bildes S. 188. (Gez. A. Ebert.)

lösend zu wirken. Es bilden sich zunächst kleine unterirdische Hohlräume (Abb. 3), die allmählich wachsen und sich zu Höhlen vereinigen. Zu solcher Höhlenbildung kommt es besonders in Gebieten stark gestörten Kalkes (Abb. 4). Auf den Sprüngen vermag dort das Wasser besonders schnell in die Tiefe zu gelangen, wobei zunächst die Fugen ausgeweitet werden. An Stellen, wo sich die Störungen häufen, müssen sich die Hohlräume am schnellsten zu größeren Höhlen auswachsen. Vor allem erweitert sich die Höhle nach oben. Stürzt doch das gelockerte Material der Höhlendecke

von Zeit zu Zeit auf den Boden der Höhle herab. Schließlich vermag die Decke gänzlich einzustürzen, und wir haben dann über der ehemaligen Höhle einen Erdfall, Doline genannt. In der Doline sammeln sich, ganz wie schon vorher in der Höhle selbst, die im Wasser unlöslichen Bestandteile des Kalks; wir bezeichnen sie als Höhlenlehm. Um die Entstehung des Höhlenlehms zu verstehen, überzeuge man sich davon, daß bei der Auflösung manchen Kalksteins in verdünnter Salzsäure ein unlöslicher, rotgefärbter, d. h. eisenreicher Ton zurückbleibt. Aus den bekannten Dolinen des östlich vom Adriatischen Meere gelegenen Karstgebietes kennen wir solche Rückstände als die fruchtbare Terra rossa; das ist ein roter Lehm. In jenem landwirtschaftlich merkwürdigen Karstgebiet ist es gerade die Terra rossa, die innerhalb der kleinen Dolinen in einem sonst außerordentlich armen Gelände landwirtschaftliche Oasen hervorbringt.

Die Dolinen sind ihrer Entstehung entsprechend trichterförmige Vertiefungen von 2—1000 m Breite und 2—100 m Tiefe (Abb. 4). Meist schwankt ihre Tiefe zwischen 10 und 100 m. Auch in den Kalkalpen können wir Dolinen beobachten. Oft ordnen sie sich in Abhängigkeit von Gesteinsspalten zu Reihen an. Punkte nämlich, wo langgestreckte Gesteinsspalten von anderen Spalten geschnitten werden, sind zur Dolinenbildung prädestiniert.

Die Verkarstung des genannten Gebietes wäre übrigens nicht in dem Maße möglich gewesen, wenn der Mensch dort nicht Raubbau getrieben und durch völlige Entwaldung des Landes den Sickerwassern die beschriebene weitgehende Betätigung ermöglicht hätte.

Viel schneller als im Kalk geht die unterirdische Auflösung im Gips oder gar im Steinsalz vor sich. Deshalb auch vergrößern sich die Gipshöhlen bedeutend schneller als Kalkhöhlen. Man denke nur an die große Heimkehle unweit Nordhausen am Südrande des Harzes. Je schneller sich aber eine Höhle vergrößert, desto vergänglicher ist sie auch. Dies drückt sich u. a. darin aus, daß wir in den Gebieten des Gipses besonders viele Erdfälle vorfinden.

2. Das fließende Wasser des Festlandes.

Die Fähigkeit fließenden Wassers, sich in die Erdoberfläche hineinzusagen, bezeichnet man als Erosion. Je größer

das Gefälle und je bedeutender bei gleichbleibendem Gefälle die Wassermenge, desto stärker ist sie wirksam.

Die durch die Erosion bedingte Zerstörung ist wesentlich eine mechanische, aber — wie uns schon die Karrenfelder (S. 10) gezeigt haben — auch eine chemische.

Ein Beispiel für die erodierende Tätigkeit des Regenwassers an steilen Abhängen geben uns die Erdpyramiden von Bozen in Südtirol. Hier haben wir Abhänge aus einem festen Geschiebe-Lehm, in dem sich größere Blöcke festen Gesteins verteilt finden. Auf diesen Lehmwänden sind zunächst einmal dicht nebeneinander viele Regenfurchen entstanden, die den Blöcken allenthalben ausweichen mußten. Bei der Vertiefung der Furchen, die allmählich eine sehr beträchtliche geworden ist, blieb schließlich nur noch ein Wald von säulenförmigen Gebilden zurück. Das sind die bekannten Erdpyramiden, deren jede auf ihrem Haupte von einem Block aus festem Gestein geschützt wird. Der Block verhindert, daß der darunter befindliche, die Säule aufbauende Lehm von den aufprallenden Regentropfen zerstört werde.

Wichtig ist, daß die erodierende Kraft bei Vermehrung der Wassermenge schneller steigt, als die Wassermenge selbst. Daher die überraschenden Resultate von Hochwassern.

Die Schaffung eines Flußbettes erfolgt erklärlicherweise durch Abtransport von Gestein. Das Material wird teils in gelöster Form, teils im Wasser schwebend, teils endlich als Geröll fortbewegt.

Bezeichnend ist die mehr oder minder abgerundete Form der Gerölle, die dadurch entsteht, daß die auf dem Transport befindlichen Gesteinsbrocken ihre Ecken und Kanten aneinander abreiben.

In den Hochgebirgen sammelt sich das Regenwasser zunächst einmal in den Wildbächen; diese zeigen drei Abschnitte; den obersten Abschnitt bildet der Sammeltrichter, an dessen steilen Abhängen das herabrieselnde Wasser immer weiter abtragend wirkt; so muß er sich mehr und mehr vergrößern.

Wo die Transportkraft ausreicht, mehr Material fortzuräumen, als an Schutt in das Tal hineingelangt, wird das fließende Wasser ein Tal mit unausgeglichenem Gefälle (siehe S. 16 ff) nicht nur durch Erosion ausgleichen, sondern auch das Einzugsgebiet von der Quelle aus nach rückwärts erweitern.

Man bezeichnet das als rückschreitende Erosion. Im Kleinen kann man, derartiges sehr gut beobachten, wo das Regenwasser steilere Abhänge hinabfließt so z. B. an den Sandhalden der Braunkohlenbergwerke. Man erkennt hier, wie sich an das obere Ende der Regenrinne ein Sammeltrichter mit verhältnismäßig steilen Abhängen anschließt. Über diese steilen Abhänge rinnt von oben her das Wasser zusammen und erweitert auf diese Weise den Sammeltrichter immer mehr.

Es kommt vor, daß von einem langgestreckten Berge nach beiden Seiten fließendes Wasser herabrinnt. Jedes der beiden Rinnsale ist in der geschilderten Weise bestrebt, seinen Sammeltrichter zu erweitern. Die Sammeltrichter werden daher schließlich einander berühren und sich miteinander vereinen. Die Folge hiervon ist, daß sich der „kräftigere“ der beiden Wasserläufe das Gebiet des schwächeren aneignet. Wir haben dann schließlich die auffallende Erscheinung daß ein Wasserlauf einen Höhenzug durchbricht.

Äußerlich ähnliche Bilder können noch auf folgende Weise hervorgerufen werden. Die Denudation erniedrigt das Gelände als Ganzes und schafft schließlich die Fastebene, in der jedoch zunächst noch, d. h. vor der Bildung der endgültigen Peneplain, Höhen aus widerstandsfähigeren Gesteinen zurückzubleiben vermögen. (Abb. 1). Es können so Gliederungen der Erdoberfläche entstehen, die vor Beginn der Denudation in dieser Form nicht vorhanden waren. Ein Flußlauf aber, der vor, während und nach der Denudation zur Stelle war, wird zeitweilig den Eindruck erwecken, als habe er es verstanden, die vorübergehend vorhandener Bergrücken zu durchbrechen; in Wahrheit aber hat er die erst durch die Denudation entstandenen Höhen von oben her durchsägt. Man bezeichnet derart entstandene Täler als epigenetische.

Dem Sammeltrichter des Wildbachs schließt sich im allgemeinen als zweiter Abschnitt nach unten der Tobel an; das ist eine tief eingesägte Klamme oder Schlucht von fast gerader Ausbildung. Das Wasser hat eben bei starkem Gefälle genügende Kraft, sich fast ohne Rücksicht auf die Gesteinsbeschaffenheit einen kürzesten Weg zu bahnen.

Der dritte Teil des Wildbaches endlich befindet sich am Ausgange der Schlucht in ein weiteres Tal. Er besteht aus dem Schuttkegel oder der Mure. Durch den nur locker aufgeschichteten Schutt der Mure rieselt das Gebirgswasser bisweilen völlig „unterirdisch“ hindurch. Nach größeren Unwettern aber erfüllt es ihn fast gänzlich. Die ganze Aufschüttung, die oft beträchtliche Dimensionen annimmt, kann dann katastrophal als gewaltige Schlamm- und Schuttmasse ins Haupttal gleiten. Wir erleben dann einen Murbruch. Es ist bekannt, wie häufig in Gebirgstälern auf diese Weise fruchtbares Land vermurt wird; ja ganze Siedlungen sind schon überschüttet worden.

Die Wände der Klammern werden durch den vom Wasser transportierten Gesteinsschutt meist glattgeschliffen. Hier und dort weisen sie durch das Schleifmaterial erzeugte nischenartige Einbuchtungen auf, wie sie unser Bild aus dem Bodekessel in besonders schöner Form vorführt (Abb. 5). Eine der deutlichsten Nischen (mit einem Stückchen alter Flußbettsohle) erblickt man oberhalb der



Abb. 5. Bodekessel oberhalb Thale im Harz. Die Bode im Granit des Rambergmassivs. Es zeigen sich durch Erosion erzeugte Nischen; unter dem *n* und in Höhe von *s* eine besonders tiefe Nische mit einem kleinen Rest alter Flußbettsohle. (Orig. R. Potonié.)

Mitte des Bildes hoch über dem augenblicklichen Wasserspiegel. Weit schon wieder hat sich die Bode seit der Ausbildung dieser Nische in den Granit des Rambergmassivs hineingesägt.

Besitzt ein Wasserlauf viele Stromschnellen, so vermögen auf der Sohle seines Bettes Strudellöcher oder Riesentöpfe zu entstehen (siehe S. 17).

Stromschnellen kommen u. a. dadurch zustande, daß die Sohle des Wasserlaufes ein Nebeneinander verschiedener Gesteinsarten aufweist. Ein Beispiel gibt unsere Abb. 6. Vom Granit des

Harzer Rambergmassivs zieht quer durch das Bodetal der „Hauptbodegang“, das ist eine im Schiefer befindliche Spalte, die sich von der einst glutflüssigen Magmamasse des jetzt aus Granit bestehenden Rambergmassivs aus mit Quarzporphyr erfüllt hat. Der Quarzporphyr aber ist widerstandsfähiger als der paläozoische Schiefer, den er durchsetzt. Er ist daher durch die Bode heraus-

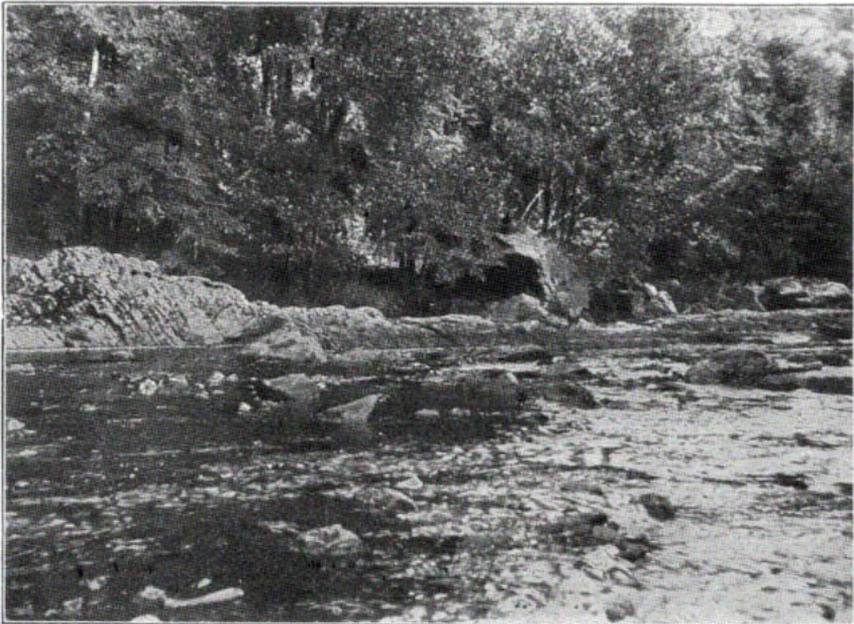


Abb. 6. Hauptbodegang aus Quarzporphyr (von *h* bis *h*) die Bode zwischen Treseburg und Thale durchquerend. Der widerstandsfähige Porphyr ist durch die erodierende Kraft der Bode aus dem umgebenden, leichter zerstörbaren Schiefer herausmodelliert worden und wirkt nun im Bodebett ähnlich wie ein Mühlenwehr. (Orig. R. Potonié).

modelliert worden und wirkt nun in ihrem Bett ähnlich wie ein Mühlenwehr.

Wo fließendes Wasser als Wasserfall über eine Geländestufe hinabstürzt, wird die einschneidende Kraft besonders groß. Besonders kräftig hobelt hier das Festmaterial über die Kante hinweg. Das Wasser ist hier deutlich bestrebt, seinem Bett ein gleichmäßig abnehmendes Gefälle zu geben. „Es will“ in seinem Abfließen jenen relativ stabilen Zustand erreichen, nach dem

alle heterogenen Systeme streben. Der Wasserfall rückt daher, seine Fallhöhe mehr und mehr erniedrigend, talaufwärts und schafft vor sich eine mehr oder minder tiefe, steilwandige Schlucht, die Klamm (rückwärtsschreitende Erosion). Dies vollzieht sich solange, bis das Gesamtgefälle des Wasserbettes ein relativ stabiles geworden ist. (Das Gleichgewichtsprofil ist erreicht.)



Abb. 7. Oberes Ende eines Trockentals; der Neuendorfer Rummel des Fäming mit V-förmigem Querschnitt; der Blick ist abwärts gerichtet. (Orig. R. Potonié.)

Unmittelbar an der Stelle, auf die das Wasser eines Wasserfalls herabstürzt, entstehen Strudellöcher, in denen Gerölle, hier Rollsteine genannt, als Bohrer wirken. — Überhaupt vollzieht sich die Umgestaltung des Flußbettes durch einen, z. B. am jähen Abfall eines Tafellandes befindlichen Wasserfall nicht nur durch die Zerstörung an der Überfallkante, sondern auch durch die Wirkung des unten auftreffenden Wassers (z. B. bei den Cañons). Der Niagarafall z. B. ist 50 m hoch. Sein jährlicher Rückgang soll etwa 33 cm betragen.

Je weiter ein Fluß vom Zustande der oben erwähnten Stabilität entfernt ist, desto mehr wird er uns Wasserfälle, Stromschnellen und ähnliches vorweisen. Am Wasserfall wirkt das Wasser — wie wir sahen — am stärksten erodierend, und zeigt uns damit, daß hier ein besonders labiler Zustand, nämlich die Geländestufe, möglichst schnell beseitigt wird.

Während, wie aus dem bisher Gesagten hervorgeht, die Hauptarbeit des Flusses im Oberlauf in einem Ansägen der Erdrinde besteht, kommt weiter unten zu der nur allmählichen Vertiefung des Bettes eine Verbreiterung des Tales. Daher haben wir im Oberlauf steilere Hänge. Man spricht hier von einem jugendlichen Tal. Im Querschnitt erscheint es *V*-förmig. Infolge der fast ausschließlichen Vertiefung versuchen sich die steilen Abhänge immer wieder dem natürlichen Böschungswinkel des angesägten Gesteines zu nähern (Abb. 7).

Bei genauerer Beobachtung bemerken wir im Mittellauf einen Wechsel zwischen Aufschüttung und Forttransport. Letzterer findet gewöhnlich nur bei Hochwasser statt. Durch die Aufschüttung entsteht ein ebener Talboden, auf dem der Fluß hin- und herpendelt. Zu den Seiten des ebenen Bodens befinden sich Abhänge von geringerer Böschung. So kommt für den Querschnitt des Mittellaufs eine etwa -förmige Gestalt heraus.

Man kann demzufolge einen Ober-, Mittel- und schließlich auch einen Unterlauf unterscheiden, und dies umso deutlicher, je weiter der Fluß vom Gleichgewichtszustand entfernt ist. Im Längsschnitt des Flusses erblicken wir im Unterlauf das geringste Gefälle; an dieses schließt sich im Mittellauf dessen stärkeres Gefälle und hieran oft recht unvermittelt das noch stärkere Gefälle des Oberlaufes. Mit der Zeit werden diese Differenzen des Gefälles mehr und mehr ausgeglichen; das Gefälle und damit auch die Fließgeschwindigkeit des Flusses nehmen zur Mündung hin immer allmählicher ab.

Eine Tieferlegung des Strombettes kann durch das Zurückgehen des Quellgebietes gegen das Gebirge erfolgen, wenn durch dieses Zurückgehen die Wassermenge vermehrt wird. Zum Teil hierdurch kommt es auch dazu, daß der Fluß sich in seine eigene Beschotterung hineinsägt und somit zur Bildung von Schotterterrassen schreitet. Auch da, wo die Wasserführung im Verlaufe größerer Zeitabschnitte aus anderen Gründen schwankt, wechseln Aufschüttung und Einschneiden miteinander ab; wir können

dann mehrere deutlich von einander geschiedene Schotterterrassen erhalten. Endlich wirken in diesem Sinne Senkungen unterhalb oder Hebungen oberhalb des zur Terrassenbildung schreitenden Flußabschnittes. „Erosion kommt nur zustande, wo die Transportkraft ausreicht, mehr Schutt wegzutragen, als in den Fluß gelangt. Die Erosionskraft des Flusses hängt daher im wesentlichen von seiner Transportkraft ab, und die Theorie der Erosion ist darum in der Hauptsache auf die Untersuchung der Transportkraft aufgebaut. Ein kleiner Gebirgsfluß muß starkes Gefälle haben, um den Schutt transportieren zu können und stellt die Erosion ein, sobald das Gefälle nicht mehr dazu ausreicht. Ein großer



Abb. 8. Mäanderbildung der Wipper bei Dankerode im Harz; breite Talsohle, auf welcher der Bach hin- und herpendelt. (Orig. Horst Potonié.)

Strom dagegen kann den Sand und Schlamm weiterführen, weil seine Wassermasse ihm große Transportkraft verleiht. Jeder Fluß schneidet sich solange ein, bis sein Gefälle bei gegebener Wasserführung gerade ausreicht, um den hincingelagerten Schutt wegzutragen.“ (Hettner.)

Auch im Querschnitt des Flusses ist die Geschwindigkeit der Wasserbewegung nicht in allen Teilen eine gleiche. Das Wasser reibt sich am Boden des Flußbettes und bewegt sich daher in dessen Nähe langsamer als nahe dem Wasserspiegel. Je tiefer also ein Flußbett ist, desto größer wird bei gleichem Gefälle die Durchschnittsgeschwindigkeit des Wassers sein. Daher auch fließt das Wasser in den flacheren Teilen unweit der Ufer viel langsamer als in der

Mitte des Stromes. Hier befindet sich der Stromstrich; die Linie größter Geschwindigkeit. Aber nicht immer liegt der Stromstrich in der Mitte des Flusses. In Flußbiegungen verschiebt sich die größte Wassertiefe zum Außenufer der Flußkurve (Abb. 66).

Einen Reichtum an Flußbiegungen zeigt namentlich der ein verhältnismäßig geringes Gefälle aufweisende Mittellauf. Hier

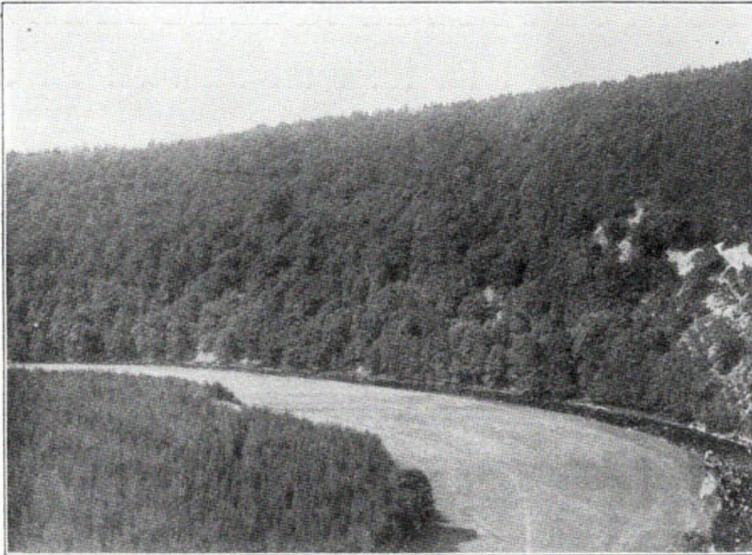


Abb. 9. Flußschleife mit Steilhang an der Außen- und Schwemmland an der Innenseite. Die Bode vom Wilhelmblick (bei Treseburg) aus gesehen. (Orig. R. Potonié.)

beginnt der Fluß „müde“ zu werden und damit setzt die sehr charakteristische Mäanderbildung (Serpentinen-, Flußschleifenbildung) ein. Wegen zu geringen Gefälles können oft selbst mäßige Widerstände nicht ohne weiteres überwunden werden. Das Wasser wird von ihnen abgelenkt, jedoch nur, um nunmehr mit der Kraft des Rückstoßes die gegenüberliegende Flußbettseite zu bearbeiten und dort ein Steilufer zu schaffen. An dem Steilufer findet also ein neuer Anprall des Wassers statt, der nun wiederum einen Rückstoß bewirkt usw. So wird es klar, warum ein Fluß, erst einmal aus seiner geraden Bahn gelenkt, mehr und mehr in einen sich schlängelnden Lauf hineingerät (Abb. 8).

An der Außenseite der Flußkurven muß das Wasser am schnellsten fließen, gedrängt von nachfo'genden Wassermassen. Hier wird der Fluß daher am tiefsten, denn hier wirkt er wegen der Fließgeschwindigkeit am stärksten erodierend. Er unterhöhlt (die Kurve immer vergrößernd) das Ufer und verwandelt es so in ein Steilufer (Abb. 9). An der Innenseite der Kurve dagegen, wo das Wasser am langsamsten fließt, wird notwendigerweise ein beträcht-

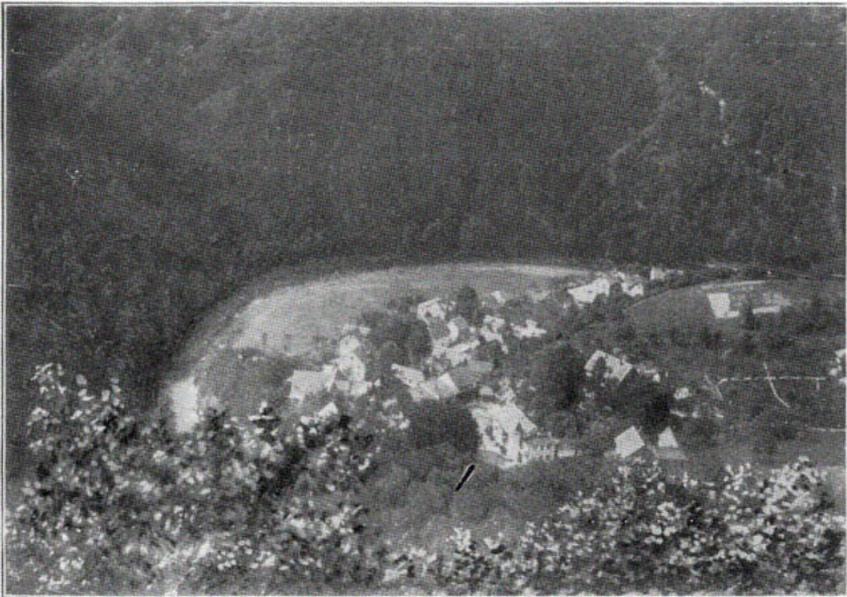


Abb. 10. Treseburger Kessel im Harz; gesehen vom „Weißen Hirsch“ aus. Das jüngere Schwemmland ist nicht bebaubar. (Orig. R. Potonié.)

licher Teil derjenigen Produkte zum Absatz gebracht, die am Steilufer der vorigen Biegung losgelöst worden sind. Es bildet sich eine das Wasser verflachende Schotter- oder Sandbank. So wird der ganze Lauf stetig durch Abtragung an dem einen und Anschwemmung an dem anderen Ufer in der Richtung zum Steilufer verlegt. Gleichzeitig vermag er sich unter Umständen tiefer und tiefer einzuschneiden. Durch eine derartige Arbeit ist z. B. der verhältnismäßig große Treseburger Kessel im Harz geschaffen worden (Abb. 10), der die Treseburger Ansiedlung ermöglicht hat. Das