

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Klimazonen der Verwitterung und ihre Bedeutung für die jüngste geologische Geschichte Deutschlands.

Von **Hermann L. F. Meyer** (Gießen).

(Mit 7 Textfiguren.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
I. Die klimatischen Bodenzonen der Jetztzeit und die wichtigsten Vorgänge bei ihrer Entstehung	196
1. Allgemeine Bedingungen	196
2. Humide und aride Gebiete	197
3. Das aride Gebiet und seine Verwitterung	199
4. Das humide Gebiet	202
a) Die humusführenden Bodenzonen	203
b) Die humusfreien Bodenzonen	205
c) Die grundlegenden chemischen Vorgänge	206
5. Gestein und fossile Verwitterung	208
6. Marine Sedimente und Klima	212
7. Geotektonische Beziehungen	214
II. Klimatische Bodenbildungen im Tertiär und Diluvium Deutschlands .	217
1. Überblick über Deutschlands fossile Landoberflächen	218
2. Verwitterung im Tertiär	221
a) Verwitterungslagerstätten der Lindener Mark und der Vogelsberg-eisenerze	223
b) Präoligocäne Humus-Kaolinisierung	224
c) Roterde- und Hydraterdebildungen	227
3. Verwitterung im Diluvium	232
a) Interglaziale Rotlehmbildung	232
b) Glaziale mechanische Verwitterung	234
c) Aride Verwitterung	235
4. Anzeichen horizontaler Gliederung in Deutschland	236
5. Die Temperaturverhältnisse im Vergleich zur Jetztzeit	239
III. Überblick über vortertiäre Verwitterung in Deutschland	241
1. Kreide	241
2. Jura	242
3. Trias	243
4. Perm	244
5. Präcarbon	244
Zusammenfassung	245

Bei der Beurteilung geologischer Vorgänge war der Gegensatz »Festland und Meer« früher einer der bezeichnendsten Punkte. In dem einen Gebiet wirkte nur die Verwitterung an der Zerstörung der Gesteine, in dem anderen sammelten sich die Zerstörungsprodukte zu Sediment-

gesteinen an. Neben dem Meer galten wohl auch Seen und Teiche als Sedimentationsgebiete. Die fortschreitende Erkenntnis zeigte aber, daß dieser Gegensatz nur ganz allgemein zu fassen wäre, daß man nur Abtragungs- und Auflagerungsgebiete¹⁾ einander gegenüberstellen darf. Auf dem Festland und im Meer findet sowohl Zerstörung wie Absatz von Gesteinen statt. Wenn wir beide Gebiete gegeneinander stellen wollen, können wir höchstens sagen: Das Meer ist der Bezirk vorwiegender Auflagerung, das Festland der Bezirk vorwiegender Abtragung.

Für das Meer ist dieser Satz unbedingt richtig. Denn die Abtragung tritt in ihm sehr zurück. Wenn wir von der Wirkung der Wellen und der Brandung absehen wollen, da diese sich ja eigentlich auf das Festland beziehen, so ist nur die abtragende Wirkung der Strömungen hervorzuheben und diese wirkt wohl mehr sedimentationsverhindernd als direkt abtragend. Der Unterschied von »stetiger und unterbrochener Sedimentation« wird durch sie bedingt.

Für das Festland ist aber das Verhältnis von Abtragungsgebiet zu Auflagerungsgebiet ein anderes, das zweite Gebiet ist nur wenig kleiner als das erste. Auch auf dem Festland finden sich also größere Sammelmulden zu Aufnahme von Zerstörungsprodukten anderer Gesteine. Diese Sammelmulden sind verschiedentlich mit Geosynklinalen verwechselt worden, müssen aber der abweichenden Tektonik wegen, die nur vorübergehendes Eindringen des Meeres gestattete, scharf von diesen abgetrennt werden. (S. Abschn. 7.)

WALTHER²⁾ war der erste, der das Vorhandensein mächtiger terrestrischer Sedimente behauptete. Die Wüsten sollten Sammelmulden dafür sein. Seine grundlegenden Arbeiten, ohne die ein weiterer Fortschritt nicht möglich gewesen wäre, werden häufig von neueren Autoren nicht zur Genüge berücksichtigt.

Eine feste Begründung der auf dem Festland herrschenden Gegensätze und eine Klarlegung der grundlegenden Vorgänge ist erst in neuerer Zeit durch RAMANN und PENCK erfolgt. RAMANN gab sie mehr in bodenkundlich-chemischer, PENCK mehr in geologisch-physiographischer Beziehung. Klimatische Eigenheiten geben die Unterschiede, die in dem Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung gipfeln und verschiedene Einwirkung der Verwitterung ermöglichen.

Zwei³⁾ wichtige gegensätzliche Gebiete lassen sich auf dem Festland unterscheiden: das humide und das aride. In

¹⁾ Da wir nicht immer sicher wissen können, ob es sich in der geologischen Vergangenheit um marine oder nicht-marine Verhältnisse handelt, schlug ich 1913 (2) vor, für »Festland« den Begriff Hochgebiet zu setzen, falls bei Beschreibungen Zweifel vorhanden sind oder eine ganz objektive Darstellung gegeben werden soll.

²⁾ Die Literatur wird durch Autornamen und wenn nötig Jahreszahl gegeben und ist am Schlusse alphabetisch zusammengestellt.

³⁾ Das dritte, nivale Gebiet vernachlässige ich hier. In bezug auf das Verhältnis von Niederschlag zu Verdunstung und die stattfindende Abfuhr der Ver-

dem ersteren fällt mehr Niederschlag als verdunsten kann, in dem zweiten findet das umgekehrte Verhältnis statt. Das humide Gebiet ist daher das Abtragungsgebiet, das aride das Auflagerungsgebiet des Festlandes.

Die grundlegenden Vorgänge des ariden Gebiets sind noch nicht ganz klargestellt. Sie ermöglichen nur eine allgemeine Verwendung in der geologischen Vergangenheit. Im humiden Gebiet ist dies anders. Hier sind wir über das Auftreten weiter klimatischer Bodenzonen durch die Bodenkunde genau orientiert, wengleich auch hier noch viel zu erforschen ist. Eine Anwendung der über das Wirken der Verwitterung festgestellten Tatsachen auf die geologische Vergangenheit, das Studium fossiler Bodenbildungen, ist bisher nur untergeordnet erfolgt. WÜST hat wohl zum ersten Mal Profile durch fossile Verwitterungsrinden gegeben. Der erste, der einen etwas weiteren Überblick versuchte und auf Reste tertiärer Verwitterungsrinden hinwies, war STREMMER, doch gelang ihm noch keine zeitliche Sonderung. Im Jahre 1913 wies ich in dem »Untergrund des Vogelsberges« (KAISER-MEYER) auf zwei scharf getrennte Verwitterungsperioden im Vogelsberg hin. AHLBURG hob diese 1915 genauer aus dem Westerwalde hervor. FLIEGEL und dann besonders BEYSCHLAG besprachen die Verbreitung der präoligocänen Kaolinisierung. BLANCK erörterte die Verbreitung der diluvialen Roterdeverwitterung. GLINKA besprach (S. 218—235) einige begrabene und alte Böden. Alle übrigen Arbeiten geben nur Einzelangaben.

Was ich im folgenden bespreche, betrachte ich als den Versuch einer Zusammenstellung¹⁾, dem noch vieles Unvollkommene anhaftet. In der Literatur werden sicher noch Angaben zu finden sein, die verwertbar sind. Sie aufzufinden, würde die unmögliche Arbeit bedeutet haben, die ganze Literatur Deutschlands durchzusehen. Für Kritik und Hinweise werde ich daher dankbar sein, zumal ich es als eine Hauptaufgabe betrachte, eine Anregung auf diesem bisher wenig beachteten Gebiete zu geben. Ausdrücklich möchte ich betonen, daß ich im Abschnitt I nur die grundlegenden Vorgänge der klimatischen Bodenzonen besprechen will, soweit sie für das Folgende zum Verständnis nötig sind. Vieles habe ich in der ganzen Zusammenstellung überhaupt nur andeuten können; freilich war dadurch eine gewisse Flachheit des Textes unvermeidbar. Auf Analysenziffern habe ich völlig verzichtet, sie bilden aber eine durchaus nötige, unentbehrliche Grundlage. Völlig unmöglich war es, etwa die gesamte in Frage kommende Literatur anzugeben und jeden herangezogenen Fall einer fossilen Verwitterung ein-

witterungsprodukte entspricht es dem humiden Gebiet. Nach der Art des Transports und der Ablagerung und infolge der eigenartigen petrographischen Ausbildung der Sedimente ist es aber zum Teil auch als Auflagerungsgebiet wichtig. WALTHER unterscheidet das tropisch humide Gebiet als pluviales.

¹⁾ In gekürzter Form als Vortrag gehalten auf der Versammlung des Niederrhein. geol. Vereins am 16. Juni 1916 zu Aachen.

gehend, wie z. B. die Vogelsbergerze, zu besprechen. Es wird dies einer späteren ausführlichen Darstellung vorbehalten, die dann auch die prätertiären Vorkommnisse weitgehend heranziehen wird.

I. Die klimatischen Bodenzonen der Jetztzeit und die wichtigsten Vorgänge bei ihrer Entstehung.

1. Allgemeine Bedingungen.

Als Verwitterung bezeichnen wir die unter dem komplexen Einfluß der exogenen Kräfte bewirkte Zersetzung der äußersten Erdrinde¹⁾. Als Verwitterungsprodukt entsteht der Boden. Durch den Ausdruck »Verwitterung« sind die maßgebenden Faktoren bezeichnet, es sind die Einflüsse des Wetters. Von dem Wetter wissen wir, daß es auf der ganzen Erdoberfläche nicht gleichmäßig ist, sondern klimatisch differenziert erscheint. Daraus ergibt sich sofort, daß die davon abhängige Verwitterung ebenfalls klimatisch verschieden sein wird, daß wir Klimazonen der Verwitterung, klimatische Bodenzonen unterscheiden müssen. Amerikanische (HILGARD) und russische (SIBIRZEFF) Forscher haben aus ihren weiten Gebieten zuerst Belege dafür gebracht. Lange ist schon der sog. »Laterit« als typisches tropisches Verwitterungsprodukt bekannt. In Deutschland hat RAMANN das große Verdienst, in seinem Lehrbuch besonders auf klimatische Bodenzonen hingewiesen zu haben. Wesentlich durch seine Arbeit ist der Begriff der Klimazonen in Deutschland fest begründet worden. Die weite Verbreitung der präoligozänen Humus-Kaolinisierung hob er als erster hervor. Einen sehr wichtigen weiteren Fortschritt haben die wertvollen Arbeiten von LANG gebracht, der aus tropischen Gebieten wesentliche neue Erfahrungen mitbrachte.

Das Klima einer Gegend wird wesentlich durch Temperatur und Niederschläge bezeichnet. Daher werden beide auch wesentlich für die Verwitterung in Frage kommen. LANG hat diese früher vernachlässigte Tatsache erst in das rechte Licht gesetzt. Neben diese Hauptfaktoren treten noch andere lokale wie Gestein, Exposition, Vegetation, die häufig große Bedeutung z. B. bei Rohhumus-Ablagerungen²⁾ haben, doch will ich von ihrer Erörterung ganz absehen. Sie bewirken, daß verschiedene Bodenarten, wie besonders an der Grenze des humiden und ariden Gebietes, scharf nebeneinander und abwechselnd auftreten können. Obgleich z. B. Süddeutschland fast schon dem Gelberdegebiet angehört, findet sich unter dem Einfluß der Höhe auf dem Feldberg im Schwarzwalde Rohhumus und Bleicherde, der Ortstein ist unter diesen Einflüssen weit im Schwarzwald verbreitet.

¹⁾ Sie erstreckt sich bis zum Grundwasser und entspricht dem Verwitterungsgürtel VAN HISES. Tiefer folgt der Zementationsgürtel, der wesentlich mächtiger als der erste ist und bis rund 10 km Tiefe reicht. Beide zusammen setzen die Zone des Katamorphismus oder des Abbaus zusammen.

²⁾ Kohlenablagerungen sind daher an sich nur untergeordnet klimatisch bodenkundlich verwendbar.

Der Gang von Temperatur und Niederschlag vom Pol bis zum Äquator ist kein gleichmäßiger. Allerdings steigt die Temperatur tatsächlich gleichmäßig von -20°C Jahresmittel bis zu $+30^{\circ}\text{C}$, nicht aber die Niederschläge. Eine Kurve, die die Regenmengen vom Pol bis zum Äquator darstellt, weist 2 Maxima auf, — im Gebiet des 20. Längengrades z. B. — von den regenreichen Gebirgen abgesehen — das eine im südlichen Mitteleuropa mit 750—1000 mm jährlicher Regenmenge und das andere im zentralen Afrika mit 2000 bis über 4000 mm. Zwischen diesen beiden Gebieten liegt ein regenarmes Gebiet mit jährlichen Niederschlägen unter 250 mm, der nördliche Trockengürtel. Auf der Südhalbkugel der Erde herrscht das entsprechende Verhältnis, hier trennt ein südlicher Trockengürtel die zwei feuchten Gebiete. Regenarm sind außerdem die polaren Gebiete ungefähr vom 70. Breitengrade nach N. bzw. S. zu.

Die gemeinsame Einwirkung von Temperatur und Niederschlag ergibt verschiedene Bodenarten, die je durch das Vorherrschen des einen oder anderen Faktors verschiedene Zersetzungsgrade zeigen werden. Um dies zahlenmäßig zum Ausdruck bringen zu können, hat LANG den Begriff des Regenfaktors eingeführt, der durch das Verhältnis Niederschlag: Temperatur bezeichnet, welche Regenmenge auf 1 Grad Temperatursteigerung kommt. Der Regenfaktor soll angeben, welche Bodenart günstigenfalls an der betreffenden Stelle noch vorkommt. (Näheres siehe bei LANG, 1915, Mitt. f. Bodenk.) Da nun der Gang der Niederschlagskurve vom Pol bis zum Äquator im Verhältnis zur Temperatur ein sehr unregelmäßiger ist und dabei Zähler und Nenner des Bruches verschiedene Werte erreichen können, ergeben sich dieselben Regenfaktoren für verschiedene Breiten. Sehr kleine Werte für den Regenfaktor werden sich ergeben, wenn die Niederschläge sehr groß oder die Temperatur sehr gering wird. Dies gilt z. B. für den Pol und den Äquator, die also bodenkundlich gewisse Ähnlichkeiten bieten werden, wie dies in der Erhaltung des Humus zum Ausdruck kommt. (Siehe unten.)

Gleiche Werte erhält der Regenfaktor auch zu beiden Seiten des Trockengürtels mit der Ziffer 40, die also die regenreichen von den regenarmen Gebieten abtrennt. (Vgl. die Tabelle S. 207.)

2. Humides und arides Gebiet.

Der Unterschied regenarmer und regenreicher Gebiete bedeutet eine erste wichtige klimatische-bodenkundliche Trennung. Wir sprechen von ariden und humiden Gegenden¹⁾. Nachdem die Begriffe rein

¹⁾ Zu diesen kommt rein klimatisch noch das nivale Gebiet. Bodenkundlich kann es vernachlässigt werden. Die Frostwirkungen, Erdfließen, die Schmelzwassereinflüsse am Rande des Eises gehören zur polaren Provinz des humiden Gebietes, durch die Regenarmut wird häufig scheinbar arider Charakter bedingt. Es werden aber dennoch alle Zerstörungsprodukte aus dem Lande herausgeführt.

bodenkundlich festgelegt waren, hat PENCK sie 1910 genauer in bezug auf die Wasserführung und damit in bezug auf die Wirkung des Klimas auf die Landoberfläche charakterisiert. VAN HISE tat dies schon 1904. Nicht die Regenmenge an sich ist das Ausschlaggebende, sondern die Verdunstung. Im humiden Gebiet fällt mehr Niederschlag als verdunsten kann. Das überschüssige Wasser fließt in Form von Flüssen in das Meer ab. Im ariden Gebiet hat die Verdunstung den größeren Wert. Ständige Flüsse fehlen also. Die Verdunstung kann sogar so groß sein, daß aus einem humiden Gebiet zuströmende Flüsse völlig vernichtet werden. Das humide Gebiet hat infolge der ständigen Flüsse eine gleichsinnige Abdachung zum Meer. Alle Zerstörungsprodukte werden vom Festland in das Meer geschafft, das humide Gebiet ist das Abtragungsgebiet des Festlandes. In dem ariden Gebiet, das durch Wüsten und Steppen charakterisiert ist, fehlen ständige Flüsse. Ungleichsinnige Abdachungen herrschen vor, geschlossene Hohlformen, Becken und Wannen. Innerhalb der Becken kann es zu zentripetalen Flußsystemen kommen. Eine gleichsinnige Abdachung zum Meer fehlt aber, selbst wenn aride Gegenden direkt am Meere liegen. Die Zerstörungsprodukte werden also nicht aus dem Lande hinausgeschafft werden können. Das aride Gebiet ist das Auflagerungsgebiet des Festlandes. Terrestrische Sedimente in größerer Ausdehnung weisen daher zunächst immer auf aride Verhältnisse hin.

Aus den geschilderten Eigenheiten humider und arider Gesteine ergibt sich eine sehr wichtige Tatsache über ihre Erhaltbarkeit in der geologischen Vergangenheit. Infolge der gleichsinnigen Abdachung zum Meere werden humide Gesteine immer wieder abgetragen werden, falls nicht besondere Erscheinungen ihre Konservierung bewirken. Tektonische Störungen können in Frage kommen, wenn Senkungsgebiete wie z. B. das Oberrheintal allmählich aufgefüllt werden oder eine nachträgliche Versenkung wie in manchen mitteldeutschen Tertiärgräben erfolgt. Bekannt ist die Erhaltung unter dem Schutze von Basaltdecken, wie sie bei allen Vulkangebieten zu sehen ist. Sehr schön zeigt der Vogelsberg, wie nur am Rande oder in randlichen Tälern der tertiäre sedimentäre lockere Untergrund zu erkennen ist. Eine starke diagenetische Verfestigung wird ebenfalls erhaltend wirken, ebenso wie der Absatz in Höhlen oder auf Kalken. Die Tertiärschotter in der Nachbarschaft des Lahntales sind zum Teil unmittelbar an die Begrenzung der Kalke geknüpft, weil auf diesen infolge der Karsterscheinungen die übliche Abtragung nicht wirken kann, sondern ein Einsinken der Sedimente in die Höhlen und Taschen des Untergrunds stattfindet. (Vgl. AHLBURG, S. 284.) In Spalten sind die eingesunkenen Tertiärschotter wie z. B. bei Fachingen häufig fest mit der Oberfläche des Kalkes verkittet, so daß man ein einheitliches Gestein vor sich zu sehen glaubt. Allerdings kann dieses Einsinken in bezug auf die Meereshöhe

keine erhebliche Verschiebung schaffen, sondern bleibt an das allgemeine Abtragungsniveau geknüpft, wie z. B. aus der geringen Höhendifferenz der Tertiärschotter auf den Grauwacken und den Kalken der Lindener Mark bei Gießen hervorgeht. (Vgl. Geol. Spezialkarte des Gr. Hessen, Bl. Gießen; aufgen. von W. SCHOTTLER.)

Für aride Sedimente ist die Erhaltung an sich klar, da es sich um Auffüllung eines nicht gleichmäßig entwässerten Gebietes handelt. Es findet nur eine allmähliche Verlagerung in das tiefste erreichbare Becken statt, wie es wohl für den deutschen Buntsandstein im Verhältnis zum Vindelizischen Gebirge, die Böhmisches Masse oder das Zentralplateau gilt. Gerade durch diese Erscheinung erhalten aride Gesteine eine viel größere Wahrscheinlichkeit der Erhaltung. Es ist kein Zufall, daß der größte Teil der terrestrischen Gesteine der geologischen Vergangenheit als »Wüstenbildungen« bezeichnet wurden; der Ausdruck »Wüste« enthielt dabei freilich eine Übertreibung, es handelt sich meist um aride Aufschüttungsgebiete. Besonders von Bedeutung für die Anhäufung festländischer Sedimente sind dabei die Beziehungen zu der Bruchtektonik, auf die ich unten näher eingehen werde. (Vgl. I, 7, S. 214.)

Wenn ein arides Gebiet in Nachbarschaft eines glazialen vorkommt und die Moränen in das aride Gebiet geschoben werden, so ist es klar, daß glaziale Sedimente auf diese Weise viel besser erhalten bleiben können, als wenn sie in ein humides Gebiet hereingeraten, wo sie schnell zerstört werden. Die Häufigkeit glazialer Reste der geologischen Vergangenheit in manchen Gebieten beruht darauf, daß sie hier besser erhalten wurden als in anderen.

3. Das aride Gebiet und seine Verwitterung.

Das Schicksal der chemischen Zersetzungsprodukte charakterisiert die beiden Klimareiche noch genauer. Bei der chemischen Zerstörung der Gesteine entsteht allgemein ein löslicher und ein unlöslicher Teil¹⁾. Als lösliche entstehen Na-K-Ca-Mg-Ba-Fe-Mn-P-Si-Verbindungen und andere. Als unlösliche bleiben zurück kolloide wasserhaltige Tonerdesilikate, Eisenoxydsilikate, Magnesiumsilikate, Aluminiumkieselsäuren, Aluminium- und Eisenhydrate und Quarz. Im humiden Gebiete werden die löslichen Stoffe aus dem Lande allmählich herausgeführt, auch die unlöslichen Rückstände erleiden allmählich eine Abfuhr. Die Humusverbindungen wirken im humiden Gebiet besonders zerstörend ein und machen das Eisen beweglich. Im ariden Gebiet tritt Humus in seiner Wirkung stark zurück, daher bleibt Eisen in seinen Verbindungen unlöslich. Es ist in dem grauen oder weißgrauen Boden nicht

¹⁾ Man spricht häufig von einer »einfachen« und »komplizierten« chemischen Zersetzung. Es sind dies aber Begriffe, die nie scharf auseinandergehalten werden können. Die Lösung eines Kalkes ist an sich eine »einfache« Erscheinung, die Bildung von Roterde in Vertiefungen von Kalken unter bestimmten klimatischen Verhältnissen beweist aber, daß in Wirklichkeit komplizierte Verwitterung vorliegt.

als Überzug der Sandkörner, sondern in der Form von vielen bräunlichen Limonitkörnern erhalten, die sich in der Farbe des Bodens kaum bemerkbar machen können. Unter dem Einfluß humider Verhältnisse wird es fein verteilt und wirkt bei geringem Gehalt schon oft stark färbend. HILGARD wies 1911 darauf hin.

Allgemein findet im humiden Gebiet eine dauernde Durchfeuchtung des Bodens statt, die Niederschlagsmengen durchsickern den Boden in der Richtung von oben nach unten und führen das lösliche Material mit sich. Im ariden Gebiet ist unter dem Einfluß der starken Verdunstung der Vorgang ein umgekehrter. Die Bodenlösungen werden durch die austrocknende Oberfläche kapillar nach oben gezogen. Alle löslichen Produkte werden so nach oben geführt und müssen infolge Verdunstung des Lösungsmittels an der Oberfläche oder nahe von ihr ausfallen. So findet (mit Ausnahme der Oberfläche in bestimmten Gebieten) keine Auslaugung, sondern eine ständige Anreicherung statt. Die ariden Böden sind daher reich an löslichen Stoffen; Salze der Alkalien, von Kalk, Magnesia und Sesquioxiden finden sich weit verbreitet, Kalziumkarbonat ist ein häufiger Bestandteil und kann häufig Veranlassung zur Bildung mächtiger Konkretionen und Schichten geben. Kalk- und Gipskonkretionen sind für Steppenböden charakteristisch, wo sie zum großen Teil an der unteren Grenze des durchlüfteten Bodens auftreten. In trockneren Steppen erfolgt die Abscheidung des Kalks direkt an der Oberfläche, wo sich dichte Kalkdecken und Panzer bilden, die als Steppenalk, Kalaharikalke wohlbekannt sind. Die von WALTHER (1915) beschriebenen Eisenrinden Australiens und anderer Gebiete gehören wohl ebenfalls hierher. In den zentralen Teilen des ariden Gebiets, den Wüsten, können schließlich leichtlösliche Salze der Alkalien an der Oberfläche ausblühen. Leichtlösliche Salze bilden so ein wichtiges Kennzeichen eines ariden Gebiets.

Ein sehr interessanter chemischer Prozeß ist das Löslichwerden der Kieselsäure unter dem Einfluß der Alkalien. Verkieselungen von Kalken und Dolomiten entstehen dadurch. Auch Dolomitisierungen von Kalken sind bekannt.

In den zentralen Teilen des ariden Gebietes, den Wüsten, treten chemische Zersetzungen etwas zurück, ihre Rolle ist allerdings wohl manchmal unterschätzt worden¹⁾, jedenfalls kommt aber in diesem vegetationsfreien Gebiet die mechanische Zerstörung besonders zu ihrem Rechte. Steinige sandige Böden sind weit verbreitet. Durch Ausschwemmung aus diesen entstehen weite mit Schlamm erfüllte Becken, die fossil einen Letten ergeben, einen Boden, der aus feinsten Zerteilungsprodukten der Gesteine, aber nicht aus Ton besteht. Andererseits werden durch den Wind die feinsten Zerstörungsprodukte aus den Wüsten herausgeführt und in den vegetationsbedeckten Steppen abge-

¹⁾ Herr Prof. KAISER, z. Z. in Südwestafrika, bestätigte mir dies zufällig und unabhängig von mir brieflich.

lagert. In den Steppen bilden sich so die feinsandigen, nicht tonigen Böden, die für aride Gebiete charakteristisch sind. Der nicht bindige Charakter des Bodens wird außerdem dadurch hervorgerufen, daß die vorhandenen Bodenkolloide infolge der relativ konzentrierten Bodenlösungen absorptiv gesättigt und in Gele übergegangen sind; die kolloide Aufquellung, die den tonigen Charakter humider Böden bedingt, fehlt mehr oder weniger. HILGARD gibt dazu ausdrücklich an, daß die zersetzten Gesteine im Boden in feinkörnigem, statt in tonigem Zustande sind, weil Tonbildung zurücksteht. Der Boden ist infolgedessen häufig so locker gelagert, daß selbst in den Wäldern bei dem leisesten Windzug Staubwolken aufwirbeln. Auf Granitboden beobachtet man z. B. zu oberst einen pulvrig-sandigen Obergrund, nach der Tiefe zu immer gröberen Granitsand, der zuletzt mit auf dem Gestein lagerndem groben Granitgrus endet. In regenarmen Gebieten ist häufig Granitgrus das einzige Verwitterungsprodukt. Fossil werden sich so Arkosen und bei stärkerer Zerstörung Letten bilden, indem ich dem allerdings wohl nicht ganz so beabsichtigten Vorschlage RAMANNS 1916, nicht SALOMONS 1915 folge. Der Ausdruck »Ton« darf für solche Gesteine, z. B. der Trias nicht verwandt werden.

Eine allgemeine kurze Übersicht über die ariden Böden läßt sich noch nicht geben. Wüste, Steppe und wohl auch z. T. die Savanne sind die typischen Oberflächenformen, deren Beziehungen auf jeder Vegetationskarte der Erde klar heraustreten. Sand-, Staub- und Salzböden bilden sich in ihnen. Die Böden entstehen zum Teil nicht an Ort und Stelle durch Verwitterung anstehender Gesteine, sondern durch Auflagerung von Massen, die durch Wasser und Wind verfrachtet waren, sie sind nicht elluvial, sondern kolluvial. Sehr häufig stimmt der Begriff »Boden« mit dem Begriff »Gestein« überein, wie es im humiden Klima selten ist, weil hier die Neubildungen unmittelbare zurückbleibende Abkömmlinge der Verwitterung sind. Spanien, östl. Donaugebiet, Südrußland sind ariden Bodenbildungsprozessen ausgesetzt, die vielleicht bis nach Deutschland hineinreichen. Im Jahre 1911 geriet Deutschland mit der ganzen Nordhalbkugel in den Trockengürtel hinein, da dieser sich von den Subtropen aus nach Norden verschoben hatte. (PEPPLER, 1912.) Eine ähnliche Verschiebung fand vielleicht auf der Südhalbkugel ebenfalls statt. In dem niedrigen Grundwasserstand und dem kapillaren Aufsteigen leichtlöslicher Düngesalze im Ackerboden machte sich diese Verschiebung auch geologisch bemerkbar. Die Erscheinung zeigt uns, wie leicht eine klimatische Verschiebung eintreten und geologisch wirken kann.

In sehr eigenartiger Weise findet sich unter humidem Klima eine scheinbar aride Verwitterung, nämlich an isolierten Felsen und Bauwerken. Niederschläge dringen in freistehende Felsen nur wenig ein, durch Verdunstung wird das eingedrungene Wasser bald nach außen entfernt. Eine Wasserbewegung nach abwärts, wie eigentlich im humiden

Klima, findet nicht statt. Ein großer Teil der Verwitterungsvorgänge wird sich unter ariden Bedingungen vollziehen, da das Wasser schnell nach außen gezogen wird. An Felsen und Bauwerken beobachten wir daher sonst nur aus Wüsten bekannte Erscheinungen, wie Rindenbildungen, Krusten-Schalen-Wabenverwitterung. In verlassenen Sandsteinbrüchen, an alten Türmen und Mauern kann man diese »ariden« Erscheinungen häufig gut studieren. In einem verlassenen Buntsandsteinbrüche bei Staufenberg nördlich Gießen beobachten wir seit mehreren Jahren die Weiterentwicklung eines Pilzfelsens, der sich an einer Wand gebildet hat. Er zeigt typische feste Rinden über einem lockeren Kern und Ausblühungen von Gips. Auf diese Verwitterung isolierter Felsen hat E. KAISER 1912 zum ersten Mal aufmerksam gemacht; bei den zahlreichen Diskussionen auf diesem Gebiet ist dies auch in neuerer Zeit nicht gebührend gewürdigt worden.

Aus den vorstehenden knappen Andeutungen ergibt sich die große geologische Bedeutung des ariden Gebietes. Terrestrische Sedimente können wir normalerweise in der geologischen Vergangenheit nur aus diesem Klimareiche erwarten. Humide Bildungen bedürfen zu ihrer Erhaltung besonderer Erscheinungen, wie tektonischer Versenkungen, Überdeckung durch Lavadecken, da sie sonst der Abtragung verfallen müssen. Als sicheres Kennzeichen fossiler arider Sedimente besitzen wir die Salze und einige andere Eigenheiten; manchmal wird der Nachweis schwer sein. Schon SUESS formulierte: Salz als Kennzeichen arider, Kohle aber als das humider Sedimente, er bediente sich dabei der Ausdrücke »zentral« und »peripherisch«.

In unsere Lehrbücher haben sich die Begriffe arid und humid kaum Eingang verschafft, wie ja überhaupt eine Lehre von der Verwitterung noch an keiner Stelle geologisch unter neueren Gesichtspunkten dargestellt ist mit Ausnahme der Abhandlung von VAN HISE. Erscheinungen des ariden Klimas sind zumeist unter dem heterogenen Sammelnamen »Wind und Wüste« vereinigt. Die Verwendung des Begriffes »arid« hätte manche Streitigkeit vermieden. Viele der sogenannten fossilen Wüsten sind aride Gebiete, aber ohne Wüstencharakter.

4. Das humide Gebiet.

Die Bodenbildung im ariden Klima ist in den Einzelheiten nur unvollkommen bekannt, über die engere zonare Gliederung wissen wir nur wenig, wenn auch einzelne Gebiete genauer bekannt sind. Anders ist es mit den humiden Prozessen der Verwitterung. Ihre Lage in den alten Kulturgebieten Europas bewirkte, daß sie recht gut erforscht sind, wenn auch noch sehr viel Arbeit zu leisten ist. Ihre klimatische Einteilung erhielt einen wesentlichen Fortschritt durch die Arbeiten LANGS, der uns in der Erkenntnis tropischer Zonen sehr stark förderte. Ich schließe mich in der folgenden knappen Übersicht der Einteilung von LANG an und werde dessen Abweichungen von anderen Autoren nicht

erörtern. Die Anwendung der klimatischen Gliederung von LANG auf Tertiär und Diluvium wird zeigen, daß seine Zonengliederung zum mindesten eine brauchbare Arbeitshypothese darstellt.

a. Die humusführenden Bodenzonen.

Mehr oder weniger reiche Vegetation findet sich im humiden Gebiet, daher finden wir auch nicht völlig zersetzte Reste von Pflanzen in bestimmten Gegenden angereichert. Wir bezeichnen diese mehr oder weniger braunen oder schwarzen, nach kurzer Behandlung mit HCl durch NH_3 ausziehenden kolloiden Massen als Humus. Zwei Arten von Humus können wir unterscheiden, den Rohhumus und den neutralen Humus. Der Rohhumus wirkt im Boden durch Absorption von Mineralstoffen wie eine Säure, (daher war früher von Humussäuren die Rede). Er kann im Wasser Sole und Gele bilden. Die starke Absorption bewirkt, daß neben ein- und zweiwertigen Elementen besonders die Eisen- und Manganminerale kolloid gelöst und weggeführt werden können. Als Ortstein können sie sich in einem tieferen Bodenhorizont wieder absetzen. Als charakteristische fossile Bildungen entstehen Sphärosiderite und Phosphorite. Silikate können weitgehend zu Kaolin zersetzt werden. Kieselsäure selbst kann kolloid gelöst werden.

Aus dem Rohhumus entsteht durch Absorption bestimmter Mengen von Mineralstoffen der milde oder neutrale Humus. Dieser ist in Wasser unlöslich, bildet keine kolloiden Lösungen oder Gele und ist einer Zersetzung leichter zugänglich.

In Mitteldeutschland ist der Humus im Boden nur wenig erhaltbar. Er verleiht diesem als neutraler Humus nur eine unbedeutende schmutzig graue oder braune Farbe: Braunerde ist der typische Boden. Gehen wir von unseren Gegenden weiter nach Norden, so nimmt die Temperatur ab und die Zersetzung des Humus befindet sich mit seiner Entstehung im Gleichgewicht. Der Humus ist absorptiv gesättigt und verleiht dem Boden eine schwarze Farbe: Schwarzerde. (Dieser Begriff wird von verschiedenen Autoren verschieden verwendet.) Kommen wir schließlich nach Nordeuropa, so weist die Erhaltung des Humus unter kalter feuchter Witterung ein Optimum auf, wie schon die Entstehung zahlreicher Moore beweist. Die chemische Zersetzung tritt soweit zurück, daß eine absorptive Sättigung des Humus nicht mehr erfolgen kann: Rohhumus bezeichnet die nördlichen Gegenden, dessen deutlichste Oberflächenform die Tundra ist, aber in allen Waldgebieten Norddeutschlands sich schon geltend macht (Podsolbildung). Der Rohhumus kann stark zersetzend auf den Boden einwirken, und die löslichen Substanzen, wie erwähnt, aus dem Boden hinausführen. Dadurch kann »Bleicherde« entstehen, die sich als mehr oder weniger mächtiger Horizont unter dem Humus findet. In gewisser Tiefe kann eine Anreicherung der weggeführten Humus-Eisen-Verbindungen zu Ortstein eintreten. In den nördlichsten Gebieten tritt infolge der niedrigen

Temperatur nur eine geringmächtige chemische Zersetzung ein, elektrolytarme Wasser herrschen und bewirken eine energische Abspülung feinsandiger und toniger Teile, da keine Ausflockung eintritt. Demgegenüber tritt eine starke mechanische Zerstörung unter Einwirkung des Frostes, der gewaltige Schuttmassen schafft. Bei einer wässerigen Umlagerung dieser Verwitterungsprodukte werden Sande und Letten entstehen, also Gesteine, bei denen unter Einfluß der elektrolytarmen Wässer keine Ausflockung eintritt: RAMANN, dem wir (1915) diese Angaben verdanken, weist besonders darauf hin, daß im Gegensatz dazu in unseren Breiten durch elektrolytreichere Wässer fast bei jeder Überschwemmung mehr oder weniger tonige Ablagerungen entstehen. Das Auftreten der arktischen Fließerden ist ebenfalls durch das elektrolytarme Wasser zu erklären, es findet keine Suspension des feinsten Gesteinsmehles statt, sondern ein flüssiger Zustand bleibt bei bestimmten Wassermengen erhalten.

Selbstverständlich treten die geschilderten Erscheinungen nicht nur im arktischen Gebiet, sondern überhaupt dort auf, wo Gletscher und größere Gebirgshöhen vorhanden sind.

Wir haben damit festgestellt, daß zur Erhaltung des Humus einerseits niedrige Temperatur von Bedeutung ist, weil dabei die chemische Zersetzung zurücktritt. Rohhumus bildet sich bei einem Regenfaktor von mehr als 160, Schwarzerde von 160—100, Braunerde von 100—60 (vgl. die Tabelle). Wenn wir nun nach äquatorialen Gegenden gehen, so finden wir trotz erhöhter Temperatur dieselben Regenfaktoren und Bodenzonen nur in der Reihenfolge vom Äquator zum Pol. Dieselben Ziffern entstehen, weil die Regenmengen viel stärker als die Temperatur zugenommen haben. Unter **hohen Niederschlägen**, also starker Durchfeuchtung des Bodens, ist aber Humus ebenfalls erhaltungsfähig, weil durch die Wassermengen und hohen Temperaturen die Vegetation der tropischen Urwälder eine sehr üppige ist und andererseits nur eine geringe Zersetzung eintreten kann. Von den tropischen Urwaldgebieten des Äquators zu den lichterem Wäldern im N. und S. wird dann die Einwirkung der Niederschläge zurücktreten und die Temperatur wird zerstörend auf den Humus wirken. Rohhumus wird den Äquator (bis zu über 20° nördl. bzw. südl. Breite) charakterisieren, Schwarzerde, Braunerde schließen sich an.

Auf diese starke Humusanreicherung in den Tropen eindringlich hingewiesen zu haben, ist ein großes Verdienst von LANG¹⁾. Vereinzelte

1) In der neuen Auflage von KEILHACKS Prakt. Geologie werden leider, trotzdem das Werk erst im Sommer 1916 abgeschlossen wurde, die Angaben LANGS für die Tropen nicht verwendet. Für später dürfte auch in diesem Werke ein Kapitel über klimatische Bodenarten nötig werden. Die angeführten Verwitterungserscheinungen (S. 33—42) beziehen sich fast nur auf Braunerdeverwitterung.

Funde tropischer Moore und Bemerkungen anderer Autoren hatten darauf vorbereitet.

An sich wird die chemische Zersetzung in diesen zentralen humiden Gebieten genau so verlaufen wie in den nördlichen. Die höheren Temperaturen und Niederschläge werden aber zu chemisch stark zersetzten Böden mit rasch absickernden und stark auslaugenden Wässern führen, deren Elektrolytgehalt von den im Boden vorhandenen löslichen bzw. angreifbaren Stoffen abhängt (RAMANN, 1916, S. 281). Unter dem Einfluß dieser Wasser werden also wesentlich Tone entstehen. Mit stärkerer Auslaugung des Bodens wird aber eine Änderung des Vorganges eintreten können. (Vgl. dazu auch die Ausführungen über die Hydraterde S. 206, wo unter anderen Verhältnissen Ähnliches eintritt.)

b. Die humusfreien Bodenzonen.

Es sind nun noch die Zonen zu besprechen, die zwischen der ariden und der äquatorialen und nördlichen (bzw. südlichen) humiden Zone liegen. In ihnen gelangt die Temperatur bei fallenden Niederschlägen zur Herrschaft, Humus kann nicht mehr dauernd bestehen. Die mineralischen Bestandteile des Bodens werden färbend wirken, vor allen Dingen Eisenverbindungen. Eisen ist als Hydrat, als Brauneisen schon in der Braunerde vorhanden. Mit höherer Temperatur und dem Fehlen des Humus tritt es deutlicher hervor, es ist aber in eine wasserärmere Modifikation, gelbes Brauneisen, übergegangen: Gelberde schließt sich daher in Süddeutschland beginnend in Mittelfrankreich an die Braunerde an. Schließlich wird in den Mittelmeerländern die gelbe Modifikation¹⁾ in die wasserarme rote übergeführt, die früher mit Roteisen verwechselt wurde, es entsteht Roterde im Übergang zu dem ariden Gebiet. Außerdem beginnen andere chemische Prozesse.

Etwas anders vollzieht sich der Übergang von der tropischen Braunerde zum ariden Gebiet. Die Niederschläge nehmen schneller ab als im Norden, nur ein schmaler (?) Gürtel von Roterde schließt sich an und unter Temperaturen von mindestens 20°C bildet sich ein stark zersetzter, weißer, von roten Bändern durchzogener oder vielleicht auch gleichmäßig hochroter Boden mit Eisenkonkretionen, die Hydraterde, früher Laterit genannt. Da das letztere Wort Allgemeingut zahlreicher Forscher ohne scharfe Definition ist und vielfach Roterde damit irrtümlich bezeichnet wurde, verwende ich den Ausdruck Hydraterde, um den wichtigsten chemischen Vorgang, den wir gleich besprechen werden, von vornherein anzudeuten und jede Verwechslung auszuschließen.

¹⁾ In Wirklichkeit wird der Vorgang komplizierter sein. Bei den gelben Verbindungen kommt wohl Oxydation von Eisenoxydulverbindungen an der Luft in Frage, bei den roten aber Fällung von Eisenoxydsalzen durch alkalische Lösungen. Die gelben Hydrate geben ihr Wasser erst beim Glühen ab. (vgl. MEIGEN, 1911, S. 203.) Praktisch kommt aber die Erscheinung auf die gegebene schematische Darstellung hinaus.

Ich schließe mich der Auffassung MEIGEN (1911, S.200) an. Ursprünglich sind durch Eisenverbindungen verhärtete hochrote Bildungen damit bezeichnet worden.

c. Die grundlegenden chemischen Vorgänge.

Die unterschiedenen klimatischen Bodenzonen werden durch bestimmte chemische Prozesse bezeichnet, die ihnen eigentümlich sind. Allgemein wird die Temperatur zunächst Bedeutung haben, je größer sie ist, um so tiefgründiger wird die Verwitterung sein, wie ich oben schon auseinandergesetzt habe. Die Erhaltung von Humus im Boden ist eine unmittelbare Folge bestimmter Regenfaktoren und beeinflußt die Klimazonen besonders. Solange Rohhumus vorhanden ist, können durch diesen, der als Schutzkolloid wirkt, neben ein- und zweiwertigen Elementen vor allen Dingen Fe und Mn hinweggeführt werden. Die hellen Bleicherden entstehen dadurch, die einen ganz sterilen Boden darstellen. Das Eisen wandert also aus diesen Gebieten aus und wird an anderen Stellen wieder abgesetzt. Eine gewisse Beweglichkeit des Eisenhydrates wird auch in der Hydraterde stattfinden, doch sind wir darüber noch nicht im Klaren. Jedenfalls bleibt mit Ausnahme des Rohhumusgebietes Eisen dem Boden erhalten¹⁾ und erleidet nur mit steigender Temperatur eine zunehmende Entwässerung, die aus dem braunen kolloidalen Hydrat ein gelbes und schließlich ein rotes hervorgehen läßt. Im Lateritgebiet findet vielleicht eine gewisse Konzentration des Eisens im Boden statt, die darauf beruht, daß bei den Sesquioxiden der Fällungswert mit steigender Temperatur kleiner wird und dadurch, sowie unter Mitwirkung elektrolytreicher Bodenlösungen schnelle Koagulation im Boden nach der Bildung des Eisenhydroxydes erfolgt (VAGELER, 1913). Dadurch bleibt in der Hydraterde und dem späteren zu besprechenden Bauxit häufig die Struktur des ursprünglichen Gesteins erhalten. Erst wenn nach vollständiger Auswaschung wieder elektrolytarme Wässer wirken, können die ausgeflockten Kolloide wieder beweglich werden und sich durch erneute Ausfüllung an bestimmten Stellen konzentrieren. Es ist wahrscheinlich, daß diese Konzentration mit einer Klimaänderung zusammenhängt, wie LANG (1915) hervorgehoben hat. Ob diese Änderung sich in der Richtung auf das Braunerde- oder das aride Gebiet vollzieht, ist noch unsicher.

Den zweiten wichtigsten Unterschied der klimatischen Bodenzonen finden wir in der Zersetzung der Tonerde-Silikate.

Die stärkste Verwitterung erleiden sie im Hydraterde- und im Rohhumusgebiet, eine schwächere in den dazwischenliegenden Zonen. Im Rohhumusgebiet entsteht als Endprodukt eine komplexe Aluminium-

¹⁾ In vollem Umfange wird sich dieser Satz wohl nicht aufrechterhalten lassen. Auch in Braunerdegebieten kommen noch nicht klargestellte Wanderungen des Eisens vor.

Kieselsäure, der Kaolin¹⁾. In den anschließenden Schwarz-Braunerdegebieten tritt wesentlich eine tonige Zersetzung ein, es entsteht wasserhaltiges Aluminium-Silikat von wechselnder Zusammensetzung, Ton. Dieser Prozeß findet auch noch im Gelb-Roterdegebiet statt, neben ihm tritt noch ein anderer, der in der Hydraterde seine vollkommene Ausprägung findet. Das Aluminiumsilikat wird völlig aufgespalten, es bildet sich weißes Aluminiumhydrat²⁾, in das die Muttergesteine häufig unter Erhaltung der Struktur umgewandelt sind. Dadurch wird aber die Kieselsäure beweglich und konzentriert sich an bestimmten Stellen. Die in erheblichem Umfange zu Schmucksteinen aller Art verschliffenen Achate, Chalcedone aus dem Gebiet des Dekkantrapps sind z. B. auf diese Weise entstanden (BAUER, 1907, S. 72). Wie die Bedeutung der durch Rohhumuseinwirkung löslichen Kieselsäure anzuschlagen ist, ist noch nicht zu übersehen, daher habe ich sie zunächst in der folgenden Tabelle nicht berücksichtigt.

Schematische Tabelle der wichtigsten klimatischen Bodenzonen

Regen- faktor	Bodengebiete		Endprodukt der Silikatzersetzung	Wichtige chemische Vorgänge
160 100 60 40	Rohhumus Schwarzerde Braunerde Gelb-Roterde	Pol Nördliche humide Zone	Aluminium-Kieselsäure Wasserh. Alum.-Silikat z. T. Alum.-Hydrat	Fe wandert — Fe wandert nicht Entwäss. d. Fe-Hydr.
	0	Nördliche aride Zone	Noch nicht zu übersehen	
	40 60 100 160	Hydraterde Braunerde Schwarzerde Rohhumus	Äqua- toriale humide Zone Äquator	Aluminium-Hydrat Wasserh. Alum.-Silikat Aluminium-Kieselsäure

Temperatur steigend —→

In der Tabelle habe ich die skizzierten Verhältnisse zur Darstellung gebracht. Noch ist freilich vieles unsicher. Aus der Tabelle ergibt sich die sehr wichtige Folgerung, daß bei einem Weglassen der ariden Zone

1) Vgl. die bekannten Arbeiten von STREMMER.

2) Hell zersetzte Gesteine dürfen daher nicht mehr ohne weiteres als »kaolinisiert« bezeichnet werden. Mehreren Autoren sind dadurch schon Verwechslungen unterlaufen.

vom Pol zum Äquator die genetische Reihe rein auftritt, die dadurch nur von der Temperatur beeinflußt erscheint:

Aluminiumkieselsäure,
wasserhaltiges Aluminiumsilikat,
Aluminiumhydrat.

5. Gestein und fossile Verwitterung.

Bei Anwendung der klimatischen Bodenzonen auf die geologische Vergangenheit muß streng zwischen den Begriffen Boden und Gestein unterschieden werden. Im ariden Klima wird dies nicht immer möglich sein, weil terrestre Aufschüttung vorherrscht und aquatische immer wieder einer Verdunstung und Trockenlegung Platz macht. Salz und Konzentrationsrinden werden die Oberfläche kennzeichnen, Vergrusung, Schuttbildung werden ebenfalls kennzeichnend sein. Bei bestimmten Aufschüttungen können wir aber nur schwer den »Boden« erkennen, der lockere aufgewehte Staub z. B. wird oberflächlich nicht allzusehr ausgezeichnet sein, da die Oberfläche häufig wechselt. Mächtiger terrestre Gesteinsmassen werden allgemein zunächst für arides Klima sprechen, falls nicht tektonische und morphologische Tatsachen humide Anhäufung möglich machen. Die Entscheidung, ob humides oder arides Klima vorlag, wird also aus dem Gestein häufig möglich sein. Unterabteilungen des humiden Klimas aus dem Gestein zu erkennen ist aber fast ausgeschlossen. Die wesentlich aquatisch sedimentierten Gesteine des humiden Gebiets stellen keine subaerischen Oberflächen, keine Verwitterungsrinden dar. Trotzdem sind sie häufig in diesem Sinne verwechselt worden. Zahlreiche rote Gesteine der geologischen Vergangenheit werden als lateritische angesprochen, ohne daß wie z. B. im Perm die entsprechenden Zersetzungen bekannt sind. Es ist möglich, daß sich in den Gesteinen einer Formation auch die betr. Verwitterung widerspiegelt, falls Zersetzungsprodukte derselben Zeit abgetragen werden. In vielen Fällen wird dies aber nicht eintreten. Die Kräfte des humiden Klimas arbeiten auf eine Einebnung des Landes hin und bewirken, daß Verwitterungsrinden immer mächtiger werden, da sie schließlich keiner Abtragung mehr unterliegen, wie dies z. B. für das Präoligocän in Deutschland gilt. Bei einer Neubelebung der Erosion in einer folgenden Zeit werden zunächst die Verwitterungsprodukte der vorhergehenden abgetragen werden und dadurch den neugebildeten Sedimenten ihren Stempel aufdrücken. Das ganze deutsche Tertiär wird so noch von der präoligocänen Verwitterung in seinen hellen Sanden und Schottern beeinflußt.

Noch ungünstiger wird das Verhältnis, wenn die Abtragung nur langsam arbeitet und alte Landoberflächen lange erhalten bleiben. Unter einem anderen Klima unterliegen die Verwitterungsmassen häufig nur sehr schwer einer neuen Zersetzung. Dies beruht darauf, daß ihr einmal

durch Verwitterung hergestelltes Gleichgewicht sich zum zweiten Male nur langsam umstellen kann. Eine Rohhumuskaolinisierung wird z. B. nur sehr widerwillig zur Tonbildung übergehen, zumal wenn die ursprünglichen Kolloide sich zu Kristalloiden umgewandelt haben. (RÖSLER machte dies 1902 noch recht große Schwierigkeiten.) Ob aus einer »Laterisierung« immer schnell ein neues Bodenprodukt entstehen muß, ist recht fraglich. Zu berücksichtigen ist dabei noch, daß lokale Unterschiede ein nahes Nebeneinander verschiedener Bodenzonen ermöglichen, wie es z. B. LANG aus Indien beschrieb, wie es bei uns häufig auf verschiedenen exponierten Seiten eines Hügels möglich ist. So beobachtet man häufig, daß fossile Bodenbildungen nur geringere weitere Umbildungen erleiden. Bei Weilburg hat sich auf der präoligocänen Rinde häufig nur eine geringe Ackerkrume gebildet, im Vogelsberg zeigen jetzt noch die Äcker die rote pliocäne Färbung. Aus einer Umlagerung dieser Massen werden jetzt noch rote oder helle Böden entstehen.

Nicht immer wird dies in voller Strenge eintreten, da häufig die Zeit zu kurz sein wird, um das theoretische Endprodukt des betreffenden Klimas zu liefern. Eine Klimaänderung wird daher sofort eine weitere Zersetzung einleiten. Im Vogelsberg scheint sich aus Beobachtungen von Dr. FLÖRKE-Gießen und mir zu ergeben, daß bei der tertiären Hydrat-erdebildung auf Trapp zunächst eine Serpentinisierung von Augit und Olivin eintritt, ehe der weitere Zerfall zu Aluminiumhydrat eintritt. Wenn dieser letztere Prozeß infolge einer Klimaänderung nicht zu Ende geführt werden konnte, so wird auf den nur graugrünlich zersetzten Basalt die neue Verwitterung einwirken und ihn einer Braunerdeverwitterung unterziehen. In vielen Basaltsteinbrüchen beobachteten wir so das Auftreten zweier verschiedenalteriger Verwitterungsrinden.

Infolge der reichlichen Erhaltung der Verwitterungsböden vorhergehender Zeit wird sich jede neue Verwitterung — abgesehen von den eben erwähnten Ausnahmen — nur auf neu gebildete Gesteine dieser Zeit oder auf durch Abtragung freigelegte frische Gesteine beschränken. Wenn wir daher Gebiete vor uns haben, die z. B. aus der präoligocänen Abtragungsfläche Deutschlands herausgeschnitten werden, so wird, falls die Abtragung auf die Wasserläufe beschränkt ist, theoretisch nur an den jungen Talflanken die rezente Verwitterung zu erkennen sein. Andere Gebiete kommen erst in Frage, falls eine oberflächliche Abtragung gewirkt hat. Tatsächlich beobachtet man ja auch, daß in den Talflanken die Gesteine frisch sind, daß nach oben hin sich immer mehr entfärbte, zerrüttete und schließlich verlehnte Gesteine anschließen. Ein ganz ausgezeichnetes Beispiel dieser Art lernte ich im Attenbach bei Bonbaden (Blatt Braunfels 1 : 25 000) im südlichen Rheinischen Schiefergebirge kennen. Hier ermöglichen trotz der Kleinheit des Tälchens ausgezeichnete Terrassen die Altersfeststellung. Am Talausgang stehen frische dunkelblaugraue karbonische Grauwacken an. Es folgen zwei Terrassenstufen, die das Gestein an ihren Kanten nur als Schutt auf-

weisen. Der Bach hat sich linear einschneidend jeweils in die Verwitterungsdecke der vorhergehenden Zeit eingesenkt. Auf diese zwei Terrassen, die als Mittelterrassen anzusprechen sind, folgt ein größerer Terrassenabsatz, der der diluvialen Hauptterrasse entspricht. Die Gesteine sind auf diesem Absatz tief mechanisch zersetzt und mit Lehm gemengt und bedeckt. Höher hinauf findet sich nur noch Lehm, der über einer weiteren offenbar pliocänen Kante ohne Gesteinsschutt etwas stärker rotbraun als vorher auftritt. Bei 270 m erreicht der Bach, wie immer im Rheinischen Schiefergebirge, mit seiner flachen Quellmulde die alte Oberfläche, die mit mächtigem hellem Lehm bedeckt ist und aus der die anstehenden entfärbten Gesteine nur selten heraussehen. Genau wie die Terrassen selbst, so sind auch hier die verschiedenen Verwitterungsböden zeitlich und räumlich getrennt. Nur bei bestimmten Gesteinen, wie bei dem Löß, beobachtet man im Profil eine direkte Übereinanderfolge verschiedener Klimaperioden, weil das leicht verwitterbare Gestein immer wieder neu aufgelagert wurde. Hier fällt Absatzunterbrechung, wie ich unten näher erläutern werde, mit Klimaänderung zusammen und ist gleichbedeutend mit ihr.

Aus dieser Tatsache ergibt sich die hohe Bedeutung dieser früher vernachlässigten Massen. Schutt und Lehm müssen immer als solche bezeichnet sein, da immer die Möglichkeit ja Wahrscheinlichkeit vorliegt, daß sie fossil sind. In jungen Zeiten reif zerschnittene Gebiete, die im weiten Ausmaß die rezente Verwitterung rein zeigen, sind in Deutschland nicht allzu häufig. Nur dadurch, daß das Klima seit Beginn der Postglazialzeit nur geringe Änderung zeigte, wird das fossile Produkt häufig dem rezenten entsprechen.

Die Notwendigkeit, diese jugendlichen Massen abzuschneiden, ergibt sich auch aus der bedauerlichen Tatsache, daß der größte Teil der Landwirte den geologischen Karten noch immer fremd gegenübersteht. Tatsächlich ist diese Stellungnahme zu verstehen, da nur im Flachland der Bohrer ständig benutzt und das Bodenprofil untersucht wird. Im Mittelgebirge, auf den meist mit einer mehr oder weniger mächtigen Decke von Schutt, Lehm und den häufig mit letzterem verwechselten Abschwemmassen bedeckten Hochflächen erfolgt meist ein glattes Durchziehen der Grenzen unbekümmert darum, ob sich z. B. über Unteren Buntsandstein Schutt und Lehmassen eines darüber anstehenden Basaltes ausbreiten. Ein bewußtes Vorgehen in dieser Richtung zeigt bisher nur die geologische Landesanstalt von Württemberg. Im Gr. Hessen fand eine größere amtliche Besprechung über den mangelnden Kontakt zwischen Wissenschaft und Praxis statt. Als eine ideale Frucht davon ist wohl die Arbeit SCHOTTLERS über »den Einfluß des Bodenprofils im Flugsand bei Darmstadt auf das Gedeihen der Waldbäume« aufzufassen, die uns die verschiedene Bedeutung einer Verlehmung interessant aufweist. Wenn auf diesem Gebiete keine weiteren Anregungen erfolgen, so wird das Gebiet agrogeologischer Karten, das doch nur auf geologischer Grundlage zu verstehen ist, den Geologen völlig entgleiten. Die Ansätze zu dieser Entwicklung sind durchaus schon da.

Von den Verwitterungsböden einer Zeit müssen wir, wie erwähnt, die Gesteine in bezug auf klimatische Faktoren völlig abtrennen. Ich werde sie im folgenden nur so weit heranziehen, als sie zur Unter-

scheidung humiden und ariden Klimas dienen. Jedes weitergehende Urteil ist verfrüht, falls nicht eine bestimmte Beziehung zu einer Verwitterungsrinde vorliegt. In diesem Falle braucht dann das Gestein aber wiederum nicht berücksichtigt zu werden. Ein plötzliches Auftreten anders gefärbter Sedimente, wie im Eocän oder Pliocän Deutschlands, wird natürlich immer einen gewissen Verdacht auf Änderung in der Verwitterung erwecken. Daß ein Zusammenhang sich häufig recht geltend machen kann, ergibt sich aus den Leitgeschieben in tertiären und diluvialen Schottern, die tatsächlich die Verwitterung bestimmter Zeiten besonders typisch widerspiegeln. Aber nur dadurch, daß wir die Verwitterungsprozesse selbst kennen gelernt haben, war es möglich, die richtige Erklärung zu finden. Man vergleiche die folgenden drei Angaben mit dem späteren Abschnitt II, 2 c, S. 227:

Oberolig. Vallendarer Sch.	Lichtgraues Leitgeschiebe	Präolig. Kaolinisierung
Pliocäne Rheinschotter	Kieseloolithe	Unterplicäne Hydraterde
Altdiluviale Lahnschotter	Gelbe Kieselschiefer	Diluviale Rotlehm bildung

Noch auf eine weitere wichtige Tatsache will ich aufmerksam machen, die für ältere Formationen gilt. Hier werden die fossilen Bodenbildungen mit den Gesteinen einer mehr oder weniger großen Umwandlung unterlegen sein, je nach der Zeit und den Tiefenzonen, in denen sie sich befunden haben, Humusböden werden daher bald verschwinden. Die Kolloide werden umkristallisieren oder ihr Wasser verlieren und sich vielleicht zu neuen unkenntlichen Verbindungen umlagern. Es ist ja als charakteristisch bekannt, wie die jetzt verbreiteten Brauneisenlagerstätten, die mehr oder weniger der Verwitterung zu verdanken sind, wenn wir in die geologische Vergangenheit zurückgehen, allmählich Rot-eisensteinen Platz machen, so daß das Urteil über ihre primäre Entstehung recht schwer wird. Ich möchte es nicht für unwahrscheinlich halten, daß die weitverbreitete Rotfärbung paläozoischer und mesozoi-scher Gesteine derartig einer »säkularen Verwitterung« ihren Ursprung verdankt. Schon bei geringer Beeinflussung durch größere Tiefen muß eine Entwässerung des als Verwitterungsprodukt weit verbreiteten Eisenhydrats und damit Rotfärbung eingetreten sein. Schon SPRING (S. 51) wies darauf hin, daß das Hydrat ein nicht beständiger Körper ist, der allmählich Wasser abgibt, solange er für sich besteht. Ich halte alle diese roten Gesteine für aride Sedimente (vgl. Abschnitt II unten und Abschnitt III 3, 4), zumeist unter einem semiariden Klima unter dem Einfluß starker Abtragungen angesammelt. Auf ihre Verknüpfungen mit den großen Gebirgsbildungen gehe ich unten (S. 214) ein. Es ist sehr leicht vorstellbar, daß schon bei geringer Überlagerung durch jüngere Gesteine das in ariden Gebieten in der Form vieler bräunlicher Limonitkörner im Boden vorhandene Brauneisen unter dem Einfluß zirkulierender Wässer in Bewegung gerät, fein verteilt und später entwässert wird. Auch für humide Sedimente wird dies möglich sein, falls

sie erhalten sind, doch ist aus ihnen viel häufiger das Eisen ausgelaugt oder nur in geringen Mengen vorhanden. Dabei will ich nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß die Möglichkeit der Einschwemmung roter Verwitterungsprodukte für aride Sedimente recht nahe liegt, da ja unter den jetzigen klimatischen Verhältnissen die ariden Gebiete von einem Gürtel roter Verwitterung umgeben sind. In der geologischen Vergangenheit muß das Vorhandensein der Trockengürtel bedingt durch die Passate immer angenommen werden, wenn auch, durch besondere Gestaltung der Erdoberfläche mehr oder weniger verschoben. Daher wird immer die Möglichkeit bestehen, besonders auf der Südseite, daß Abtragungsprodukte roter Verwitterungen in aride Gebiete hineingelangen. Damit würde es übereinstimmen, daß das Material der deutschen Trias wesentlich aus dem Süden stammt (vgl. MEYER, 1913). Ich komme aber unten darauf zurück (Abschnitt III, 3), daß die »tonigen« Sedimente des Buntsandsteins keine Beziehung zu einer Hydratverwitterung haben.

Rote Farben sind von verschiedenen Autoren als beweisend für tropisches oder subtropisches Klima angesehen worden. Dies gilt nach dem, was ich über die humiden klimatischen Bodenzonen gesagt habe, nur noch in ganz geringem Maße.

6. Marine Sedimente und Klima.

Ich habe bisher nur die klimatische Anordnung terrestrer Bildungen besprochen und möchte der Vollständigkeit wegen kurz auf solche bei marinen Ablagerungen ebenfalls eingehen. Das Gleichmaß, das schon in geringen Tiefen im Meere auftritt, bedingt, daß klimatische Erscheinungen nur wenig zum Ausdruck kommen können. Trotzdem finden sich einige charakteristische Äußerungen.

Die Ausbildung mariner Sedimente hängt selbstverständlich von der Verwitterung auf den angrenzenden Festländern ab, da neritische und bathyale Sedimente von der Abtragung des Festlandes abzuleiten sind. Nur selten aber wird der Zusammenhang so deutlich kenntlich sein, wie in dem Rotschlamm. Der bathyale Rotschlamm ist auf die tropischen Meere beschränkt und entsteht durch Abtragung von Festländern mit Hydratverwitterung. Die große Menge in das Meer hinausgeführter Eisenverbindungen hindert die sonst unter dem Einfluß der Organismen eintretende Reduktion, besonders zu Schwefeleisen wie im Blauschlamm (WALTHER, Einl. i. d. Geol. S. 884).

Unmittelbar klimatisch angeordnet sind die Korallenriffe, da sie an ein Temperaturminimum gebunden sind. Freilich wissen wir von den fossilen, zum Teil ganz abweichend von den rezenten gebauten Korallen nicht, ob sie auch an diese Temperatur gebunden sind. Wir sind aber allgemein berechtigt, aus starker Kalkbildung der Organismen auf wärmere tropische Meere zu schließen. (Vgl. DACQUÉ, S. 380). Die Riffkalke können noch in anderer Weise Anzeichen des warmen Klimas mit sich führen. Auf rezenten Korallenriffen hat man oft Rot-

erdebildungen beobachtet. WALTHER (S. 932) sagt direkt, dies sei ein charakteristisches Sediment der Korallenriffe. Während man ursprünglich glaubte, daß es sich um Verwitterung der Korallen selbst handle, meinte man später, daß es durch das Meer ausgeworfene Bimssteine wären, die zu Roterde zersetzt wurden (WALTHER, S. 932). Nachdem jetzt aber auch von bodenkundlicher Seite die klimatische Entstehung von Roterde auf Kalken zugegeben wird (BLANCK 1916), sehe ich kein Hindernis darin, dies auch auf die Korallenkalke auszudehnen. BAUER (1907, S. 78) bespricht rote Hydraterde auf Korallenkalken bei Ceylon und meint, daß diese nur durch Wind dorthin verfrachtet sein könnte, weil sich winzige Quarzsplitterchen in ihr fänden, die nicht in dem Kalke wären. Es kann aber auch sehr wohl möglich sein, daß nur die Quarzkomponenten äolisch verfrachtet sind, die Roterde selbst aber primär ist. Die von BAUER gegebene Beschreibung läßt sich fast wörtlich auf ein unten beschriebenes Vorkommen aus dem Rheinischen Mitteldevon anführen. Es ist dabei gleichgültig, welcher Erklärung wir uns zuwenden, es handelt sich unter allen Umständen um eine tropische Hydrat- oder Roterdeverwitterung. (Vgl. unten III, 5, S. 239.)

Die bekannten Untersuchungen PHILIPPIS, der den mangelnden Kalkgehalt des tieferen Globigerinenschlammes nach der Antarktis zu aus der Eiszeit erklären wollte, gehören ebenfalls hierher. Der Diatomeenschlamm kennzeichnet sich auf jeder Karte ohne weiteres als Gebilde kälteren Wassers. (Vgl. hierbei und später die Bemerkungen DACQUÉS, besonders S. 379 u. f.)

Klimatisch bedingte marine Sedimente entstehen, wenn Meeres- teile unter aridem Klima abgeschnürt werden und das Meerwasser verdunstet. So sind einerseits die Kalkoolithe nach ihrem rezenten Vorkommen zu erklären, andererseits die Salzablagerungen. Weder arides Klima, noch ein abgeschlossenes Meer allein können uns fossile Salze z. B. im Zechstein erklären. Eine gleichzeitige Einwirkung beider wird nötig sein. Dies ist früher für die Erklärung mächtiger Salzlager nicht beachtet worden. Gering-mächtige Salze können auch rein terrestrisch abgeschieden werden.

Vielleicht sind wir allgemein berechtigt, chemische Absonderungen von Carbonaten im Meere klimatisch zu erklären, wo sie unter höheren Temperaturen indirekt mit dem reicheren Tierleben zusammenhängen (PHILIPPI 1907, S. 444). Warme Meeresströmungen werden hier aber fälschend wirken können, so daß die aus derartigen Sedimenten zu ziehenden Schlüsse nur ganz allgemein verwendbar sind. Es darf außerdem andererseits keine Verwechslung eintreten mit den tieferen Temperaturen einer Tiefsee, die über das Klima nur insofern etwas sagen könnten, wenn die niedrigen Ziffern tatsächlich mit der Ausbildung der Eiskalotten an den Polen zusammenhängen.

7. Geotektonische Beziehungen.

Seit den Untersuchungen HAUGS wissen wir, daß enge Beziehungen zwischen Tektonik und Sedimentation vorhanden sind. HAUG hat diese in seiner bekannten Geosynklinalen-Lehre klar zum Ausdruck gebracht, indem er darauf hinwies, daß die Faltengebirge nur an Stelle tiefer Meere entstehen. Wenn sich so marine Sedimentation mit dem Begriffe Faltung verknüpft, so ist es eine Folgerung aus diesen Zusammenhängen, daß kontinentale Sedimentation mit dem anderen wichtigen Dislokationstypus der Bruchbildung verknüpft sein muß. Mit dem Ausdruck kontinentale Sedimentation wird die Gesamtheit der auf dem Kontinent sich ablagernden Sedimente bezeichnet, d. h. nicht nur terrestre, sondern auch die den Kontinentalsockel bedeckenden, zumeist neritischen marinen Gesteine. Die Beziehungen zwischen der marinen Sedimentation und der Faltung machen dem Verständnis keine Schwierigkeiten. An Stelle des zukünftigen Faltengebirges hat sich vorher eine sich ständig einsenkende Partie der Erdkruste befunden, die als Geosynklinale bezeichnet wird. Dieses Senkungsgebiet muß sich naturgemäß dadurch auszeichnen, daß sich in ihm Meeressedimente von großer Mächtigkeit und häufig von größerer Meerestiefe ansammeln. Erst nachdem die Senkung ein gewisses Maß erreicht hat, erfolgt ein Aufsteigen des Meeresbodens und dann die Faltung. Das Auftreten der Senkung bedingt in diesem Falle die Verknüpfung von Sedimentation und Faltung. Versuchen wir nun die Beziehungen zwischen Kontinentalsedimentation und Bruchbildung zu erörtern, so stoßen wir sofort auf Schwierigkeiten. Als Ursache der Brucherscheinungen wird wesentlich seit SUESS eine Senkung betrachtet. Danach müßten sich Bruchgebiete ebenfalls durch dauernde Senkungen auszeichnen und es erscheint dann völlig unverständlich, wie sich die großen Mächtigkeiten terrestrer Sedimente insbesondere an diesen Stellen ansammeln konnten, wie es z. B. für Südafrika im weitesten Umfange gilt. Zur Erklärung der Anhäufung mächtiger kontinentaler Sedimente ist unzweifelhaft der Begriff der Hebung heranzuziehen, sonst hätten die Gebiete nicht dauernd über dem Meeresspiegel bleiben können.

Die Theorie der Bruchgebiete ist in neuerer Zeit wiederholt erörtert worden. Die Veranlassung gaben die von STILLE als Faltung bezeichneten Erscheinungen in Norddeutschland, denen insbesondere LACHMANN u. a. entgegen traten. Etwas unabhängiger von diesen hat sich über dieses Problem QUIRING (1913) und JOHANNES WALTHER (1914) geäußert. WALTHER ging von den schrägen Rutschstreifen aus, die sehr häufig auf Rutschflächen beobachtet werden, und schließt daraus, daß nicht vertikale, sondern horizontale Kräfte vorwiegend tätig gewesen wären. Ein Gegensatz zwischen tangentialen und radialen Bewegungen wäre danach nicht mehr aufrecht zu erhalten. Scheinbar radiale Dislokationen wären durch horizontale Bewegungen an schiefen Ebenen hervorgerufen. Manche Schwierigkeiten vermag WALTHER mit

seiner Hypothese zu erklären. Es stehen dem aber sehr viele andere wiederum entgegen. Ich weise nur auf das Problem der eigenartigen kleinen kegelförmigen Horste hin, wie ich einen derartigen in ausgezeichneter Weise in meiner Arbeit über den Frankenberger Zechstein nördlich Marburg nachweisen konnte, über die sich inzwischen CLOOS näher geäußert hat. Vor allen Dingen ist aber die Grundlage der WALTHERschen Annahme sehr angreifbar, da es durchaus nicht nötig ist, daß vertikale Bewegungen durch vertikale Rutschstreifen bezeichnet werden. Vielmehr wird das Absenken in vielen Fällen nicht in der vertikalen, sondern infolge mannigfacher mechanischer Widerstände in einer resultierenden Richtung vor sich gehen. Weiter wird der tatsächlich vorhandene Unterschied zwischen Faltungs- und Bruchgebieten dadurch nicht erklärt. Es müßten die beiden Typen dauernd ineinander übergehen, und schließlich, was für die folgenden Betrachtungen das wichtigste ist, aus den horizontalen Bewegungen in Bruchgebieten läßt sich eine Beziehung zu den kontinentalen Sedimenten nicht finden. Die Abtragung müßte jedes Bruchgebiet sehr schnell unter den Meeresspiegel bringen und die zur Erklärung durchaus nötige Hebung läßt sich überhaupt nicht hineinbringen.

Die WALTHERsche Arbeit ist eigentlich eine Antwort auf die Angaben QUIRINGS. QUIRING geht von Oberschlesischen Bruchgebieten aus, die durch den Bergbau genau bekannt sind. Durch Ausmessen von Profilen zeigt er, daß die geologisch höchsten Schichten vor der Störung einen geringeren Raum eingenommen haben müssen als jetzt. Nach der Schollenverschiebung müssen sie sich über einen größeren Flächenraum als vorher erstreckt haben. Die Senkung ist dann aber nur der Vorgang. Die Veranlassung für die Senkung liegt in horizontalen Zugspannungen, die uns als Zerrungen entgegen treten. Die Ursache für die Zerrungen ist aber darin zu finden, daß in dem betreffenden Gebiete eine kontinentale Hebung eingetreten ist.

Auch LACHMANN weist in Profilen STILLES aus dem Eggegebiet nach, daß hier Zerrungen eingetreten sein müssen. Im übrigen steht er für Norddeutschland auf dem Standpunkt der Senkung. Es wird sich aus dem Folgenden ergeben, daß beide Standpunkte vereinbar sind. QUIRING weist darauf hin, daß auch seinen Annahmen einige Schwierigkeiten gegenüber stehen. Andererseits hebt er aber hervor, daß von mehreren Autoren wie SUESS, RICHTHOFEN, EMANUEL KAYSER u. a. Zerrungsvorgänge in gleichem Zusammenhang erwähnt worden sind. Halten wir die Erklärung QUIRINGS gegen die übliche, so ergibt sich, daß man früher die Senkung, die ja tatsächlich auftritt, auch als Ursache des Ganzen genommen hat. Die Unterlage soll unter dem Einfluß der Schwerkraft weichen und die Rindenteile darüber einsinken. In Wirklichkeit ist die Senkung aber nur der unmittelbare Vorgang. Die zunächst liegende Veranlassung für die Senkung ist eine allgemeine Hebung, in deren Verfolg Zerrungen eintreten.

Wir können nun Faltungs- und Bruchgebiete einander schematisch gegenüber stellen: (Als Veranlassung bezeichne ich nur die unmittelbare, nicht die tiefere.)

	Vorgang	Veranlassung
Faltung	Hebung	Senkung
Bruchbildung	Senkung	Hebung

Zum Verständnis des Ganzen müssen wir hervorheben, daß die ursprünglichen Hebungen der Bruchgebiete sich über ein weites Gebiet erstrecken, so daß dann auch die Senkungsvorgänge scheinbar weite Strecken allein beherrschen. Die Senkungen haben aber nur lokale Bedeutung gegenüber dem Hauptvorgang. An zahlreichen Stellen meiner Zechsteinarbeiten habe ich darauf hingewiesen, daß das varistische Deutschland eine dauernde Hebung erfährt, daß aber episodenhaft als Folge der Erhebung immer wieder Senkungen eintreten, von denen die erste der Saar-Saale-Graben des Rotliegenden ist.

Suchen wir nun wieder die Beziehung zu dem eingangs genannten Problem auf, der Verknüpfung von Sedimentation und Tektonik. Bei marinem Gestein und Faltungen war die Beziehung durch die Geosynklinalenlehre klar gelegt. Bei Kontinentalgesteinen und Bruchgebieten waren die Beziehungen aber völlig unklar, solange die Entstehung nur durch Absinken erklärt wurde. Wenn nun aber für Bruchgebiete eine allgemeine Hebung die unmittelbare Veranlassung ist, so ist die Erklärung eindeutig möglich. Durch die Zerrungen und Bruchbildung entstehen Depressionsgebiete, in denen in kürzeren oder längeren Zeiträumen festländische oder Flachseesedimente sich in mehr oder weniger großen Mächtigkeiten ablagern. Durch Hebungen treten Sedimentationsunterbrechungen und lokale Abtragungen ein. In der Hauptsache bleiben aber die Sedimente dauernd in diesen Gebieten erhalten und sammeln sich in großer Mächtigkeit an.

Als Folgerung aus den vorstehenden Betrachtungen ergibt sich scheinbar eine Permanenz der Kontinentalgebiete. Gehen wir der Frage aber geschichtlich näher, so ergibt sich, daß dieses nur teilweise richtig ist und Faltungs- und Bruchgebiete, d. h. Tiefsee- und Kontinente in eigenartiger Weise verknüpft erscheinen. Als Unterlage kontinentaler, besonders aber terrestrischer Sedimente erkennen wir fast immer abgetragene Faltengebirge, ob wir Beispiele aus dem Paläozoikum oder aus der jüngsten Vergangenheit der Erdrinde betrachten. Für die ganze Erdoberfläche aber (mit Ausnahme offenbar des andinen Typus) erkennen wir, daß häufig eine einmalige große Gebirgsbildung stattgefunden hat und daß im Anschluß an diesen Vorgang eine intensive Verschüttung mit kontinentalen Sedimenten stattgefunden hat, die seitdem keiner weiteren Störung unterlegen sind. Nachdem die Senkungstendenz der ursprünglichen Geosynklinale sich in Hebung

und Auffaltung verwandelt hatte, ist in der Achse des Gebirges der gleiche Vorgang ein zweites Mal nicht mehr eingetreten. Eine dauernde Hebung beherrscht nun die Geschichte der Landschaft in ihrem Verfolg. Sehr schnell tritt häufig Zerrung-Bruchbildung-Einsenkung und lokale marine Überflutung ein¹⁾. In der Gesamtheit macht sich aber die Hebung in dem Vorwalten terrestrer Sedimente geltend, so daß marine Sedimente von vornherein ganz zurückgedrängt werden. Die Geschichte Deutschlands oder Südafrikas geben beide in ausgezeichneter Weise diese Tatsachen wieder.

Betrachten wir nun die Sedimente, die die Faltengebirge verschüttet haben und die seitdem keine Faltung mehr durchgemacht haben, genauer, so treten uns fast immer solche entgegen, die wir als rote Sedimente bezeichnen. Wir wissen jetzt, daß diese roten Sedimente unter einem ariden Klima entstanden sind. Ich brauche nur auf den alten roten Sandstein Schottlands, die Deutsche Trias- und die Angaraserie hinzuweisen, die alle in gleicher Verknüpfung auftreten. Schon FRECH (Lethaea, I, 2, 227) hat auf die merkwürdige Erscheinung hingewiesen, daß diese roten Sandsteine niemals an den großen Faltungen teilgenommen haben. So kommen wir zu dem eigenartigen Zusammenhang von Faltung und ariden Sedimenten. Die Erklärung für diese Erscheinung finden wir durch eine Betrachtung der terrestrer Sedimente überhaupt.

Wenn sich auf dem festen Lande terrestrer Sedimente erhalten, so werden es vorzugsweise nur die eines ariden Klimas sein können, während die humiden nur unter besonderen Umständen in großer Mächtigkeit auftreten können. Daraus ergibt sich ohne weiteres die Erklärung für die scheinbare Verknüpfung arider Sedimente mit der Faltung. Nur dann werden sich terrestrer Sedimente auf abgetragenen Faltengebirgen in großer Mächtigkeit erhalten, wenn ein solches Gebirge unter ein arides Klima gelangt. Die glazialen Sedimente werden je nach ihrem lokalen Vorkommen das Schicksal der humiden oder ariden Sedimente teilen, mit denen sie sich verknüpfen. Trotzdem die glazialen Sedimente primär in höheren Breiten häufiger vorkommen, so werden sie im Verlauf der Erdgeschichte nur in niederen Breiten sich besser erhalten können, da ja nur die ariden Sedimente dies ermöglichen. Es liegt darin ein wichtiger Gesichtspunkt für die Erklärung der »Eiszeiten« in der geologischen Vergangenheit.

II. Klimatische Bodenbildungen im Tertiär und Diluvium Deutschlands.

An dem Tertiär und Diluvium Deutschlands soll die Bedeutung der klimatischen Bodenzonen dargelegt werden. Die älteren Formationen werden nur kurz mit einigen Hinweisen besprochen. Sie werden später

¹⁾ Die Großfalten ABENDANONS wären hier näher zu vergleichen.

in anderem Zusammenhange bearbeitet. Aus den jüngsten geologischen Zeiten sind uns noch zahlreiche Landoberflächen erhalten. Soweit sie von der Abtragung noch nicht angegriffen sind, müssen sie noch von dem Verwitterungsprodukte dieser Zeiten bekleidet sein. Aber auch wenn die Abtragung eingegriffen hat, können fossile Bodenbildungen noch erhalten bleiben, falls sie von anderen Gesteinen überdeckt oder in Gräben versenkt sind. Für humide Sedimente ist eine solche besondere Erhaltung immer nötig.

1. Überblick über Deutschlands fossile Landoberflächen.

Deutschland hat keine einheitliche geologische Geschichte, daher dürfen wir auch keine gleichmäßige Verteilung aller Landoberflächen erwarten. Schon 1913 habe ich darauf hingewiesen (MEYER 1913, S. 95), daß Deutschland, abgesehen von dem zu den Alpen und ihrem Vorland gehörigen Gebiete, das BRAUN Oberdeutschland nannte, in drei Teile zerfällt: Norddeutschland¹⁾, Mitteldeutschland, Süddeutschland, eine Gliederung, wie sie neuerdings auch von BRAUN (S. 4) vertreten wird. Diese drei Teile haben eine verschiedene Geschichte. Mitteldeutschland ist der älteste Teil, dessen Kerne Rheinische und Böhmisches Masse, wie ich eingehend (zuerst 1910) begründet habe, schon zur Permzeit bestanden und sich weiter erhielten. Gegen Ende des Lias schließen sie sich zur Mitteldeutschen Festlandschwelle zusammen und bleiben seitdem als Mitteldeutschland erhalten, trotz jüngerer Einbrüche und randlicher Abbröckelungen, die besonders die Böhmisches Masse in Jura, Kreide und Tertiär betrafen. An dieses älteste Gebiet schließen sich dann nach Norden und Süden jüngere Teile allmählich an, unter Vorherrschen des allgemeinen Gesetzes, je weiter von Mitteldeutschland nach außen, desto jünger (vgl. MEYER, 1914, S. 135). Daraus ergibt sich, daß in Mitteldeutschland, in dem die jungtertiären Störungen nur in geringem Ausmaße wirkten, ältere Landoberflächen zu suchen sein werden, als in Süd- und Norddeutschland, wo sie teils zerstört, teils bedeckt oder versenkt sind.

In Mitteldeutschland herrscht die präoligocäne Landoberfläche, auf die PHILIPPI zuerst hinwies. BEYSLAG besprach erst kürzlich (1915) die mit dieser Oberfläche in Verbindung stehenden Lagerstätten, die in dem ganzen Gebiet zu finden sind. In Süddeutschland ist die Fläche nur versenkt oder stark verbogen, jedenfalls aber nicht formgebend erhalten. STEINMANN, der vielleicht als einer der ersten von präoligocänen Störungen sprach (1888, S. 26), stellte in einem Profil durch das Rheintal (1906, Taf. VII, Fig. 3) die tiefe Lage der Fläche in dem Graben dar. Auch in Mitteldeutschland erscheint sie in der hindurchquerenden Rheinischen Tiefe am Rande der Rheinischen

¹⁾ Daß Norddeutschland selbst im Untergrund nicht einheitlich ist, hat dabei keine Bedeutung.

Masse versenkt. In manchen Gebieten Mitteldeutschlands wird die präoligocäne Landschaft bei genauerer Forschung sich als inhomogen erweisen. An den Grenzen nach Nord- und Süddeutschland wird sie jedenfalls von jüngeren Flächen abgelöst, die teils über, teils unter ihr liegen. Im Vogelsberggebiet und in der Rhön liegt unter den Basalten die durch Aufschüttung entstandene obermiocäne Landschaft. Im westlichen Vogelsberg findet sich eine die Basalte selbst abschneidende noch jüngere Fläche, wahrscheinlich oberpliocänen Alters, die zum Rheinischen Schiefergebirge in dem Verhältnis einer Gebirgsfußebene steht und sich nur randlich und in den Tälern in dieses Gebirge hinein verfolgen läßt. Ähnliche junge Flächen bilden sich nach Norddeutschland hinaus. Der bis in das jüngste Tertiär hineinreichende Kampf zwischen Wasser und Land am Niedersächsischen Uferstrand STILLES hat hier Umänderungen bewirkt. Besonders kommen jüngere Abtragungen am Nordrande der Böhmisches Masse vor, die VON STAFF (1914) im Gebiet der Lausitzer Überschiebung sehr glücklich darstellte.

In Norddeutschland herrschen ganz junge diluviale und alluviale Formen, auf die ich jetzt nicht weiter eingehen will. Die jüngsten und frischen glazialen Formen finden sich im nördlichen Teil und illustrieren genau so wie die jungen glazialen Bildungen am Rande Süddeutschlands das oben von mir für Deutschland ausgesprochene Gesetz, das STILLE zunächst ausgehend von dem Niedersächsischen Uferstrand für Norddeutschland aufgestellt hatte, daß von Mitteldeutschland nach außen sich immer jüngere Formen anlegen.

Süddeutschland nimmt zwischen Nord- und Mitteldeutschland eine mittlere Altersstellung ein. Die präoligocäne Oberfläche ist nur versenkt oder bedeckt erhalten, auf den Höhen der Gebirge herrscht lokal die permische Abtragungsfläche, doch darf deren Bedeutung nicht überschätzt werden. Sie ist häufig nur wenig von jüngeren Flächen in der Lage entfernt und wird von diesen unter ganz flachen Winkeln geschnitten. Für den Spessart und Odenwald habe ich dies 1913 (Centralblatt, S. 750) schon begründet. Im Oberrheintal haben wir eine ganz junge Landschaft vor uns. Im übrigen herrscht eine noch nicht ganz sicher festlegbare Oberfläche, die wir als eine postbasaltische bezeichnen können. Sie wird wahrscheinlich mit der von RECK als obermiocän im südlichsten Teil bezeichneten Fläche identisch sein. Jedenfalls beweisen hier die jüngeren Meeresablagerungen, daß die präoligocäne Fläche tiefer liegen muß. Im Hauptteil des Gebietes muß diese alte Abtragungsfläche hoch über der jetzigen Landschaft liegen. Dies ergibt sich aus den Einschlüssen abgetragener Formationen in Basalten. Drei Punkte scheinen dabei wesentlich in Frage zu kommen, Beilstein südlich Orb, Katzenbuckel im Odenwald, Alpersbach im südlichen Schwarzwalde. Der jetzt im Mittleren Buntsandstein anstehende Basalt von Beilstein im Spessart hat Einschlüsse von Wellenkalk (BÜCKING, S. 214). Danach berechnet sich die damalige

Höhe auf mindestens 710 m, bei Annahme einer abgetragenen Gesteinsmasse von rund 255 m; die jetzige Höhe ist 454 m. Am Katzenbuckel (628 m ü. d. M.) berechnet sich die abgetragene Serie, falls Lias als höchste Schicht angenommen wird, auf 550 m, die damalige Höhe war also — keine jüngeren Bewegungen natürlich vorausgesetzt — 1180 m. In dem Schlot von Alpirsbach (vgl. das Profil bei EM. KAYSER, S. 477) finden sich noch Gerölle des oberen braunen Jura. Hier ist eine mindeste Höhe von 1850 m nach STEINMANN anzunehmen.

In bezug auf die frühere Höhe — falls keine jüngeren Bewegungen eintraten — und die Einschlüsse zeigen die drei Punkte eine Regelmäßigkeit. Die ältesten Schichten — Wellenkalk — im Norden, die jüngsten — Brauner Jura — im Süden anstehend, dies entspricht der bekannten präoligocänen Schrägstellung, wie sie das Profil von STEINMANN (1906, Taf. VII) wiedergibt, und zeigt, daß wohl kein Zufall vorliegt. Nach Süden nimmt außerdem die damalige Höhe zu — 709, 1180, 1850 m. Die absoluten Werte sind dabei gleichgültig, denn auch die Mächtigkeit der abgetragenen Massen steigt nach Süden an. Süddeutschland hat auf dieser Linie danach größere Höhen im Verhältnis zu Mitteldeutschland gehabt, wo damals die Abtragung bis auf den Mittleren Buntsandstein im allgemeinen gediehen war. Diese Höhen erklären vielleicht die eigenartigen Einwanderungen böhmischer und ungarisch-kroatischer Süß- und Brackwasserformen am Rande der Böhmisches Masse in das Rhön-Vogelsberggebiet und das Mainzer Becken. Die Senke, in der die Wanderung stattfindet, kennzeichnet den Rand von Mittel- zu Süddeutschland (vgl. FISCHER u. WENZ, 1914, S. 74).

Das Alter der nachbasaltischen Abtragung wird voraussichtlich mindestens spätmiocän sein. Die Basalte sind voraussichtlich obermiocän ausgebrochen. Diese Altersstellung ist für die Phonolithe des Hegau, die Schwäbische Alb, den Vogelsberg und die Rhön bewiesen und daher wohl für die besprochenen drei Punkte ebenso anzunehmen. Allerdings machte SOELLNER wahrscheinlich, daß im Kaiserstuhl schon im Oligocän Ausbrüche stattfanden. Auch von der Pfalz wird ähnliches angegeben. Unter allen Umständen ergibt sich aber auch aus den letzten Angaben, daß durch die nachbasaltische Abtragung die präoligocäne Landschaft zerstört worden sein muß. Einzelangaben über die jetzige Landschaftsform Süddeutschlands fehlen. Noch jetzt arbeitet die Abtragung in diesem Gebiet sehr stark, weil tektonische Bewegungen immer wiederkehren. Dadurch ist offenbar die postbasaltische Fläche schon stark von ihrer Verwitterungsrinde entkleidet, so daß sie im folgenden nur eine geringe Rolle spielt. Manche nicht näher untersuchten Lehme mögen hierhergehören. In großen Höhen ist die jetzige Verwitterung nicht die eines Braunerdegebiets, sondern zum Rohhumus gehörig. Dadurch sind ältere Prozesse vielleicht verwischt. Die Wirkung der Eiszeit wird ebenfalls eine Rolle spielen. Im östlichen Süddeutschland scheint überhaupt die postbasaltische Fläche völlig zerstört

zu sein. Hier herrschen Gebiete, die die rezente Verwitterung wohl ganz rein zeigen werden.

In Mitteldeutschland findet sich die präoligocäne Landschaft herrschend, randlich auch jüngere Flächen, die Süddeutschland ganz überziehen. Von einer gemeinsamen germanischen Rumpfebene zu sprechen, dürfte nicht einmal rein morphologisch richtig sein (vgl. BRAUN, S. 18). Infolge der dauernden starken Abtragung kommt Süddeutschland für Betrachtung von Verwitterungsfragen kaum in Frage. Am deutlichsten werden die verschiedenaltigen Flächen an den Rändern Mitteldeutschlands auftreten, wo besonders die Basaltdecken konservierend wirkten. Daher dient im folgenden der Vogelsberg als Ausgangsgebiet.

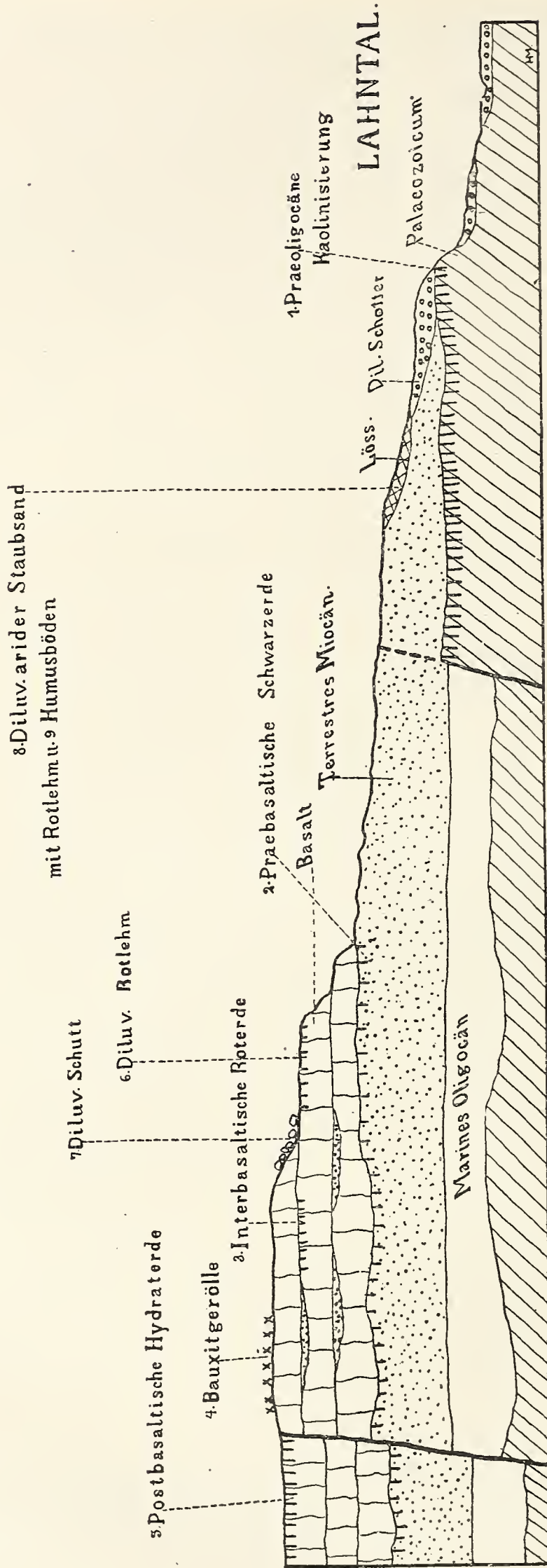
2. Verwitterung im Tertiär.

Der Vogelsberg soll für unsere Betrachtungen den Ausgang bilden. Seine Lage am Rande von Mitteldeutschland macht ihn, wie aus den vorstehenden Angaben deutlich hervorgeht, besonders für Verwitterungsstudien geeignet, weil verschieden alte Landoberflächen infolgedessen nahe beieinander liegen. Ihre Bearbeitung ist aber noch nicht abgeschlossen, ich gebe nur einen vorläufigen Überblick¹⁾. (Vgl. Figur 1.)

Im Untergrunde liegt die präoligocäne Landschaft mit ihrer Kaolinisierung; sie ist vom Rheinischen Schiefergebirge, auf der sie noch jetzt beherrschend auftritt, abgebogen. Nur am westlichen Vogelsberggrande ist sie erhalten. Östlich ist sie offenbar durch das oligocäne Meer zugedeckt und zerstört worden, erst in der Rhön tritt sie wieder hervor. Zugedeckt werden die oligocänen und untermiocänen Züge von einer obermiocänen Landschaft, in der fluviatile Schotter, Sande, Tone die Oberfläche bedecken. Es handelt sich hier nicht um eine Abtragungs-, sondern um eine Aufschüttungslandschaft. Die ausbrechenden Basalte konservierten die sonst der Abtragung verfallenen humiden Sedimente. Überall treten diese am Rande der Basaltdecke oder in genügend eingetieften Tälern hervor. Nach Ausbruch der Basalte erscheint eine spät-obermiocäne oder altpliocäne Landoberfläche mit ihrer Hydrat-Roterde-Verwitterung besonders bezeichnet. Es folgt eine Störungsperiode, in der die Verwitterungsrinden dieser Zeit stellenweise versenkt, im übrigen aber abgetragen werden. Im westlichen Vogelsberggebiet bildet sich offenbar unter dem Einfluß einer

¹⁾ Bei meinen Untersuchungen unterstützte mich mit großem Eifer der Assistent des von mir z. Z. geleiteten Mineralog. Instituts der Universität Gießen Dr. FLÖRKE. Derselbe lieferte mir schon verschiedene analytische Daten und wird sich besonders chemisch mit der Basaltverwitterung beschäftigen. Seine Begehungen während der Abfassung dieser Arbeit zeigten schon, daß es sich bei der Verwitterung der Vogelsberg-Basalte um noch verwickeltere Verhältnisse handeln wird, als ich schon dargestellt habe.

W.



O.

Fig. 1. Idealprofil vom Westrand des Vogelsbergs zur Erläuterung der Verwitterungsrinden. (Ungefähr 9mal überhöht.) Mit schrägliegender Schrift sind die Zeichenerklärungen gegeben. Die verschiedenen Verwitterungsrinden sind in ihrer Reihenfolge nummeriert, No. 5 bezeichnet die wesentlich nur in versenkten Gebieten erhaltenen Eisenerze (vgl. MEYER, Peterm. Mitt, 1916, Lahn-Main-Wasserscheide).

südwestlich gerichteten Erosionsbasis eine oberpliocäne Abtragungsfläche heraus, die zum Rheinischen Schiefergebirge im Verhältnis einer Gebirgsfußebene steht. Auf ihr kommen Eisensteine und Bauxite als Gerölle vor. Im östlichen Vogelsberggebiet lassen sich die Verhältnisse noch nicht genau übersehen. Pliocäne Ablagerungen liegen hier (Fulda!) nur in den Tälern, die allerdings selbst in eine alte Landschaft eingetieft erscheinen. Die östliche Abtragungsfläche ist also wohl älter als oberpliocän. In der südlichen Wetterau finden sich schließlich auf den oberpliocänen Basalten ganz junge, vorläufig noch nicht abtrennbare Formen. Die Basalte liegen hier primär in tieferem Niveau als im Vogelsberg und sind jedenfalls weniger abgetragen als dort.

Für Verwitterungsfragen sind die präoligocäne und altpliocäne Landoberfläche die wichtigsten. Sie zeigen Extreme der Verwitterung und sind dadurch gut kenntlich. Wir wählen sie daher als Ausgangspunkt, um dann erst den eigentlich stratigraphischen Weg einzuschlagen.

a. Verwitterungslagerstätten der Lindener Mark und Vogelsbergeisenerze.

Zwei Lagerstätten sollen den Ausgang für unsere Darlegungen geben. Es handelt sich um die Lindener Mark mit den Eisenmanganerzen und andererseits um die Eisensteine des Vogelsberges. Diese Lagerstätten sind zwar altersverschieden, präoligocän und altpliocän, im übrigen weisen sie aber große Ähnlichkeiten auf. Sie sind entstanden durch regionale Anreicherungen von Erzen. Dieser regionalen Anreicherung steht eine regionale Wegfuhr an anderer Stelle gegenüber. Es handelt sich einerseits um tiefzersetzte paläozoische Sedimente, die hell kaolinisiert sind und andererseits um völlig verwitterte Basalte und ebenfalls paläozoische Sedimente, die bunt-tonig angegriffen sind, unter Bildung von Aluminium-Hydrat. Die Hydratbildung kennzeichnet sich häufig als eine Umwandlung des Basaltes unter Erhaltung der Struktur in Bauxit. Eine solche regionale chemische Einwirkung ist nur durch Verwitterung möglich. Die jetzige Verwitterung schafft bei uns zumeist einen braunen humosen Boden, den wir als Braunerde bezeichnen. Im Tertiär haben wir also, von der jetzigen abweichend, eine besondere Verwitterung. Wir müssen uns nun fragen, welche Bedeutung hat die Aufeinanderfolge der Hydratverwitterung auf die Kaolinisierung?

Es ist bekannt, daß im Tertiär eine abfallende Temperatur von Eocän bis zur Jetztzeit zu beobachten ist¹⁾. Im Eocän haben wir in unseren Breiten tropische Temperaturen, die nach den Pflanzen auf ein Jahresmittel von mindestens 22° schließen lassen. Von diesen tropischen Tem-

¹⁾ Von Einzelheiten will ich dabei absehen.

peraturen kommen wir im allmählichen Abfall langsam zu der Jetztzeit herunter. Wenn wir die oben auseinandergesetzte Reihenfolge der Bodenzonen des humiden Gebietes betrachten, so ergibt sich, daß die Reihenfolge unserer beiden Lagerstätten durchaus eine gesetzmäßige ist, daß unter tropischen Temperaturen unter Einfluß von Rohhumus Bildung von Kaolin und bei weiterem Temperaturabfall von Aluminium-Hydrat stattgefunden hat. (Vgl. später Abschn. 5.)

Nach dem Vorhergesagten bedeutet diese Erklärung jetzt nichts Besonderes. Sie war früher aber sehr viel schwieriger, ehe LANG die Rohhumusbildung in den Tropen nachwies, weil man damals meinte, daß Rohhumusbildung nur unter niedrigen Temperaturen möglich wäre. So war früher die Bodenbildung dieser beiden Gebiete nicht in Einklang zu bringen. Tatsächlich fragte STREMMER 1910 (S. 343) »gehört ev. die Bauxitbildung einem älteren Abschnitt des Tertiärs mit tropischem Klima an und die Kohlenbildung in einen jüngeren mit subtropischem oder gemäßigttem?« Jetzt erscheint die Reihenfolge der Lagerstätten völlig klar gelegt. Ich will nicht unerwähnt lassen, daß AHLBURG 1915 (S. 325) die Reihenfolge schon richtig erkannte, ohne sie allerdings genügend durch Tatsachen zu belegen.

Daß in der Reihenfolge hier nicht etwa ein Zufall vorliegt, sondern eine Gesetzmäßigkeit, ergibt sich daraus, daß Lagerstätten gleichen Alters weit in Deutschland, wie wir im folgenden sehen werden, zu verfolgen sind.

b. Präoligocäne Humus-Kaolinisierung.

Eine förmliche Reihe von Verwitterungsbildungen läßt sich im Vogelsberg beobachten, von denen nicht weniger als 4 in das Diluvium hineingehören (vgl. Fig. 1). Die präoligocäne Kaolinisierung läßt sich auf der Westseite des Vogelsbergs beobachten, wo sie im Gebiet der Rheinischen Tiefe sich im Untergrund des Gebirges befindet, östlich ist sie im Oligocän abgetragen worden. Sie zieht sich dann über das Rheinische Schiefergebirge hinüber. AHLBURG fand bei Weilburg ein größeres noch nicht abgetragenes Stück und verfolgte sie in den Westerwald, wo sie von anderen Autoren schon beobachtet war. Aus dem nördlichen Rheinischen Schiefergebirge ist sie zunächst aus dem Siebengebirge und Eifel durch ERICH KAISER und dann von FLIEGEL angeführt worden. Die Kaolinisierung erstreckt sich allgemein über das Gebiet der präoligocänen Landoberfläche. Sehr viele Kaolinlagerstätten lassen sich gerade in diesen Zeitraum hineinstellen. RÖSLER besprach 1902 eine große Anzahl von Kaolinlagerstätten und kam ganz allgemein zu dem Ergebnis, daß Verwitterung nicht die Ursache der Kaolinbildung sein könne. Es unterliegt keinem Zweifel, daß ein großer Teil von Kaolinlagerstätten wie z. B. diejenigen, die mit Zinkerzlagerstätten oder prophyлитischen Erzgängen oder im Zusammenhang mit Graphitlagerstätten auftreten, durch pneumatolytische Prozesse

entstanden sind. Für eine andere mindestens ebenso große Anzahl ergibt sich aber eine Entstehung durch Verwitterungsprozesse. Als RÖSLER seine Zusammenstellung schrieb, war von fossilen Verwitterungen kaum etwas bekannt. Nur dadurch kam er zu der Behauptung, daß Kaolinisierung und Verwitterung zwei im Grunde verschiedene Prozesse sind. Schon BARNITZKE wies 1909 (S. 471) daraufhin, daß die scharf ausgesprochene Meinung von RÖSLER infolge der Lagerungsform in flachen Decken und des regelmäßigen Überganges in unterlagerndes unzersetztes Gestein nicht haltbar wäre. Die rezente Kaolinisierung war damals überhaupt noch nicht genügend bekannt.

Kaolinisierte Gesteine finden sich naturgemäß wesentlich im Gebiet von Mitteldeutschland erhalten: Die kaolinisierten Granite vom Karlsbader Becken, Franzensbad, Oberpfalz, Oberfranken, (auch Bornholm, Schonen), wie die kaolinisierten Quarzporphyre von Halle, Mügeln, Meißner, Altenberg i. S., zahlreiche kaolinisierte Sedimente aus der Trias und dem Paläozoikum gehören alle in das Gebiet der präoligocänen Verwitterung. Bei einer Reihe von Vorkommen ist zugleich auch

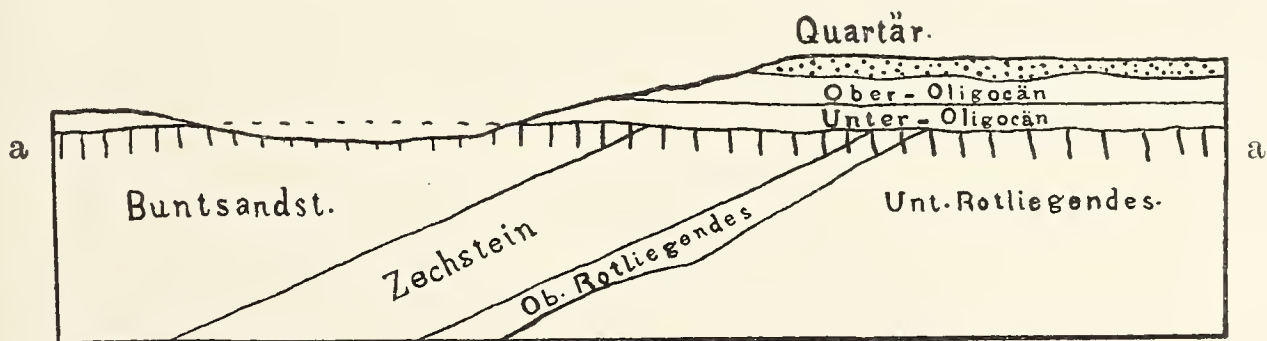


Fig. 2. Idealprofil der präoligocänen Kaolinisierung bei Halle a. d. S., nach WÜST. a—a Kaolinisierung.

eine Verkieselung eingetreten. Nie sind diese Vorkommen über große Flächen verbreitet, weil trotz der Überdeckung durch oligocäne Sedimente schon frühzeitig und auch später eine Abtragung eingesetzt hat. WÜST hat zum ersten Mal überhaupt aus dem Gebiet von Halle die präoligocäne Verwitterung im Profil dargestellt. BEYSCHLAG wies auf die Verknüpfung der Eisenmanganlagerstätten in Deutschland mit dieser Landoberfläche ausführlich hin und betonte schon die Kaolinisierung. Im Limburger Becken gehören die Phosphate ebenfalls zu diesen Verwitterungslagerstätten. Nach FLIEGEL (S. 293) müssen wir für Bleizinkerze bei Bergisch-Gladbach ebenfalls eine präoligocäne Entstehung annehmen. BÄRTLING zeigte, daß auch die Schwerspatlagerstätten zum Teil mit ihr verknüpft sind; ich konnte dies speziell für das südliche Rheinische Schiefergebirge nachweisen (MEYER 1916).

Es werden auf diese Weise Erscheinungen zur Erklärung fossiler Verwitterungen herangezogen, die an sich keine Verwitterungsrinden darstellen; dasselbe gilt auch für manche der später zu erwähnenden jüngeren Eisenerze und Verkieselungen. Diese Vorgänge finden sich nur z. T. oberflächlich und können in große Tiefen hinuntersteigen. KRUSCH (Z. f. prakt. Geologie 1913, 508) hob dies von den Gelerzen schon hervor. Von dem Lahntal kenne ich mehrfach ganz tiefe Lage von

Eisen-Manganerzen, z. T. unter dem Lahniveau, die sich hier auf primärer Lagerstätte finden und nicht etwa nachträglich versenkt sind. Die unter einem humiden Klima entstehenden Bodenlösungen können aus dem eigentlichen Verwitterungsgebiet tief nach unten steigen und dort erst ihre gelösten Substanzen abgeben. Sie sind also Verwitterungserscheinungen, die aber nicht mehr dem Gebiet des Verwitterungsgürtels, sondern der Zementationszone im Sinn von VAN HISE angehören. KRUSCH hat diesen Begriff ja in die Erzlagerstättenlehre eingeführt, sonst ist er, von einer kurzen Mitteilung LANGS (Centralbl. f. Min. 1910, S. 69) abgesehen, im allgemeinen Sinne kaum verwandt worden. Schon VAN HISE hatte die Descendenz vieler Erze richtig gedeutet, während der Begriff der »Verwitterungslagerstätte« erst jetzt in die deutsche Literatur Eingang erlangt¹⁾. Im ariden Gebiet findet oberflächlich eine Anreicherung, eine Zementation statt. Die von WALTHER u. a. beschriebenen Eisenerzrinden von Lateritgebieten gehören hierher.

Die genannten Vorkommen beziehen sich alle auf Mitteldeutschland. Im Franken-Jura in der Amberger-Erzformation greifen sie vielleicht auch nach Süddeutschland über. Die weißen Tone unter der Braunkohle des Eocän bei Buchsweiler im Elsaß werden im gleichen Sinne als präoligocän zu deuten sein.

Bis zum Beginn des Ausbruchs der Basalte ist im Tertiär nur ein geringer Temperaturabfall zu verzeichnen, der von 22° des Eocäns bis auf 17—19° im Miocän heruntergeht. So konnten sich bei Ausbruch der Basalte des Vogelsberges im Obermiocän noch immer

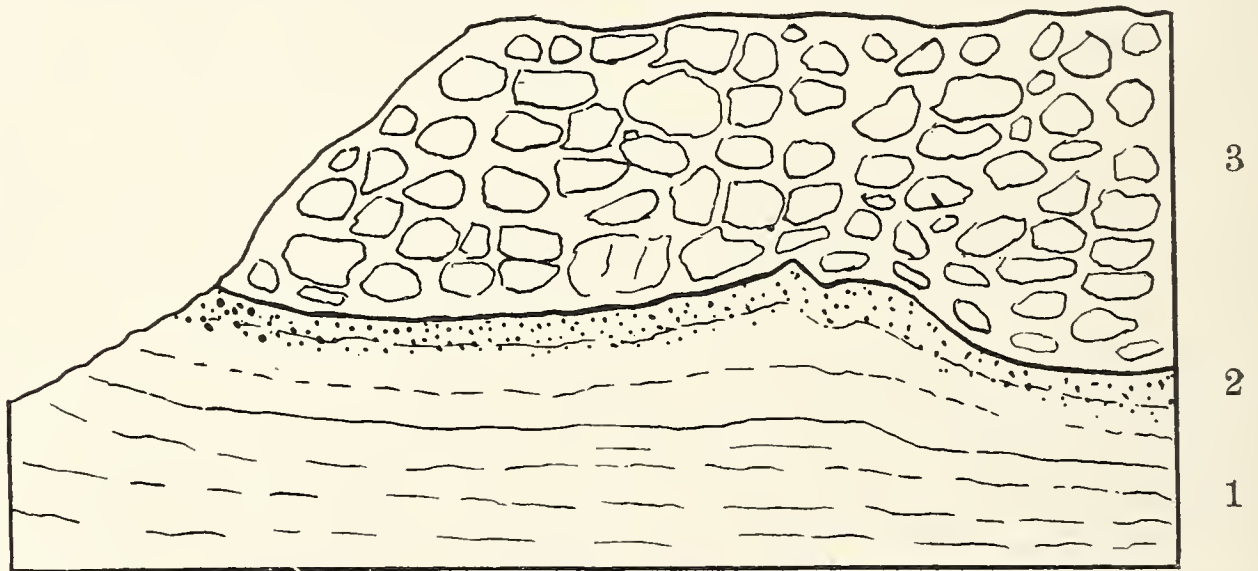


Fig. 3. Schwarzerde unter Basalt, Hohe Warte bei Gießen. 1. Miocäne tonige Sande, 2. Schwarzerde, 3. Basaltdecke.

Humus-Anhäufungen bilden, die allerdings wesentlich geringer mächtig als in der früheren Zeit waren und infolgedessen nicht mehr zu einer tiefgründigen Kaolinisierung führten. Derart kenne ich Schwarzerde direkt im Liegenden des Basalts von 2 Stellen. In der Nähe von Gießen an der Hohen Warte wurde der zunächst chemisch nachgewiesene²⁾ Gehalt an Humus durch Dr. FLÖRKE als Glühverlust auf 3,4% bestimmt.

¹⁾ In der Zeitschr. f. pr. Geol. komme ich bald darauf zurück.

²⁾ Er wurde von mir einerseits durch Auflösen mit Natriumkarbonat und Fällen mit HCl, andererseits nach Behandlung mit HCl zur Entfernung der Basen durch Auflösen mit NH₃ und Fällen mit HCl qualitativ festgestellt. Die dunkle

Das Auftreten gerade dieses Verwitterungshorizontes ist vielleicht die merkwürdigste von allen beschriebenen Verwitterungserscheinungen. An anderen Stellen scheint sie nach Literaturangaben ebenfalls aufzutreten. Es ist nicht ausgeschlossen, daß es sich zum Teil früher um Rohhumus gehandelt hat, da gebleichte Sedimente in undeutlichem Zusammenhang damit bekannt sind.

Ich habe oben angedeutet, daß durch Humusverbindungen auch Kieselsäure löslich gemacht werden kann. Die Verkieselung präbasaltischen Schotter, die sich nach den Lagerungsverhältnissen deutlich als eine sekundäre zeigt, wird vielleicht z. T. auf diese Weise zu erklären sein. Jedenfalls finden sich unter den miocänen Geröllen auch solche, die als abgerollte Quarzite oder Knollensteine zu deuten sind, was bisher noch nicht bekannt war. ENDELL hat zuerst auf diesen Zusammenhang hingewiesen, auch STAFF wies (S. 5) daraufhin. Es handelt sich um eine in Deutschland allgemein verbreitete Erscheinung. AHLBURG glaubte ihr im Westerwald allerdings jüngeres Alter zuschreiben zu müssen, da er dort Gerölle von Knollensteinen erst in den unterpliocänen Kieseloolithschottern gefunden hat (vgl. unten S. 230). — Jedenfalls sind miocäne Sedimente verkieselt und können mit dem präoligocänen Vorgang nie in Verbindung gebracht werden.

c. Roterde und Hydraterdebildung.

Im Vogelsberg tritt nun der Ausbruch der Basalte ein. Sehr schnell folgen die Ergüsse der Decken aufeinander, daher ist zwischen ihnen keine wesentliche Verwitterung bekannt. Die ältesten Basaltdecken ergießen sich in die Täler und Vertiefungen der obermiocänen Landschaft und werden, soweit sie diese nicht aufgefüllt haben, noch von den Flanken her mit Sedimenten zugedeckt. Zwischen den höheren Basalten treten aber vielleicht schon Anzeichen der folgenden Periode auf. Von der zu erwartenden Braunerde ist zwar noch nichts bekannt, es finden sich aber häufig zwischen Basaltströmen völlig rotzersetzte Oberflächen, auf die der gefallene Herr VON FALKENSTEIN zuerst hinwies. Wir haben sie inzwischen an zahlreichen Stellen gefunden. Zwischen den tieferen Strömen sind sie noch nicht bekannt. Die von SCHOTTLER 1911 (S. 88) erwähnten feinen roten Überzüge auf sonst ganz frischen Stromoberflächen und vielleicht auch die rote Farbe mancher Aschentuffe

Färbung des Bodens war nicht auf den beschriebenen Wegen zu entfernen, weil dem Boden noch ein wasserhaltiges Eisenoxyd-Silikat als Verwitterungsprodukt beigemischt ist. Herr Dr. FLÖRKE stellte meinen Vermutungen entsprechend qualitativ als vorherrschend SiO_2 , Fe_2O_3 , $\text{MgO}(\text{?})$, als zurücktretend Al_2O_3 , CaO fest. Dieses amorphe Verwitterungsprodukt ist im Vogelsberg offenbar weit verbreitet und durch Aufsammlungen von SCHNEIDERHÖHN untergeordnet aus Rhön und Westerwald bekannt. Die Altersstellung des Minerals konnte ich noch nicht klären, jedenfalls ist es postbasaltisch. Offenbar handelt es sich um Hisingerit, von dem RAMMELBERG (Mineralchemie, II, 665) angab, daß er aus Augit entstanden ist.

läßt sich in diesem Sinne verwerten. Von Island werden ausdrücklich rote Tuffe und Breccien zwischen den miocänen und älteren Basalten hervorgehoben, während die quartären eine braune Farbe aufweisen. In Island beobachtete GREENVILLE rote Hydratbildungen zwischen den

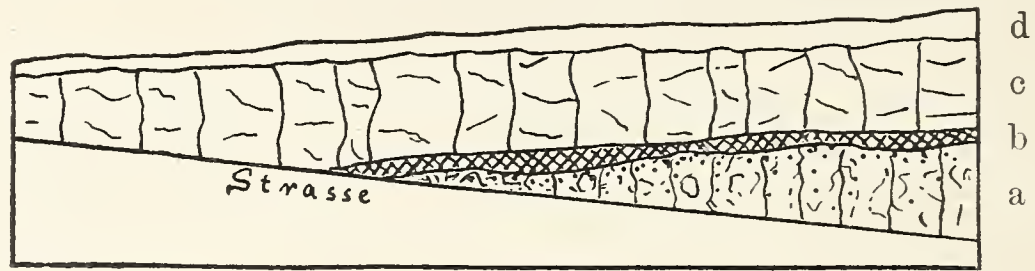


Fig. 4. Roterde zwischen Basaltdecken an der Straße Saasen-Bersrod im Vogelsberg, aufg. von W. FLÖRKE. a. Liegender Trapp, b. Trapp, roterdig verwittert, in a. übergehend, c. Basaltdecke, d. Rezenter brauner Lehm.

eocänen und jüngeren Basalten und erklärte sie als Verwitterungserscheinung. Die rote Farbe von Tuffen braucht also nicht in jedem Falle, wie meistens ohne besondere Untersuchung behauptet wird, auf thermische Wirkung zurückgeführt zu werden. Herr Geheimrat STEINMANN machte mich auf entsprechende Rotfärbungen zwischen Andesiten des Siebengebirges aufmerksam.

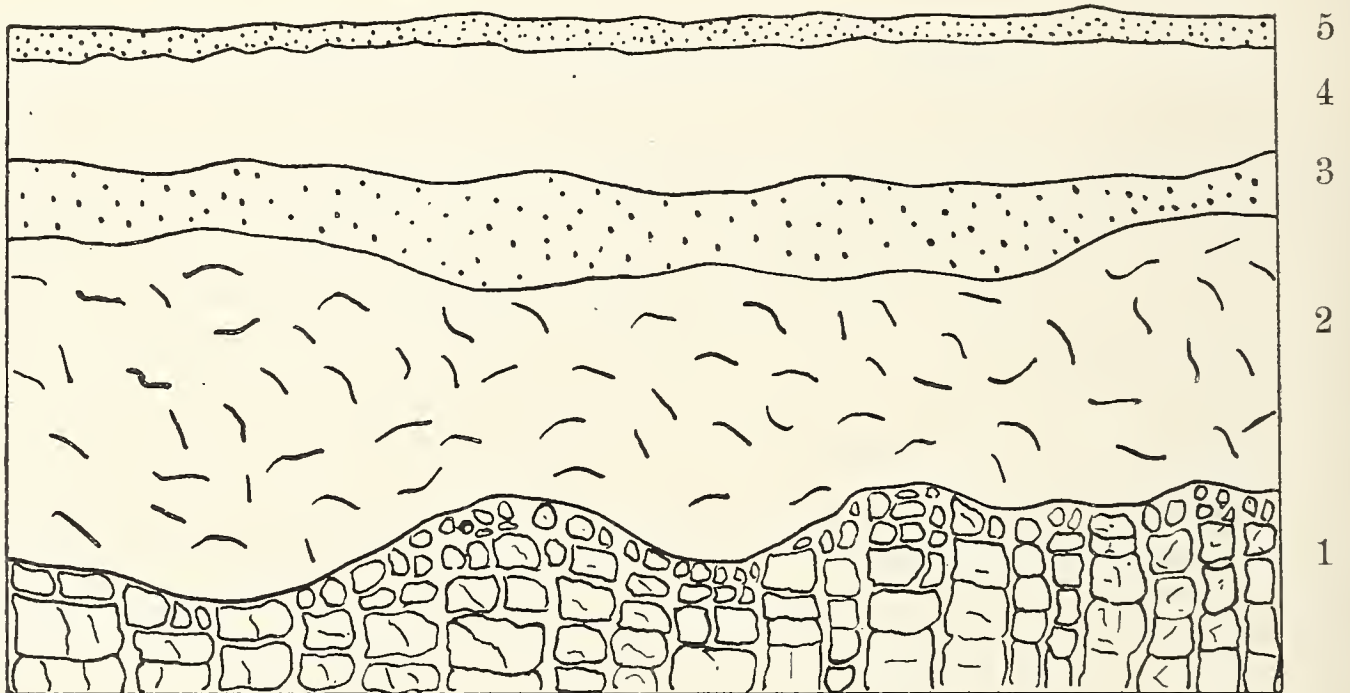


Fig. 5. Schema einer Basalteisenerzlagerstätte im Vogelsberg. 1. Frischer Basalt, nach oben immer stärker zersetzt und übergehend in 2. 2. Völlig zersetzter Basalt, hydratisch verwittert. Das Eisenerz auf Klüften des ursprünglich frischen Basaltes angereichert. Der Unterschied zwischen Stückerz- und Wascherz-lager ist nicht angedeutet worden. 3. Pliocäne oder altdiluviale Verwitterungszone der Lagerstätte. Das Erz ist hier in Bohnerz-ähnlichen Massen vorhanden. Bauxit als Geröll eingeschwemmt. 4. Löß. 5. Rezenter Lehm. Das Profil zeigt 4 verschiedene Bodenbildungen: Pliocäne Hydratverwitterung, Bohnerzbildung unter gemäßigt-humidem Klima, ariden Staubsand des Diluviums, rezente Braunerde.

Am Ende der Basaltausbrüche sind nun Niederschlag und Temperatur soweit gesunken, daß die Hydratbildung stattfinden konnte. Noch sind die Erscheinungen im Vogelsberg in ihrer speziellen Reihen-

folge nicht aufgeklärt. In der auf den Ausbruch der Basalte folgenden Zeit, die auf spätes Obermiocän oder Pliocän festzusetzen ist, hat jedenfalls eine Hydratbildung stattgefunden, als deren Zeichen wir die chemisch genau bekannten weißen Bauxite¹⁾ zu deuten haben. Ich vermute, daß bei diesen Zersetzungsprozessen das Eisen, wie oben angegeben, als Gel schnell ausgeflockt worden ist und erst bei weiter abnehmender Temperatur, als sich wieder Roterde bildete, zu den Eisensteinlagern konzentriert worden ist. Nach Analysen und den Aussagen von »Kennern« (vgl. STREMMER, 1914, S. 71) entsprechen die roten »Tone«, in denen die Eisenerze zum Teil liegen, durchaus tropischen Roterden. Ich möchte aber ausdrücklich betonen, daß die Reihenfolge auch eine umgekehrte gewesen sein kann, daß im zeitlichen Anschluß an die erwähnte interbasaltische Roterdebildung zunächst die Ausfällung des Eisens stattgefunden hat, daß dann Hydraterde-(Bauxit)-bildung sich anschloß und dann erst die Konzentration des Brauneisens zu den eigentlichen Lagerstätten erfolgte.

Die Beobachtungen von WALTHER (1915, 1916) über Bildung des Laterits, dessen Eisenerze zum Vergleich herangezogen werden könnten, weisen darauf hin, daß hier die auf die Bildung der Hydraterde folgende Eisenkonzentration unter ariden Bedingungen oder wenigstens an der Grenze von aridem zu humidem Gebiet im Wechsel von Regen- und längeren Trockenzeiten entstanden sind. Aus dem von ihm aus Westaustralien (S. 6) gegebenen Profile geht dies offenbar hervor. Die tiefste »Bleichzone« über dem Grundgebirge dürfte die eigentliche Hydraterde darstellen, deren ausgefällte Eisenhydrate unter Einwirkung aufsteigender Bodenlösungen nach oben gezogen wurden. Leider gibt WALTHER gar keine chemischen Daten, so daß eine nutzbringende Verwendung seiner außerordentlich wichtigen Beobachtungen sehr erschwert wird. Dem von ihm angeführten Vergleich des oberitalienischen »Ferretto« mit »Laterit« muß man aus demselben Grunde zunächst vorsichtig gegenüberstehen.

Die Vogelsbergerze zeigen gelegentlich eine Ausbildung als Eisenkrusten. Meist ist dies aber nicht der Fall und weist daher auf andere Bildungssumstände hin. Bei Münzenberg sind die Lösungen jedenfalls in umgekehrter Richtung gewandert. (Siehe unten.) (Vgl. Z. f. pr. Geol. 1916, Heft 6.)

Die Verhältnisse sind dadurch schwer zu übersehen, daß auf Störungen innerhalb der Erzlager noch nachträglich Wanderungen des Eisenhydrates stattfinden. Diese Störungen, die als Horloff-Ohmsenke durch den ganzen Vogelsberg hindurchziehen (vgl. d. Karte von KÖBRICH), bewirkten, daß die Eisensteinbildungen grabenförmig versenkt wurden und dadurch vor weiterer Abtragung geschützt blieben. In fast allen übrigen Gebieten des Vogelsberges wurden sie abgetragen, Bauxite sind als Gerölle weit im Vogelsberg verbreitet und finden sich vor allen Dingen dem obersten Diluvium in großer Zahl bei-

1) Die Literatur über diese Erscheinungen findet sich aufgezählt bei STREMMER, 1910, S. 344. Zugleich sei betont, daß Bauxit- und Eisensteinbildung scharf zu trennen sind. Die Eisenerze des Vogelsbergs sind überhaupt keine oberflächlichen Verwitterungsprodukte, wie der Bauxit. — Eine vollständige Würdigung der Eisenerze und eine ausführliche Erörterung aller Möglichkeiten ist an dieser Stelle von mir nicht beabsichtigt.

gemengt¹⁾. Ihre Altersbestimmung ergibt sich daraus, daß sie als Gerölle im Liegenden der Wetterauer oberpliocänen Braunkohlen vorkommen, die im Hangenden der jüngsten Basalte auftreten.

Die Wanderung der Eisenverbindungen in dieser Zeit hat sehr häufig eine Umfärbung der präoligocänen kaolinisierten und miocänen Sedimente bewirkt. Charakteristisch ist die Umfärbung besonders bei Münzenberg zu beobachten. Die bunten Färbungen der schönen rhythmischen Fällungen an Wurzelröhren und auf Klüften, die zahlreichen Brauneisenschalen und auch die Schwerspäte sind in dem bekannten Steinbruch auf diesem Wege zu erklären. Deutlich erkennt man in den Brüchen, daß jetzt eine Entfärbung der Gesteine eintritt. Die Bildung der Quarzite aus den lockeren Sanden, die nur bei Münzenberg und Rockenberg so bedeutend ist, hängt wohl im weiteren Sinne auch mit der Verwitterung dieser Zeit zusammen. BLANCK hat eine Roterde von Münzenberg analysiert, die er von mittelmeeerischen Böden nur mit großer Mühe unterscheiden konnte. In einzelnen Fällen scheint sich auf diese Weise über präoligocänen Eisenmanganlagerstätten im Pliocän in höheren Horizonten neuerdings Eisenerz mit roten Tönen gebildet zu haben. Bei Nieder-Tiefenbach nahe Weilburg zeigte mir Herr Berginspektor FARVORKE-Wetzlar ein entsprechendes Profil. Die auf den Lagerstätten der Lindener Mark auftretenden roten Töne glaube ich ebenfalls auf diese Zeit zurückführen zu können, doch stehen mir darüber keine Analysen zur Verfügung.

Die Aluminium- und Eisenhydratbildung findet sich, wie daraus schon hervorgeht, nicht nur auf den Basalten, sondern auch auf anderen wesentlich paläozoischen Sedimenten. Nahe Bad Nauheim kenne ich einen offenbar hydratisierten Grauwackenschiefer. BAUER wies auf Umwandlung von Schalstein und Schiefen in Eisenhydrat im Rheinischen Schiefergebirge hin. Überhaupt gehören viele der auf Kalken und anderen Gesteinen zu beobachtenden Brauneisenlagerstätten mit hochroten Tönen hierher, wie sie in der Rheinischen Masse und in anderen Gebieten zu finden sind und jetzt einer Umfärbung unterliegen. Die Roterdebildungen auf den Kalkmassen besonders des Mitteldevons sind schon manchmal mit »Laterit« verglichen worden. Sie kennzeichnen sich fast überall als fossile Verwitterung, da sich unter den jetzt herrschenden Verhältnissen auf den Kalken in unseren Gebieten nur stark humose Braunerde bildet.

Außerhalb des Vogelsberges sind auf Basalten fossile Eisenerze und Bauxite in wenigen von der Abtragung verschonten Resten auf dem Westerwald bekannt (vgl. die Erläuterung zu Blatt Mengerskirchen). Aus dem Siebengebirge hat ERICH KAISER auf Hydratisierung von Basalten aufmerksam gemacht, vom Ennert bei Oberkassel besitze ich eine mir von der Fa. KRANTZ gelieferte fossile Verwitterungsserie, in

¹⁾ Ob im östlichen Vogelsberg eine starke Abtragung von Eisenerzlagerstätten stattgefunden hat, ist mir zunächst noch zweifelhaft.

der nach einer von Herrn Dr. FLÖRKE ausgeführten Analyse ebenfalls Hydratbildung vorherrscht. Die von GRUPE-STREMME aus dem Solling beschriebenen Produkte gehören wohl zum Teil auch hierher¹⁾.

Die pliocänen Bohnerze sind in diesem Zusammenhang zu erwähnen, ihre Bildung wird sich bis in das Oberpliocän hinein erstreckt haben; LANG wies darauf hin, daß wohl erst Braunerdeprozesse die Konzentration zu Bohnerzen veranlaßt haben kann, nachdem das Eisen in einer vorhergehenden Zeit ausgefällt war. Diese Bohnerze finden sich noch in dem Gebiet von Mitteldeutschland, vor allen Dingen aber in Süddeutschland. Sie zeigen also, wie auch die eocänen, eine horizontale Zonengliederung. Ich komme unten auf sie noch zurück. Die Altersbestimmung dieser Eisenkonzentration ergibt sich abgesehen von lokalen Umständen daraus, daß allenthalben in den ältesten Diluvialschottern und an der Basis des Löß Bohnerze als Gerölle zu beobachten sind.

Es ist sehr möglich, daß die Bildung des stellenweise »lateritisch« roten pliocänen Posener Flammentons mit dieser Verwitterung zusammenhängt. Jedenfalls ist das Auftreten dieses Gesteins, während vorher nur helle Sedimente im Tertiär abgesetzt wurden, recht auffallend und darum vielleicht verwendbar. Daß starke Abtragungen möglich waren, zeigen die zahlreichen Bauxit- und Eisensteingerölle, die offenbar die oberpliocäne Abtragungsfläche des westlichen Vogelsberges bezeichnen.

Bei der Hydratbildung sind die Silikate weitgehend zerlegt worden und die Kieselsäure, die im Boden leicht beweglich ist, wurde im tieferen Untergrunde abgeschieden, so daß wir sie jetzt im Vogelsberg häufig in ganz frischem Basalt in der Form von knolligen Hornsteinen beobachten können. Bekannt sind die Opalausscheidungen der liegenden Schichten des Siebengebirges. AHLBURG hat die Verkieselung der charakteristischen Komponenten der Kieseloolithschotter auf diese Vorgänge zurückführen wollen. Ob die von ihm angegebene Entstehung der Quarzite aus tertiären Sedimenten tatsächlich in diese Zeit oder in präbasaltische, wie ich oben angegeben, oder in beide fällt, läßt sich vorläufig mit Sicherheit noch nicht entscheiden.

Die Hydratbildung dieser Zeit scheint weit verbreitet gewesen zu sein. Die irländischen Bauxite, die diesem Lande industriell sehr wichtig sind, liegen ebenfalls auf Basalten. In Irland kommen wie bei uns also zwischen den Basalten Roterde und auf ihnen Bauxit vor.

Die eben besprochenen Aluminium- und Eisenhydratbildungen verteilen sich, wie aus meinen Angaben z. T. schon hervorgeht, offenbar auf mehrere Abschnitte, die aber vorläufig noch nicht deutlich zu trennen sind. Das Wahrscheinlichste ist, daß auf die Zeit der Hydraterdebildung erst eine solche der Konzentration des Erzes auf Spalten und

¹⁾ Während der Drucklegung erfahre ich von Herrn Kommerzienrat JUNG-Neuhütte, daß auch auf den Basalten des Meißners und benachbarter Gebiete Eisenerze gefunden worden sind.

Klüften und erst später zu Bohnerzen gefolgt ist. In der fossilen Verwitterungszone der Vogelsbergerze finden sich tatsächlich rundliche und stalaktitische Erze, die Bohnerzen entsprechen. — (Vergl. Fig. 5.)

Über die klimatischen Verhältnisse dieser Zeit wissen wir aus den Pflanzen nicht allzuviel. Aus Resten in den Kieseloolithschottern ergibt sich für die Niederrheinische Tiefebene ein dem Oberitalienischen ähnliches Klima. Von dieser Zeit bis zur Jetztzeit ist also noch ein erheblicher Temperaturrückgang zu verzeichnen. Es wird unsere weitere Aufgabe nun sein, diese Erscheinungen auch noch im Diluvium zu verfolgen.

3. Verwitterung im Diluvium.

Die Eiszeit scheint die Möglichkeit der Verfolgung von Verwitterungsstapen durch das Diluvium bis zur Jetztzeit auszuschließen. Wir müssen aber daran denken, daß wir keine dauernden Eiszeiten, sondern Zwischen-Eiszeiten gehabt haben. Diese waren bekannterweise wärmer als jetzt, wie aus einer Reihe von Pflanzen hervorgeht. Sogar noch nord-amerikanisch-ostasiatische Elemente waren vorhanden. Vielleicht kann sogar noch in der postglazialen Zeit ein wärmeres Klima vorhanden gewesen sein. Jedenfalls wies ANDERSSON für Süd-Norwegen noch in der Litorinazeit auf ein um $2\frac{1}{4}^{\circ}$ wärmeres Klima als in der Jetztzeit hin. Es ist aber sehr fraglich, ob diese warme Temperatur sich auch über Deutschland erstreckt hat. Zum mindesten ist bei uns aber eine Trockenzeit zu verzeichnen gewesen.

Die für die Interglazialzeiten mit Hilfe der Pflanzenreste angegebenen Temperaturen lassen sich für unsere Verhältnisse nicht verwenden, da infolge der Herabsetzung der Temperaturen durch die Eiszeit eine völlige Verdrängung der einheimischen Floren eintrat und in den Interglazialzeiten eine völlige Rückwanderung in der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht stattfinden konnte. (Die Anschauungen von GEINITZ über das Wesen der Eiszeiten brauche ich hierbei, als vorläufig zu vereinzelt stehend, nicht zu berücksichtigen, obgleich sie sogar zum Teil geeignet wären, das Folgende zu stützen.)

a. Interglaziale Rotlehmbildung.

Entsprechend diesen höheren Temperaturen gegenüber der Jetztzeit muß die Bodenbildung in diesen Zeiten erfolgt sein. Als interglaziale Verwitterungsrinden sind sie schon lange bekannt. Es handelt sich im allgemeinen um eine intensive rotbraune Verlehmung, wie sie jetzt nicht mehr auftritt, deren fossilen Charakter ich speziell auch aus der Umgebung von Gießen beweisen konnte. Wenn SCHOTTLER für das ältere Lahndiluvium gelbgefärbte Kieselschiefer als charakteristisch angab, so beruht dies auf einer Durchtränkung der Geschiebe mit Eisenlösungen. Von zahlreichen Stellen Deutschlands ist die Erscheinung beschrieben worden. BLANCK hat sie ausführlich zusammengestellt und

ist süddeutschen Erscheinungen mit besonderen Analysen nachgegangen. PENCK und BRÜCKNER haben die Erscheinungen aus den Alpen in zahlreichen Zeichnungen und Profilen beschrieben. In dem oberitalienischen Ferretto ist die besonders tiefgründige Zersetzung schon längst bekannt.

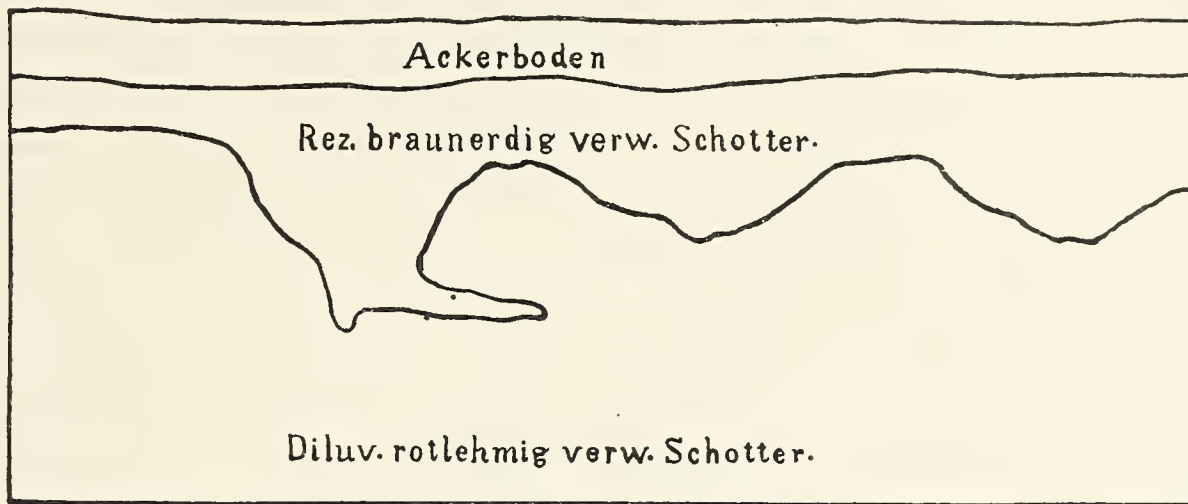


Fig. 6. Rezente Braunerde-Verwitterung auf diluvial rotlehmic verwitterten Schottern. Marburger Straße bei Gießen. Bezeichnend ist die taschenförmige Eintiefung der jüngeren Verwitterung.

Nach dem Zersetzungsgrade kann man im Alpengebiet die Jung- und Altmoränen unterscheiden. Man hat daher zunächst daran gedacht, daß die intensive Zersetzung der älteren Schotter nur durch die Länge der Zeit entstanden wäre, dies ist aber nicht der Fall und zwar erkennen wir dies in der starken Verlehmung, die der Ältere Löß erlitten hat.

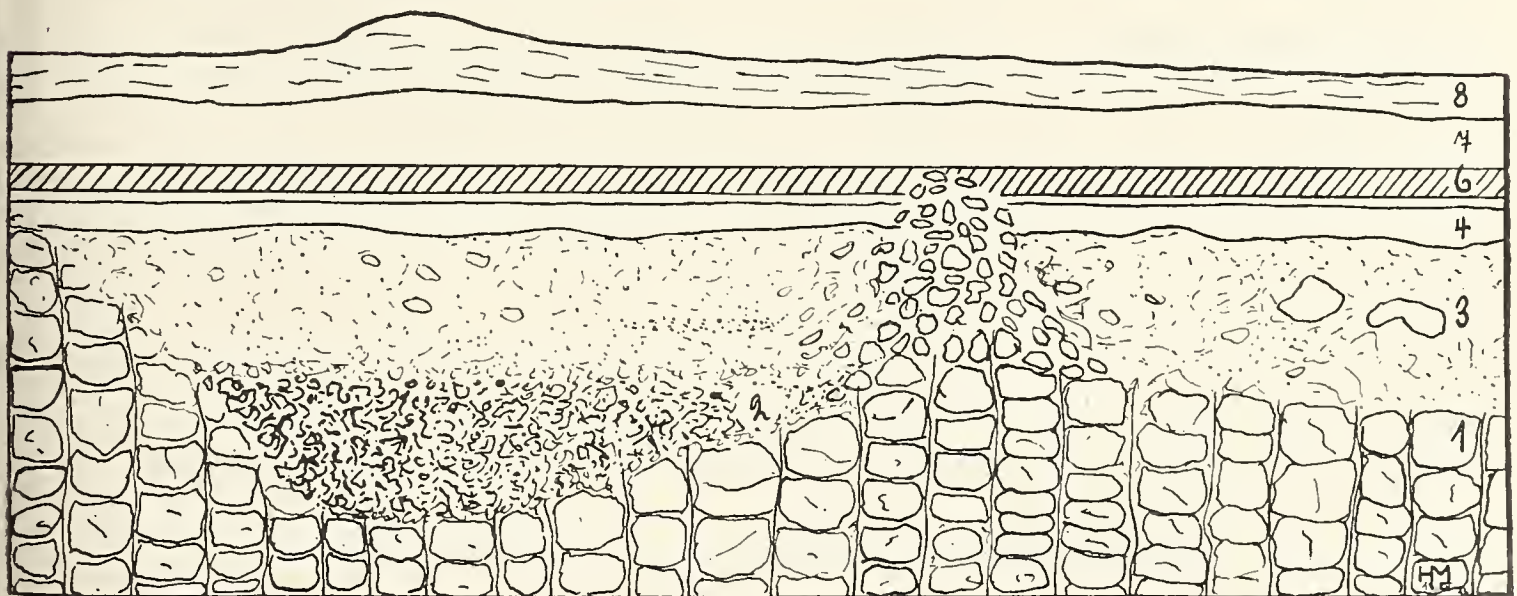


Fig. 7. Diluviale Rotlehm- und Schuttbildung unter Löß und Bimssteinsand. Schiffenberg bei Gießen. 1. Basalt, stark zerklüftet, sonst ziemlich frisch. 2. Basalt, grusig zerklüftet, übergehend in 3, 70—80 cm. 3. Basaltgrus, auch mit größeren Blöcken, mit roten Rinden, eingebacken in sandigem Rotlehm, dem offenbar auch Lößlehm beigemischt ist. Mit kleinen Eisenstein- und Bauxitgeröllen, rund 100 cm. 4. Bimssteinsand, fest verkittet, 10 cm. 5. Bimssteinsand, lose, 5 cm. 6. Bimssteinsand, dunkel, 15 cm. 7. Bimssteinsand, leicht rötlich verlehmt, mit eingeschwemmten Basaltstücken, bis 50 cm. 8. Rezente, lockere mit Steinchen durchsetzte Braunerde, rund 100 cm. Der sandige Rotlehm Nr. 3 stellt einen offenbar im ganzen Vogelsberg verfolg- baren Horizont dar.

Der Ältere Löß ist zu dem braunroten Laimen umgewandelt, den schon STEINMANN als Terrarossa-ähnlich ansprach, wie auch von bodenkundlicher Seite zugegeben wird. Der Laimen wurde durch Auflagerung von Jüngerem Löß eingedeckt und dadurch der Verwitterung entzogen. Seine starke Umwandlung, die allerdings chemisch noch nicht ganz klar gelegt ist, beruht also nicht auf der Länge der Verwitterung, sondern darauf, daß eine andere Verwitterung und zwar eine solche unter höheren Temperaturen stattgefunden hat. Ein großer Teil unserer auf Hochflächen verbreiteten schwach rotbraunen Lehme, soweit sie nicht aus Löß hervorgegangen sind, sind offenbar ebenfalls Produkte dieser Zeit. In vielen Gebieten z. B. im Odenwald, im Spessart, im Rheinischen Schiefergebirge kann man nachweisen, daß diese oft recht mächtigen Verwitterungsrinden schon von den diluvialen Tälern angeschnitten werden, so daß es nicht ausgeschlossen ist, daß manche von ihnen sogar noch in das Pliocän gehören. Im Vogelsberg scheint sich speziell eine diluviale Rotlehmbildung auf den Basalten zu kennzeichnen, deren genauere Untersuchung im Gange ist. In einem Fall konnte ich am Schiffenberg bei Gießen nachweisen, daß die Rotlehmbildung vor Ablagerung der jungdiluvialen Bimssteinsande entstanden sein muß, an anderen Stellen liegt sie unter Löß (Fig. 7). Sie ist sehr weit verbreitet.

Das Auftreten der Rotfärbungen würde an sich nicht beweisend sein, wenn nicht BLANCK durch Analysen nachgewiesen hätte, daß in der Rotlehmbildung ein Vorgang eingetreten ist, der sich durchaus mit der der Roterde berührt. Kieselsäure ist fortgeführt und rotes Eisenhydrat angereichert worden. Auf diese Art und Weise ergibt sich also bodenkundlich ein völliger Übergang vom Tertiär in die Jetztzeit hinein. Nicht die glazialen Bodenbildungen erscheinen so als das Normale und Herrschende, sondern die interglazialen Verwitterungsperioden sind eigentlich ausschlaggebend, sie wurden nur durch das wiederholte Vorrücken der Eiszeiten unterbrochen. Die Stellung von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten wäre also gewissermaßen umzutauschen. Es ergibt sich damit eine gewisse Anlehnung an die GEINITZsche Auffassung der Eiszeit, die ich aber nicht weiter erörtern will.

b. Glaziale mechanische Verwitterung.

In den Zeiten der Eisverbreitung gelangten die nicht vergletscherten Gebiete Deutschlands ebenfalls unter die Einwirkung glazialen Klimas. Dies machte sich wesentlich durch eine starke Frostwirkung bemerkbar. LOZINSKI hat zuerst auf die starke Frostwirkung im Umkreis des Eises aufmerksam gemacht und sie als periglaziale Fazies der Verwitterung bezeichnet. Seine Beobachtungen erstrecken sich zunächst nur auf die Bildung von Felsenmeeren. Durch seine Untersuchungen angeregt, kam ich in zahlreichen Gebieten, z. B. im Schwarzwald, Rheinischen Schiefergebirge zu dem Ergebnis, daß ein großer Teil unserer Schuttmassen in den Mittelgebirgen nicht rezent ist, sondern ebenfalls in diese

Zeit hineingehört¹⁾. Manche Autoren haben dies schon richtig erkannt, wie sich aus vielen Angaben in den Erläuterungen zu den geologischen Spezialkarten ergibt. Von speziellen Punkten will ich ganz absehen, die Erscheinung gilt für alle deutschen Mittelgebirge. Manche der Massen sind als Moränen angeführt worden, z. B. die durch LEPSIUS am Rande des Rheinischen Schiefergebirges und aus dem Vogelsberg bekannt gewordenen. Für manche der Schuttmassen kann man sicher annehmen, daß sie durch Erdfließen in ihre jetzige Lage gekommen sind, wie die Steinströme des Odenwaldes oder des Hohen Venns. SALOMON hat erst vor kurzem in einer Zusammenstellung darauf hingewiesen.

Mit der mechanischen Verwitterung und dem durch die niedrige Temperatur und mangelnde chemische Zersetzung bedingten elektrolytarmen Wasser damaliger Zeiten ist wahrscheinlich auch der staubartige Charakter mancher der die Hochflächen bedeckenden Verwitterungslehme zu erklären. Diese Lehme sind selbstverständlich zur Jetztzeit weiter umgewandelt worden, so daß wahrscheinlich ein Teil des Lehmcharakters erst sekundärer Entstehung ist.

RAMANN (1916) machte darauf aufmerksam, wie die elektrolytarmen Wasser der Diluvialzeit wesentlich rein sandige Absätze hervorbrachten, während in der Jetztzeit in unseren Gebieten bei nicht zu starkem Gefälle fast jede Überschwemmung mehr oder weniger tonige Ablagerungen liefert. In unseren Braunerden sind die Bodenlösungen elektrolytreich, daher tritt stärkere Ausflockung toniger Substanzen ein. Wir sehen an diesem Beispiel sehr schön den Zusammenhang von Gestein und Verwitterung, ohne ihn aber als festes Merkmal benutzen zu können.

Aus dieser kurzen Zusammenstellung ergibt sich deutlich, daß es durchaus nötig wird, Schutt und Lehmmassen immer auf den Karten zur Darstellung zu bringen, da sie zum großen Teil sicher fossilen Charakter haben, wie ich oben schon angedeutet habe.

c. Aride Verwitterung.

Bei dem Rückgang des Eises bildeten sich Trockenzeiten aus, so daß sich der auch damals nur wenig weiter südlich befindliche nördliche Trockengürtel in unsere Breiten hineinschob. Als Produkt der damals herrschenden Steppe entstand der Löß. Sein fein verteilter Gehalt an Calciumcarbonat, der früher Schwierigkeiten in der Erklärung hervorrief, ist leicht durch die konzentrierten Bodenlösungen des ariden Gebietes zu erklären. Auch ein großer Teil der Lößkonkretionen ist dadurch entstanden, obgleich nicht zu verkennen ist, daß in manchen Fällen auch jetzt durch Auslaugung des Kalkes an geeigneten Stellen Konkretionen aber sekundärer Art entstehen können. RAMANN machte, obgleich es aus zahlreichen Stellen seines Lehrbuches schon hervorging, inzwischen

¹⁾ Vergl. die Mitteilung über Blockfelder im östl. Vogelsberg. Ber. Niederrh. geol. Ver. 1916 (im Druck).

noch besonders darauf aufmerksam, daß der Gehalt des Kalks im Löß, wie von mir erklärt, aus tieferen Schichten stammt und durch Wasser nach oben geführt wurde.

Entsprechend seiner Entstehung als arider Staubboden ist der Gehalt des Lößes an Tonerde ein geringer. Trotzdem wurde Löß bisher immer bei den tonigen Sedimenten behandelt. Ich habe daher in Vorlesungen und Übungen stets darauf aufmerksam gemacht, daß der Löß an das Ende der Sandreihe zu stellen ist und zum Ton keine Beziehung hat. Inzwischen hat SALOMON (1915) diese Tatsache schon besonders hervorgehoben.

Auf die Steppenphase, in der der Löß unter Mitwirkung der Grasvegetation abgesetzt wurde, folgt dann wieder humides Klima in der Waldphase. In dieser Zeit entstehen die erwähnten diluvialen Rotlehm bildungen, die sich auch auf dem Löß bemerkbar machen, der Löß verlehmt, indem seine Silikatbestandteile sich zersetzen. Die Temperaturen dieser Zeiten waren im älteren Diluvium höhere, daher zeigt der Ältere Löß in dem Laimen eine roterdeähnliche Verwitterung. Stellenweise müssen aber auch andere klimatische Verhältnisse geherrscht haben, so daß Humusanreicherungen in dem Löß stattfanden, über deren klimatische Einordnung noch keine völlige Gewißheit besteht. MURGOCI machte darauf aufmerksam, daß jetzt im mediterranen kontinentalen Klima entsprechende rotbraune humose Böden vorkommen.

Die Abwechslung von Löß und Lößlehm beruht also nicht allein auf einer Unterbrechung des Absatzes, sondern auf verschiedenen klimatischen Bedingungen, die damals geherrscht haben. Wenn wir an einem Profil etwa die Folge: Älterer Löß, Laimen, humoser Löß, Jüngerer Löß, Lößlehm beobachten, wie ich sie z. B. von Münzenberg beschrieben habe (1909), so liegen nicht weniger als 4 verschiedene klimatisch bedingte Bodenbildungen vor, von denen 3 fossil sind, 2 in humides und 1 in arides Klima gehören.

Man hat wiederholt isolierte Felsen mit besonderen Verwitterungsrinden oder wabenartigen Erscheinungen als Produkte dieses ariden Klimas bezeichnen wollen. Eine lebhafte Erörterung hat über diese Frage stattgefunden. Der Charakter dieser Felsen erklärt sich aus der (S. 202 oben erwähnten) von ERICH KAISER zuerst hervorgehobenen Tatsache, daß isolierte Felsen unter unserem Klima infolge der besonderen Wasserbewegung scheinbar unter ariden Bedingungen stehen.

4. Anzeichen horizontaler Gliederungen im Tertiär und Diluvium.

Bei der Verfolgung klimatologischer Probleme müssen stets zwei Fragen getrennt betrachtet werden. Es handelt sich einmal darum, ob eine allgemeine Klimaänderung eingetreten ist und zweitens, ob eine Einteilung in Klimazonen zu einer bestimmten Zeit ausgebildet war. Bei jedem Fall, wo wir fossile Verwitterungen betrachten, müssen

wir daher neben den lokalen auch die regionalen Umstände untersuchen. Ich habe in dem Vorhergehenden die zeitliche Veränderung des Klimas während des Tertiärs und Diluviums besprochen. Wir müssen nun noch danach Umschau halten, ob eine horizontale Gliederung eingetreten ist. Die Möglichkeit, eine solche aufzufinden, ist ziemlich gering. Selbst wenn wir die Verwitterung einer bestimmten Zeit über ganz Deutschland verfolgen könnten, so wäre selbst bei dem Vorhandensein einer Zonenbildung garnicht gesagt, daß wir sie auf einem so kleinen Gebiet tatsächlich finden müßten. Diesen günstigen Fall einer allgemeinen Verbreitung über Deutschland haben wir selbst nicht einmal im Diluvium völlig vor uns.

Von dem Tertiär habe ich eingehend an den Landoberflächen erläutert, daß ihre Verwitterungsbildungen nur in bestimmten Gebieten zu finden sein können. Trotz dieser ungünstigen Verhältnisse sind einige Punkte bekannt, die in den glatten Übergang vom Tertiär zum Diluvium nicht hineinpassen, sondern wohl zum Teil durch zonare Gliederung zu erklären sind. Bei anderen können lokale Einflüsse einwirken, z. B. können Moorablagerungen stark durch lokale Umstände begünstigt werden und bieten in den daraus entstehenden Kohlen keinen sicheren klimatischen Indikator. Mit dieser Rohhumusablagerung können sich dann lokal wieder Kaolinisierungen verknüpfen; so kenne ich eine offenbar oberpliocäne Kaolinisierung¹⁾ aus dem Pliocän der Wetterau, die wohl durch solche Umstände zu erklären ist. Auch im Obermiocän scheint sie an einzelnen Punkten aufzutreten, doch sind darüber die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen.

Aus dem böhmischen Oberoligocän sind Tuffe zwischen den ältesten Basalten bekannt geworden, deren dichte intensive rotbraune Grundmasse zum größten Teil aus Eisen und Aluminiumhydroxyd besteht, Auch einige der höheren Basalte, die wohl zum Teil, wie die unserigen im Miocän entstanden sind, zeigen bei der Verwitterung ziegelrote Farben. Ob bei dem Vorkommen der Hydrattuffe lokale oder regionale Ursachen in Frage kommen, vermag ich noch nicht zu entscheiden. Immerhin ist bemerkenswert, daß rotgefärbte Gesteine in der süddeutschen Molasse auftreten, wobei Kieselsäureausscheidungen beobachtet wurden, die BERZ mit lateritischen in Verbindung setzen will. Der Überblick über diese Zeit wird dadurch erschwert, daß wir im Oligocän auch noch die Spuren einer ariden Einwirkung bis in unsere Gegenden zu verzeichnen haben. Fossile Salze sind immer das Kennzeichen für ein arides Gebiet, sei es, daß es sich um eintrocknende Binnenseen oder abgeschnürte Meeresteile handelt. So sind die Kalisalze des Ober-Elsaß und die Pariser Gipse (die jetzt zum Unter-Oligocän gerechnet werden) auf diese Weise zu erklären. Man könnte aus der Verteilung vielleicht

¹⁾ Es ist nicht ausgeschlossen, daß auch auf Basalte eine Kaolinverwitterung eingewirkt hat. Ich kenne mehrere hell verwittrte, noch nicht näher untersuchte Basalte, die jedenfalls mit Bauxit nicht ohne weiteres zu vergleichen sind.

schließen, daß im Süden von unseren Gegenden sich ein arides Gebiet ausbildete¹⁾. Auf aride Einwirkungen weisen auch die opal- und eisenverkitteten Arkosen im Oligocän von Seifhennersdorf hin (KLEIN, Braunkohlenbergbau, 2. Aufl. S. 144). An der Grenze zu diesem ariden Gebiet fand sich starke Hydratbildung ausgeprägt. Es wäre möglich, daß sich dieses warme Klima erst in der folgenden Periode in nördlichen Gegenden bemerkbar machte.

In dem Eocän scheint sich eine ähnliche Verteilung, nur etwas ausgeprägter, geltend zu machen. Im Eocän tritt uns zunächst eine scheinbare Schwierigkeit entgegen, da wir vorher von der präoligocänen Kaolinisierung gesprochen haben. Aus dem Eocän und späteren Zeiten sind schon seit längerer Zeit Bildungen bekannt, die als klimatisch bedingte angesprochen wurden, es sind dies die Bohnerze. Als primäre Bohnerze kann man offenbar nur die eocänen und pliocänen ansprechen (vgl. ROLLIER, S. 160, 161). Die Fossilien, die in den Taschen auftreten, beweisen ohne weiteres nichts für das Alter der Bohnerze, wenn sie nicht paragenetisch mit diesen in Beziehung gebracht sind. Im Oberrheingebiet mit seiner ausgeprägten Geschichte kennen wir nur Bohnerzbildungen aus den beiden genannten Formationen. LANG hat darauf hingewiesen, daß die Bohnerze, wie ich oben beim Pliocän schon erläutert habe, entschieden nicht einer primären Hydratbildung ihre Entstehung verdanken, sondern daß in einer auf die Hydratbildung folgenden Zeit unter Braunerdeverwitterung eine Konzentration des Eisens stattgefunden hat. Danach muß also die Bildung der Hydraterde zeitlich ein gewisses Stück zurückliegen. Bei dem Pliocän glaube ich, daß die Zeitfolge eine recht schnelle gewesen ist (vgl. oben). Anders ist es aber mit dem Eocän. Hier treten uns recht erhebliche Schwierigkeiten entgegen, da offenbar die präoligocänen Kaolinisierungen in dieser Zeit zum Teil entstanden sind. Die Lösung der Frage kann auf zwei Wegen versucht werden. Es kann einerseits die ursprüngliche Lateritbildung auch zeitlich weit entfernt sein. Wie wir die präoligocäne Kaolinisierung noch in der Jetztzeit verfolgen können, so kann auch die vorausgegangene Hydratbildung in der geologischen Vergangenheit weit zurückliegen und womöglich, wie ich unten auseinandersetzen werde, bis in die Kreidezeit zurückgehen. Andererseits kann auch eine horizontale Gliederung vorliegen, denn es ist sehr auffällig, daß die eocänen Bohnerze sich nur auf Süddeutschland beschränken und umgekehrt die Kaolinisierungen nur in Mitteldeutschland zu beobachten sind. Bei dem Herrschen der präoligocänen Landoberfläche für Mitteldeutschland wäre eigentlich zu erwarten, daß eocäne Bohnerze sich auch hier ausgebreitet finden würden.

¹⁾ Aus den Phosphoriten des französischen Oligorins (Quercy) ergibt sich offenbar eine Humuseinwirkung, da Phosphorsäure wie Eisen und Mangan durch Rohhumus weggeführt wird. Die tonigen, von Brauneisen begleiteten, in Furchen liegenden Sedimente sind typische Verwitterungsprodukte.

Das Eocän ist in steigendem Maße als eine Zeit der Kohlenbildungen bekannt geworden. Diese Kohlenbildungen, die mit unseren präoligocänen Kaolinisierungen übereinstimmen, reichen nur mit ihren Ausläufern nach Süddeutschland und herrschen in Mittel- und Norddeutschland. Die Kohlen von Messel, die ein eocänes Alter haben, das HAUPT zuerst angab und ich durch eine Untersuchung der Schildkröten voll bestätigen konnte, und die Kohlen von Buchweiler gehören zu diesen südlichen Vorposten. Ich möchte bei dieser Gelegenheit nicht unerwähnt lassen, daß einige rote Sedimente aus dem Eocän bekannt sind, die zunächst nach ihrer Farbe und dann wie das Vorkommen von Helmstedt zeigt, durch eine Analyse als Abkömmlinge einer Hydratverwitterung angesprochen sind. Selbstverständlich wissen wir nicht, aus welcher Zeit die Hydratbildung stammt, durch deren Abtragung die roten Tone entstanden. Eine Aufklärung der Frage werden wir erst erhalten können, wenn es möglich sein wird, auch benachbarte Länder in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. DEECKE erwähnte (Centralbl. f. Min., 1905, 97) eine lateritisch vorquartäre Verwitterung Skandinaviens, von der er freilich Kaolin ableiten wollte. Von Bornholm und Schonen sind tatsächlich Kaolinisierungen angegeben worden (COHEN-DEECKE, Jahresber. geol. Ges. Greifswald 1889, 4), so daß hier wohl nur eine damals verständliche Verwechslung vorliegt.

Die horizontale Zonengleichung des Pliocäns habe ich schon erwähnt. Die Bohnerze reichen gerade noch nach Mitteldeutschland hinein. Eine ausgezeichnete horizontale Gliederung zeigt bekannterweise das Diluvium. Die hochgradigen Verwitterungen, bei der die Gesteinstücke völlig morsch und zersetzt sind, finden sich nur auf der Südseite der Alpen, während sie nach Norden hin an Bedeutung stark zurücktreten. Andererseits fehlen die Erscheinungen im jungen Diluvium, wie schon jedes Lößprofil zeigt. So macht sich im Diluvium einerseits horizontale und andererseits die vertikale Gliederung ganz ausgezeichnet bemerkbar.

5. Die Temperaturverhältnisse der neozoischen Bodenbildungen im Vergleich zur Jetztzeit.

Von dem Eocän bis in die Jetztzeit ließ sich in der Verwitterung ein deutlicher Übergang beobachten, der die in der Jetztzeit nebeneinander zu beobachtenden Bodenbildungen nacheinander brachte. Wir müssen dabei beachten, daß die Reihenfolge nicht durchaus mit der jetzigen übereinstimmt, da ein deutliches Einschalten einer ariden Zone zwischen Hydraterde und Roterdebildung nicht bekannt ist. Es scheint sich vielmehr die ganze Verwitterung nur nördlich eines ariden Gürtels abgespielt zu haben, der im Oligocän und Diluvium nur flüchtig in unser Gebiet hereinreichte. (Die diluviale Steppenphase braucht dabei aber nicht berücksichtigt zu werden, da ihr Auftreten offenbar direkt mit bestimmten glazialen Verhältnissen zusammenhängt.) Von Interesse wird es

nun sein, der Frage nachzugehen, wie sich die Temperatur der damaligen Bodenbildungen im Vergleich zur Jetztzeit verhalten. Wir kennen eine Reihe nach den Pflanzenfunden gemachter Angaben, deren Jahresisothermen sich ungefähr wie folgt wiedergeben lassen:

Paläocän	20° C,
Eocän	22° C,
Oligocän	20° C,
Untermiocän	19° C,
Obermiocän	17° C,
Pliocän	14—17° C,
Rezent	10° C.

Ein Vergleich dieser Temperaturen mit unseren Bodenbildungen ergibt sofort eine große Schwierigkeit. Die Hydraterdebildung an der Wende von Miocän zum Pliocän müßte sich, nach den Pflanzen zu schließen, bei Temperaturen von ungefähr 17° abgespielt haben. Jetzt sind für Hydraterdebildung mindestens 20° C Jahresmittel nötig. Diese Temperaturdifferenz gilt nun nicht nur für diese Periode, sondern für das gesamte Gebiet vielleicht mit Ausnahme des Diluviums. Die Verhältnisse würden mit der Jetztzeit übereinstimmen, wenn wir ungefähr alle Temperaturen um 3—4° erhöhen würden.

Der Grund dieser eigenartigen Schwierigkeit, die offenbar schon früher undeutlich bekannt war, wenn behauptet wurde, daß der Bauxit unter kühlem Klima entstanden wäre, kann zum Teil in einer falschen Temperaturbestimmung liegen. Die Temperaturen sind von der Jetztzeit rückgehend nach den Pflanzen aufgestellt worden. Die Sicherheit der Bestimmung nimmt nach der geologischen Vergangenheit zu dazu dauernd ab. Deswegen hat man aus Pflanzen des Mesozoikums oder gar des Paläozoikums noch nie bestimmte Schlüsse zu ziehen gewagt. Es muß also mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß die auf diese Weise errechneten Temperaturen tatsächlich nicht zutreffen. Eher verwertbar sind die aus dem Miocän angegebenen Frostspuren an Blättern von Bäumen. Sie sind aber nur aus der Gegend des Zschipkau und des Senftenberger Braunkohlenreviers bekannt und liegen tatsächlich nördlich von unseren Gebieten altpliocäner Hydratverwitterung, die ja nicht allzuweit nach Norden reicht. Die nördlichsten Bohnerze finden sich bei Homberg nordwestlich Marburg.

Es kann aber auch noch eine zweite Möglichkeit in Frage kommen, die bei vielen klimatologischen Fragen den Ausweg gebildet hat, nämlich Änderungen kosmischer Kräfte. Ich halte es aber für zwecklos, jetzt schon auf eine Erörterung einzugehen. Es wird erst nötig sein, das von mir in groben Zügen entworfene Bild zu bestätigen und zu vervollständigen. Wahrscheinlich wird sich mit dieser Frage dann vor allen Dingen die des immer stärkeren Auftretens roter terrestrischer Gesteine im Mesozoikum und Paläozoikum verknüpfen. In großen

Zügen wird es später außerdem einmal möglich werden, aus der Gestaltung der Erdoberfläche in verschiedenen Zeiten rein meteorologisch klimatische Daten zu errechnen, wie es bisher für wenige Fälle ja schon geschehen ist.

Die Richtigkeit meiner Angaben erhellt aus einer anderen Tatsache. LANG und WALTHER haben fossile Laterite beobachtet. Der letztere will allen Laterit als fossil erklären. Es läßt sich noch nicht übersehen, ob die Behauptung in aller Strenge aufrecht zu erhalten sein wird. Wenn aber zu geologischer junger Zeit noch bei uns Hydratbildung stattgefunden hat, dann muß sie jedenfalls in südlicheren Gegenden erst recht geherrscht haben, falls nicht höhere Niederschläge zur Kaolinisierung gedrängt haben. Tatsächlich ist ja das hohe geologische Alter des Laterit schon von mehreren Autoren betont worden. Insofern bedeuten eigentlich WALTHERS Angaben nur eine sinngemäße Weiterführung früherer Behauptungen und sind mit meinen Angaben durchaus vereinbar. Auf eine weitere Besprechung im Zusammenhange mit PENCKS Verschiebungen der Klimagürtel möchte ich noch nicht eingehen, da die lokale Problemstellung zunächst das Wichtigste ist.

III. Vortertiäre Verwitterungen in Deutschland.

Nur der Vollständigkeit wegen gebe ich im folgenden eine Übersicht der bisher bekannten vortertiären Verwitterungen Deutschlands, wobei ich nochmals betonen möchte, daß die Gesteinsfärbungen allein von mir dabei nicht berücksichtigt werden. Offenbar ist die Verwitterung an der Basis von Formationen, die über ein Festland transgredieren, mit Ausnahme der auffälligen Erscheinungen im Perm, bisher nicht recht beobachtet worden. Überhaupt bestehen, wie besonders aus der Zusammenstellung von SEMPER hervorgeht, noch zahlreiche Differenzen allgemeiner klimatischer Art.

1. Kreide.

Aus der Oberen Kreide Sachsens hat PIETZSCH eine Kaolinisierung bekannt gegeben, die basale Konglomerate nach ihrer Ablagerung betroffen hat. Zeitlich mit ihr stimmt vielleicht die Kaolinlagerstätte im Liegenden von Ober-Kreide auf dem Grundgebirge von Ifö auf Schonen überein (Handb. d. Reg. Geol. IV 3, 1913, S. 87, 179). Vor der Zeit des Cenomans fand, wie aus Böhmen bekannt ist, eine Roterdebildung statt. PIETZSCH weist schon ausdrücklich darauf hin, daß es sich nicht nur um Rotfärbungen, sondern um eine tiefergehende lehmige Zersetzung kristalliner Gesteine handelt. Eine genaue Altersfeststellung ergibt sich wohl daraus, daß die wichtigen französischen Bauxite und Roterdebildungen in der Kreidezeit gebildet wurden. Sie kennzeichnen sich überall als eine stratigraphische Lücke. Sie liegen in Taschen und Höhlungen des basalen Gesteins und werden durch

Albien zugedeckt. Die französischen Autoren (vgl. HAUG, LACROIX) haben bei diesen auf Kalk anstehenden Bildungen schon immer auf tropisches Klima aufmerksam gemacht. Ein gleiches Alter ergibt sich aber auch für die in Italien, Österreich und Ungarn weit verbreiteten Bauxite (von Wochein sind sie aus der Trias bekannt.) Fast überall treten diese Gesteine mit Eisenerzen und bunten Tonen zusammen auf und sind daher mit unseren tertiären Bauxiten allgemein genetisch bestimmt zu vergleichen. KISPATIC bestreitet nun allerdings, daß hier eine der tropischen vergleichbare Hydraterdebildung stattgefunden hat. Er will die Erscheinung der mittelmeeerischen Roterdebildung vergleichen, da sie wie diese nur auf Kalken vorkommt. Die Herkunft des Aluminiumhydrats bedeutet tatsächlich eine gewisse Schwierigkeit, da nur eine untergeordnete Zerlegung der den Kalken beigemischten feinen Silikat-Komponenten zu Aluminiumhydrat stattfinden konnte. Das Aluminiumhydrat soll nach KISPATIC in den Kalken schon in gleicher Form vorgelegen haben. KISPATIC bestreitet überhaupt sogar, daß man die aus Silikatgesteinen hervorgegangenen Hydratbildungen wie im Vogelsberg oder jetzt in den Tropen mit Bauxit vergleichen dürfte. Vogelsberger Bauxit hat ihm leider nicht vorgelegen. Es läßt sich noch nicht entscheiden, wie weit seine Beobachtungen zutreffen. Der Nachweis von Sporogelit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ zeigt, daß keine Bauxit-Hydrargillitbildung stattfand und ein anderer Prozeß vorliegt. Jedenfalls kennt man aber aus dem Gebiet des Zentralplateaus unter pliocänen Basalten und oligocänen Sedimenten auf kristallinen Gesteinen eine typische Hydratverwitterung, die vielleicht hierher gehört, aber allgemein nur als präoligocän bezeichnet werden kann.

Ich glaube, daß die Roterdebildung dieser Zeit den Vorbereitungsprozeß, wie oben schon angedeutet, für die eocänen Bohnerze geliefert hat. Die Kreidebildungen des Schweizer Juras, in dem die eocänen Bohnerze weit verbreitet sind, endigen mit dem Albien. Es ist damit durchaus die Möglichkeit gegeben, daß sie erst in folgender Zeit zur Bohnerzbildung Veranlassung gaben. Die lange Erhaltbarkeit der Bildungen auf den Kalken muß durchaus verständlich erscheinen, wenn wir z. B. sehen, wie sorgfältig die Kalke des Rheinischen Schiefergebirges auf tertiäre Schotter erhaltend wirken. Freilich ist die Bildungszeit nicht ganz einheitlich, da die Bohnerzformation im südlichen Frankreich offenbar in ihren eocänen Gliedern auf Obere Kreide übertritt. Nach ihrer weiteren Verbreitung über die Alpen, Österreich, Dalmatien muß allgemein die späte Unterkreide und die Oberkreide als Hydratbildungszeit in Anspruch genommen werden.

2. Jura.

Aus der Jurazeit kennen wir nur wenig verwertbare Angaben. WALTHER führt rote Einlagerungen in den Solenhofener Kalken auf Einwehung von lateritischem Material zurück. NEUMAYR wollte die rote

Farbe des tonigen Hirlatzkalkes des Lias, der in unregelmäßigen taschenförmigen Vertiefungen des Dachsteinkalkes liegt, direkt durch Verwitterung erklären. Die beiden Horizonte sind durch eine Trockenlegung getrennt. Die Erscheinung gleicht infolgedessen der von zahlreichen rezenten Korallenriffen bekannten Roterdeverwitterung, die früher freilich anders erklärt wurde (WALTHER, S. 932). Die Bildung von jurassischen Salzen in dem Mündener Mergel deutet auf ein Vorherrschen der Verdunstung, also auf ein arides Klima. Eisenreiche Sedimente charakterisieren die Grenze von Kreide und Jura, doch ist die Herkunft des Eisens noch unklar.

3. Trias.

Das aride Klima triadischer Zeiten wird in Deutschland durch das Vorkommen der Salze bewiesen, gleichgültig ob man sie terrestrisch oder marin erklären will. Auf ein arides Klima weisen aber auch der basale Übergang der anstehenden Gesteine und die Sedimente, wie überhaupt der ganze Charakter der abgelagerten Gesteine hin. Speziell die polierten Windkanter, die besonders in Süddeutschland bis nach Mitteldeutschland hinein zu finden sind, und vielleicht auch die Verkieselungen des Karneolhorizontes sind gleichfalls so verwertbar. Ein voll-arides ist das Klima nun freilich nicht gewesen, als ein semiarides dürfen wir es aber mit einem gewissen Recht bezeichnen.

Die rote Farbe triadischer Sedimente ist oft als ein Kennzeichen lateritischer Verwitterung auf den umgebenden Hochgebieten bezeichnet worden, ohne daß diese jemals beobachtet wurde. Aus den Analysen »toniger« Sedimente im Buntsandstein (vgl. BLANCK, 1910) ergibt sich aber, daß dies nicht der Fall sein kann. Allein die häufig unverwitterten Feldspäte schließen diese Möglichkeit schon aus. (Im Voigtland kann man Karlsbader Zwillinge im Unteren Buntsandstein sammeln!) Der Gehalt der Sedimente an Al_2O_3 geht im Oberen Buntsandstein nur bis auf 13,5%, im Mittleren auf 6,6%, im Unteren auf 9%. Gerade in den tiefsten Sedimenten der Bröckelschiefer müßten aber die unmittelbaren Abtragungsprodukte überwiegen. Ein Bröckelschiefer von Aschaffenburg (BLANCK, S. 433) zeigt 59,21% SiO_2 , 9,53% Al_2O_3 . Davon waren in Salzsäure löslich 24,50% SiO_2 , 3,32% Al_2O_3 . Dieses Verhältnis zeigt in dem großen Kieselsäureüberschuß, daß keine Hydratverwitterung geherrscht hat, daß die feinen Bodenbestandteile nicht »Ton«, sondern mechanisch zerkleinertes Material sind. Echte Tone gibt es im Buntsandstein überhaupt nicht.

Ein weiterer Gegenbeweis gegen »Laterit-Verwitterung« liegt in dem von KUŽNIAR, (zitiert nach Geolog. Centralblatt 1914, S. 147) im Keuper der Tatra nachgewiesenen Sporogelit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, der sich von Bauxit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ durch den Wassergehalt unterscheidet. Triadische auf Kalken liegende Bauxite des kroatischen Karstes, die nach KISPATIC

(S. 514) »terra-rossa«-Bildungen sind, zeigen, daß es sich um gleichzeitige Prozesse handelt. KUŹNIAR spricht folgerichtig von Roterdebildungen und Karsterscheinungen zur Keuperzeit.

4. Perm.

Die Wirkungen eines voll-ariden Klimas finden wir in den von mir beschriebenen Gesteinen des Zechsteins und in dem Oberrotliegenden wieder. In wiederholten Mitteilungen habe ich auf diese Tatsache hingewiesen und auch eine offenbar vorhandene Grenze dieses ariden zu einem nördlich humiden Gebiet angedeutet (MEYER, 1915, S. 18). Am deutlichsten prägt sich das aride Klima außer bei den Salzen in der Dolomitregion des süddeutschen Oberrotliegenden aus. Eine ausführliche Bearbeitung dieses Gebiets habe ich vor längerer Zeit abgeschlossen, so daß ich an dieser Stelle auf ein Eingehen verzichten kann.

Von der Rotfärbung an der Basis permischer Schichten muß ausdrücklich betont werden, daß eine Erklärung als Roterdebildung so lange anfechtbar erscheint, als nicht nur eine Rotfärbung des Gesteins, sondern auch wirklich eine tiefgründige Zersetzung eingetreten ist. Persönlich habe ich bei meinen zahlreichen Begehungen an der Grenze des Grundgebirges zum Perm nie etwas derartiges gesehen, sondern nur Auflockerungen, die als aride zu erklären sind. Schon ZIMMERMANN (1909, 1915) hat das Fehlen einer eigentlichen Verwitterung deutlich betont. QUIRING ist der einzige, der in einer nur kurzen Mitteilung auf Verwitterungserscheinungen wie Dolomitisierung, Auslaugung, Verkieselung in der permischen oder alttriadischen Verebnungsperiode hinwies und damit aride Erscheinungen erwähnte. Bei meiner Bearbeitung des Oberrotliegenden werde ich auf diese Tatsache eingehen. Von Interesse wird es sein, später zu untersuchen, wie weit auch an eine derartige ältere Landoberfläche sich Erzbildungen geknüpft haben. Ein Teil der Schwerspatgänge des Schwarzwalds ist wahrscheinlich im Zusammenhang mit dieser Landoberfläche entstanden (vgl. MEYER, 1916).

5. Praecarbon.

Aus der Carbonzeit und von der Auflagerungsfläche des Carbons kennen wir noch keine Verwitterungserscheinungen. Jedenfalls muß aber die starke Rohhumuseinwirkung sich irgendwie bemerkbar gemacht haben, wie allein schon die hellen und grauen Gesteine und der als Bindemittel auftretende Kaolin angeben. Tiefgründige Zersetzungen werden sich aber kaum längere Zeit haben erhalten können, da dauernd starke Abtragung geherrscht hat, die sich unter dem Einfluß tektonischer Störungen noch im Rotliegenden bemerkbar machte.

Aus dem Mitteldevon kennen wir vielleicht rote Verwitterungen. In den Korallenkalken, wie sie im Lahnggebiet verbreitet sind, finden wir rötliche Zwischenlagen, die infolge ihrer bunten Färbung das Gestein zu einem technisch gesuchten machen. Meistens handelt es sich um kalkige

Gesteine mit geringem Ton- und Eisengehalt. In manchen Fällen handelt es sich aber um richtige rote kalkige Letten, die bisher unbeachtet blieben und von dem Unbefangenen ohne weiteres als Triasgesteine angesprochen würden. Mit diesen häufig unregelmäßigen Bildungen sind manchmal sogar brecciöse Lagen verknüpft. Bei der weiten Verbreitung von Roterde auf Korallenriffen, auf die WALTHER hinwies, und der Tatsache, daß gleichaltrige entsprechende Sedimente in den die Riffe umgebenden Diabastuffen nur recht selten bekannt sind, ergibt sich im Zusammenhang mit der häufig unregelmäßigen Lagerung, daß vielleicht Verwitterungserscheinungen vorliegen. Unregelmäßige Suturen, die die Fossilien abschneiden, weisen jedenfalls auf Unterbrechung und Lösung hin. Eine Klärung der Frage kann freilich nur durch eine ausführliche chemische Untersuchung vorgenommen werden. Eine mikroskopische Untersuchung des Materials führte zu keinem Ergebnis. Das von BAUER (1907) besprochene Vorkommen im nördlichen Ceylon entspricht fast wörtlich unserem Gestein. Ich habe schon oben auf das Vorkommen hingewiesen.

Wenn wir so von einer devonischen Verwitterung sprechen, so wäre es nicht ausgeschlossen, daß die an manchen Stellen zu beobachtende Roteisensteinbildung in den Massenkalken damit zu erklären ist, die erst später eine Umlagerung zu Roteisen erlitt. Über die Entstehung des Hauptroteisenstein-Horizontes an der Grenze von Mitteldevon zu Oberdevon will ich damit aber nichts aussagen.

Wenn wir auf diese Weise von einer spät mitteldevonischen Verwitterung sprechen wollen, dann müssen wir folgerichtig die Rotschlamm- bildung der Cypridinschiefer oder der roten Korallenkalke allgemein von einem rotverwitterten Festlande ableiten. Der Form nach können das alte Rote Nordland und das Südgebiet, daß sich im Elsaß geltend machte, durchaus das Material liefern. Ob eine wirkliche Roterde- bildung eingetreten war, wissen wir aber nicht. ANDRÉE führt ähnliche Erscheinungen nach BERGEAT, MOBERG (S. 247) an. Die rote Farbe allein kann aber nicht ausschlaggebend sein. Die Rotfärbung zahlreicher Sedimente ist ein Problem, das auf einem solchen schematischen Wege bei der weiten Verbreitung nicht erklärt werden kann. Genaue petrographische und chemische Untersuchungen von geschulter Hand müssen erst vorausgehen, ehe der Geologe genetische Studien daran knüpfen kann.

Zusammenfassung.

Die Verwitterung wird besonders durch klimatische Vorgänge beeinflusst. Aus dem Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung ergibt sich eine erste Einteilung in aride und humide Gebiete. Das aride Gebiet ist das Auflagerungsgebiet des Festlandes, da keine Ausfuhr der Verwitterungsprodukte in das Meer eintreten kann. Fossile terrestrische Sedimente, die nicht unter besonderen Umständen erhalten

sind, sind daher mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zunächst als aride Gebilde anzusprechen. Das humide Gebiet ist das Abtragungsgebiet des Festlandes. Humide Sedimente treten zurück, da sie immer wieder abgetragen werden. Humide Verwitterungsböden sind in einer Zonenfolge vom Pol bis zum Äquator bekannt. Pol und Äquator sind durch Humusanhäufungen gekennzeichnet. Von beiden Gebieten aus nach dem Trockengürtel zu finden sich humusarme und schließlich humusfreie Böden. Tonerdesilikate werden so zerlegt, daß in den Humusgebieten Bildung einer Aluminiumkieselsäure und dann anschließend von wasserhaltigem Aluminiumsilikat und dann, in humusfreien Gebieten, von Aluminiumhydrat stattfindet. Diese Böden sind häufig fossil erhalten. Auch marine Sedimente können klimatische Einflüsse erfahren.

Auf Deutschlands fossilen Landoberflächen, die in ihrem Auftreten durch die verschiedene Geschichte von Nord-, Mittel- und Süddeutschland bedingt sind, finden sich auch die entsprechenden fossilen Verwitterungsarten. Die abfallende Temperatur vom Tertiär bis zur Jetztzeit verursachte, wie besonders im Vogelsberg bewiesen wird, entsprechende Bodenbildungen, von denen die präoligocäne Kaolinisierung, die pliocäne Hydraterdebildung, die diluviale Rotlehm- und Schuttbildung die wichtigsten sind. Es sind aber gegen die Jetztzeit noch nicht aufgeklärte Differenzen in der Temperatur vorhanden. Auch aus vortertiären Formationen Deutschlands werden Verwitterungserscheinungen beschrieben. Die Zurückführung der permisch-triadischen Rotfärbung auf Lateritverwitterung läßt sich nicht begründen, alle Anzeichen weisen auf aride Sedimente. Erklärungsmöglichkeiten der Rotfärbung und die tektonische Stellung der roten Sedimente werden erörtert.

Literaturverzeichnis.

- AHLBURG, JOH., Jahrb. d. Kgl. Preuß. geol. L.-A. f. 1915, 36, T. I, S. 269—373.
 ANDERSSON, G., Bot. Jahrb. f. System, Pflanzengesch. u. Pflanzengeogr., XXII.
 ANDRÉE, K., Peterm. Mitteil., 1913, 118ff.
 BÄRTLING, R., Die Schwerspattlagerstätten Deutschlands, Stuttgart 1911.
 BARNITZKE, J. E., Zeitschr. f. prakt. Geol., 1909, 457.
 BAUER, M., N. Jahrb. Festband 1907, 33.
 BAUER, M., N. Jahrb. 1898, II, 163.
 BERZ, KARL M., Jahresh. Ver. f. Vaterl. Naturk. in Württemberg, 71, 1915.
 BEYSCHLAG, F., Zeitschr. f. prakt. Geol., 1915, 129—137.
 BLANCK, E., Journal f. Landwirtsch. 1912, 65.
 BLANCK, E., Mitteil. Landwirtsch. Inst. Breslau, 6, 1913, 619—681.
 BLANCK, E., Geol. Rundschau, 7, 1916, 57—62.
 BLANCK, E., Jahresh. Ver. f. Vaterl. Naturk. in Württemberg, 1910, 1911.
 BRAUN, G., Deutschland 1916.
 BÜCKING, H., Abh. Kgl. Preuß. geol. L.-A. N. F., H. 12, 1892.

- DACQUÉ, E., Grundlagen und Methoden der Paläogeographie, Jena, 1915.
- ECKARDT, R., Klimaproblem, 1909, Braunschweig.
- ENDELL, K., Centralbl. f. Min. etc., 1913, 676.
- FISCHER, K. u. WENZ, W., Jahrb. Kgl. preuß. Geol. L.-A. f. 1914, 35, T. II.
- FLIEGEL, G., Zeitschr. D. Geol. Ges. 65, 1913, Mon. Ber. 387ff.
- FRECH, FR., Lethaea palaeozoica.
- GLINKA, K., Typen der Bodenbildung, Berlin 1914.
- HAUG, E., Traité de Géologie.
- HILGARD, E. R., Internat. Mitt. f. Bodenk., 1, 1911, 415—429.
- KAISER, E., Handb. d. Stein-Industrie, Bd. I.
- KAISER, E., Zeitschr. D. Geol. Ges., 56, 1904, 17.
- KAYSER, EM., Allgem. Geologie, III. A. 1907.
- KISPATIC, M., N. Jahrb. B. B. 34, 1912, 513—552.
- KÖBRICH, K., Der Bergbau im Großherzogtum Hessen, Darmstadt 1914.
- KRUFT, L., N. Jahrb. f. Min. usw., B. B. 15, 1902, 62.
- LACHMANN, W., Z. D. Geol. Ges. 66, 1914, Mon. Ber. 227.
- LACROIX, A., Mineralogie de la France, III, 1901, 342—344.
- LANG, R., Internat. Mitt. f. Bodenk., 5, 1915, 5.
- LANG, R., Centralbl. f. Min. usw., 1914, 1915.
- LANG, R., Chemie der Erde, 1, 1915, 134—154.
- LANG, R., Geol. Rundschau, 6, 1915, 242—263.
- LOZINSKI, W. VON, C. R. XI. Congr. Géol. Internat. 1903.
- MACK, B., Chem. Unters. über Roterden und Bohnerztonen. Diss. Freiburg 1908.
- MANN, O., Bodenarten der Tropen, Berlin 1914.
- MEIGEN, W., Geol. Rundschau, 2, 1911, 197.
- MEYER, H. L. F., «Kali». V. Jahrg. 1911, S. 179—185.
- MEYER, H. L. F., Ber. Oberh. Ges. f. Nat.- u. Heilkunde zu Gießen, N. F., Naturw. Abt., Bd. 5, 1912, S. 49ff.
- MEYER, H. L. F., Centralbl. f. Min. usw., 1913, S. 742—751.
- MEYER, H. L. F., Ber. d. Niederrhein. Geol. Ver. 1913, II. Heft, S. 92—95.
- MEYER, H. L. F., Ber. d. Niederrhein. Geol. Ver. 1914, I. Heft, 92—96.
- MEYER, H. L. F., Z. f. prakt. Geologie, 1916, Heft 3 und 6.
- KAISER, E. u. MEYER, H. L. F., Ber. Niederrhein. Geol. Ver. 1913, II. H.,
- MURGOCI, G., Verh. 2. internat. Agrogeol. Conf. 1911, 330.
- NEUMAYR, M., Erdgeschichte, 2. Aufl., 2, 1895.
- PENCK, A., Sitzungsber. d. Kgl. Pr. Akad. d. Wiss. Phys. Mathem. Klasse 1910.
- PEPPLER, W., Ber. Oberh. Ges. f. Nat. u. Heilk. N. F. Naturw. Abt., 4, (1910—11) 1912, S. 109—112.
- PHILIPPI, E., N. Jahrb. Festband 1907, 397—426.
- PHILIPPI, E., Zeitschr. D. Geol. Ges., 60, 1908, 360.
- PHILIPPI, E., Zeitschr. D. Geol. Ges., 62, 1910, 305—404.
- PIETZSCH, K., Zeitschr. D. Geol. Ges., 65, 1913, 594.
- QUIRING, H., Zeitschr. D. Geol. Ges., 65, 1913, 418.
- QUIRING, H., Centralbl. f. Min., 1913, 269.
- RÖSLER, N. Jahrb. f. Min. usw. B. B., 15, 1902, 231.
- RAMANN, E., Bodenkunde, 3. Aufl., 1911.
- RAMANN, E., Zeitschr. D. Geol. Ges., 67, 1915, 275.
- RECK, H., Zeitschr. D. Geol. Ges., 64, 1912, 81.
- ROLLIER, L., Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich, 50, 1905, 150.
- SALOMON, W., Geol. Rundschau, 6, 1915, 398.
- SALOMON, W., Geol. Rundschau, 7, 1916, 30.
- SCHERING, H. G., Chem. Unters. über Löß und Lehm, Diss. Freiburg 1909.
- SCHOTTLER, W., Geol. Führer durch das Großh. Hessen, Darmstadt 1911.
- SCHOTTLER, W., Notizbl. d. Ver. f. Erdk. Darmstadt, IV. F., 34, 1913, 51.
- SEMPER, M., Geol. Rundschau, 1, 1910, 57.

- SOELLNER, J., Mitt. Gr. Bad. Geol. L. A., 7, 1912, 313.
SPRING, W., N. Jahrb. 1899, 1, 47.
STAFF, H. von, Geol. Pal. Abhandl. N. F., 13, 1914, 85.
STAHL, A., Archiv f. Lagerst.-Forschung, Heft 12, 1912.¹⁾
STEINMANN, G., Die Nagelfluh zu Alpersbach im Schwarzwalde. Freiburg 1888.
STEINMANN, G., Mitt. Gr. Bad. Geol. L. A., V, 1906,
STREMME, H., Geol. Rundschau, 1, 1910, 337.
STREMME, H., Geol. Rundschau, 5, 1914, 480.
STREMME, H., BRANCA-Festschrift 1914, 16.
THUGUTT, S. J., N. Jahrb. B. B. 9, 1894, 554.
TUCAN, FR., N. Jahrb. B. B., 34, 1912, 401—430.
VAGELER, Mitt. D. Landwirtsch. Ges., Heft 26, 27, 1913.
WALTHER, JOH., Z. D. Geol. Ges., 66, 1914, Mon. Ber. 284.
WALTHER, JOH., Z. D. Geol. Ges., 67, 1915, Mon. Ber. 113.
WALTHER, JOH., Peterm. Mitt., 1916, H. 1 u. 2.
WÜST, E., Zeitschr. f. prakt. Geol., 1907, 17.
ZIMMERMANN, E., Z. D. Geol. Ges., 61, 1909, Monatsber. 152.
ZIMMERMANN, E., Z. D. Geol. Ges., 67, 1915, Monatsber. 167.

¹⁾ Auf diese Arbeit werde ich erst durch die Freundlichkeit von Herrn Professor STREMME, aber leider zu spät, aufmerksam.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: [7](#)

Autor(en)/Author(s): Meyer Hermann L. F.

Artikel/Article: [Klimazonen der Verwitterung und ihre Bedeutung für die jüngste geologische Geschichte Deutschlands 193-248](#)