

im geologischen Schichtenverbande gestattet zu gleicher Zeit, das Eingangsgebiet des Grundwassers festzustellen, wobei auf die Steigkraft des Wassers aus dem Höhenunterschiede zwischen Eingangsgebiet und beliebiger Stelle der Liegendwasserrinne wichtige Schlüsse gezogen werden können. Ein weiterer Vorteil der Anfertigung von Flözkarten liegt darin, daß bei ihrer Anlage sämtliche Bohrprofile des betreffenden Gebiets bearbeitet werden müssen. Enthalten sie Angaben über den Wasserstand der Bohrlöcher, so ermöglichen sie die Anfertigung einer Grundwasserstromkarte. Desgleichen geben sie Anhaltspunkte für das Vorhandensein nutzbarer Lagerstätten, wasserführender, schwimmender und wasserundurchlässiger Schichten; dies wiederum dient durch gemeinsame Deutung zahlreicher Bohrprofile zur Klärung der Wasserverhältnisse und Feststellung der Mächtigkeit und Erstreckung etwaiger vorhandener nutzbarer Nebengesteine.

Die genaue Angabe des Gesteinscharakters, seine einheitliche Bezeichnung, die Sammlung charakteristischer Bohrproben und Hinweise auf Wasserführung der einzelnen Schichten bilden mithin bei der Anlage des Bohrjournals wichtige Unterlagen, und bedeuten, einmal unterlassen, verlorenes Material.

Schließlich geben derartige Flözkarten Veranlassung zu volkswirtschaftlich wichtigen weiteren Untersuchungen in Randgebieten, wobei das schon nach den obengenannten Gesichtspunkten untersuchte Nachbargebiet wertvolle Fingerzeige gibt und so unrationelle Bohrungen vermeiden läßt.

Hieraus ergibt sich, daß die Anlage von Flözkarten für große, zusammenhängende Lagerstätten bedeutende praktische Werte zeitigt, indem sie die Lagerung des Flözes festlegt und durch eingehendes Studium die geologische Schichtenfolge, Grundwasserverhältnisse des Liegenden und Deckgebirges und etwa vorkommende nutzbare Lagerstätten in umfassender Weise behandelt.

Die Entstehung von Braunkohle und Kaolin im Tertiär Mitteldeutschlands.

Ein geologisch-bodenkundliches Problem.

Von Professor Dr. Richard Lang-Halle.

Einleitung.

Der mit den Fragen der chemischen und physikalischen Geologie weniger Vertraute mag versucht sein anzunehmen, daß der Titel dieser Schrift zwei verschiedene Fragen der Tertiärgeologie behandle, die höchstens zeitlich eine gewisse Zusammengehörigkeit aufweisen, in genetischer Hinsicht jedoch keinerlei innere Beziehungen besitzen. Diese Auffassung war noch vor 20 Jahren durchaus herrschend, und erst in den letzten zwei Jahrzehnten hat sich allmählich die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß Braunkohle und Kaolin in ihrer Entwicklung nicht unabhängig voneinander sind, daß sie vielmehr ihrer Entstehung nach engste Beziehungen zueinander haben.

Die Erklärung der Kohlenablagerungen als fossiler Humusböden, die Deutung der Kaolinbildung als einer Art Verwitterung, die zur Tertiärzeit an der damaligen Bodenoberfläche sich geltend machte und die heute noch durch die Bleichung der Gesteine uns die Verfolgung der alttertiären Landoberfläche ermöglicht, führt zu der Erkenntnis, daß Braunkohle und Kaolin alte Bodenbildungen sind, daß die Frage ihrer Entstehung also ein bodenkundliches Problem darstellt.

Daß es aber auch keine nur nebeneinander vorkommende alte Bodenbildungen sind, sondern zwei Bodenformen, die gegenseitig voneinander ab-

hängen, genetisch eine Einheit bilden und deren eines daher ohne das andere undenkbar ist, soll im folgenden näher erläutert werden.

Es ist somit nicht bloß ein Zufall, daß im mitteldeutschen Braunkohlengebiet auch der Kaolin mit vorkommt, die beide nebeneinander zu intensivstem Abbau Veranlassung geben, vielmehr ergänzen sich beide Vorkommen, da sie eine genetische Einheit der Bodenkunde darstellen.

Sie müssen somit auch in der Darstellung zusammen behandelt werden.

Will man allerdings auch die Entwicklung der Erkenntnis über die Entstehung von Braunkohle und Kaolin besprechen, so muß man berücksichtigen, daß diese Bildungen früher als völlig fremdartige Gebilde betrachtet und daher scharf auseinander gehalten worden sind und stets getrennt behandelt wurden. Es ist somit nicht anders möglich, die Anschauungen der früheren Zeit mitzuteilen, als indem man die beiden Fragen im historischen Teil nacheinander abhandelt und die Verwebung der beiden Vorgänge zu einer Einheit erst im letzten Teile der Schrift durchführt.

I. Die Entstehung der Braunkohle.

In der Frühzeit der Entwicklung der geologischen Wissenschaft waren manche Forscher zu der ganz richtigen Auffassung gelangt, daß die Braunkohlen bzw. Steinkohlen, die ja den Braunkohlen entsprechende Bildungen sind, aus abgestorbenen und vermoderten Pflanzen an Ort und Stelle ihres Wachstums gebildet seien.¹⁾

Als jedoch später die ungeheueren Anhäufungen von Treibholz im Mündungsgebiet des Mississippi die Aufmerksamkeit der Geologen auf sich lenkten, nahm man an, daß nur durch Zusammenschwemmung so gewaltige Massen organischer pflanzlicher Substanz sich anhäufen könnten, daß die Bildung von Kohlenflözen möglich sei. Diese Anschauung, daß die Kohlen nicht am Orte des Pflanzenwachstums abgelagerte, sondern von anderswoher zusammengeschwemmte — allochthone — Ablagerungen seien, ist heute noch nicht ganz überwunden.

Des weiteren unterschied man je nach der Verzahnung der Kohlenablagerungen mit marinen Schichten oder dem Fehlen von solchen zwischen paralischer und limnischer Entstehung der Kohlen, insofern die organischen Stoffe im einen Falle in der Nähe des Meeres entlang den Küsten, im andern Falle aber in Süßwasserbecken abgelagert sein sollten.

Zeitweilig wurde sogar die Auffassung vertreten, daß die Kohlenflöze überhaupt keine Festlandsbildungen, sondern marine Bildungen seien, entstanden durch die Anhäufung von Tangen oder anderen Meerespflanzen oder durch Fossilisation schwimmender Wälder.

Erst in den achtziger Jahren hat Gumbel erfolgreich wieder darauf hingewiesen, daß ein großer Teil der Kohlen an Ort und Stelle der Pflanzenbildung abgelagert sein müsse, daß sie „als ein autochthones Erzeugnis abgestorbener, zerfallener und zersetzter Pflanzenteile zu betrachten“ seien. Er setzte der Anschauung von der Allochthonie der Kohlen wieder die alte von der Autochthonie derselben entgegen.²⁾ Diese Auffassung ist heute die herrschende³⁾ und man wird nicht fehlgehen, wenn man weitaus den größten Teil der Kohlen-

1) Erstmals ausgezeichnet geklärt von dem Hildesheimer Domherrn Fr. Frh. von Beroldingen in dessen Schrift: Beobachtungen, Zweifel und Fragen die Mineralogie betreffend. 1. Versuch. 1778.

2) Gumbel, C. W., Beiträge zur Kenntnis der Texturverhältnisse der Mineralkohlen. Sitzungsber. Bayer. Akad. d. Wiss. Math.-phys. Kl. 1883, I S. 111.

3) Vgl. insbesondere Dannenberg, A., Die Kohlebildung als geologisches Problem. Fortschr. d. naturw. Forschung., 1914. Bd. X. S. 131—156.

ablagerungen als autochthone Bildungen betrachtet. Kayser weist darauf hin, daß mindestens neun Zehntel aller Kohlenflöze autochthone Bildungen sind.¹⁾

Die Deutung der Entstehung organischer Gesteinsablagerungen aus den verwesenden und vermodernden Pflanzenresten ist aber eine Aufgabe der Bodenkunde, eines Zweiges der chemischen und physikalischen Geologie. Die Frage der Bildung der Braunkohlen ist damit zu einem bodenkundlichen Problem geworden.

In der Folge hat man daher nach Bildungen rezenter Art gesucht, die die Entwicklung der Braunkohlen zu erklären vermöchten. Nichts lag näher als der Vergleich mit den Torfbildungen, deren Entwicklung wir heute noch mit eigenen Augen beobachten können, und man hat daher eine Altersreihe der brennbaren Stoffe aufgestellt, die vom rezenten Torf über die tertiäre Braunkohle zur carbonischen Steinkohle führt.

Mit Recht nimmt man an, daß die Braunkohle aus früherem lockerem Material verfestigt und umgebildet sei, daß Prozesse der Diagenese den weichen Humus zu verfestigter Braunkohle verändert haben, wie im Laufe der Zeiten unter der Einwirkung diagenetischer Vorgänge aus lockerem Sand harter Sandstein sich bildet.²⁾

Der Torf ist das Produkt der Moore, die man in Hoch- und Niedermoore zu trennen pflegt. Die Hochmoore haben insbesondere in feuchtem Gebiet, zum Beispiel im Harz, im Schwarzwald, in den Alpen weite Verbreitung, sie bilden sich aber, lokal oder regional verbreitet, auch im sumpfigen Flachland auf nährstoffarmem Boden, zum Beispiel in der Lüneburger Heide, im Burtanger Moor, in Oberschwaben und Oberbayern. Die Hochmoore liefern hier die aschenarmen Torfe, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach den aschenarmen Braun- und Steinkohlen entsprechen.

Die Niedermoore pflegen bei uns zumeist aschenreichen Torf und damit für Brennzwecke ungünstiges und von den fossilen Bildungen der chemischen Zusammensetzung nach verschiedenes Material zu liefern, weshalb sie nicht mit ihnen verglichen worden sind.

Die Hochmoore stehen bei uns genetisch im Zusammenhang mit einer ganz bestimmten Flora, der Waldheidegenossenschaft, zu der die Sumpfmose Sphagnum und Leucobryum, sowie das Heidekraut und die Beerkräuter Heidelbeere und Preiselbeere gehören. Diese Pflanzen stehen in engster Beziehung zur Bildung der Hochmoore und der Torf derselben ist zum größten Teil aus den Überresten dieser Pflanzen aufgebaut.

Hochmoore dieser Art und mit entsprechenden oder vergleichbaren Pflanzenformen sind jedoch in den mitteleuropäischen Braunkohlenablagerungen nicht erhalten. Vielmehr findet man darin völlig andersgeartete Pflanzenreste, die auf wärmeres, z. T. tropisches Klima hinweisen, so daß ein Vergleich mit unseren Hochmooren hinfällig wird.

Das zeigen deutlich die Pflanzenreste, die in der mitteleuropäischen Braunkohle gefunden worden sind. Heer, Friedrich, von Schlechtendal, Menzel und Gothan haben diese bestimmt und sie auch auf die klimatischen Verhältnisse hin untersucht, unter denen sie sich entwickelt haben mögen.³⁾

1) Kayser, E., Lehrbuch der Geologie, Bd. I. 5. Aufl. 1918. S. 650. Vgl. insbesondere auch die wertvolle Arbeit von Weithofer, K. A., Die historische Entwicklung der Ansichten über die Entstehung der Kohlen und Kohlenflöze. N. Jahrb. f. Min. usw. Beil. Bd. XLI, 1916. S. 149—236.

2) Walther hat als erster diese Prozesse als diagenetische zusammengefaßt. Vgl. seine Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. 1893/94. S. 704f.

3) Heer, O., Beiträge zur näheren Kenntnis der sächsisch-thüringischen Braunkohlenflora, 1861; Friedrich, P., Über die Tertiärflora der Umgegend von Halle a. S., Mitt. d. Ver.

In den die Braunkohlen enthaltenden Tertiärschichten der Provinz Sachsen ist *Sequoia*, ein Nadelholz, vielfach vertreten, deren nächste Verwandte heute in Kalifornien wachsen. Die Palmen (*Sabal*, *Chamaerops* und *Phönixites*) zeigen warmes bis heißes Klima an. Entsprechendes ist bei den Eichen der Fall, die häufig im Tertiär auftreten und auf warmtemperierte Klimagebiete hinweisen; die nächste Verwandte einer *Quercus*art lebt heute in den Oststaaten von Nordamerika. Auch Lorbeerreste lassen auf warmtemperiertes Klima oder, wie der Zimmetbaum, auf tropisch feuchtes Klima schließen. Eine *Cunonia* zeigt nahe Verwandtschaft zu einer ähnlichen Art, die heute im Kapland vorkommt, eine zweite Kappflanze ist eine *Kiggelaria*. Eine *Sterculia* ist mit ostindischen Arten derselben Gattung zu vergleichen. Nach Friedrich schließen sich die hauptsächlich in den tertiären Braunkohlen vertretenen Formen bis auf wenige den Typen des indischen Monsungebiets an und sind somit als tropische Bildungen anzusehen.

Andersartig ist eine Braunkohlenflora, die aus dem Gebiet von Eisleben bekannt geworden ist, und in der, im Gegensatz zu den sonst gefundenen Formen mit großen, ganzrandigen Blättern, „fast nur Arten mit kleinen, oft winzigen, am Rande gesägten oder gezähnelten Blättern vorkommen. Die Abweichungen der Eislebener Flora in Zusammensetzung und Habitus deuten“, so schließt Wüst hieraus mit Recht, „auf abweichendes geologisches Alter und abweichende klimatische Bedingungen.“¹⁾

Die Flora aus dem Braunkohlengebiet der Niederlausitz, die Menzel und Gothan bearbeitet haben, weist wieder andere Charakterzüge auf. Hier sind von 70 festgestellten Arten Pappeln, Birken, Buchen, Eichen, Ulmen, Ahorne, Wassernüsse, Haselnüsse und *Eläocarpus*reste, sowie die Sumpfyzypresse und der Mammutbaum (*Taxodium* und *Sequoia*) am häufigsten. Es zeigt sich ein auffälliges Zurücktreten tropischer und subtropischer Formen, zu denen nur die Palme und *Eläocarpus* gehören. Höchst interessant ist die Feststellung von Schlechtendals, der an Buchenblättern aus den Zschipkauer Tonen Frosterscheinungen festgestellt hat.²⁾ Ein Vergleich mit der heutigen Verbreitung der Palmen ergibt, daß das Klima zur Bildungszeit der beschriebenen Formen wohl demjenigen ungefähr entsprochen hat, das heute an den Gestaden des Mitteländischen Meeres herrscht, an denen heute unter günstigen Verhältnissen die Palmen gerade noch gedeihen. Frost ist hier keineswegs ausgeschlossen, reicht doch die Frostgrenze tief nach Nordafrika hinein. Jedoch muß man das Gebiet, das über 15 Grad Jahresdurchschnittstemperatur hat, als subtropisches bezeichnen.

Aus dieser kurzen Zusammenstellung einiger Floren des mitteleutschen Braunkohlenbezirks geht hervor, daß die Floren klimatisch durchaus nicht übereinstimmen, daß vielmehr für die Gesamtperiode der Braunkohlenbildung wechselnde Klimate angenommen werden müssen. Es hat sich während der Entstehung der mitteleutschen Braunkohlen entweder die geographische Breite nach Süden verschoben oder, was dasselbe ist, Mitteleuropa hat sich immer mehr vom Äquator entfernt, oder auch, was heute immer mehr angenommen wird, es ist allgemein auf der Erde eine zunehmende Abkühlung eingetreten.

f. Erdkunde zu Halle, 1883, S. 17—28; Schlechtendal, D. K. R. von, Beiträge zur näheren Kenntnis der Braunkohlenflora Deutschlands. Abh. d. Naturf. Gesellschaft zu Halle, Bd. 21, 1897, S. 83—110; Menzel, P., Über die Flora der Senftenberger Braunkohlenablagerungen, und Gothan, W., Die fossilen Coniferenholzer von Senftenberg. Abh. d. Preuß. Geol. Landesanst. N. F. H. 46, 1906, 171 S.

1) Wüst, Ewald, Die erdgeschichtliche Entwicklung und der geologische Bau des Östlichen Harzvorlandes, Halle 1908, S. 73 f.

2) v. Schlechtendal, Beiträge zur Kenntnis der Braunkohlenflora von Zschipkau. Ztschr. f. Naturwissenschaften, Halle, Bd. 69, 1896, S. 193.

Die Verschiebung der Klimate der Temperatur nach, die seit dem Beginn der Tertiärzeit in Form einer kontinuierlichen Temperaturabnahme stattgefunden hat, ist seit Heers grundlegenden Untersuchungen bekannt. Da nun, wie heute allgemein anerkannt, die Braunkohlenabsätze bei uns schon in der Eozänzeit eingesetzt haben und bis in die Miozänzeit reichen, so müssen wir auch annehmen, daß die Braunkohlen unter verschiedenen Temperaturverhältnissen, unter verschiedenen „Breiten“, sich entwickelt haben. Die Braunkohlenflöze sind somit nicht nur in zeitlicher, sondern auch in klimatischer Hinsicht keine einheitlichen Ablagerungen, wenn sie auch zweifellos durchweg Bildungen eines tropischen bis subtropischen Klimas darstellen, also eines Klimas, das dem nicht entspricht, unter dem unsere Hochmoore in Mitteleuropa sich gebildet haben und heute noch bilden.

Man muß sich demnach die Frage vorlegen, ob Potoniés Auffassung, daß die Hochmoore den heißen Gebieten fehlen, richtig war. Eine kontinuierliche Verfolgung der Hochmoorbildungen ist unmöglich, weil an die feuchten Gebiete des gemäßigten Klimas in niederen Breiten zwei Trockengürtel zu beiden Seiten der Tropen anschließen. Erst in der äquatorialen Zone setzt allgemein wieder hohe Feuchtigkeit und die Möglichkeit zur Entwicklung von Hochmooren oder hochmoorähnlichen Bildungen ein. Dabei ist jedoch zu sagen, daß die Verteilung der Klimate in früheren Zeiten durchaus nicht der heutigen entsprochen haben muß. Es können im Tertiär recht wohl Gebiete, die heute trocken sind, hohe Feuchtigkeit gehabt haben und umgekehrt, es können beispielsweise die heute allgemein wenig feuchten Subtropen zur Tertiärzeit sehr feuchte Gebiete gewesen sein. Eine geistvolle Studie Pencks, die über die Verschiebung der Klimagürtel handelt, führt für die letztvergangenen geologischen Perioden diese Veränderungen im einzelnen aus und läßt diesen Schluß auch für die Tertiärzeit durchaus zu.¹⁾

Es ist das große Verdienst Keilhacks, auf Grund eingehender Untersuchungen auf der Insel Ceylon den Nachweis erbracht zu haben, daß mindestens unter subtropischem Klima auch Hochmoore auftreten können. Keilhack zeigte, daß bei Nurelia (Nuwara Elija) im Mittelpunkte des Gebirges von Ceylon auf ca. 1850 Meter Meereshöhe bei einer Durchschnittstemperatur von ca. 15 Grad und einer Niederschlagshöhe von 2375 Millimeter, also unter ausgesprochen subtropischem Klima, neben Niedermoorbildungen auch solche von echten Hochmooren vorkommen. Die Hochmoorstreifen ziehen sich dort, an das Niedermoor anschließend, allseitig am mehr oder weniger ansteigenden Gehänge hinauf und erreichen eine Mächtigkeit von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Metern. Über $\frac{3}{4}$ der Hochmoorflora mit xerophilem Charakter der Blätter ist auf das Gehängemoor beschränkt (28 Arten gegen 9). Der einzige einheimische Baum, der auf ihm wächst, Rhododendron arboreum, ist auf 3 bis 4 Meter hohe Exemplare verkümmert, während er sonst in der nächsten Umgebung 12 bis 15 Meter hoch wird. „Das Auftreten des verkrüppelten Rhododendron auf diesem Moor“, sagt Keilhack, „erinnert in ganz auffälliger Weise an die Erscheinungsform der verkrüppelten Moorkiefern unserer norddeutschen Flachmoore.“ Sträucher fehlen mit einer Ausnahme (Gaultheria) völlig. Höchst interessant ist, daß, im Gegensatz zu unsern Hochmooren, den von Keilhack untersuchten Mooren die Moose so gut wie fehlen und daß diese Hochmoore reine Grasmoores sind.²⁾

Ganz entsprechende Verhältnisse, wie hier geschildert, scheinen auf Java an dem Buitenzorg überragenden und 2962 Meter Höhe erreichenden Vulkan-

1) Penck, A., Die Formen der Landoberfläche und Verschiebungen der Klimagürtel. Sitz.-Ber. d. preuß. Akad. d. Wissensch. Berlin 1913. S. 77—97.

2) Keilhack, K., Über tropische und subtropische Torfmoore auf der Insel Ceylon, Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst., 1915, S. 102—143.

berg Gedeh vorzuliegen, die Schimper anschaulich beschreibt. Dort schließen sich an den Hochwald ca. 200 Meter unter dem Gipfel des Pangerango, der höheren der beiden Spitzen des Gedeh, Krummholzwäldchen an, und den Gipfel überzieht übermannshohes Gesträuch mit xerophil gebauten Blättern, aus dem sich ganz vereinzelt kleine knorrige Bäume erheben. Auch hier wieder Formen, die an Hochmoorbildungen erinnern, so *Rhododendron* und *Vaccinium*. Und auch hier neben hoher, 5000 Millimeter erreichender oder überschreitender Regenhöhe eine Durchschnittstemperatur von ganz ungefähr 12 bis 14 Grad Celsius, also wiederum entsprechend subtropischem Klima.¹⁾

Den wärmsten Punkt, an dem ein Gehängegrasmoor, mit Wollgräsern bestanden, gefunden wurde, dürfte die Stelle bei Tjoeroeb im Barrissangebirge auf der Südwestseite von Sumatra sein, die ich einmal erwähnt habe. Dort habe ich an einem Straßeneinschnitt oben in dem steil ansteigenden Gebirge eine ca. 2 Meter hohe Rohhumusbodenschicht entdeckt, die als Hochmoor gedeutet werden muß, aber auch hier Grasbedeckung und keinen Wald aufweist. Die Durchschnittstemperatur für das dortige Gebiet ist ca. 20 Grad, also gerade auf der Grenze zwischen subtropischem und tropischem Klima, die Regenhöhe liegt, nach den umliegenden Regenstationen zu schätzen, zwischen 3500 und 4000 Millimeter.²⁾

In rein tropischem Klima ist somit bis heute noch kein sicheres Hochmoor gefunden worden.

Viel wichtiger als diese Feststellung ist jedoch die Tatsache, daß kein echtes Hochmoor bekannt geworden ist, das Waldbedeckung aufweist. Höchstens krüppelhaftes Wachstum der Bäume ist — ebenso wie allgemein bekannt auf unsern deutschen Hochmooren, so auch nach Keilhacks wertvollen Untersuchungen in den Hochmooren der wärmeren Gebiete — auf ihnen beobachtet, der Wald geht auf ihnen in die Heide über.

Überschaut man aber die eben gegebenen Listen der mitteleutschen Hochmoorpflanzen, so erkennt man mit Staunen, daß die weitaus häufigsten uns bekannt gewordenen Formen Waldbäume sind. Waldbäume haben in größtem Ausmaß am Aufbau der Braunkohlenablagerungen teilgenommen. Folglich müssen die Moore, aus denen sich die Braunkohlen entwickelten, von Wald bedeckt gewesen sein, Waldmoore müssen die mitteleutschen Braunkohlen geliefert haben. Erst jüngst hat Teumer eine Fläche noch in ihrer ursprünglichen Wurzelung vorhandener Baumstümpfe von Sumpfympressen und Mammutbäumen beschrieben und zeichnerisch festgelegt, die bis über drei Meter Durchmesser hatten.³⁾ Es müssen sich also einst herrliche Wälder mit imponierenden uralten Baumriesen — nur den amerikanischen Urwäldern vergleichbar — da sich erhoben haben, wo heute die Braunkohle in Mitteldeutschland sich findet. Mit Hochmooren können diese einstigen herrlichen Waldmoore somit keinesfalls verglichen werden.

Es kann sich daher bei den tertiären Waldmooren nur um Flachmoore gehandelt haben, da in der Tat Waldsümpfe nur in der Form von Flachmooren bekannt geworden sind. Auch Potonié⁴⁾ ist deshalb der Auffassung, daß die Braunkohlen im wesentlichen Bildungen von Flachmooren seien. Die Zwischenmoore, die zwischen die Flach- und die Hochmoore sich einreihen,

1) Schimper, A. F. W., Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage, Jena 1898, S. 759–762.

2) Lang, R., Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. Intern. Mitt. f. Bodenkunde, 1915. S.-A. S. 17f.

3) Teumer, Th., Die Bildung der Braunkohlenflöze im Senftenberger Revier. „Braunkohle“, 1920. Nr. 44.

4) Potonié, H., Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten. Abhandl. d. Preuß. Geol. Landesanstalt N. F. Heft 55, II. 1911. S. 238 ff.

kommen, da sie einen Übergang zu den Eigenschaften der Hochmoore darstellen, ebensowenig wie die Hochmoore selbst für die Deutung in Betracht.

Unter gemäßigttem Klima sind die Waldmoore durch die Erlenbrücher vertreten. Seltener sind Eichen-, Fichten-, Weiden- und Birkenmoore beobachtet.

Aus den Subtropen sind von Potonié die Cypress swamps Nordamerikas als Waldflachmoorbildungen beschrieben worden. Diese Moore sind deshalb von besonderem Interesse, weil auf ihnen einer der tertiären Charakterbäume, die Sumpfyzypresse, wächst. Die Durchschnittstemperatur übersteigt dort 15 Grad, doch kommen fast alljährlich empfindliche Fröste vor.

Aus den Tropen sind Humusablagerungen unter Waldbedeckung bis vor wenigen Jahren nur wenig bekannt gewesen. Ramann hat auf das Vorkommen von Humusansammlungen in den Tropengebieten Brasiliens, des Kongogebiets und anderer Orte hingewiesen.¹⁾ Potonié war in der Lage, auf Grund der Angaben des holländischen Botanikers Koorders genaue Angaben über die Beschaffenheit eines tropischen Waldsumpfflachmoores in Sumatra zu machen.²⁾ Wichmann hat für Java, Sumatra, Borneo und Neu Guinea als erster die weite Verbreitung von Mooren in Waldgebieten nachgewiesen.³⁾

Trotzdem wurde und wird immer wieder betont, daß die Böden der Tropen im allgemeinen humusarm seien. (Daß die Böden der Subtropen heute Humusanhäufungen kaum aufweisen dürften, hängt mit der schon erwähnten Regenarmut dieser Gebiete zusammen.) Dies der eine Gegensatz, der, will man die Braunkohlenablagerungen als in tropischem oder subtropischem Gebiet sich entstanden denken, überbrückt werden muß und dessen Aufhellung im folgenden versucht werden soll.

1) Ramann, E., Bodenkunde, 3. Aufl. 1911. S. 531.

2) Potonié, H., a. a. O. Heft 55, III. 1912. S. 180ff.

3) Wichmann, C. E. A., The fens of the Indian Archipelago, Kon. Akad. van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings 1909, S. 70-74.

Der großen Freundlichkeit des Herrn Professor Dr. Wichmann-Utrecht verdanke ich durch briefliche Mitteilung noch folgende wertvolle Literaturnachweise und Anmerkungen, die ich mit seiner Erlaubnis hier veröffentliche und die aufs deutlichste zeigen, wie weit verbreitet der Torf in den Tropen ist. Wichmann schreibt: „Die alte Angabe von John Anderson (Mission to the East of Sumatra in 1823. Edinburgh and London 1826. S. 389) aus einem Report von Capt. S. C. Crooke über das Vorkommen von Djambi ist völlig glaubwürdig, da nirgends mehr Torf im Archipel bisher angetroffen worden ist, als gerade an der Ostseite von Sumatra. In den Tabakländereien von Deli ist er unter dem Namen „paja“ allgemein bekannt und verbreitet.

Um nur ein weiteres Beispiel zu nennen, befinden sich nach von Varnhagen in der Umgebung von São Paulo in Brasilien „ungeheure Torflager“ (W. C. von Eschwege. Journal von Brasilien 2. Weimar 1918, S. 246). Der Botaniker E. Ule, (Die Verbreitung der Torfmoore und Moore in Brasilien. A. Engler, Botanische Jahrbücher. 27. Leipzig 1900, S. 238 bis 258) hat sodann ihre weite Verbreitung in anderen Gebieten Brasiliens feststellen können. Die Angabe von Varnhagen ist übrigens von A. Usteri (Flora der Umgegend der Stadt São Paulo in Brasilien. Jena 1911, S. 36-54) bestätigt worden.“

Des weiteren weist Wichmann auch ältere Literatur über die Verbreitung der Moore in Indien nach, so für das Torfmoor von Nurelia John Davis (An account of the Interior of Ceylon. London 1821, S. 460), weiter Carl Ritter, Erdkunde von Asien IV. Buch 2, Ostasien. Berlin 1836, S. 206) und Manual of the Geology of India. Wichmann erwähnt zu letzterem Werk: „Außer Einzelangaben in den ersten beiden Bänden findet in dem von V. Ball bearbeiteten 3. Bd. (Economic Geology. Calcutta 1881, S. 120-124, 604) eine Übersicht der Torfvorkommen in den verschiedenen Landschaften Vorderindiens. Es ist stellenweise soviel Torf vorhanden, daß vor geraumer Zeit bereits die Frage einer Erörterung unterzogen worden war, die Massen technisch zu verwenden (A. Romaine Wragge. Un Pert and its profitable utilisation in Indian Locomotives, and for other purposes. Journ Soc. of Arts. 19. London 1871 (S. 201-208). Eine erst in neuester Zeit erschienene Übersicht über die indischen Torflager findet sich in T. H. D. La Touche, A Bibliography of Indian Geology and Physical Geography, Part. 2. Annotated Index. Calcutta 1918, S. 396-397.“

„L. Miller and Jos. T. Singewald, The Mineral Deposits of South America. New York 1919, S. 135, 196, 200, 470, 516, 522 — eine sehr gute Kompilation — gibt eine kurze Übersicht der Torflager in Südamerika.“

Der andere Gegensatz besteht darin, daß man annahm, daß die Flachmoore und damit auch die den Braunkohlenmooren entsprechenden Waldsümpfe sich insbesondere auch dadurch von den Hochmooren unterscheiden, daß der in ersteren entstandene Humus in nährstoffreichem Wasser abgelagert sei und daß daher auch der abgelagerte Humus (Torf) einen hohen Mineralsalzgehalt aufweise. Dem steht entgegen, daß die Braunkohlen nur geringen Mineralsalzgehalt haben.

Bevor die Lösung dieser scheinbaren Gegensätze zwischen den fossilen Bildungen und den heutigen Beobachtungen in gewissen Tropengebieten versucht wird, sei auf die zweite Frage eingegangen: auf die Bildung des Kaolins.

II. Die Entstehung des Kaolins.

Jedem, der die Braunkohlen- oder Kaolingruben im Tertiär Mitteldeutschlands kennen gelernt hat, ist gewiß der Mangel an bunten Farben in den Profilen aufgefallen. Neben den düsteren Farben der Braunkohlenflöze oder der durch Humussubstanz gefärbten Sande und Tone findet man nur die fahlen, bleichen, weiß bis grau gefärbten Sande und Tone des Tertiärs. Darin besteht bei ihnen ein schroffer Gegensatz zu allen andern minerogen gefärbten Sedimenten.

Der farblose Tonanteil dieser Gesteine wird als Kaolin bezeichnet. Chemisch bildet er eine eisenfreie, wasserhaltige Aluminiumkieselsäure von kolloidaler Beschaffenheit. Zumeist ist der Kaolin mit Quarzkörnern vermengt, z. B. als Kapselton. Weiter geht er in Kaolinsand und schließlich in mehr oder weniger kaolinarmer Bleichsand über, dessen reinste Form der Glassand bildet.

Die Entstehung des eisenarmen Tons hat von jeher die Geologen zu Überlegungen und Untersuchungen angeregt.

In erster Linie ist hier ein Deutungsversuch zu nennen, der vor nunmehr bald 20 Jahren von Weinschenk und seinem Schüler Rösler unternommen wurde: die Auffassung, daß die Kaolinisierung der Porphyre unter dem Einfluß heißer Gase oder heißen Wassers vor sich gegangen sei (pneumatolytische bzw. pneumatohydatogene Entstehung), also unter den Einwirkungen, die man als postvulkanisch bezeichnet. Demnach wäre die Kaolinisierung der Porphyre im Anschluß an deren Bildung aus glutflüssiger, an die Erdoberfläche emporgedrungener Lava in den an dieselbe anschließenden Zeiten erfolgt. Es sei nicht bestritten, daß örtlich begrenzte Kaolinisierungsvorgänge oder vielmehr wohl Kaolinitisierungsvorgänge (Bildung kristallisierten Kaolinitis) entlang von Spalten und Hohlräumen als Ausfluß postvulkanischer Vorgänge beobachtet sind.¹⁾

Für die mitteldeutschen Kaolinvorkommen im großen jedoch und, wie ich gleich hinzufügen möchte, für alle über weite Flächen sich erstreckenden Kaolinlagerstätten ist diese Deutung völlig unhaltbar. Denn es ergibt sich bei genauer Untersuchung — und besonders Ewald Wüst hat hier eingehend die Verhältnisse geklärt —, daß die Kaolinisierung nicht auf die Porphyre beschränkt ist, sondern daß sie in weitem Umkreis auf allen möglichen Gesteinen sich findet. Weiter ist die Kaolinisierung nicht im Anschluß an die Bildungszeit der Porphyre, also zur jüngeren Rotliegendzeit oder in den darauf folgenden Zeiten, erfolgt, sondern erst in der Tertiärzeit und der dieser direkt vorangehenden Periode. Denn überall da, wo der Porphyr von jüngeren, aber vortertiären Ablagerungen überlagert ist, weist er keine Kaolinisierung auf. Vielmehr ist die Kaolinisierung ausschließlich entlang der alttertiären Landoberfläche erfolgt. Daher ist auch der Quarz

¹⁾ Weinschenk, Grundzüge der Gesteinskunde, I. Teil, 1902. Rösler, H., Beiträge zur Kenntnis einiger Kaolinlagerstätten. N. Jahrb. f. Min. usw., 15. Beil., Bd. 1902, S. 345 ff. und 374 ff.

porphyr nur oberflächlich ausgebleicht, wie überall zu beobachten ist, während er in der Tiefe unverändert ist und seine frischen bunten Farben zeigt. Dies könnte aber nicht der Fall sein, wenn die Kaolinisierung durch aufsteigende heiße Wasserdämpfe von unten nach oben erfolgt wäre.

Es ist daher nicht weiter verwunderlich, daß diese irrtümliche Auffassung allgemein verlassen ist, und daß man annimmt, daß es sich bei der Kaolinbildung um eine Art von Verwitterung handle.

Schon Laspeyres¹⁾ hat erkannt, daß es sich um Verwitterungsvorgänge handelt, die mit der „Zirkulation von Atmosphärlilien in den Quarzporphyren“ im Zusammenhang stehen. Er hat aber angenommen, daß die Kaolinisierung seit der Tertiärzeit erfolge und bis in die Jetztzeit andauere unter der Voraussetzung, daß die Verwitterungsprodukte an Ort und Stelle ihrer Entstehung verblieben und keinem mechanischen Transport unterlagen. Vom streng chemisch- und physikalisch-geologischen Standpunkt aus entbehrt diese Auffassung, wie wir heute nach besserer Erkenntnis feststellen können, der Klarheit.

Ramann zeigte 1905 als erster, daß die Frage der Kaolinbildung ein Problem der klimatischen Bodenbildung ist. Er wies nach, daß die Ausbleichung der Gesteine bei der Verwitterung nur in Gebieten feuchten Klimas unter der Einwirkung von Humussäuren erfolgt, die u. a. das färbende Eisen wegführen. Ramann nimmt daher an, daß die meisten Kaolinerden Mitteleuropas in der Tertiärzeit durch Humussäureverwitterung sich gebildet haben. Diese Auffassung, die Ramann in richtiger Erkennung der klimatischen Bildungsverhältnisse des Kaolins der Tertiärzeit induktiv konstruierte, hat sich in der Folge als für die Wissenschaft äußerst wertvoll und fruchtbar erwiesen.²⁾

Die 1907 erschienene eingehende Arbeit von Selle stellt vor allem eine scharfe Abwehr des Röslerschen Deutungsversuches der Kaolinbildung als postvulkanischen Vorgangs dar, die mit viel Sorgfalt und in eingehendster Weise durchgeführt ist. Die Arbeit hat somit vorzugsweise negativen Charakter und ist in dieser Hinsicht eine Achtung gebietende Leistung. In ihren positiven Resultaten allerdings ist sie weniger glücklich. Selle deutet die Kaolinisierung der Halleschen Quarzporphyre als eine Art von Verwitterung. Er sagt: „Die Tatsache, daß die heutige normale Verwitterung nicht zur Entstehung von Kaolin- und Porzellanerde-Lagerstätten führt, kann die Annahme nicht ausschließen, daß in einer andern, ganz bestimmten geologischen Epoche eine weit stärkere Verwitterung geherrscht hat, welche eine völlige Zersetzung der porphyrischen oder granitischen Oberfläche veranlaßt hat.“ Nach ihm ergeben sich für die gewöhnliche Verwitterung und Kaolinisierung ganz analoge Erscheinungen, die sich lediglich durch die Intensität der Umwandlung unterscheiden. Die größere Intensität der Verwitterung erläutert Selle durch die Annahme, daß die Atmosphäre in dieser Zeit zweifellos einen höheren Kohlensäuregehalt gehabt habe. Er klingt damit an die bekannte Kohlensäuretheorie von Arrhenius an, nach der zur Tertiärzeit infolge der starken vulkanischen Tätigkeit und damit zusammenhängender starker Kohlensäureexhalationen die Luft an Kohlensäure reicher geworden sei als vorher. Die Richtigkeit dieser Auffassung wird heute wohl allgemein bestritten. Endlich nimmt Selle als Alter für die Kaolinbildung das voroligozäne Tertiär an, da die Kapseltone und Quarzsande dem Unteroligozän angehören und da somit die kaolinigen Aufbereitungsprodukte der Verwitterung zu dieser Zeit schon gebildet gewesen sein müssen.

1) Laspeyres, H., Zeitschr. d. D. geol. Ges., 1864, S. 438 ff., und Erläuterungen zur geol. Spezialkarte v. Preußen, Blatt Petersberg 1874, S. 7—8.

2) Ramann, E., Bodenkunde, 2. Aufl., 1905, S. 18—19 und S. 405—407.

In einem anscheinend erst nach Kenntnis der Arbeit von Ewald Wüst verfaßten Schlußsatz weist Selle auch auf das Auftreten von hohen Niederschlägen, tropisches Klima und teilweise oder völlige Bedeckung des Porphyrs durch Sümpfe, Moore oder Wasserlachen als mögliche Ursachen der Kaolinverwitterung hin.¹⁾

Erst Ewald Wüst vermochte 1907 eine klare, in jeder Hinsicht befriedigende Deutung des Vorgangs der Kaolinisierung zu geben, indem er die Beziehung zwischen der Braunkohlenbildung und der Kaolinbildung hervorhob. Wüst zeigte, daß die Kaolinbildung allgemein an die alttertiäre Landoberfläche gebunden ist, und daß nicht allein die Quarzporphyre, sondern sämtliche älteren Gesteine an der Grenze zur alttertiären Landoberfläche in dieser Richtung verändert sind.

Überall steht die Kaolinisierung des Porphyrs im Zusammenhang mit dem Tertiär: „Es liegt keine einzige einwandfreie Beobachtung über eine Auflagerung von Unteroligozän auf unkaolinisiertem Porphyr vor.“

Umgekehrt aber konnte Wüst auch nachweisen, daß die Kaolinisierung nicht schon im Anschluß an die Entstehung der Porphyre einsetzte, da bei Überlagerung durch vortertiäres Gestein die Porphyre nicht kaolinisiert sind.

Die Entstehung des Kaolins führt er mit Ramann auf die Einwirkung von Humussäuren zurück, die das Eisen auslaugten und dadurch die Entstehung fahlfarbener Verwitterungsprodukte ermöglichten im Gegensatz zur ge-

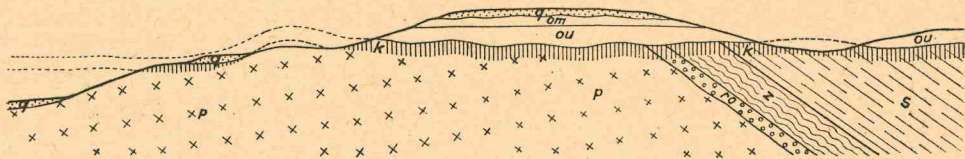


Abb. 24. Idealprofil der Lage der Kaolinisierungszone an der Basis des Tertiärs bei Halle. Nach E. Wüst.

p = Porphyre, *ro* = Oberrotliegendes, *z* = Zechstein, *s* = Buntsandstein, *k* = Kaolinisierungszone (Bleicherdezone), *ou* = Unteroligozän, *om* = Mitteloiligozän, *q* = Quartär.

wöhnlichen Verwitterung, bei der gelbe bis braune Verwitterungsprodukte entstehen. Der Kaolin gehört somit in diejenige Gruppe von Böden, die man als Bleicherden (Grauerden) bezeichnet. Wüst nimmt mit Recht an, daß die Kaolinisierung im Zusammenhang mit der Humusbildung, die wir in den Braunkohlenablagerungen erkennen, eine Humus- und Bleicherdenrinde auf den älteren Gesteinen entlang der alttertiären Landoberfläche erzeugte, die somit schon vor Beginn der Ablagerung der tertiären Sedimente vorhanden gewesen sein muß, die aber auch in der Bildungszeit dieser Ablagerungen weiter sich entwickelte.

Endlich nimmt Wüst für die Bildungszeit des Kaolins unter Stützung auf die Funde an Pflanzenresten ein tropisch-heißes Klima an.

Abb. 24 veranschaulicht nach Wüst die Lagerungsverhältnisse der Bleicherdenrinde an der alten Landoberfläche in der Gegend von Halle²⁾

Damit war in allen wesentlichen Zügen das Braunkohle-Kaolinproblem gelöst. Es ergab sich, daß die Braunkohlen- und Kaolinbildung tatsächlich

1) Selle, V., Über Verwitterung und Kaolinbildung Hallescher Quarzporphyre. Zeitschrift f. Naturwissenschaften. Halle a. d. S., Bd. 79, 1907, Heft 5 u. 6.

2) Wüst, E., Die erdgeschichtliche Entwicklung und der geologische Bau des östlichen Harzvorlandes, Heimatkunde des Saalkreises. Halle 1908. S. 71 ff. und Die Entstehung der Kaolinerden der Gegend von Halle a. d. S., Zeitschr. f. praktische Geologie. 1907, S. 19—23.

nicht zwei verschiedenartige Vorgänge darstellt, sondern daß sie ein zusammenhängender Vorgangskomplex ist, daß die Bildung des einen von der Bildung des andern abhängig ist und daß es sich bei der Kaolinbildung um eine Frage der Verwitterung handelt, also gleichwie bei der Braunkohle um ein bodenkundliches Problem.

Neben den oben schon erhobenen beiden Fragen war nur noch als dritte Frage zu ergründen, ob und unter welchen allgemeinen Voraussetzungen Bleicherde in den wärmeren Gebieten der Erde sich bildet, da bisher keine sicheren Mitteilungen rezenter Entstehung bekannt geworden sind.

In der Folgezeit ist nur noch wenig Wesentliches zur Klärung der Kaolinfrage beigetragen worden.

Stremme versuchte die Bildung des Kaolins durch die Einwirkung von Kohlensäure und eventuell mitwirkende organische Säuren, die in den Moorwässern enthalten sind, zu erklären. Unter Moorbedeckung sind nach ihm vor allem die für die Kaolinbildung günstigen Bedingungen: Anwesenheit schwacher Säuren, genügenden Lösungswassers und der Mangel an atmosphärischem Sauerstoff erfüllt.¹⁾

Barnitzke, der eine Arbeit über das Vorkommen der Porzellanerde bei Meißen und Halle geschrieben hat, polemisiert zu Unrecht gegen die Auffassung, daß die liegenden Kaolintone von den Braunkohlenwässern beeinflusst worden seien. Nach ihm müssen „die Kaolinlagerstätten vor der Periode der Braunkohlenbildung eine Zeitlang fertig an der Tagesoberfläche angestanden haben.“ Er meint: „Wenn also Sumpfmoores oder Braunkohlenwasser für die Entstehung der Porzellanerde in Frage kommen, so sind es jedenfalls nicht solche gewesen, die mit den jetzigen hangenden, oligozänen Flözen in Beziehung stehen. Wie weit nun das eigenartige Klima der Eocänzeit als solches zur Kaolinbildung beigetragen hat, oder ob es etwa nur die Bildung kaolinisierender Gewässer in eocänen Sümpfen, Braunkohlenmooren usw. begünstigte, ist eine Frage, die zur Entscheidung noch nicht reif ist.“ Barnitzke kommt also in genetischer Beziehung zu einem mehr oder weniger negativen Resultat.²⁾

Weiß und Stahl finden in zwei jüngeren Arbeiten das Ergebnis, daß die Kaolinbildung sich unter dem Einfluß der reduzierenden Wirkung der Humussubstanzen in Moorwässern und der in ihnen gelösten Kohlensäure vollziehe.³⁾

Da zwischen der hier genannten Auffassung über die bei der Kaolinbildung einwirkenden Agentien und derjenigen Ramanns ein Gegensatz besteht, so sei dieser als vierte zu lösende Frage im folgenden behandelt.

Aus dem Vorgetragenen ergeben sich somit vier noch nicht völlig geklärte Fragen:

1. Besteht die Auffassung zu Recht, daß sich auch in den Tropen und Subtropen so bedeutende Humusablagerungen bilden können, daß sie zur Entwicklung von mächtigen Bänken führen?
2. Können auch unter Flachmooren mineralstoffarme Humusabsätze sich bilden?
3. Ist die Entstehung von Kaolin in den Tropen möglich?
4. Erfolgt die Kaolinbildung unter herrschender Einwirkung von Kohlensäure oder von adsorptiv ungesättigtem Humus?

1) Stremme, H., Über Kaolinbildung. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1908, S. 122 ff.

2) Barnitzke, J. E., Über das Vorkommen der Porzellanerde bei Meißen und Halle a. S. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1909, S. -A. 21 S.

3) Weiß, F., Vorkommen und Entstehung der Kaolinerden des ostthüringischen Buntsandsteinbeckens. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1910, S. 353—367. Stahl, A., Die Verbreitung der Kaolinlagerstätten in Deutschland. Arch. f. Lagerstättenforschung 1912, Heft 12, 135 S.

Diese Fragen lassen sich am besten durch einen Vergleich der fossilen mit rezenten Ablagerungen und mit den noch heute sich vollziehenden Vorgängen erklären. Da jedoch, wie schon kurz erwähnt, heute in den Subtropen Gebiete mit hoher Feuchtigkeit zurücktreten und daher Bodenarten aus rezenten, stark feuchten Subtropen kaum bekannt geworden sind, da vielmehr in ihnen die beiden Trockengürtel sich hinziehen, aus denen Humusanhäufungen nicht zu erwarten sind, so müssen die Untersuchungen rezenter warmer Gebiete in bezug auf Rohhumus- und Bleicherdebildung sich im wesentlichen auf die Tropen beschränken.

Damit gelange ich zum dritten Teil der Abhandlung.

III. Rezente Rohhumus- und Bleicherdebildung in den Tropen.

Im vorstehenden ist auf geologischem Wege die Deutung der Entstehung von Braunkohle und Kaolin in Mitteldeutschland als fossiler Rohhumus- und Bleicherdebildungen versucht worden. Und es hat sich herausgestellt, daß beide Bildungen unter tropischem oder subtropischem Klima entstanden seien.

Ist diese Auffassung richtig, so muß auch heute in den feuchten Tropen die Ablagerung von Humus und die Bildung von Bleicherde vor sich gehen. Wir müssen heute in den heißen Gebieten dieselben Vorgänge der Rohhumus- und Bleicherdebildung beobachten können, die wir aus den Ablagerungen der Tertiärzeit in Mitteldeutschland uns konstruiert haben. Die Untersuchungen und Beobachtungen am „lebenden Objekt“ sollen uns die Resultate bestätigen, die wir aus fossilen Ablagerungen gewonnen haben.

Die Beobachtung rezenter gleichartiger Vorgänge soll uns zugleich die Möglichkeit gewähren, die im vorstehenden aufgestellten vier Fragen, die noch nicht in allen Einzelheiten gelöst erschienen, zu erläutern.

1. Ausmaß der Humusbildung in den Tropen.

Was diese erste Frage anbelangt, so kann man im Hinblick auf eine größere Reihe von Beobachtungen in den feuchten Tropen heute mit Bestimmtheit angeben, daß tatsächlich die Möglichkeit der Anhäufung reichlichen Humusmaterials vorhanden ist und daß die Auffassung zu Unrecht besteht, die Verwesung der organischen Substanz gehe in den Tropen allgemein so rasch von statten, daß es zu Humusanhäufungen nicht kommen könne.

Fast zur gleichen Zeit haben Keilhack, Janensch und ich auf Grund eigener Beobachtungen erneut auf die weite Verbreitung von Flachmooren in den Tropen hingewiesen. Keilhack beschrieb ein Flachmoor von Nurelia auf Ceylon¹⁾, Janensch berichtete über solche im Küstengebiet von Ostafrika²⁾ und ich konnte zeigen, wie Waldsümpfe über weite Flächen des Flachlandes von Sumatra und Malakka (Hinterindien) verbreitet sind.

Dannenberg, der beste Kenner der Steinkohlenlager, kam auf Grund eingehendster Studien über die Entstehung der Steinkohlen ebenfalls zu der Überzeugung, daß Moorbildungen in den Tropen möglich sind. Er sagt: „Völlig grundlos aber ist die Behauptung, daß Torfmoore in tropischen Gegenden nicht vorkämen und sich überhaupt nicht bilden könnten. Die Entdeckung echter tropischer Torfmoore ist nicht einmal eine Errungenschaft der neuesten Zeit, nur waren die Nachrichten hierüber, wie so oft das Schicksal wissenschaftlicher

1) Keilhack, K., Über tropische und subtropische Torfmoore auf der Insel Ceylon. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. 1915.

2) Janensch, Über Torfmoore in Deutsch-Ostafrika. Archiv. f. Biontologie. III. Berlin 1914.

Beobachtungen ist, für die man gerade keine Verwendung hat, übersehen und in Vergessenheit geraten.“¹⁾

Keilhack fand im tropischen Tiefland der Insel Ceylon im flachen Küstengebiet von Ambalangoda bis östlich Point de Galle in ca. 6 Grad nördlicher Breite bei 2250 mm durchschnittlichen Niederschlägen und einer Jahrestemperatur von 18 Grad Celsius unmittelbar entlang der Küste ausgedehnte Grassümpfe mit tiefschwarzem Boden. Und hier zeigten sich auch typische Torfmoore von großer Ausdehnung. „Die Mächtigkeit des Torfs“, sagt Keilhack, „beträgt bis 1 m, es können aber auch größere Mächtigkeiten vorkommen.“ „Wo der Humusboden etwas höher liegt und durch Gräben entwässert werden konnte, ist er mit üppigsten Tropenkulturen, Kokos- und Arecapalmen, Musa, Papaja und Artocarpus, bewachsen. Wo aber der ursprüngliche Zustand noch vorhanden ist, haben wir typische Grasmoores vor Augen, die durchsetzt sind mit kleinen Inseln oder länglichen Streifen von niedrigen Bäumen und Büschen, die ihrerseits von einem üppigen Gewirr von Schlingpflanzen überkleidet sind.“

Auch hier wieder eine Art von Grasmoores, keine typischen Waldmoore, wie sie uns Koorders und Potonié kennen gelehrt haben.

Die von Janensch beschriebenen sehr kleinen Vorkommnisse von Flachmoor in Ostafrika beschränken sich auf Stellen, die durch dauernd fließende Quellen oder Grundwasseraustritte hervorgerufen werden. Eine größere Verbreitung von Mooren erscheint dort schon infolge der für äquatoriale Verhältnisse sehr geringen Regenhöhe von unter 2000 mm ausgeschlossen.

Keilhack kommt daher zu dem Schluß, daß „die Tropenmoore von Ceylon denen Ostafrikas ihrem ganzen Aussehen nach viel näher als denen der benachbarten Insel Sumatra“ stehen.

Zweifellos sind die mit tropischem Hochwald bestandenen Moore auf die unter noch stärkerer Befeuchtung stehenden Gebiete beschränkt. Derartige Länder mit Waldflachmooren habe ich in Niederländisch-Indien und in Britisch-Hinterindien kennen gelernt. Es sei daher gestattet, hier näheres aus eigener Erfahrung mitzuteilen.²⁾ In dem auf der Ostseite von Sumatra sich hinziehenden Flachland war der Urwald Kilometer weit wegen Versumpfung immer wieder nicht passierbar, so daß ich oft tagelang brauchte, bis ich eine Stelle gefunden hatte, von der aus ich weitermarschieren und das Sumpfland durchqueren konnte. Bei geringer Versumpfung merkt man zuerst kaum, daß man sich nicht mehr auf festem Grund, sondern über einem von Wasser vollgesogenen Humusschlamm bewegt. Diese Täuschung ist nur dadurch möglich, daß der Urwald bei Versumpfung sein Gepräge nicht erkennbar ändert und das Wurzelwerk so engmaschig ineinander greift, daß man über dieses Gewirr von Wurzeln wie auf einer unsichtbaren Brücke dahinschreitet. Erst wenn an einer Stelle die Wurzeln nicht genügend dicht aneinanderschließen und man auf eine solche Stelle tritt, sinkt der Fuß mehr oder weniger tief in moderigen schwarzen Schlamm ein. Nur da und dort beobachtet man offene Stellen, die von Wasserpflützen überdeckt sind. Da tatsächlich das Auge wegen der überaus dichten Bewachsung mit Wurzeln den Beginn eines Sumpfbereiches meist nicht sicher feststellen konnte, so bediente ich mich eines zugespitzten Stockes, mit dem ich zwischen dem Wurzelwerk ohne Mühe durchstoßen konnte, um das Vorhandensein und die Tiefe der Versumpfung festzustellen. Genügte der Stock nicht, so nahm ich längere Stangen und kam bis auf 2,4 m Tiefe. Größere Tiefen gelang es mir nicht zu erreichen, weil derartig tiefe Stellen nicht passierbar waren, zumal meine Kulis, die den Weg zu bahnen hatten, dann oft bis an den

1) Dannenberg, a. a. O. S. 140f.

2) Lang, R., Geologisch-mineralogische Beobachtungen in Indien. 1—4. Centralbl. f. Min. usw. 1914/15.

Leib im Wasser standen und die Arbeit, wenn der Sumpf undurchdringbar wurde, einstellen mußten. Der Untergrund setzt sich dort, soweit er der Beobachtung zugänglich war, aus einer schlammigen flüssigen Humusmasse zusammen, die als Moder zu bezeichnen ist. Eine Probe davon war nach kräftigem Auspressen des Wassers und trotz Aufbewahrung im Trockenem selbst noch nach Wochen schwammig feucht.

Die Ausdehnung der Waldsumpfbgebiete in Ostindien ist außerordentlich groß. Sie beträgt allein auf der Südostseite von Sumatra, das ich näher kennen gelernt habe, sicher mehrere tausend Quadratkilometer. Nur wenige Europäer haben dieses Gebiet bisher betreten, da es nur mit großer Mühe durchschritten werden kann. In der Nähe der Ostküste, wo das Land sich auf 50 bis 100 km Breite oft kaum 1 bis 2 m über den Meeresspiegel erhebt — Palembang, die größte Stadt Sumatras, die am Moesi ca. 100 km über der Mündung liegt, erhebt sich durchschnittlich $1\frac{1}{4}$ m über den Meeresspiegel; es wird daher noch bis weit über die Stadt hinauf jede Ebbe und Flut beobachtet —, ist das Land oft auf größte Erstreckung so gut wie unpassierbar und als ein mehr oder weniger einheitliches Waldmoorgebiet anzusehen. Es ist zweifellos, daß wir hier den rezenten Zustand für die Bildungen besitzen, die in den tertiären Absätzen als fossile Relikte uns erhalten sind. Dasselbe bestätigen Aufschlüsse in Malakka, die ich später besprechen werde. In Sumatra waren in größere Tiefe reichende Aufschlüsse in den Sumpfbgebieten nicht vorhanden und nicht anlegbar, da das Sumpfwasser sie überdeckt hätte.

Die Sumpfbildungen waren nicht nur im Tiefland zunächst dem Wasserspiegel des Meeres zu beobachten, sondern ließen sich auch noch im Mittellauf des Moesi und Rawas, der beiden größten Flüsse Ostsumatras, nachweisen auf Flächen in der Höhe von 50 bis 100 m über dem Meere. Hier zeigten sich die Waldmoore im allgemeinen nicht im Anschluß an die tief eingeschnittenen Täler der großen Flüsse, sondern erst einige Kilometer landeinwärts vom Fluß, wenn auch die kleinen Seitenbäche die Höhe des Flachlandes erreicht hatten. Dann setzte auf der flachen Hochfläche in allen tieferen Partien Versumpfung ein, die selbst während der trockensten Zeit des Jahres noch anhielt. Abb. 25, in der die Ergebnisse der Erforschung eines Gebietes vom Mittellauf des Moesi topographisch festgelegt sind, zeigt die weite Versumpfung des Landes selbst in der trockensten Jahreszeit, im August und September. Wegen Versumpfung machte es die größte Mühe, den von Poelaoepanggoeng ausgehenden O.-W.-Rintis bis zum Soengei Tamoán durchzuführen. Da er kaum begehbar war, vielmehr mehrere hundert Meter durch tiefen Sumpf führte, so wurde bei Märschen ausschließlich der Südweg öno. Bindjai benutzt. Von den drei O.-W.-Rintissen östlich des Tamoán mußte das Aushauen des mittleren wegen dauernder Versumpfung aufgegeben werden und der nördliche ließ sich nur mit Mühe zu Ende führen. Dabei war der S. Tamoán, der ein 5 bis 10 m breites und 1 bis 2 m tiefes Bett hatte, im Verlauf der Trockenzeit fast völlig ausgetrocknet, so daß ich das Bachbett auf meinen Märschen benutzen konnte und die verwesenden Substanzen einen widerlichen Geruch verbreiteten und den Aufenthalt in den beiden dort angelegten Pondoks zeitweilig verleiteten.

Die 8 bis 12 m hohen Steilufer des Moesi, die sich zur Trockenzeit erhoben, waren in der hohen Regenzeit völlig verschwunden, der Fluß war gewaltig gestiegen und wälzte an manchen Stellen seine Fluten sogar, oft Flußkrümmungen abkürzend, auf Kilometer Entfernung landeinwärts. Ich habe derartige querwaldein entstandene Nebenarme wiederholt mit dem Boot befahren. An einem Nebenfluß des Rawas, an dem ich während zweier Monate in der Regenzeit mein Standquartier aufgeschlagen hatte, konnte ich oft im Verlauf weniger Tage ein Steigen des ca. 20 m breiten Flüsichens um 4 m beobachten. Zeit-

weilig war ich in meinem Pondok von jedem Fußverkehr mit der Außenwelt abgeschnitten, der dann ausschließlich mit Kahn bewerkstelligt werden mußte.

Aus diesen Darstellungen mag man sich ein Bild von den gewaltigen Wassermassen machen, die dort das Land alljährlich überfluten und die Veranlassung zu dem außerordentlichen Pflanzenwachstum und der außerordentlichen Humusanreicherung geben.

Man darf daher mit Bestimmtheit behaupten, daß hier rezente Humusbildung und Humuserhaltung in größtem Umfange sich vollzieht und daß man nicht mehr der Auffassung huldigen darf, als sei die Humuserhaltung in den Tropen weniger möglich als unter unsern Klimaten. Es ist nur, entsprechend der höheren Temperatur und damit entsprechend der größeren Verdunstung, eine größere Befeuchtung des Gebiets nötig. Ist diese aber erreicht — Regenhöhen von 3000, 4000 und noch mehr Millimetern sind dort weit verbreitet und gehen in Java, wo genaue Messungen vorliegen, bis auf 7100 mm hinauf —, so kann die Humuserhaltung ebensogut erfolgen als bei uns.

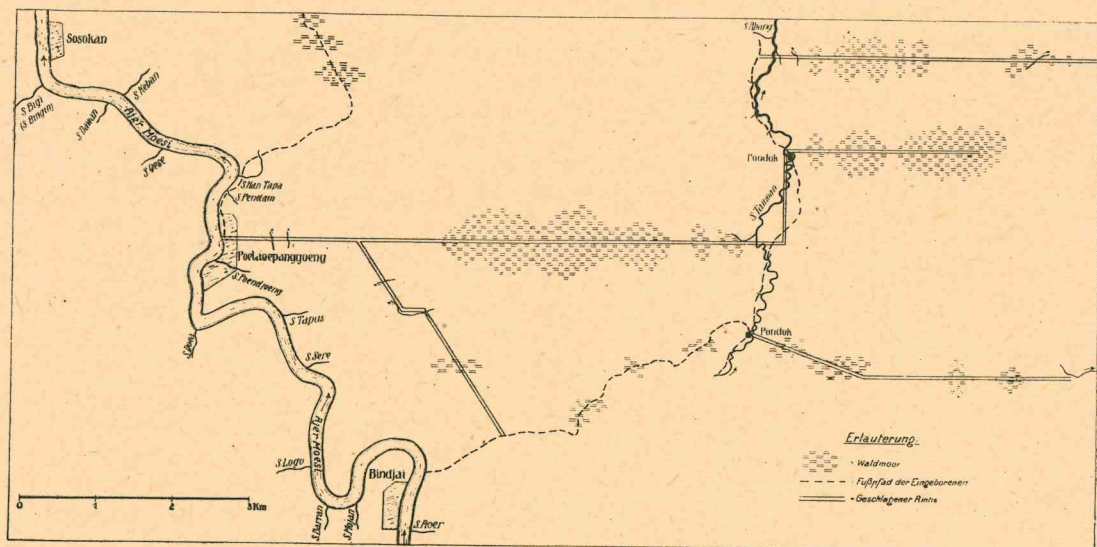


Abb. 25. Waldsumpfmooergebiet im Mittellauf des Mesi (Südostsumatra).
Topogr. Originalaufnahme des Verfassers 1913.

Was endlich die Menge der abgelagerten Substanz anbelangt, so ist zu berücksichtigen, daß das Pflanzenwachstum bei entsprechender Feuchtigkeit um so mehr zunimmt, je höher die Temperatur ist, und zwar bis zu einem Optimum von zirka 35 Grad. Das ist aber gerade die Temperatur, die in der heißesten Tageszeit erreicht oder höchstens um einen bis zwei Grad überschritten wird. Man kann somit behaupten, daß nirgends die Produktion an Pflanzenmasse und dementsprechend auch an Humus so groß ist, als gerade in den feuchten Tropen.

Daher ist auch nirgends die Voraussetzung für große Humuslager in demselben Maße gegeben wie in den Tropen. Daß ohne weiteres bei genügender Feuchtigkeit die Möglichkeit der Anhäufung von Humus besteht, geht aus dem hier auf Abb. 26 dargestellten von mir entworfenen Diagramm der klimatischen Bodentypen hervor. Während unter optimalen Bedingungen die ariden und schwach humiden Böden Humus überhaupt nicht aufweisen, nimmt

dieser mit steigender Humidität immer mehr zu und entartet im perhumiden Klima zu Rohhumus.

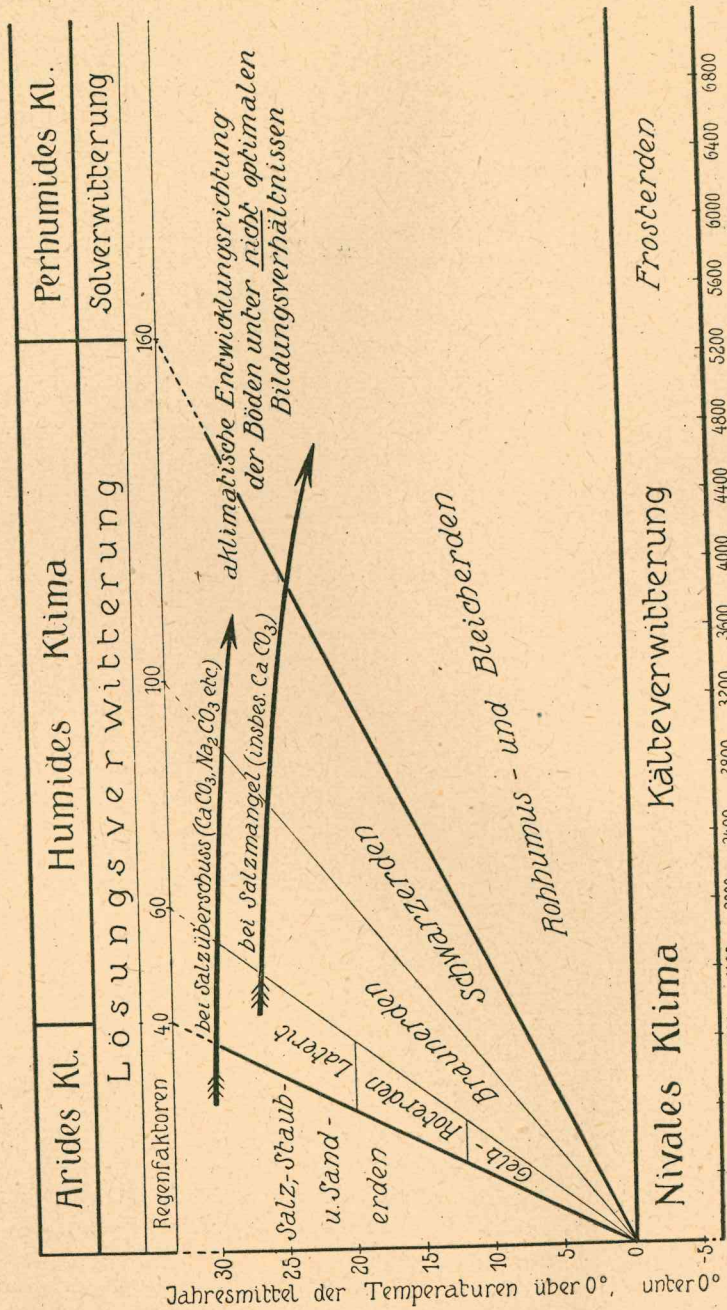


Abb. 26. Diagramm der allgemeinen Entwicklung der Böden nach Temperatur, Feuchtigkeit und Gestein unter optimalen und nicht optimalen Bildungsverhältnissen.¹⁾

1) Entnommen aus Lang, R., Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde, 1920, S. 119, das die Fragen der Verwesung und Humusbildung eingehend behandelt. Das Klischee des Diagramms verdanke ich der Freundlichkeit der E. Schweizerhartschen Verlagsbuchhandlung (E. Nägele) in Stuttgart.

Zweifellos ist die Verbreitung von Humusablagerungen in den feuchten Tropen viel größer, als man heute ahnt. Denn in viel weiterer Erstreckung, als man heute anzunehmen geneigt ist, tritt in den Tropen hohe Feuchtigkeit auf, die darauf hinweist, daß auch die Bildung und Erhaltung von Humus im großen über gewaltige Ländergebiete sich erstreckt. Ja man kann annehmen, daß die von solchen Ablagerungen bedeckte Oberfläche die entsprechende der gemäßigten Klimate bei weitem übertrifft.

Dafür mögen die folgenden Beispiele sprechen, bei denen nur Gebiete mit über 3000 mm Regenhöhe genannt sind, also nur Strecken, in denen ein extrem feuchtes Klima herrscht und damit starke Humusanhäufung vorausgesetzt werden darf.

In Ostindien gehen auf den Inseln des Malayischen Archipels und auf Neu-Guinea wohl die größten Regenmengen von allen Gebieten der Erde nieder. So in Padang auf Sumatra 4490 mm, Sibolga 4610 mm. Für Java ist schon angegeben, daß die Feuchtigkeit bis auf 7100 mm steigt. Auf Neu-Guinea hat Konstantinhafen 3070 mm, Friedrich Wilhelmshafen 3770 mm, Simbang 4600 mm, die vorgelagerten Tami-Inseln gar 6550 mm Regenhöhe.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Inseln des Großen Ozeans, Auf der Inselgruppe von Havai gehen beim Kilauea 4330 mm Regen nieder, auf der 1710 m hohen Waialeale-Spitze der Kenai-Insel gar 12500 mm, die höchste Regenmenge, die bisher von irgendeinem Punkt der Erde bekannt geworden ist. Jaluit auf den Marschall-Inseln empfängt 4490 mm, Samoa 3430 mm, Kena und Qara Walu auf den Fidschi-Inseln 3370 bzw. 6280 mm, also durchweg Regenmengen, die als außerordentlich hoch bezeichnet werden müssen.

In Australien erhält der Norden und Osten erhebliche Niederschläge. So werden von Geraldton in Queensland 3800 mm angegeben.

In Britisch-Indien sind weite Gebiete mit hohen Regenmengen festgestellt. In Burma zeigt die Station Sandoway 5370 mm Niederschlag, eine für eine Hafenstadt außerordentlich hohe Zahl. Im Khassi-Gebirge sind in Tschera-pundji, auf 1250 m Meereshöhe, durchschnittlich 11620 mm Regenhöhe gemessen, die zweithöchste Zahl, die man kennt. Im Jahre 1861 betrug die Regenmenge gar 22 m, an einem einzigen Tage wurden im Maximum 1036 mm gemessen. Auf der Außenseite des Himalaya werden gleichfalls beträchtliche Niederschläge beobachtet, so auf Fort Buxa die gewaltige Menge von 5170 mm. In den Ghats, dem Gebirge Vorderindiens, treten besonders an deren Westseite hohe Niederschläge auf, so in Mahabuleshwar 6710 mm, in Baura 6380 mm, in Matheran 5440 mm.

In Afrika ist es die Westküste, die eine große Reihe von Stationen mit hohen Regenfällen aufweist. So hat Sierra Leone 4400 mm, Konakry 4800 mm, Kamerun 4160 mm, Debundja am Kamerunberg 10469 mm, die dritthöchste bekanntgewordene Ziffer, und Bibundi ebendort 10242 mm.

In Mittelamerika haben Guatemala, Nicaragua und Costarica zum Teil sehr erhebliche Regenmengen, so Greytown in Nicaragua 6580 mm, Colon 3235 mm, Costa Cuca las Mercedes in Guatemala 3914 mm. Ähnliche Verhältnisse sind für Westindien angegeben. Dort hat Camp Jacob auf Guadeloupe 3660 mm Niederschlag.

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß nur Gebiete mit einer 3000 mm überschreitenden Regenhöhe genannt worden sind. Tatsächlich darf jedoch angenommen werden, daß Humusansammlungen im großen schon bei wesentlich niedrigeren Feuchtigkeitsmengen, etwa von 2000 mm an aufwärts, stattfinden können. Diese Regenmengen sind auf den Regenkarten der größeren Atlanten ausgeschieden

1) Im wesentlichen nach Hann, Lehrbuch der Meteorologie, 3. Aufl. 1915, und Handbuch der Klimatologie, II. Bd. 3. Aufl. 1910, zusammengestellt.

und sie zeigen zugleich den gewaltigen Umkreis möglicher Humusanreicherung in den Tropen an.

Im vorstehenden wurden die theoretischen Möglichkeiten für die Entstehung von Humusablagerungen, die zur Entwicklung von Kohlenflözen führen können, erläutert. Es mußte aber von größter Wichtigkeit sein, derartige rezente Bildungen von Kohlenflözen, möglichst schon unter Überdeckung durch anderes Material gesichert, also schon in geologischem Verband befindlich und vor der Zerstörung durch äußere Einflüsse geschützt, nachzuweisen.

Diese Beobachtung war mir weder auf Sumatra noch auf Java möglich, da ich dort nirgends Gelegenheit hatte, tief in die Erde reichende künstliche Einschnitte kennen zu lernen. Dagegen habe ich bei meinen Reisen durch Hinterindien (Malakka) das Vorkommen rezenter Kohlenlager eingehend studieren können. In den dortigen Zinnminendistrikten ist die Erde oft bis in große Tiefe durch Tagebauten gewaltigsten Umfangs durchwühlt. Insbesondere bei Ipoh und Taiping, ungefähr in der Mitte zwischen Singapore und Penang, war es mir möglich, in den dortigen riesigen Zinngruben ausgezeichnete Profile des Aufbaus der dortigen Zinnseifen, die als Alluvionen abgesetzt sind, zu sehen. Geradeso wie in den Braunkohlengruben nur die Farbe der Braunkohlen mit derjenigen bleicher Sande und Tone wechselt, so auch dort. Überall nur bleichfarbene Sande und Tone, aus denen das wertvolle Zinn als Sand gewonnen wird; aber, was mich besonders interessierte und anscheinend bis dahin von allen Besuchern in seiner Bedeutung nicht genügend gewürdigt worden war, auch fast überall bis zu mehrere Meter Mächtigkeit erreichende moderartige schwammigfeuchte Humusansammlungen, in denen schwarzgefärbte Äste, Baumstämme, Wurzelstümpfe, Palmblätter u. a. eingebettet liegen. Diese Humusansammlungen sind zwischen die bleichfarbenen Tone und Sande eingeschaltet. In der größten der dortigen Zinnminen, der Tronohmine, die 1913 die größte Ausbeute aller Zinnbergwerke der Welt gehabt hatte und die aus einem Tagebau von gewaltigen Ausmaßen und bis 40 m Tiefe bestand, sah ich nicht weniger als drei von Bleichsanden getrennte rezente bzw. subrezente Kohlenflöze von jeweils mehreren Metern Mächtigkeit, die völlig durchfeuchtet waren und aus noch unverfestigtem schwammig weichem Material bestanden, zwischen dem die härteren Stämme usw. oft wie Trümmer verkohlten Holzes auf einer Brandstätte an den Wänden seitlich in die Luft herausragten. Wie wenig noch die einzelnen Kohlenschichten verkittet waren, mag aus der Tatsache hervorgehen, daß sich ein solches Humusflöz derartig mit Wasser vollgesogen hatte, daß es kurz vor meinem Besuch zu einer Rutschung des Gebirges gekommen war, das einen großen Teil der Mine zugeschüttet und mehrere Menschenleben gekostet hatte. Unwillkürlich denkt man im Vergleich an so manche Rutschung, die auch in den mitteldeutschen Braunkohlengebieten immer wieder die Tagebaue gefährdet.¹⁾

Nachdem so die Bildung von rezenten Kohlenflözen in den Tropen nachgewiesen ist, muß doch noch eine Frage erörtert werden, die sich an die Tatsache knüpft, daß diese Kohlenablagerungen aus Flachmooren entstanden sind. Denn es gehört zum Wesen der Flachmoore, daß sie nicht von sich aus zu immer höher sich entwickelnden Humusanhäufungen führen können, wie dies bei den Hochmooren der Fall ist, daß vielmehr nahe dem Grundwasserspiegel die Humusanhäufung aufhört. Ein Hochmoor wächst über den ursprünglichen Boden, über seinen alten Grundwasserspiegel hinaus, wölbt sich allmählich über seine Umgebung empor und kann so zu immer größerer Mächtigkeit sich entwickeln. Da es mit Wasser vollgesogen ist, so hebt sich die Durchfeuchtung

¹⁾ Lang, R., Rohhumus- und Bleicherdebildung im Schwarzwald und in den Tropen. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemberg 1915, S. 115—123.

des Moores entsprechend dem Anwachsen der Pflanzensubstanz. Das Flachmoor dagegen ist an den Grundwasserspiegel bzw. das Niveau der See- und Sumpfflächen gebunden, auf denen es sich befindet. Eine Anhäufung von Humussubstanz der Flachmoore über eine gegebene von Wasser erfüllte Vertiefung hinaus ist daher nicht möglich. Allein diese vorhandenen Vertiefungen ist es fähig auszufüllen. Einer weiteren Erhöhung der Mächtigkeit steht ein Flachmoor passiv gegenüber. Denn alles, was über den Wasserspiegel hervorragt, unterliegt der Verwesung. Soll daher eine weitere Anreicherung von organischer Substanz erfolgen, so muß diese Entwicklung durch äußere Umstände eingeleitet werden.

Diese äußeren Umstände müssen stets die Erhöhung des Grundwasserspiegels der Waldsumpfmoores und somit die Senkung des gebildeten Humus unter denselben herbeiführen. Oder anders ausgedrückt, es ist erforderlich, daß die Erosionsbasis sich hebt. Erst jüngst hat Teumer mit Recht diese Voraussetzung als notwendig für die Erhaltung großer Humusmassen gefordert. Er sagt: „Nur dadurch, daß die gewachsene Pflanzenmasse durch einen langsamen Senkungsprozeß gleichsam ständig im Wasser ertrinkt und so vor Verwesung und Vermoderung geschützt wird, kommt es zur Anhäufung der gewaltigen organischen Massen, die zur Bildung eines Kohlenflözes erforderlich sind.“ Er zeigt, daß die zahlreichen an der Flözoberfläche im Senftenberger Revier angetroffenen Stubben von Taxodium und Sequoia in der Weise entstanden, daß „durch ein schnelles (scheinbares) Steigen des Wasserspiegels, welches durch eine entsprechende Senkung des Moores erzeugt wurde, die Stämme in der Höhe des Wasserspiegels durch Verwesung (nach älterem Sprachgebrauch durch Abfaulen) vom Wurzelstock getrennt wurden.“ Aus diesem Grunde sind die Stammstümpfe nur bis zu ganz bestimmter Höhe, die bei ungestörter Lagerung eine ebene Fläche bildet, erhalten.¹⁾ Natürlich braucht die Grundwasserspiegelerhöhung keine absolute zu sein, sondern bezieht sich allein auf die vorherige Oberfläche der Humusanhäufung; es ist nur eine relative Hebung des Grundwasserspiegels nötig. Dann können auch die Waldflachmoorablagerungen gewaltige Mächtigkeiten erreichen. Dieser Effekt wird in der Natur auf die verschiedenste Weise erzielt.

Erstens kann der Grundwasserspiegel sich heben, wenn das abfließende Wasser unterhalb des Waldmoores durch irgendwelche Umstände gestaut wird. So kann schon das Anschwellen von Treibholz, die Bildung einer Kies- oder Sandbarre durch starkes Anschwellen des fließenden Wassers, das Sichvorschieben eines Schuttkegels von einem Seitental her und Ähnliches zu einer Stauung des Wassers oberhalb und damit zu einer Hebung des Grundwassers führen, ohne daß irgendwelche tektonische Vorgänge dabei mitwirken. Sobald das Grundwasser gehoben ist, kann die Weiteranhäufung von organogenem Material auch im Flachmoor erfolgen und damit ein Mächtigerwerden des Flözes. Dieser Fall ist geologisch nicht leicht nachzuweisen. Diese Vorgänge werden aber stets nur mehr oder weniger lokaler Natur sein und können überall dort nicht in Frage kommen, wo ein Flöz weithin gleiche Mächtigkeit aufweist. Auch wird die Humusanreicherung, zu mindest wenn die Ablagerungen von Humus in einem alten Flachlande stattgefunden haben, kein besonders erhebliches Ausmaß erreichen. Keinesfalls können dadurch jene gewaltigen Anhäufungen von Braunkohle erklärt werden, die wir an manchen Stellen Mitteldeutschlands finden und die zum Beispiel im Geiseltal 100 m Mächtigkeit erreichen.

Daher ist auch für die gewaltigen Flözmächtigkeiten mancher Vorkommen im mitteldeutschen Braunkohlegebiet nach einer anderen Er-

¹⁾ Teumer, Th., Die Bildung der Braunkohlenflöze im Senftenberger Revier. „Braunkohle“ 1920. Nr. 44.

klärung gesucht worden. Walther¹⁾ und von Linstow²⁾ haben überzeugend nachgewiesen, daß vielfach die Anhäufungen der tertiären Braunkohle mit Auslaugungen von Zechsteinsalzen in deren Untergrund und damit mit Senkungsvorgängen des Hangenden derselben in direkter Beziehung stehen. Durch die Senkung der Moore, die wir als überaus langsam erfolgend annehmen dürfen, konnte entlang der Waldmooroberfläche dauernd Humus angereichert werden, weil sich, entsprechend der Senkung der Moore, der Grundwasserspiegel relativ hob. Nur so ist das plötzliche Anschwellen der tertiären Braunkohlenflöze und ihr seitliches und oft ein allseitiges Auskeilen zu erklären, wie wir es in großartigstem Maßstab z. B. vom Geiseltal kennen. Mit dieser Deutung ist die allgemeine Senkungstheorie, die schon seit Lindley, Lyell und Naumann³⁾ bekannt geworden ist, erneut betont und — für die ausnahmsweise mächtigen Braunkohlenflöze — auf den speziellen Fall der Senkung des Moorbodens durch Auslaugung des Untergrundes angewandt.

Auch die mächtige Anhäufung rezenter bzw. subrezenter Sand-, Ton- und Humusablagerungen im Gebiete von Ipoh und Taiping in Malakka ist letzten Endes zweifellos auf Auslaugungserscheinungen zurückzuführen. Die Zinnseifen liegen dort auf permokarbonischem Kalkstein, der zwischen Granit und altes Gebirge eingekeilt erscheint. Der Kalkstein ist in einer Dutzende Kilometer langen, aber nur höchstens ein paar Kilometer breiten Erstreckung zu verfolgen. Genau in der Richtung seiner Achse dehnt sich das Tal und die Seifen. Es ist daher ohne weiteres klar, daß die Zinnseifen und die Kohlenflöze der Austiefung des Tales durch chemische Verwitterung ihre Entstehung verdanken.

Endlich ist noch eine dritte Möglichkeit der zunehmenden Anhäufung organischen Materials in Waldflachmooren zu erwähnen, die eigentlich tektonische. Wenn Gebirgsschollen in langsamer Senkung sich befinden, so muß ebenso der Grundwasserspiegel im Verhältnis zur sinkenden Oberfläche des Flachmoores sich heben und die Humusbildung immer weiter angeregt werden. Diese Bildungsart ist bei den Braunkohlenvorkommen der Ville zwischen Bonn und Düren im Rheinlande nachzuweisen. Dort verläuft u. a. eine scharf ausgeprägte Verwerfung, an deren liegendem Flügel die reichen Braunkohlenablagerungen heute sich erstrecken. Es ist Fliegels Verdienst, diese interessanten Verhältnisse aufs beste geklärt zu haben. Abb. 27 veranschaulicht dieselben.⁴⁾

Es kann aber auch der Fall eintreten — und dieser ist wohl der allgemeinste bei der Braunkohlenbildung in Mitteldeutschland —, daß die tektonischen Vorgänge sich in allgemeinen Senkungen weiter Landflächen äußern, zwischen die Zeiten des Stillstandes sich einschalten. Diese Bewegungen sind also solche von regionaler Erstreckung und können erfolgen, ohne daß Verwerfungen die Fläche zerteilen. Dann entstehen Braunkohlenlager, wie wir sie z. B. aus der Niederlausitz kennen, die Teumer jüngst in einer sorgfältig abwägenden Studie in dieser Hinsicht behandelt hat. In scharfsinniger,

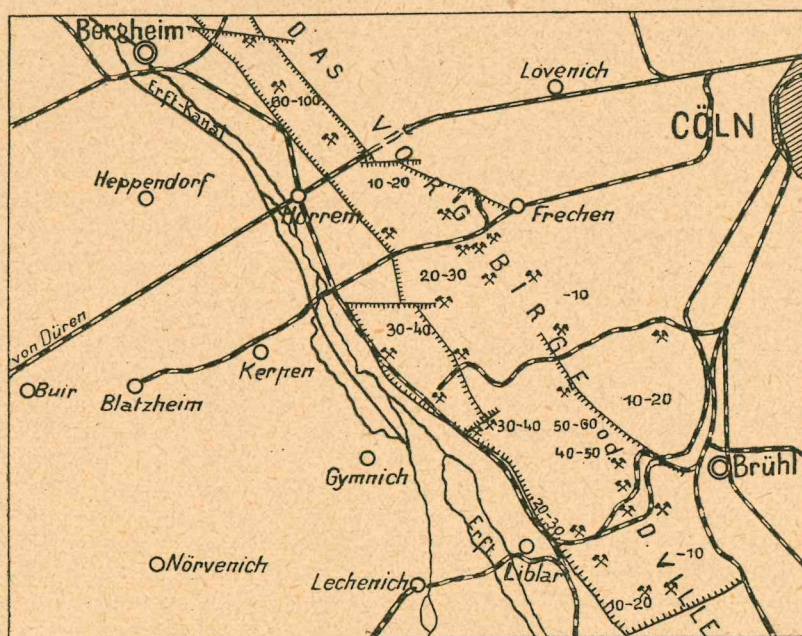
1) Walther, Die Salzlagerstätten und Braunkohlenbecken in ihren genetischen Lagerungsbeziehungen. „Kali“ 1918, Heft 13. Dieses Jahrbuch, Erstes Heft, 1919, S. 11—15.

2) von Linstow, Über gegenwärtige Bodenbewegungen. Z. d. d. geol. Ges., Mon.-Ber. 1917, S. 127 ff.

3) Lindley, J., and W. Hutton, Fossil Flora of Great Britain. London, 2. Bd., 1833. Lyell, Ch., Geologie oder Entwicklungsgeschichte der Erde und ihrer Bewohner. 5. Aufl. übersetzt durch B. Cotta, Bd. 2, 1858, S. 162 ff., Naumann. C. Fr., Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl., 2. Bd., 1862, S. 583.

4) Fliegel, G., Die Beziehungen zwischen dem marinen und kontinentalen Tertiär im niederrheinischen Tieflande. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges., 1911, S. 527, und Der geologische Bau der Gegend von Köln. Berichte über d. Vers. d. Niederrh. geol. Vereins 1914, S. 8—20.

überzeugender Weise zeigt Teumer an dem Gegensatz zwischen den Stubbenhorizonten in den Braunkohlenflözen, den stubbenfreien Lagen mit erdig-stückiger Kohle und den Sand- und Tonlagern, die die Kohlenflöze überlagern, die tektonischen Bewegungen der damaligen Zeit auf. Er weist vor allem nach, daß die Stubbenhorizonte durch Abfaulen der Bäume in bestimmter Höhe infolge schnellen Steigens des Wasserspiegels bis zu dieser Höhe entstanden sein müssen. Mit Recht folgert er aus dem Gegensatz zwischen Stubbenhorizonten, stubbenfreien Lagen im Flöz und Ton- und Sandabsätzen, daß nicht konstante (säkuläre) Senkung, sondern eine Reihe von nach Zeit und daher Geschwindigkeit wechselnden Senkungen stattgefunden hat, und legt diese Vorgänge in ihren Einzelzügen dar: „Man kann des Senkungsvorganges



Maßstab 1:250 000.

Abb. 27. Beziehung zwischen Tektonik und Flözmächtigkeit im Niederrheinischen Braunkohlenbezirk. Nach Fliegel.
Die eingetragenen Zahlen bezeichnen die Mächtigkeit der Braunkohle in Metern.

nicht entbehren, um die Bildung der homogenen Braunkohlenflöze mit erdig-stückiger, holzfreier Kohle zu erklären. Dieser Senkungsvorgang muß so langsam erfolgen, daß der Pflanzenwuchs Schritt halten kann. Diese Senkung kann also sehr wohl eine säkuläre sein. Man braucht ferner den plötzlichen Senkungsprozeß, um die Entstehung der Stubbenhorizonte zu erklären. Dieser Vorgang, bei dem Senkungen bis zu 2 m erfolgt sein müssen, ist also durchaus instantan. Man muß zuletzt wiederum einen Senkungsvorgang dafür verantwortlich machen, daß durch ein Absinken, das so schnell erfolgte, daß der Pflanzenwuchs nicht mehr Schritt halten konnte, die Flözbildung aufhörte und anorganische Ablagerungen in einem Seebecken zum Absatz kamen.“¹⁾

Aus diesen Erörterungen ergibt sich, daß bei der Braunkohlenbildung die relativen Hebungen des Grundwasserspiegels oder, was dasselbe Resultat ergibt, die relativen Senkungen der Mooroberfläche ebensowohl konti-

1) Teumer, a. a. O.

nuierlich wie auch ruckartig sich vollzogen haben können. Lokale und allgemeine Ursachen können Unterbrechungen der Vorgänge und Wiederneueinsetzen derselben immer wieder herbeigeführt haben.

2. Flachmoorbildung und Mineralsalzarmut.

Zur Beantwortung dieser Frage sei kurz auf den Gegensatz zwischen neutralem oder adsorptiv gesättigtem Humus und saurem oder adsorptiv ungesättigtem Humus (Rohhumus) eingegangen.

Wenn man Böden mit verschiedenem Nährstoffgehalt oder anders ausgedrückt mit verschiedenem Gehalt an ein- und zweiwertigen Basen (Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesium) untersucht, so zeigt sich, daß der Humus bei allen denjenigen Böden, deren Mineralsalzgehalt reichlich ist, bei Durchleiten von Wasser sich nicht löst, sondern höchstens mechanisch beweglich ist. Dieser Humus färbt das Lackmuspapier nicht um. Der Humus ist neutral bzw. adsorptiv gesättigt.

Dagegen stellt sich bei Böden mit geringem Gehalt an löslichen mineralischen Substanzen die auffällige Tatsache ein, daß dann der Humus bei abnehmenden Mineralsalzmengen löslich wird. Er teilt sich dem Wasser mit, färbt es braun und bildet so die sogenannten Schwarzwässer, die man zum Beispiel von den Hochmooren unserer Gebirge kennt. Derartige Humus und ebenso die Humuswässer färben blaues Lackmuspapier rot. Aus diesem Grunde hat man zwischen neutralem und saurem Humus unterschieden. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß diese Erscheinungen mit verschiedenen Zuständen des Humus zusammenhängen, der heute als Kolloid aufgefaßt wird und im ersteren Falle adsorptiv gesättigt ist, d. h. die für ihn nötige Menge an Mineralsalzen oberflächlich aufgenommen hat, um ihn ausgefällt zu erhalten. Im andern Falle sind nicht genügende Mengen von Mineralsalzen in ihm enthalten, er ist adsorptiv ungesättigt. Aus dem Gel ist ein Sol, ein gelöstes Kolloid, geworden.

Aber noch einen zweiten wichtigen Gegensatz weisen die verschiedenen Humusarten auf: der adsorptiv gesättigte Humus vermag keinerlei chemische Wirkung auf seine Umgebung auszuüben, während der Rohhumus in gelöster Form die Gesteine und Verwitterungsprodukte aufs stärkste beeinflusst. Das Humussol nimmt gierig nicht nur die ein- und zweiwertigen Basen auf, sondern löst insbesondere auch das Eisen und Mangan, ja selbst in geringen Mengen Phosphorsäure und Tonerde. Er kämmt gleichsam alles, was sich ihm in den Weg stellt, aufs intensivste chemisch aus und läßt schließlich nur einen wasserhaltigen Kieselsäure-Tonerdekomplex, den Kaolin, übrig. Es ist der Vorgang der Bleicherdebildung, den ich damit eben geschildert habe. Da Eisen und Mangan die einzigen mineralischen färbenden Bestandteile der Gesteine darstellen, so wird durch die Solverwitterung die Färbung derselben zerstört und es entstehen fahlfarbene, graue bis weiße Tone und Sande. Je nach der mehr sandigen oder mehr tonigen Beschaffenheit der Produkte der Rohhumusverwitterung, die ich kurz als Solverwitterung bezeichne, spricht man allgemein von Bleicherden und im speziellen von Bleichsanden oder Bleichtonen. Der ideale Bleichton ist der Kaolin oder die Porzellanerde.

Wo Wasser, die Eisen gelöst enthalten, mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommen, wird das Eisen zu Eisenhydroxyd oxydiert und es schwimmt dann als Eisengel in Form ölig erscheinender, schillernder Häutchen, die der Unkundige für schwimmendes Petroleum halten mag, an der Wasseroberfläche oder es ist an den Austrittsstellen von Wasser, an Flußufern, Hängen und Quellen, zu ölig-schmierigen intensiv gelben bis bräunlichen Produkten angehäuft.

Neben der Rotfärbung des Lackmuspapiers weist somit schon das Vorhandensein von Schwarzwasser oder von Eisengel mit Sicherheit auf Rohhumus-

bildung hin. Gleichzeitig aber ist es auch ein Zeichen davon, daß diese Humusablagerungen nur ungenügende, also keine erheblichen Mineralsalzmengen oder, anders ausgedrückt, keinen hohen Aschengehalt haben. Letzteres natürlich unter der Voraussetzung, daß keine mechanischen Einschwemmungen mineralogener Materials erfolgt sind.

In der Tat weisen nun die Gebiete Sumatras und Malakkas, die ich näher in dieser Hinsicht erforschen konnte, vielfach und in weitester Verbreitung Schwarzwässer auf. Das haben schon die Malayen erkannt, indem sie den Wassern und den zum Teil erheblich großen Bächen bzw. kleinen Flüssen den Namen Ajer itam, Soengei itam, Schwarzwasser, Schwarzfluß gaben. Wichmann hat hierauf als erster aufmerksam gemacht und daraus auf die weite Verbreitung von Mooren in Neu-Guinea, Borneo, Sumatra und Java geschlossen.¹⁾ Der Soengei Lian, ein Fluß mit derartig dunkel gefärbtem Wasser, der nahe bei Bingin Teloek in den Rawas mündet und dessen Mündung sich beim Aufwärtsfahren mit dem Flußboot schon weit unterhalb durch die Umfärbung des Rawaswassers auf der rechten Flußseite zu erkennen gab, hat über 3 m Tiefe und über 20 m Breite. Die Entfernung zwischen seinem Ursprung und seiner Mündung beträgt nach der Karte zirka 70 km; er hat somit ein sehr ausgedehntes Einzugsgebiet.

Die außerordentlich weite Verbreitung der Rohhumuswässer in Niederländisch-Indien zeigt an, daß der in den dortigen Sumpfwäldern abgelagerte Humus nicht adsorptiv gesättigt ist und somit keinerlei großen Mineralstoffgehalt haben kann, daß also der hier abgesetzte Humus mit der organischen Substanz der Braunkohlen verglichen werden darf.

Des weiteren folgt ohne weiteres, daß offenbar auch in Flachmooren Rohhumus sich bilden kann, denn die Waldmoore treten ausschließlich in der Form der Flachmoore auf. Es scheint hier noch ein Gegensatz zu unseren einheimischen Flachmooren vorzuliegen, die alle mineralkräftig sein sollen. Diese letztere Auffassung hat sich jedoch als unhaltbar erwiesen.

Auch bei uns gibt es Flachmoore, die Rohhumus absetzen, und denen von Rohhumuswässern dunkel gefärbte Schwarzwässer entfließen. Überall da, wo an Stelle von Binsen und Rohr (*Scirpus* und *Phragmites*) Seggen und Schachtelhalm (*Carex* und *Equisetum*) als Verlandungsbestände der Moorseen sich einstellen, kann man auf saure Eigenschaften von Wasser und Boden schließen. Bei ihnen ist das Wasser der Seen mehr oder weniger bräunlich gefärbt, und beim Untersuchen mit Lackmuspapier zeigen Wasser und Verlandungsböden saure Eigenschaften. Dasselbe ist unter unserem Klima überall der Fall, wo auf Moorboden saure Gräser sich finden.

Hier also, und nicht erst an der Grenze Niedermoor-Hochmoor müssen wir die für die Bodenlehre allein wichtige Grenze zwischen adsorptiv gesättigtem und ungesättigtem Humus legen. Die Grenze zwischen Hoch- und Niedermoor ist somit nur eine botanische. Vom bodenkundlichen Standpunkt aus dagegen sind die sauren Niedermoorböden und die Hochmoorböden als eine Einheit zusammenzuziehen. Ich habe an anderer Stelle diese Gliederung eingehend begründet.²⁾

Somit ist auch hier die geologische Beobachtung, daß die Braunkohlen in mineralstoffarmem Wasser und in tropischem Gebiet gebildet werden, der bodenkundlichen Erkenntnis, daß auch die tropischen Waldsumpf-flachmoore sich aus nährstoffarmem Rohhumus aufbauen, vorangegangen.

1) Wichmann, A., a. a. O. Herr Professor Dr. Wichmann macht mich freundlichst darauf aufmerksam, daß auch in den südamerikanischen Ländern die Schwarzwasserflüsse an ihren Namen zu erkennen sind, z. B. bei rio negro im spanischen, rio preto im brasilianischen Südamerika.

2) Lang, R., Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde. Stuttgart 1920, S. 89 ff.

3. Rezente Kaolinbildung in den Tropen.

Entsprechend dem im vorausgehenden Gesagten muß in den Rohhumusgebieten Indiens auch rezente Bleicherdebildung, rezente Kaolinbildung erkennbar sein. Dies ist tatsächlich auch weithin der Fall.

Zwar war es mir in Sumatra wegen der weiten Bedeckung durch Waldsümpfe unmöglich, die Bleicherdebildung an einem Profil zu beobachten, aber bei Probeentnahmen von Material, das unter den Sümpfen sich lagerte, zeigte sich stets die fahle Färbung, wie sie die Bleicherden auszeichnet.

Auf Java hatte ich das Glück, in der Umgebung von Garoet, einem herrlichen Höhenkurort, auf zirka 1200 m Meereshöhe an Straßeneinschnitten am Wege von Pasir Kiamis nach Kawah Manoek ausgezeichneten Kaolin zu entdecken, der durch die Einwirkung von Humuswässern aus überlagerndem Humus entstanden war, der in diesem Gebiet bei wohl über 4000 mm Regenhöhe, die in nächster Nähe am Goenoeng Geloenggoeng sogar 5000 mm überschreitet, auftritt. Dort lagerte ein glasiger, völlig dichter, sehr harter, spröder, schwach durchsichtiger Liparit in der Form des Perlits, der von schwärzlicher, häufig gebänderter Farbe und von weißlich-grauen Sphärolithen durchsetzt war. Dieser Perlit war an manchen Stellen, an denen offenbar die Wegschwemmung verwitterten Materials in dem ansteigenden Bergland geringer war, von einem weißlichen lockeren Material überdeckt. Bei näherer Untersuchung ergab sich, daß das weiße Material ein Verwitterungsprodukt des Liparits bildete, dessen Entstehung sich leicht verfolgen ließ. Denn man konnte deutlich beobachten, daß der glasige dunkelfarbige Liparit allmählich graulichweiß bis milchigweiß, dabei wenig durchscheinend und porös wurde und schließlich in ein reinweißes, mehligartiges, stark poröses und wenig festes Material überging. In gleicher Weise zeigten die verschieden veränderten Stücke schon beim Aufheben eine auffällige Abnahme des spezifischen Gewichts mit zunehmender Verwitterung und eine Abnahme der Härte von glasartigem Charakter über geringere schaumige Härte bis zur Weichheit des Tons. Von dem am stärksten veränderten Material war kaum ein größerer Brocken zu erhalten, da zumeist schon der erste Hammer Schlag das Ganze in Pulver verwandelte. Das völlig zersetzte Material entsprach durchaus Kaolin. Und es fiel mir gleich beim Aufsammeln und Untersuchen an Ort und Stelle der Vergleich mit den Halleschen Quarzporphyren ein. Nimmt man doch für die Porphyre mit vollem Recht seit Sauers wertvollen Arbeiten an, daß die Porphyre zeitliche Umwandlungsprodukte aus ehemaligen mit Kristallen mehr oder weniger erfüllten Glasflüssen — Entglasungserscheinungen — darstellen.¹⁾ 1914 beabsichtigte ich nach Abschluß meiner Reisen das Material, von dem ich Proben in allen Stadien der Zersetzung gesammelt hatte, eingehend chemisch und mikroskopisch zu untersuchen und habe dies auch seinerzeit schon angekündigt. Später stellte sich leider heraus, daß beim Österreichischen Lloyd, dem ich den Transport meiner Gesteinskisten anvertraut hatte, das ganze Material, zwei Kisten mit mir unersetzlichem Inhalt an geologischen Funden, auf dem Transport in Verlust geraten war. So ist eine weitere Bearbeitung aller von mir in Indien gesammelten Proben unmöglich gewesen.

Für Java hat auch Mohr, Agrogeolog am Botanischen Garten von Buitenzorg, das Vorkommen von Kaolin bzw. Bleicherde aus subtropischem Höhengebiet, aus dem schon oben genannten Diënggebirge beschrieben. Er gibt an, daß auf dem dortigen, in Höhenlagen zwischen 2000 und 3000 m sich hinziehenden Plateau, unter der Einwirkung von Hochmoorwässern die Eisen-, Kalzium- und Magnesiumverbindungen aus den Gesteinen weggeführt werden

1) Sauer, Ad., Porphyrstudien. Mitt. bad. geol. Landesanst. 1893, S. 793—836.

und daß eine weiße Verwitterungsmasse, der „Loodzand“, d. h. Bleisand oder, wie man heute zu sagen pflegt, Bleichsand übrig bleibe.¹⁾

Im großartigsten Maßstab waren Bleicherden im Profil auf der Malayischen Halbinsel zu beobachten. Dort liefern die in Waldsümpfen gelegenen gewaltigen Zinnminen, die ich oben schon genannt habe, ausgezeichnete Profile, die bis tief unter die Erdoberfläche hinabreichen. Zuoberst fließen dort in dem flachen, zinnführenden Schwemmland humusbraun oder von Tonverunreinigung der mitten im Urwald aufgebauten und aufs modernste ausgerüsteten Baggerwerke trüb milchweiß gefärbte Wässer über den fast überall nach Zinn durchwühlten Boden, der aus fahlfarbigen, von allem Eisen befreiten Quarzitbrocken, Sand und tonigen Bestandteilen besteht, also echte Bleichsande bzw. Bleichtone bildet. Überall in diesen Gebieten kann man die für die Kaolinbildung als Voraussetzung auftretenden Schwarzwässer verfolgen, die den Reisenden begleiten, und überall auch findet man dort die Ausscheidungen von ölig-schmierigem Eisengel als Zeichen der Solverwitterung und Kaolinbildung.

Aus diesen Darlegungen ergibt sich somit, daß tatsächlich auch in den Tropen Kaolinbildung auftreten kann, wie dies auf geologischem Wege aus den tertiären Kaolinvorkommen in Mitteleuropa schon seit langem geschlossen worden ist.

4. Die Agentien der Kaolinbildung.

Zum Schlusse sei noch die Frage erörtert, ob die Auffassung Ramanns und Wüsts zu Recht besteht, daß die Kaolinbildung unter der Einwirkung von Humussäuren, unter Auffassung der Humussäuren als Kolloide, sich bilde, oder ob Stremme, Weiß und Stahl recht haben, wenn sie die Kohlensäure im Zusammenwirken mit reduzierenden organischen Substanzen dafür verantwortlich machen.

Bei der Behandlung der Frage muß man zwei Vorgänge auseinanderhalten: die Zerspaltung der Silikatmoleküle als ersten Prozeß und den Vorgang der Neugruppierung der bestandfähigen Moleküle aus den zersprengten Teilen.

Die Zerspaltung der Silikate wird, wie Ramann eingehend dargelegt hat, durch die hydrolysierende Wirkung des Wassers veranlaßt. Die Kohlensäure spielt hierbei keine erkennbare Rolle. Ramann, der erste Kenner dieser Vorgänge, spricht sich wie folgt darüber aus: „Die Anschauungen über die chemische Verwitterung der Silikate haben in der letzten Zeit tiefgehende Veränderungen erfahren. Während bisher als feststehend galt, daß bei der für die Bodenkunde fast allein wichtigen Verwitterung der Silikate die wirksamen Bestandteile Säuren, namentlich Kohlensäure sei, hat sich jetzt unzweifelhaft herausgestellt, daß der erste Angriff durch die hydrolysierende Wirkung des Wassers erfolgt. Den Säuren sind nur sekundäre Wirkungen zuzuschreiben.“

„Um nachzuweisen, daß zur Erklärung der Vorgänge der Verwitterung eine Einwirkung von Säuren nicht notwendig ist, so daß Silikate, wie z. B. Orthoklas, überhaupt von Säuren nur sehr wenig angreifbar sind, gibt Cushman folgende Zahlen. Bei Einwirkung auf Orthoklas löste Wasser 0,320%; Lösung von Chlorammon 0,57%; konzentrierte Salzsäure 0,67% des Kaliums.

Behandelt man, bei Anwendung gleicher Mengen, Feldspat mit kaltem Wasser, so gingen nur 0,03% in Lösung, bei Anwendung von $\frac{1}{10}$ n-Salzsäure dagegen 0,29%, beim Kochen sogar 0,48%. Behandelte man dann diese Gesteins-

¹⁾ Mohr, J., Over den Grond van Java. Batavia 1911, 126 S.

pulver mit Chlorammonlösung, so löste sich noch Kalium; dessen Gesamtmenge betrug bei Behandlung mit Wasser 0,57%; mit kalter Salzsäure 0,56%; mit kochender Salzsäure 0,82%. Hieraus ergibt sich, daß selbst heiße verdünnte Salzsäure nicht wesentlich mehr Feldspat zersetzt als Wasser. Die Gesamtmenge des löslichen und des absorbierten, durch Ammon ersetzbaren Kaliums ist in den beiden ersten Fällen gleich, im dritten nur unwesentlich gesteigert. In der Natur sind Säuren von der Wirksamkeit einer $\frac{1}{10}$ n-Salzsäure (0,365% HCl) unter normalen Verhältnissen der Verwitterung nicht vorhanden. Es ist daher die Verwitterung der Silikate wesentlich eine Folge der hydrolysierenden Wirkung des Wassers.“¹⁾

Aus diesen überzeugenden Darlegungen Ramanns ergibt sich, daß der erste Angriff der Verwitterung nicht durch irgendwelche Säuren, auch nicht durch die gelösten Humuskolloide, die Humussole, erfolgt, sondern durch den in Ionen zerspaltenen Anteil des Wassers.

Es kann sich somit bei Besprechung der Kaolinbildung nur darum handeln, ob die zerspaltenen Moleküle bei ihrer Neugruppierung von der Einwirkung der Kohlensäure oder der Humussole beherrscht werden.

Hierbei sind wiederum zwei verschiedene Fälle zu berücksichtigen. Erstens kann die Kaolinbildung unter dem Grundwasserspiegel und zweitens auch über demselben erfolgen.

Wie erfolgen die chemischen Umsetzungen zwischen überlagerndem Humus und darunterliegendem Gestein, wenn sich der Humus — mindestens teilweise — unter dem Grundwasserspiegel befindet?

Vor allem fehlt die oxydierende Wirkung des Sauerstoffs. Denn der Sauerstoff kann nur bis an den Spiegel des Grundwassers heranreichen, nicht aber in ihm wirksam sein. Denn der Sauerstoff ist an sich schon in Wasser sehr wenig und viel weniger löslich als die Kohlensäure, und zweitens wird etwa bis zum Grundwasser gelangender Sauerstoff allmählich vom Humus gebunden und in Kohlensäure umgewandelt. Es kann daher Sauerstoff in praktisch wirksamen Mengen unter dem Grundwasserspiegel bei Anwesenheit von Humus dauernd nicht vorhanden sein.

Da somit der Sauerstoff fehlt, so kann nur Kohlensäure in dem adsorptiv gesättigten, wie auch in dem adsorptiv ungesättigten Humusboden enthalten sein. Und zwar steht sowohl in den mineralstoffreichen Wiesenmooren, wie auch in den mineralstoffarmen Hochmooren bzw. den entsprechend aus adsorptiv ungesättigtem Humus aufgebauten Tropenwaldmooren Kohlensäure in gleichen Mengen zur Verfügung. Es sind somit in beiden Moorarten alle Voraussetzungen, die Stremme, Weiß und Stahl verlangen: reduzierende organische Substanzen und Kohlensäure, vorhanden.

Trotzdem ist die Einwirkung der verschiedenen Humusarten auf die Unterlage völlig verschieden. Der adsorptiv gesättigte Humus zeigt überhaupt keinerlei Einwirkung auf sie. Im Gegenteil liegt zumeist unter adsorptiv gesättigtem Humus Wiesenkalk, der unangegriffen bleibt. Dagegen beeinflusst der Rohhumus das darunterliegende Gestein aufs intensivste: es wird neben den ein- und zweiwertigen Basen hauptsächlich das Eisen entzogen und das Gestein in Bleicherde umgewandelt. Wiesenkalk könnte hier nie erhalten bleiben. Daher findet man wohl überall unter Hochmooren, nirgends aber unter Neutralmooren Bleicherdebildung. Die Umwandlung müßte, wenn schon die Kohlensäure das Agens wäre, in beiden Fällen die gleiche sein. Es kann somit der Unterschied nur darin liegen, daß im einen Falle der Humus unlöslich ist und daher keine Wirkung auf die Umgebung ausübt, während er im zweiten Falle

1) Ramann, E., Bodenkunde, 3. Aufl., 1911, S. 24 ff.

löslich ist. Es ist also ausschließlich der Soleigenschaft des Humus die Bildung des Kaolins zuzuschreiben.

In größerer Tiefe bildet sich, unter Ausschluß des Sauerstoffs, aber unter Anwesenheit der Kohlensäure durch die Einwirkung des Wassers als Produkt der Diagenese Kaolinit in kristallisierter Form bei der Zersetzung von Silikaten, z. B. in Feldspat führenden Sandsteinen. Erst sekundär wirkt die Kohlensäure ein. Das Kalzium und Eisen verbindet sich mit ihr, und so beobachtet man im Dünnschliff und selbst makroskopisch neben den Kaolinitkristallbündeln Kristalle von Kalziumeisenkarbonat (Braunspat) ausgeschieden. Wenn unter Rohhumusbedeckung derselbe Vorgang sich vollziehen würde, so müßte man in bergfrischen Kaolinlagern gleichfalls Braunspatkriställchen finden. Zu beobachten ist jedoch in den tertiären Kaolinen keinesfalls Braunspat oder andere Karbonate, sondern höchstens Eisendisulfid, Schwefelkies. Das weist aber darauf hin, daß die Kohlensäure hier keine irgendwie erkennbare Rolle spielt, sondern daß der von pflanzlichen Eiweißstoffen herrührende Schwefelwasserstoff das in Lösung befindliche Eisen, soweit es nicht ganz ausgelaugt wurde, in sulfidischer Form fixiert hat. Daraus ergibt sich, daß bei der Kaolinbildung unter dem Grundwasserspiegel die Kohlensäure keinesfalls mitgewirkt haben kann, daß es vielmehr das Humussol war, das diese Wirkung erzielte.

Man mag erstaunt sein, bei Verwitterungsvorgängen über dem Grundwasserspiegel überhaupt die Frage nach der Wirksamkeit der Kohlensäure zu erheben. Denn man weiß, daß hier der Einfluß des Sauerstoffs denjenigen der Kohlensäure erheblich überwiegt. Man denke an die Umwandlung der färbenden Bestandteile Eisen und Mangan, und wir wissen, daß diese Umfärbung in die bunten gelben bis braunen Farben bei Anwesenheit von adsorptiv gesättigtem Humus ungehindert vor sich geht.

Weniger bekannt aber dürfte sein, daß unter den gleichen Umständen der ungesättigte Humus auch das dreiwertige Eisen, wie auch Ramann betont, adsorptiv an sich fesseln und wegführen kann, so daß auch unter diesen Umständen Bleicherden und Kaolin sich bilden können. Es wird daher selbst bei Anwesenheit von Sauerstoff der oxydierende Einfluß des Sauerstoffs übertrumpft von der Adsorptionswirkung der Humussole, die die Bleicherdebildung sogar bei Zutritt von Sauerstoff ermöglichen. Hier kann keinesfalls die Kohlensäure diese einzigartige Verwitterungsart herbeigeführt haben. Wäre Kohlensäure das Agens für die Kaolinverwitterung auch über dem Grundwasserspiegel, so müßten sowohl bei den Böden mit adsorptiv gesättigtem, wie bei denjenigen mit ungesättigtem Humus in gleicher Weise Kaolinböden entstanden sein, was nicht der Fall ist. Somit kann auch hier nur die Wirksamkeit der Humussole die Bildung der Bleicherde herbeigeführt haben.

Schluß.

Aus dem vorstehenden ergibt sich, daß Ramanns generelle Zusammenfassung der Bleicherde- und Rohhumusbildung bzw. der Kaolin- und Braunkohlenbildung als einer genetischen Einheit zu Recht besteht.

Für die mitteldeutschen Braunkohlen- und Kaolinvorkommen hat Ewald Wüst in eingehender Darstellung festgelegt, wie im einzelnen die Entstehung dieser geologischen Produkte vor sich gegangen sein muß. Er wies auf Grund seiner geologischen Erfunde nach, daß die Braunkohlenbildung an warmes und feuchtes Klima gebunden war, daß sie aus Sumpf-Flachmooren hervorgegangen ist, endlich, daß der Kaolin der Wirkung der diesen Mooren entfließen-

den Rohhumuswässer seine Entstehung verdankt. Vergleiche mit rezenten Bildungen derselben Art waren damals nur zum geringen Teil möglich. Trotzdem hat Wüst, den hier mitgeteilten Beobachtungen weit vorausseilend, in allen Einzelheiten und vielfach im Gegensatz zu den damals herrschenden Anschauungen das Bild der Entstehung von Braunkohle und Kaolin in Mitteldeutschland richtig gezeichnet.

Erst jetzt ist es auf Grund eingehender Untersuchung der tropischen Feuchtgebiete und ihrer Böden gelungen, durch exakte Bodenforschungen genau das festzustellen, was der Geolog schon durch Induktionsbeweise als richtig erkannt hatte.

Hieraus ergibt sich, wie wichtig es ist, immer tiefer und gründlicher die Erscheinungen der Jetztzeit zu erforschen. Mancherlei Widersprüche, die sich bisher aus der stratigraphisch-historischen Überlegung einerseits und der Beobachtung der heutigen Verhältnisse andererseits ergaben, werden dann eine widerspruchslose Aufhellung finden und die sichere Deutung der Ablagerungen der Vorzeit ermöglichen. Allzu geringe Kenntnis gerade der geologischen Verhältnisse und Vorgänge der Jetztzeit hat in vielen Fällen bisher die Erkenntnis gehemmt. Der Bodenforscher ist berufen, die Untersuchung und Deutung der geologischen Vorgänge der Jetztzeit entlang der Oberfläche der Festländer durchzuführen und damit in seinem Teil der Wissenschaft von der umfassendsten Kenntnis der Vorzeit, der Paläogeographie, die Wege zu ebnen.

Fortschritte der mineralogischen und geologischen Erforschung der permischen Salzlagerstätten seit dem Jahre 1907.

Mit einem Verzeichnis der seit 1907 erschienenen Literatur.

Von E. Lehmann, Halle (Saale).

Einleitung.

Das Jahr 1907 bildet einen Markstein in der Geschichte der Erforschung der Salzlagerstätten. In diesem Jahr erschien als Festband des X. Allgemeinen deutschen Bergmannstages zu Eisenach das Sammelwerk „Deutschlands Kalibergbau“, in dem F. Beyschlag und H. Everding in einer Abhandlung „Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze“ und E. Erdmann in einer solchen „Die Chemie und Industrie der Kalisalze“ einen Überblick gaben über die Ergebnisse der bisherigen Forschung und über den Stand unserer damaligen Kenntnis der Mineralogie und der Geologie der Salzlagerstätten. Aber weit darüber hinaus wurden diese Arbeiten dank der in ihnen enthaltenen neuen Ideen zum Ausgangspunkt einer neuen Entwicklungsperiode und eine kräftige Neuanregung für das Studium der Salzlagerstätten. Es war ein glücklicher Zufall, daß fast um dieselbe Zeit die umfassenden theoretischen Untersuchungen van't Hoff's und seiner Mitarbeiter sich ihrem Abschluß zuneigten und so, während jene erstgenannten Arbeiten auf der Fülle der Beobachtungen in der Natur fußten, von den Gesetzen der physikalischen Chemie und vom Experiment ausgehend, das Problem der Bildung der ozeanischen Salzablagerungen beleuchteten. Aber noch liefen die beiden Wege nicht in Eintracht nebeneinander her, noch ergaben sich allerorts Widersprüche zwischen den idealen Voraussetzungen der Theorie