

Verwitterungslagerstätten.

Von

Hermann L. F. Meyer, Gießen.

Unter dem Einfluß der exogenen Kräfte erleiden die Gesteine der äußersten Erdrinde eine mehr oder weniger weitgehende Zerstörung, die wir als Verwitterung bezeichnen. Diese Verwitterungsvorgänge¹⁾, die klimatisch bedingt, bestimmten chemischen Endprodukten zustreben, zerlegen die Gesteine allgemein in zwei Teile, einen unlöslichen, der an Ort und Stelle zurückbleibt, und einen löslichen, der in der Regel von dem Ort seiner Bildung mehr oder weniger weit fortwandert. Aus einer Anhäufung dieser Verwitterungsprodukte können nutzbare Lagerstätten entstehen, die wir als Verwitterungslagerstätten bezeichnen. Teils handelt es sich um Erze, wie Eisen - Mangan - Nickelverbindungen, teils um andere Mineralien und Gesteine, wie Schwerspat, Phosphat, Chalcedon-Opal-Achat, Kaolin, Ton, Lehm, verschiedene Allophanmineralien, wie Bol, Bergseife, Walkerde, um Meerschäum, Seladonit, um verschiedene Salze u. a.

Primäre und sekundäre Lagerstätten.

Bei den Verwitterungslagerstätten handelt es sich um Mineralien, die primär durch Verwitterung entstehen und stofflich nicht nur eine Umlagerung schon in einer anderen Lagerstätte vorhandener Massen bedeuten. Dadurch ergibt sich vor allen Dingen bei Erzlagerstätten ein scharfer Schnitt gegen bekannte Erscheinungen, die ebenfalls durch Verwitterungen entstehen, sich aber praktisch von den zu besprechenden unterscheiden: die sekundären Teufenunterschiede.

¹⁾ Die grundlegenden Angaben finden sich in meiner Arbeit „Klimazonen der Verwitterung und ihre Bedeutung für die jüngste geologische Geschichte Deutschlands.“ (Geol. Rundschau 1916, im Druck.) -- In dem vorliegenden Aufsatz gebe ich daher nur die notwendigste Literatur an.

Die Brauneisenerze im Eisernen Hut eines eisenhaltigen Minerals sind Verwitterungserscheinungen dieser Lagerstätten. Wir rechnen sie nicht zu den eigentlichen Verwitterungslagerstätten und trennen sie z. B. deutlich ab von Eisenerzen, die primär durch Verwitterung der Hunsrückschiefer entstehen. Auch die Eisenerze des zweiten Falls stellen gewissermaßen einen Eisernen Hut dar. Während aber im ersten Fall das primäre Gestein schon Eisenerz ist, liegt im zweiten Fall in der primären Zone ein Gestein, dessen Metallgehalt an sich keine Bedeutung hat und das überhaupt keine Erzlagerstätte ist; erst die Anhäufung unter dem Einfluß der Verwitterung schuf die Erzmassen. Die große praktische Bedeutung dieser Erzlager ist klar. Eine Verkennung der Umstände kann zu großen Mißerfolgen führen, wenn unter den hydratischen und oxydischen Erzen der Oberfläche ein primäres Erz oder erst eine Zementationszone vermutet wird. Die primäre Zone der Verwitterungslagerstätten ist immer metallarm, häufig sogar metall-leer, weil Wanderungen von anderen Stellen her stattfinden können. Ich kenne Fälle, bei denen die Suche nach Eisenmanganlagerstätten unter Nichtberücksichtigung dieser Tatsache zu großen unnützen Ausgaben verleitet hat.

Die von den Erzlagerstätten übernommenen Begriffe „primär“ und „sekundär“ müssen, wie schon aus dem Vorherstehenden hervorgeht, bei Verwitterungslagerstätten sorgsam beachtet werden. Bei „normalen“ Lagerstätten finden an der Oberfläche unter dem Einfluß der Verwitterung irgend welche Umlagerungen statt, die die sekundären Teufenunterschiede bedingen. Die primäre Zone liegt tiefer und kommt nur an die Oberfläche, wenn die Abtragung alle Verwitterungsprodukte hinwegschafft. Unter dem Gesichtspunkt der Erzlagerstättenlehre

stellen Verwitterungslagerstätten primäre Bildungen dar (vergl. *Krusch*, d. Zeitschr. 1913, 506—509), da eine erstmalige Anhäufung von Mineralien stattgefunden hat. Die primäre Zone liegt an der Tagesoberfläche und hat nie eine sekundäre Zone getragen. Wenn wir die Begriffe sekundär und primär so verwenden, so erleiden sie eine Verschiebung, die genetisch ein falsches Bild gibt, zumal wenn wir berücksichtigen, daß es sich nicht nur um Erze, sondern auch um andere nutzbare Mineralien handelt. Die beiden Bezeichnungen müssen ausgehend von dem Begriffe der Verwitterung betrachtet werden. Dann liegt auch hier die primäre erzarme Zone tiefer und die Erze sind das sekundäre Verwitterungsprodukt.

Genetisches.

Zuerst von *Cornu* (diese Zeitschr. 1909 S. 81) und dann von *Krusch* (ebenda S. 165, Lagerstättenlehre 2. Aufl. Bd. I, S. 82) ist darauf hingewiesen worden, daß die bei der Verwitterung entstandenen Neubildungen Gele darstellen. Für einen großen Teil der oben genannten Mineralien stimmt dies ohne weiteres, z. B. für die genannten Erze, Kaolin, Opal u. a. Aber diese Regel gilt nicht unbedingt. Bei den Salzen der Alkalien und Erdalkalien sind die amorphen Modifikationen teils unbekannt, teils wandeln sie sich mehr oder weniger schnell in die kristallinen Modifikationen um, so daß sie praktisch nicht in Frage kommen. Bei den übrigen bedingt der meist vorherrschende Gelcharakter, daß die chemische Zusammensetzung recht schwankend sein kann. In manchen Fällen, wie bei der Walkerde, weiß man überhaupt nicht, auf welchen Eigenschaften die technische Verwendbarkeit beruht; nur ein im Großen ausgeführter Versuch kann hier entscheiden.

Genetisch entstammen die Verwitterungslagerstätten, wie ich schon oben angedeutet habe, ganz verschiedenen Vorgängen. Sie sind teils Rückstände der Verwitterung und bilden dann der jeweiligen äußersten Oberfläche entsprechende Rinden, wie z. B. die Thüringer Kaolinerden oder die französischen Bauxite. Ihre Lagerungsform ist eine unregelmäßige, angefügt der seinerzeit verwitterten Oberfläche. In der Regel wird es sich um mehr oder weniger taschenförmige, horizontal verbreitete Bildungen handeln, deren Erscheinungsform einer sicheren Beurteilung der Lagerstätten große Schwierigkeiten entgegenstellt. Ganz anders ist es aber, wenn es sich um Mineralien und Gesteine han-

delt, die einer Verwitterungslösung ihr Dasein verdanken. Die gelösten Substanzen werden nur selten an der Stelle ihrer Entstehung niedergeschlagen, sie wandern mehr oder weniger weit von ihrem Bildungsort aus. Häufig sind wir trotzdem noch in der Lage, die ursprünglichen Zusammenhänge zu erkennen. Dem Kaolin als Rückstand entsprechen Eisen-Manganerze oder Phosphate als Lösungsprodukte, dem aus Basalt entstandenen Bauxit entsprechen Brauneisenerze oder Opal. In manchen Fällen kennen wir nur die primären Gesteine, wie z. B. bei Schwespat oder Nickelerzorkommen. Manchmal aber ist der Ursprung nicht sicher zu bezeichnen, wie bei Raseneisenerzen.

Wenn eine Verwitterungslagerstätte vollkommen erhalten ist, so müssen wir also drei Teile an ihr unterscheiden. In der Tiefe befindet sich das ursprüngliche Gestein, etwa ein Hunsrückschiefer: die primäre Zone. Höher liegt die Lagerstätte — Eisenmanganerze — als sekundäre Zone. Die Lagerstätte selbst befindet sich entweder im Liegenden oder inmitten des ausgelaugten Gesteins, im dritten Teil, der Auslaugungszone. Wenn man die Bezeichnungen formell anwenden wollte, so müßte man die Auslaugungszone als sekundäre und die Lagerstätte erst als tertiäres Gebilde bezeichnen. Andererseits kann man auch das ausgelaugte Gestein gegenüber den Erzen als primär bezeichnen.

Dieses Verhältnis der Dreiteilung braucht aber, wie erwähnt, nicht immer gewahrt zu sein. Wenn z. B. Eisenmanganerze auf Kalken liegen, so sind die letzten zwar die bedingende Grundlage der Lagerstätten, weil die Carbonate die Ausfällung bewirkten, der Erzgehalt aber stammt von anderen Stellen, an denen nur das primäre Gestein und darüber die Auslaugungszone erhalten ist.

Auf- und absteigende Verwitterungslösungen klimatisch bedingt.

Man nimmt in der Regel an, daß die Verwitterungslösung nur als deszendierende wirkt. Dies ist aber nicht der Fall. Es gibt ascendierende, wenn sie freilich praktisch bis jetzt auch noch zurücktreten. Die Gründe liegen in den klimatischen Verhältnissen, die überhaupt auf den Charakter der Verwitterungslagerstätten entscheidend einwirken. Die Verwitterungslagerstätten sind nicht mit gleichbleibendem Charakter über die ganze Erd-

oberfläche verbreitet, sondern sie sind immer klimatisch bedingt. So ist selbst eins der uns als gemeinstes entgegnetretenden praktisch verwendeten Produkte, der Lehm, nicht allgemein verbreitet, sondern er entsteht nur in gemäßigt feuchtem Klima.

Der Unterschied regenarmer und regenreicher Gebiete bedeutet eine erste Trennung in der Einwirkung der Verwitterung. Zwei Gürtel regenarmer Gebiete sind auf der Erdoberfläche zu unterscheiden, die sich in einiger Entfernung nördlich und südlich des Äquators anlegen und in ihrer extremsten Bildung durch die Wüste gekennzeichnet sind. Wir bezeichnen sie als aride gegenüber den regenreichen humiden Gebieten. Die Regenmenge ist es aber nicht an sich, die die Gebiete kennzeichnet, sondern das Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung. Im ariden Gebiet ist die Verdunstung größer als der Niederschlag, daher wird aller Niederschlag aufgezehrt, es gibt keine ständig laufenden Flüsse, keine Verbindung mit dem Meere. Die Verwitterungsprodukte bleiben daher im Lande. Im humiden Gebiet ist das Gegenteil der Fall. Ständige Flüsse stehen mit dem Meere in Verbindung und sorgen für Abfuhr der Verwitterungsprodukte. Die Unterschiede in der Verdunstung bringen in beiden Klimareichen ganz verschiedene Bewegungen der Bodenlösungen hervor. Im humiden Gebiet dringen sie in den Boden ein und bewegen sich von oben nach unten. Ganz anders ist es im ariden Gebiet. Hier findet sich zeitweilig auch dieselbe Bewegungsrichtung, sowie aber die Verdunstung eintritt, muß die Bodenlösung den umgekehrten Weg nehmen. Auf diese Weise verschwindet jeder Niederschlag sehr schnell und die Verdunstung greift auch das Grundwasser an, so daß ein kapilläres Aufsteigen des Wassers von unten nach oben stattfindet. An der Oberfläche findet die Verdunstung statt und die von dem Wasser gelösten Bestandteile fallen aus. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß die Wasserbewegung in größeren Tiefen wohl keinen Unterschied gegen das humide Gebiet zeigt. Nur werden die Verwitterungslösungen kaum zu dem Tiefenwasser vordringen. Daher kann man in größeren Tiefen arider Gebiete auch mineralarmes Wasser erschließen.

Die Oberfläche arider Gebiete zeigt Ausscheidungen von Substanzen, die von unten nach oben befördert wurden. So entstehen die Ausblühungen von Salzen in

ariden Gebieten, die technisch nutzbar sein können. Auch Calciumcarbonat kann angereichert werden und bildet dann den bekannten Steppenkalk. Dieselbe Entstehung haben oberflächliche Verkieselungen und Eisenerzkrusten. *Walther* (Petermanns Mitt. 1916 S. 6) gab ein sehr anschauliches Profil aus Westaustralien über die Entstehung dieser Krusten, die offenbar an der Grenze des humiden zum ariden Gebiet entstehen. Unten findet sich über dem primären unzersetzten Gestein eine Auslaugungszone (Verwitterungsrückstände) und darüber dann, sich im Übergang entwickelnd, eine harte Eisenschale. Die Konzentration des primären Eisengehalts an der Oberfläche ist, wie *Krusch* schon früher annahm, eine Art Eiserner Hutbildung des tieferen Gesteins, aber entstanden unter dem Einfluß aufsteigender Lösungen.

Walther gab übrigens an und *Krusch* (Zeitschr. D. Geol. Ges., 1915, S. 135) folgte ihm darin, daß der Laterit mit seiner Eisenkruste in Westaustralien fossil wäre. Aus den angeführten Tatsachen ergibt sich dieses Resultat aber nur für einen Teil des Gebiets. *Walther* (Petermanns Mitt. 1916, S. 47) schildert selbst, wie rasch die Verwandlung eines Grünstein in eisenschüssigen Laterit erfolgt, kommt dann aber zu dem Schluß, daß die Bildung des Laterits in dem ganzen Gebiet fossil wäre. Für unsere Frage ist die Altersstellung aber gleichgültig. Die Tatsache, daß sich unter der Lagerstätte eine Auslaugungszone befindet, beweist jedenfalls, auch wenn der ganze Vorgang fossil wäre, daß ein Aufsteigen der Lösungen stattgefunden hat.

Im humiden Gebiet findet nun eine Bewegung von oben nach unten statt, daher sind die Mineralien immer in einer gewissen Entfernung von der Oberfläche konzentriert. Häufig ist dieser Weg nur ein ganz geringer gewesen, wenn es sich z. B. um die Eisenerze handelt, die sich auf Klüften der Basalte niederschlugen und innerhalb der Lagerstätte selbst das ausgelaugte hydratisch verwitterte Gestein zeigen. In anderen Fällen kann aber auch ein weiteres Eindringen der Lösungen stattfinden, und Spalten werden durch deszendierende Lösungen ausgefüllt. Dies gilt z. B. für Schwespatlagerstätten, Allophanmineralien u. a. Auch bei den Erzen kann dies stattfinden. *Beyschlag* (diese Zeitschr. 1916 S. 129—137) gab zahlreiche Beispiele an. Ein ausgezeichnetes Beispiel auf präexistierenden Spalten eindringender Eisenmanganerze lernte ich vor kurzer Zeit in der Grube „Georg“ bei Holzheim nahe Gießen kennen. Oberflächlich stehen die kaolinisierten gebleichten Gesteine, unten die nicht umgewandelten roten Schiefer an. Die Manganerze sind auf älteren quarzerfüllten Klüften

eingedrungen und haben die Schiefer metasomatisch verdrängt²⁾. Die Verwitterungslagerstätte selbst befindet sich hier also als Imprägnation im primären Gestein.

Durch die genannten Vorgänge können große Höhenunterschiede innerhalb der Verwitterungslagerstätte hervorgerufen werden, die recht charakteristisch sind. Die Heimat der Lösungen ist immer die äußerste Oberfläche, der Niederschlag braucht aber erst in größerer Entfernung von der Oberfläche zu erfolgen. Der Bereich der Verwitterungslagerstätten, die aus absteigenden Lösungen entstehen, ist also nicht nur die äußerste Oberfläche, sondern überhaupt das Gebiet der Oxydationszone, wie z. B. im Lahntal an zahlreichen tief liegenden Eisenmanganerzen auf Kalken zu sehen ist. Der Charakter der Lagerstätte wird dann nicht immer leicht zu erkennen sein.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Lösungen, falls in der Oxydationszone keine Ausfällung stattgefunden hat, auch bis in die Zementationszone hineinreichen können und hier Lagerstätten bilden. Dies wird z. B. für die Schwespatlagerstätten gelten, die in größerer Teufe von Quarz abgelöst werden. Die Entstehung von Quarziten wird ebenfalls in die Zementationszone zu verlegen sein, falls es sich um humide Gebiete handelt. [In ariden Gebieten finden auch Verkieselungen statt, aber dann an der Oberfläche. Ob sich im tieferen Untergrund arider Gebiete außerdem eine normale Zementationszone befinden kann, läßt sich noch nicht übersehen.] Da es sich bei derartigen tiefenstandenen Lagerstätten nicht mehr um Gel-Erze handelt, sondern um kristalline Modifikationen, ist bei ihnen gegenüber der Zementationszone einer gleichartigen Erzlagerstätte kaum ein Unterschied vorhanden. Wie häufig diese Möglichkeiten auftreten, läßt sich noch nicht übersehen. Als typische Verwitterungs-Erzlagerstätten von größerer Ausdehnung sind bisher nur Eisenmanganerze bekannt. Bei diesen erfolgt aber der Absatz schon in der Oxydationszone, so daß an ihnen keine diesbezüglichen Beobachtungen zu machen sein werden. *Van Hise* gab an, daß sich in der Zementationszone Magnetit bilden müßte.

Als räumliches Kennzeichen der Verwitterungslagerstätte

haben der mehr oder weniger enge Verband mit der betreffenden Oberfläche und die ausgelaugten Gesteine in näherer oder weiterer Nachbarschaft zu gelten. Dies ist vor allen Dingen von Bedeutung, wenn es sich um Lagerstätten handelt, die ein größeres geologisches Alter besitzen, die also fossil sind. Die Gelnatur der Masse ist dann häufig verschwunden und es ist eine völlige Umwandlung zu kristallinen Gebilden eingetreten. Aus amorpher Kieselsäure hat sich z. B. Quarz gebildet. Die Lagerstätten selbst sind zum Teil nicht mehr in der ursprünglichen Ausdehnung erhalten. Nur einige besonders tiefgründige Taschen sind von der Abtragung verschont geblieben. Gerade derartige Lagerstätten haben früher Schwierigkeiten bereitet, weil man wohl erkannte, daß es sich um Verwitterungserscheinungen handelte, aber nicht wußte, daß es fossile waren. In anderen Fällen liegen die Lagerstätten nicht mehr an der jetzigen Oberfläche, sondern sind durch andere Gesteine bedeckt oder auch tektonisch versenkt. Dann muß man versuchen, die alte Oberfläche festzustellen und ihre Beziehungen zu der Lagermasse aufzudecken.

Komplizierte Gebilde können unter Umständen entstehen, wenn eine Verwitterungslagerstätte in den Bereich einer anders gearteten Verwitterung kommt, sei es direkt infolge eines Klimawechsels oder durch Aufdeckung infolge Abtragung geraume Zeit nach der Entstehung. Dann kann sich über der ursprünglichen Verwitterungslagerstätte eine Verwitterungszone im engeren Sinn, ein Eiserner Hut bilden. Die Schwierigkeiten der Erkennung sind dann besonders groß, denn nun liegen übereinander die ursprüngliche primäre Zone, die Verwitterungslagerstätte, die jetzt die primäre Zone bildet, und die sekundäre jetzige Verwitterungszone. Wenn der Charakter dieser neuen Verwitterung derselbe wie der der alten ist, dann wird nur eine Konzentration und sonst keine wesentliche Veränderung stattfinden. Sehr häufig ist aber die Verwitterung eine andere, und dann kann eine anders geartete Zersetzung eintreten. (Fälle, in denen technische wichtige Veränderungen dadurch entstanden sind, sind mir bis jetzt noch nicht bekannt.) Eine solche Umwandlung wird sich freilich wesentlich nur auf solche Lagerstätten beschränken, die aus Verwitterungslösungen entstanden sind. Die Verwitterungsrückstände stellen recht komplexe Gleichgewichte dar, die nur in bestimmten Fällen

²⁾ Eine genaue Beschreibung der ausgezeichneten rhythmischen Fällungen in der Auslaugungszone dieser Lagerstätte werde ich bald folgen lassen.

weiter zerlegt werden können. Das tropische Aluminiumhydrat wird z. B. kaum eine weitere Umwandlung erleiden, umgekehrt wird aber ein Lehm immer noch leicht in Aluminiumhydrat überführt werden können. Präoligocän entstandener Kaolin bewirkt, daß die jetzigen Ackerböden ganz hell erscheinen, so daß die recente braune Verwitterung kaum Platz gewinnt.

Klimazonen der Verwitterung im humiden Gebiet.

Von Klimazonen der Verwitterung habe ich oben die Einteilung in aridé und humide erwähnt. Die humiden Gebiete können wir jetzt schon weiter einteilen, freilich wissen wir bisher wesentlich nur über die klimatische Zersetzung von Tonerdesilikaten Bescheid, doch wird immerhin dadurch schon einiges über die Verbreitung nutzbarer Ablagerungen klargestellt.

Bei der Einwirkung der Verwitterung ist im humiden Gebiet allgemein das Verhältnis von Niederschlag und Temperatur von Bedeutung. Wenn wir beide vom Pol zum Äquator verfolgen, so verhalten sie sich nicht gleichmäßig. Die Temperaturen steigen zwar dauernd bis zum Äquator, nicht aber die Niederschläge. Diese erreichen ein erstes Maximum im gemäßigten Klima, um im nördlichen ariden Gürtel danach auf ein Minimum zu sinken. Dann steigen sie aber wieder und erreichen

am Äquator ein zweites größeres Maximum. Das Verhältnis beider Größen $N : T$ bezeichnen wir nach *Lang* als einen Regenfaktor. Infolge des ungleichen Ganges fällt das Verhältnis von $N : T$ von großen Werten in nördlichen Gegenden (hier ist $T \geq O$) zu geringen Werten, die im zentralen ariden Gebiet im Wert O erreichen. Dann steigen die Ziffern abermals und am Äquator werden wieder hohe Werte erreicht (N ist hier sehr groß, T ist aber verhältnismäßig wenig gestiegen). Gleiche Regenfaktoren bezeichnen gleichartige Verwitterung, d. h. gleichartige Bodenbildung, wie *Lang* zuerst nachwies. Ein gewisser regelmäßiger Gang der Verwitterungszonen macht sich daher bemerkbar, wenn wir von Pol und Äquator aus nach dem ariden Gebiet zu gehen. Nördliche und äquatoriale Gegenden sind durch gleichartige chemische Verhältnisse gekennzeichnet, ein Unterschied tritt aber durch die höhere Temperatur ein, denn diese bewirkt eine tiefgründigere Zersetzung. (Vergl. die Tabelle.)

Kaolinverwitterung und ihre Produkte.

Bei der Verwitterung ist die Mitwirkung nicht völlig zersetzter Pflanzenreste, des kolloidalen Rohhumus, von großer Bedeutung. Rohhumus bildet sich einerseits unter niedrigen Temperaturen, an-

Tabelle der klimatischen Bodenzonen des humiden Gebietes in bezug auf Silikatzerersetzung und die technisch-nutzbaren Produkte.

		Silikatzerersetzung im Humiden Gebiet	Technisch-nutzbare Produkte
N-Pol	Deszendenz	Aluminium-Kieselsäure Wasserhalt. Alum.-Silikat Wasserhalt. Alum.-Silikat bzw. -Hydrat	Unbedeutend, wesentlich nur Raseneisenerze Lehm Verschiedene Allophan-Mineralien (?) Kalk-Bauxit
	Aszendenz	Nördl. Arides Gebiet	Salze Fe-Rinden
Äquator	Deszendenz	Aluminium-Hydrat Wasserh. Alum.-Silikat Aluminium-Kieselsäure Wasserh. Alum.-Silikat Aluminium-Hydrat	Silikat-Bauxit, Fe-Erze, SiO_2 , $BaSO_4$ Lehm Kaolin, Fe-Mn-Erze, SiO_2 , $BaSO_4$
	Aszendenz	Südl. Arides Gebiet	} wie oben
S-Pol	Deszendenz	Wasserhalt. Alum.-Silikat bzw. -Hydrat Wasserh. Alum.-Silikat Aluminium-Kieselsäure	

dererseits unter hohen Niederschlägen, weil unter beiden Umständen die pflanzlichen Substanzen nicht völlig zerstört werden können. Unter Einwirkung der kohlen-säurehaltigen Rohhumuslösungen geht eine intensive Zersetzung der Gesteine vor sich. Wenn der Prozeß ganz zu Ende geführt ist, dann sind alle löslichen Stoffe entfernt, nicht nur die Alkalien, sondern auch Eisen, Mangan, Phosphorsäure werden hinweggeführt. Weiße gebleichte Gesteine bleiben zurück. Die weiße Farbe beruht auf der besonderen Zersetzung der Ton-erdesilikate. Aus ihnen entsteht eine komplexe Aluminium-Kieselsäure, der Kaolin. Kaolin ist also das Produkt (vergl. d. Tabelle) von nördlicher bzw. äquatorialer Verwitterung. Aber nur unter den höheren Temperaturen kann eine erhebliche Mächtigkeit entstehen; unter niedrigeren, — dazu zählen auch die moorbedeckten Höhen unserer Mittelgebirge, — bildet er sich nur in untergeordneter Menge. Überhaupt ist eine höhere Temperatur, also eine intensivere Zersetzung für die Anhäufung der Verwitterungslagerstätten von Bedeutung.

Das Problem der Kaolinentstehung war früher viel umstritten. Die letzte Übersicht gab *Weiß* (diese Zeitschr. 1910 S. 353 bis 367). Für Thüringer Vorkommnisse vermutete er eine Entstehung unter dem Einfluß kohlen-säurehaltiger Moorwässer, also Rohhumuslösungen. Aber nicht alle Kaoline entstehen etwa auf diese Weise, für einen Teil gilt die von *Weinschenck* und *Rösler* betonte pneumatolytische Bildung. Aus der Arbeit *Röslers* (N. Jahrb. f. Min. B. B. XV. S. 231) läßt sich der Unterschied der beiden Lagerstättenarten des Kaolins deutlich erkennen. *Rösler* konnte die Verhältnisse aber damals noch nicht übersehen, weil fossile, von der jetzigen abweichende Arten der Verwitterung noch nicht bekannt waren.

Der Kaolin entsteht als Verwitterungsrückstand. In der Lösung befinden sich Eisen, Mangan und Phosphorsäure, die dann an anderen Stellen, besonders auf Kalken, niedergeschlagen werden können. In Deutschland sind Produkte einer fossilen Rohhumusverwitterung weit verbreitet, zahlreiche wichtige Lagerstätten sind damit verknüpft. Die bekanntesten unserer Kaolinlagerstätten gehören alle hierher. *Beyschlag* gab vor kurzem (diese Zeitschr. 1915 S. 129—137) eine ausgezeichnete Übersicht über die entsprechenden Lagerstätten. Die Bildungszeit dieser von der jetzigen abweichenden Verwitterung

müssen wir als präoligocän bezeichnen. Voraussichtlich handelt es sich um Eocän und obere Kreide. Ein tropisches Klima muß damals geherrscht haben, das die häufig noch recht gut beobachtbaren tiefgründigen Verwitterungen bewirkte. Daß die Temperaturen damaliger Zeiten wesentlich höhere waren als jetzt, ist ja bekannt.

Die Rohhumusverwitterung ist auch imstande, Kieselsäure fortzuführen. Vielleicht hängt die Entstehung eines Teils der technisch so wichtigen reinen Quarzite durch Verkieselung von Sanden ebenfalls mit dieser Zeit zusammen, zum Teil ist sie aber sicher jüngeren Alters. Es ist möglich, daß sie mit der unten zu besprechenden jungtertiären Hydratbildung zusammenhängt, es ist aber auch nicht ausgeschlossen, daß es sich um eine dazwischenliegende Zeit handelt.

Als einen wichtigen Abkömmling der Verwitterungslösungen haben wir auch, wie aus dem Buche *Bärtlings* hervorgeht, Schwespatlagerstätten zu erwähnen. Viele von ihnen sind mit der präoligocänen Landoberfläche verknüpft, wie ich besonders auch für das südliche Rheinische Schiefergebirge (diese Zeitschr. 1916, Heft 3) festgestellt habe. Andere wiederum sind teils jünger und teils älter. Im Schwarzwald läßt sich rotliegendes Alter nachweisen, offenbar fand auch hier eine Verknüpfung mit der das Ende der rotliegenden Zeit kennzeichnenden Landoberfläche statt. Gerölle von Schwespaten fanden sich in der Dolomitregion des Oberrotliegenden und dann im Bunten Sandstein. Wir finden also in Deutschland Verwitterungslagerstätten von verschiedenstem geologischem Alter. In meiner Arbeit „Klimazonen usw.“ (siehe vorn S. 127) wies ich auf devonische Eisenerze hin. Im Karbon z. B. bildeten sich z. B. Kaolin und Sphärosiderite. Aus Österreich kennen wir triadisches und kretazisches Aluminiumhydrat.

Als Rückstand bleibt neben der Aluminiumkieselsäure in den beteiligten Gesteinen auch noch Quarz zurück. Aus einer mechanischen Aufbereitung dieser Massen ergeben sich bei der Abtragung weitere technisch wichtige Produkte, rein-weiße Quarzsande und Fettonne; das anstehende kaolinisierte Gestein ist häufig in ganz geringer Nähe von den sekundär daraus entstehenden Produkten noch zu sehen. Wenn es sich um kaolinisierte Tonschiefer oder sehr feine Grauwacken handelt, ist es manchmal recht schwer zu unterscheiden, ob noch das anstehende kaolinisierte

oder das umgelagerte Material vorliegt. Die Schichtung oder Schieferung ist dann häufig ganz verwischt, Reste von Quarzgängen bilden manchmal allein das Kennzeichen des ursprünglichen Gesteins. Der helle Charakter der Sedimente des deutschen Tertiärs erklärt sich, wie wir unten sehen werden, allgemein aus der Abtragung der präoligocänen kaolinisierten Landoberfläche.

Rohhumusbildungen finden sich auch rezent in unseren Gebieten (Norddeutschland besonders) lokal als Moore und saure Wiesen ausgeprägt. Dann findet zwar keine intensive Kaolinisierung statt, immerhin wird aber Eisen löslich gemacht und kann unter Mitwirkung von Algen als Raseneisenstein zum Absatz kommen. (Vergl. Gäbert, diese Zeitschr. 1915 S. 189). Fossil gehören die Sphärosiderite des Karbons und des Rotliegenden hierher.

Nicht unerwähnt möchte ich in diesem Zusammenhang lassen, daß in Begleitung der Rohhumuswässer auch unangenehme Erscheinungen auftreten können, wenn nämlich unter Waldboden schon in geringer Tiefe von der Oberfläche die Ausfällung des Eisens und der als Schutzkolloide wirkenden organischen Stoffe als Ortstein stattfindet. Dem Forstmann Norddeutschlands und der höheren Lagen der deutschen Mittelgebirge (besonders Schwarzwald) erwachsen dadurch häufig erhebliche Schwierigkeiten.

Die Verwitterung unter dem Einfluß der Rohhumusbildung liefert also der Praxis zahlreiche wichtige Produkte: als Verwitterungsrückstand Kaolin, im weiteren Sinn Fetton, Quarzsand, aus den Verwitterungslösungen Eisen-Manganerz, Phosphat, Schwerspat, Quarzit, Raseneisenstein und Ortstein. Die fossilen Produkte sind dabei wichtiger. Rezent entstehen nur Raseneisenerz und Ortstein. Die Kriegsversorgung Deutschlands mit Rohstoffen hätte ohne die präoligocäne Kaolinisierung erheblich größeren Schwierigkeiten gegenübergestanden.

Ton- und Hydratverwitterung und ihre Produkte.

Wir kehren zur Betrachtung der jetzigen Klimazonen zurück.

An die Gebiete der Rohhumuseinwirkung schließen sich nach den Trockengür-

ten hin solche an, in denen Humus noch im Boden vorkommt, aber für die Verwitterung ziemlich bedeutungslos ist. Das Endprodukt der Verwitterung der Tonerdesilikate ist dann nicht mehr der chemisch fest umrissene Kaolin, sondern ein kolloides wasserhaltiges Aluminiumsilikat von wechselnder chemischer Zusammensetzung, das uns als Ton bzw. Lehm gegenübertritt und ebenfalls praktische Bedeutung hat. Mit den Tonen dürfen dabei nicht die feinsten Zerreibungsprodukte von Gesteinen verwechselt werden, die häufig unter diesem Namen gehen, aber wohl besser als Letten bezeichnet werden.

Voraussichtlich werden vorzugsweise in den hierher gehörigen Gebieten, die äquatorial an den ariden Gürteln liegen, verschiedene technisch verwandte Allophanmineralien entstehen, zum Teil finden sie sich aber auch in den nördlich der Trockengürtel gelegenen Gebieten, auf die ich jetzt zu sprechen komme, doch ist gerade ihr Auftreten noch ziemlich unklar.

Wenn wir uns von den Gebieten der Tonverwitterung dem ariden Gürtel weiter nähern, so kommen wir in ein Gebiet, in dem die Zerlegung der Tonerdesilikate über die Bildung des wasserhaltigen Aluminium-Silikats hinausgeht, es entsteht Aluminiumhydrat. Diese Zersetzung findet sich schon an der polaren Grenze der ariden Gebiete, z. B. am Mittelmeer. Besonders ausgeprägt und herrschend ist sie aber an der äquatorialen Grenze der ariden Gebiete, in den mäßig feuchten heißen Tropen (lichten Monsunwäldern, Savannen). Das typische Zersetzungsprodukt ist hier der häufig rote Laterit. Ich verwende der Eindeutigkeit wegen für den unter dieser Verwitterung entstehenden Boden den Namen Hydraterde. Neben einer Wegfuhr aller Alkalien und Erdalkalien hat eine völlige Aufspaltung der Silikate stattgefunden. Aluminiumhydrat und Eisenhydrat finden sich vorwiegend in dem Boden angereichert. Das Eisenhydrat bildet sich häufig in nutzbaren Konkretionen und wohl, wie oben beschrieben, an der Grenze zum ariden Gebiet in Eisenkrusten. (Bei den letzten wird allerdings wohl eine Klimaverschiebung des ariden Gürtels über das Hydraterdegebiet in jüngerer Zeit mitgewirkt haben.) Wenn eisenfreie Gesteine hydratisch verwittern, können natürlich keine roten Farben im Boden auftreten. Es entsteht ein reinweißes Pro-

dukt, das äußerlich sehr leicht mit Kaolin verwechselt werden kann.

Infolge der Aufspaltung der Silikate wird Kieselsäure löslich und an anderen Stellen konzentriert. Einerseits können dadurch Quarzite infolge Verkieselungen von Sandsteinen entstehen, andererseits kann aber die Kieselsäure selbst nutzbar werden. Die viel benutzten und verschliffenen Halbedelsteine aus dem Gebiete des Dekkantrapps verdanken derartigen Prozessen ihre Entstehung.

Das zurückbleibende Aluminiumhydrat kann zusammen mit rotem Eisenhydrat die Gesteine unter Erhaltung der Struktur mehr oder weniger umwandeln. So findet es sich in den Tropen und andererseits im Vogelsberg, Westerwald fossil aus Silikatgesteinen entstanden. In Irland sind diese Massen wegen ihrer Mächtigkeit von besonderer Bedeutung. Diese fossilen Hydrate sind Produkte einer Silikatzersetzung*) und entsprechen nach Analysen, Aussehen und den begleitenden roten Tonen durchaus tropischen Roterden. Es war daher genetisch nicht ganz richtig, als man auf die Aluminiumhydrate des Vogelsbergs und anderer Gebiete den Namen eines Aluminiumhydrates übertrug, das sich fossil auf Kalken bildete und daher mit einer Silikatzersetzung nichts zu tun hat. Es handelt sich um den Bauxit, der in Frankreich, Italien, Österreich-Ungarn, Kroatien usw. weitverbreitet ist und dort weitgehend abgebaut wird. Die nutzbaren Ablagerungen liegen hier in der Kreide und Trias und weisen auf ein höheres Klima damaliger Zeiten hin, aber nicht auf ein tropisches wie etwa im Vogelsberg, sondern auf ein mittelmeeres. Es handelt sich hier natürlich auch nicht um Gesteine, die unter Erhaltung der Struktur umgewandelt sind, sondern um konkretionäre oder pisolitische Bildungen. Es dürfte sich empfehlen, wenn man die Bezeichnung Bauxit für Vogelsberger und andere Aluminiumhydrate nicht ganz fallen lassen will, zwischen Silikat-Bauxiten und Kalk-Bauxiten zu unterscheiden, um die verschiedene Entstehung anzudeuten.

Als technisch wichtige Produkte der Hydratverwitterung lernten wir Bauxit als Rückstand kennen, Kieselsäure, Eisenhydrat in der Lösung.

*) Auch die Arkansas-Aluminiumerze sind fossil aus Silikatgesteinen entstanden, aber an der Grenze von Kreide zu Tertiär. (Literatur bei Henning, Erzlagerst. d. V. St. v. N.-A. 1911, S. 222.)

In Deutschland finden sich Produkte einer jungtertiären Hydratverwitterung in weiter Verbreitung, freilich nicht von so großer technischer Bedeutung wie die Kaolinisierung. Der Bauxit, der in Deutschland nur im Vogelsberg nutzbare Lagerstätten bildet, ist ziemlich weit im westlichen Vogelsberg und in der Wetterau verbreitet. Seine Entstehung ist immer noch unklar, da anstehende bauxitisch verwitterte Basalte im Vogelsberg nicht bekannt sind, sondern der Bauxit immer nur in Knollen vorkommt. Da der Bauxit gerade in jetziger Zeit wieder große Bedeutung erlangt hat, sind zahlreiche Abbaue neu eingerichtet worden. Es steht zu hoffen, daß dadurch manches über ihn noch aufgeklärt wird.

Die weggeführte Kieselsäure hat zum Teil in den Quarziten große Bedeutung, sonst ist sie als solche wohl noch nicht nutzbar zu machen gewesen. Auch Schwerspat bildete sich damals wieder, allerdings nicht in wesentlichen Mengen. Die bekannten Schwerspäte von Münzenberg sind in dieser Zeit entstanden. Deutlich läßt sich an der Paragenese der Mineralien auf den Klüften der Münzenberger Quarzite die Gleichalterigkeit und Abwechslung der genannten Stoffe verfolgen. Der erste Prozeß ist bei Münzenberg und dem benachbarten Griedel eine unregelmäßige Verkieselung. Bei Münzenberg folgte dann nacheinander:

Eisenhydrat
Schwerspat
Eisenhydrat
Kieselsäure
Eisenhydrat
Schwerspat.

Die zweite Schwerspatgeneration hat dabei nur untergeordnete Bedeutung. Bei Griedel nahe Butzbach war die Paragenese etwas anderes. Auf die Verkieselung folgt:

Eisenhydrat
Kieselsäure
Eisenhydrat
Kieselsäure
Schwerspat
Eisenhydrat.

Vielleicht stellt die zweite Kieselsäureausscheidung von Griedel der Münzenberger Kieselsäure entsprechende Bildungen dar, da es sich in beiden Fällen um eigenartigen fein bläulich schimmernden Quarz handelt.

Technisch weitgehend nutzbar gemacht sind die Eisenhydrate. Gerade jetzt werden sie stark abgebaut. Im Vogelsberg ist eine große Reihe neuer Mutungen einge-

legt. Die Rolle der pliocänen Bohnerze, auf deren spezielle etwas komplizierte Entstehung ich hier nicht eingehen möchte, ist freilich ausgespielt. Sonst gehören hierher die Vogelsberger, die Soonwalder, die ober-schlesischen Brauneisenerze und manche andere mit roten Tönen vergesellschaftete Erze auf Kalken, deren geologische Stellung nicht immer einwandfrei zu fixieren ist. Auch von dem Meißner sind sie, wie ich einer freundlichen Mitteilung des Herrn Kommerzienrat Jung-Neuhütte entnehme, neuerdings bekannt geworden. Teils liegen die Erze auf Basalten, wie im Vogelsberg, Meißner, teils auf paläozoischen Schiefen, wie im Rheinischen Schiefergebirge, teils auf Kalken. Diese Lagerstätten bilden gegenüber der präoligocänen Eisen-Manganerzgruppe *Beyschlags* eine jungtertiäre Eisenerzgruppe, die ebenfalls durch Verwitterungsvorgänge gebildet ist. Mit den Erzen sind auch andere nutzbare Lagerstätten zeitlich verknüpft, so daß man allgemein von Lagerstättengruppen sprechen kann.

Jungtertiäre Lagerstätten-
gruppe:

Bauxit, Brauneisen, Quarzit, Opal u. ä.,
Schwerspat.

Präoligocäne Lagerstätten-
gruppe:

Kaolin, Ton, Quarzit, Glassande, Eisen-
Manganerze, Phosphat, Schwer-
spat.

Verbreitung der präoligocänen
und jungtertiären Lagerstätten-
gruppe in Deutschland.

Die zwei jungen Lagerstättengruppen finden sich in Deutschland in zeitlicher und räumlicher Trennung durch verschiedene Verwitterung entstanden. Mehrere Vorgänge liegen dem zugrunde. Das Klima Deutschlands änderte sich von dem älteren Tertiär bis zur Jetztzeit dauernd, daher ist allgemein die Möglichkeit verschiedenartiger Verwitterungslagerstätten gegeben. Aber daraus geht noch nicht hervor, daß sich wirklich nutzbare Ablagerungen bildeten. Diese hängen offenbar zunächst davon ab, ob es sich um höhere Temperaturen und dadurch von vornherein um intensivere Zersetzung gehandelt hat. Außerdem kommt aber noch ein anderer Faktor hinzu. Nutzbare Verwitterungslagerstätten können nur entstehen, wenn längere Zeit gleichmäßige Verhältnisse herrschen. Dies bedeutet, daß die Verwitte-

rung ungestört wirken kann, daß keine tektonische und andere Erscheinungen eingreifen. Wenn sich eine Landoberfläche in diesem Stadium befindet, dann unterliegt sie zunächst einer dauernden Abtragung, und es bildet sich eine Abtragungsfäche heraus. Die Abtragung wird dadurch aber verlangsamt und die Verwitterungsprodukte können ungehindert konzentriert werden. Dauernd bleiben sie freilich nicht erhalten, weil eine Abtragungsfäche im Lauf der geologischen Geschichte mehr oder weniger schnell von neuem in den Bereich der Erosion gebracht wird, dann werden die Verwitterungsprodukte wieder hinweggeschafft, falls sie nicht unter besonderen Umständen, wie etwa durch tektonische Versenkungen oder durch Überdeckung mit Eruptivgesteinen, erhalten werden.

Nutzbare Verwitterungslagerstätten sind an Abtragungsfächen geknüpft, weil diese allein die Anhäufung von Verwitterungsprodukten ermöglichen. Die Abtragungsebene, die der damaligen Landoberfläche entspricht, muß geologisch bei jeder Lagerstätte festgestellt werden. Bei den französischen Bauxiten kennzeichnet sie sich als eine deutliche Schichtenlücke in der sonst marinen Unteren Kreide. Dadurch, daß Gebiete, die von einer einheitlichen Landoberfläche überzogen waren, im weiteren Verlauf der Geschichte eine verschiedene Entwicklung durchmachen, bleiben die Verwitterungsprodukte an manchen Stellen längere Zeit erhalten, an anderen Stellen werden sie zugedeckt oder abgetragen. An den Stellen, wo sie erhalten bleiben, kann eine neue Verwitterung häufig nichts Besonderes ausrichten (vergl. oben). Wo sie aber zugedeckt oder abgetragen werden und dadurch frische Gesteine an der neuen Oberfläche liegen, können sich neue Verwitterungslagerstätten bilden. Unter dem Vogelsberg liegen die präoligocänen Lagerstätten der Kaolinisierung. Ihre Erhaltung war nur durch die Bedeckung mit Basalten möglich. Auf der neuen Landoberfläche, die wohl dem Pliocän entspricht, lagen die Basalte, und aus ihnen entstanden durch eine andersartige Verwitterung Brauneisen und Bauxit.

Die Verbreitung der beiden jungen Lagerstättengruppen hängt eng mit der Geschichte Deutschlands zusammen. Deutschland läßt sich (soweit es geologisch einheitlich ist) in drei Teile zerlegen, die wir kurz als Nord-, Mittel- und Süddeutschland bezeichnen können. (Im Süd- und Nord-

osten treten noch andere Elemente hinzu.) Mitteldeutschland ist das älteste Gebiet, das in seinen Kernen, der Rheinischen und Böhmisches Masse, schon seit dem Carbon besteht. Es wurde in seiner jetzigen Gestalt im Jura angelegt, als sich die beiden Massen durch die Mitteldeutsche Festlandsschwelle zu einem einheitlichen Gebiet verbanden und nördliche und südliche Meere abgetrennt wurden. Die Geschichte Nord- und Süddeutschlands ist seitdem von der Mitteldeutschlands deutlich abgetrennt. In präoligocänen Zeit griff die einheitliche Verwitterung der Kaolinisierung gleichmäßig über das ganze Gebiet. Nach Norden erstreckte sie sich noch weit auf die Skandinavische Masse. Es entstand die geschilderte präoligocäne Lagerstättengruppe. Nur im Gebiete von Mitteldeutschland (die Zusammenstellung *Beyschlags*, siehe diese Zeitschr. 1915, S. 129, der zum erstenmal die Gleichheit der geologischen Position von Lagerstätten betonte, enthebt mich einer genauen Aufzählung) blieb sie aber erhalten und zeigt sich besonders auf der Rheinischen und Böhmisches Masse noch in flächenhafter Form, wenn auch schon durch die Abtragung angenagt. In Nord- und Süddeutschland, die seit dieser Zeit eine abweichende Geschichte hatten, sind die Produkte der präoligocänen Verwitterung fast ganz zerstört worden. Als daher im Jungtertiär eine erneute — postbasaltische — Stillstandslage in der Abtragung eintrat, da konnte sich die unter niederen Temperaturen als die Kaolinisierung wirkende

Hydratverwitterung wesentlich auf Süd- und Norddeutschland ausbreiten. In Mitteldeutschland konnte sie wegen der ausgebreiteten Verwitterung der vorhergehenden Zeit nur wenig ausrichten und erstreckte sich hier nur auf inzwischen abgetragene oder neuentstandene Gesteine, wie manche paläozoische Gesteine oder die Basalte. In Norddeutschland ist die junge Gruppe freilich durch die diluvialen Ablagerungen unseren Blicken fast ganz entzogen und auch in Süddeutschland ist sie infolge der jüngsten tektonischen Bewegung nachträglich wieder stark zerstört worden, aber in einzelnen Resten von Bohnerzlehmen doch weit verbreitet nachweisbar. Am besten erkennen wir die beiden Lagerstättengruppen an den Rändern von Mitteldeutschland, weil sich hier an der Grenze die Einflüsse überdecken und ineinander greifen. So ist gerade das Vogelsberggebiet besonders durch das Auftreten beider Gruppen bezeichnend, die Basaltdecken haben auf die ältere erhaltend gewirkt. Geologisch unter dem Vogelsberg und Westwald liegen die kaolinisierten Schiefer, Fett-Tone, Sande, die Eisen-Manganerze der Lindener Mark, die Phosphate der Lahn und die Schwerspäte. Auf den Basalten liegen die jüngsten Lagerstätten, Bauxite und Basalt-Eisenerze. So verknüpft sich die Geschichte der Landschaft eng mit der der Lagerstätten, beide lassen sich losgelöst voneinander überhaupt nicht betrachten.

Kupferbergbau und -Hüttenwesen auf dem Ural.

Von

B. Simmersbach, Wiesbaden.

(Schluß.)

Nach Süden zu, im Jekaterinburger Kreise, schließt sich der Montanbezirk der Sysertsker Possessionswerke an, die auf einem Gebiete von ungefähr 200 000 Dessjätinen nicht weniger als fünf Fabriken besitzen, darunter eine Kupferhütte. Die Werke liegen indessen von der Eisenbahn meist sehr weit ab, so daß Produktion und Abfuhr verteuert werden. Die Sysertsker Werke haben jedoch neben denen von Nishne-Tagil und Werch-Issetsk Grubenbesitz bei den Jegor-

schino-Anthrazit- und Steinkohlenlagern. Neben den Eisenhüttenwerken besteht auf dem Polewskoi-Sawod eine Kupfererzeugung aus den örtlichen Kupfererzen. Diese Kupferhütte verzeichnete für das Jahr 1912 eine Rohkupfergewinnung von über 95 000 Pud. Schon seit längerer Zeit ist die Aktiengesellschaft des Sysertsker Montankreises bemüht, die Kupfererzförderung und somit auch die Rohkupfererzeugung in die Höhe zu bringen. In der Tat ist denn auch die Produktion an Rohkupfer von