

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Über den Chemismus der tonigen Sedimente,

Von G. Linck in Jena.

Literatur.

1. F. BECKE, Die Entstehung des krystallinen Gebirges. Verh. der Ges. d. Naturf. u. Ärzte 1909.
2. J. M. VAN BEMMELEN, Beiträge zur Kenntnis der Verwitterungsprodukte der Silicate in Ton, vulkanischen und Lateritböden. Ztschr. f. anorg. Chem. 42. 1904. 265.
3. J. M. VAN BEMMELEN, Die verschiedenen Arten der Verwitterung der Silicatgesteine in der Erdrinde. Ebenda 66. 1910. 322.
4. J. M. VAN BEMMELEN, Die Absorption. Ges. Abhandl. von Wo. OSTWALD, Dresden 1910.
5. F. W. CLARKE, Analyses of rocks and minerals etc. U. S. geol. surv. Bull. 419. 1910.
6. F. W. CLARKE, The data of geochemistry. Ebenda Bull. 491. 1911.
7. Erläuterungen zur geol. Spezialkarte von Preußen und den benachbarten Bundesstaaten, Blätter: Lehesten, Lobenstein, Wippra.
8. BRUNO FACH, Chemische Untersuchungen über Roterden und Bohnerztone. Diss. Freiburg i. B. 1908.
9. U. GRUBENMANN, Die krystallinen Schiefer. II. Aufl. Berlin 1910.
10. HERMANN KAUL, Geologisch-chemische Studien über die Ton- und Lehmvorkommen um Nürnberg. Diss. Erlangen 1900.
11. RUDOLF LENZ, Chemische Untersuchungen über Laterit. Diss. Freiburg i. B. 1908.
12. G. LINCK, Kreislaufvorgänge in der Erdgeschichte. Jena 1912.
13. G. LINCK, Petrochemie der Sedimente. Handw. d. Naturw. VII. 606.
14. R. MARC, Über die Bedeutung der Kolloidchemie für die Mineralogie. Fortschr. d. Mineralogie usw. III. 1913. 11.
15. A. OSANN, Versuch einer chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine. Tschemaks Mitt. 19.—22. 1900—1903.
16. H. ROSENBUSCH, Elemente der Gesteinslehre. III. Aufl. Stuttgart 1910.
17. HANS GÜNTHER SCHERING, Chemische Untersuchungen über Löß und Lehm. Diss. Freiburg i. B. 1909.
18. ROBERT SCHWARZ, Chemische Untersuchungen über Bohnerztone und afrikanische Erden. Diss. Freiburg i. B. 1910.
19. KARL WALTHER, Petrographische Untersuchung einiger klastischer Gesteine aus dem Palaeozoicum d. rhein. Schiefergeb. Ztschr. d. d. geol. Gesellsch. 1907. 417.
20. PAUL WERLING, Chemische Untersuchungen über den Löß der Pampasformation Argentiniens. Diss. Freiburg i. B. 1911.
21. G. WIEGNER, Kolloidchemie und Agrikulturchemie. Fühlings landw. Ztg. 62. 1913. 1.
22. E. A. WÜLFING, Untersuchung des bunten Mergels der Keuperformation usw. Jahresb. d. Ver. vaterl. Naturk. in Württemberg. 56. 1900. 1.
23. F. ZIRKEL, Lehrbuch der Petrographie. II. Aufl. Leipzig 1893.

Der Chemismus der Tone, Tonschiefer und tonhaltigen Gesteine ist scheinbar ohne Gesetz und Ordnung, und daran mag es wohl liegen, daß, soviel mir bekannt ist, in der neueren Zeit über diesen Gegenstand nichts Zusammenfassendes geschrieben worden ist. Man hat auch, abgesehen von den auf die Metamorphosen berechneten Versuchen F. BECKES (1) und U. GRUBENMANN'S (9), den Versuch einer graphischen Darstellung dieser Gesteine nicht unternommen. Wenn nun im folgenden über den Chemismus dieser Gesteine etwas gesagt und eine graphische Darstellung der Analysen gegeben wird, so kann dies die Aufgabe noch nicht vollständig lösen, sondern es bleibt eben ein Versuch, der vielleicht auf die richtigen Wege leitet. Es ergibt sich aber daraus Merkwürdiges und Interessantes, und es zeigt sich, daß auch hier Gesetz und Ordnung herrschen.

Die klastischen Sedimente, deren wesentlichster und interessantester Gemengteil der Ton ist, verdanken im letzten Grunde ihre Entstehung der Zerstörung von Eruptivgesteinen, dem Transport und Wiederabsatz auf mechanischem Wege, sei es durch den Wind, das Wasser oder das Eis. Wie ich anderwärts (12) ausgeführt habe, stellen die klastischen Sedimente der Erde das Zerstörungsprodukt von im Minimum 700 m, Maximum 1400 m Eruptivgestein rund um die ganze Erde dar. Natürlich ist das nicht alles, was von den Eruptiven verbleibt, sondern es gehören hierzu auch noch die Carbonate, Sulfate und Chloride, der Erdalkalien und Alkalien, welche wir in der Erdkruste in Form von Carbonatgesteinen, Salzlagerstätten oder gelöst in den Meeren antreffen. Aber immerhin stellen die klastischen Sedimente die Hauptmasse dar, und unter diesen klastischen Sedimenten nehmen, nach Berechnung von CLARKE (6), die Tongesteine mit 80% den Löwenanteil für sich in Anspruch. Nicht bloß der Masse nach nehmen sie diesen Löwenanteil in Anspruch, sondern auch dem Interesse nach, denn sie sind von der allergrößten Bedeutung in agrikultur-chemischer Hinsicht und auch in Hinsicht auf die Produkte, welche bei der Metamorphose aus ihnen entstehen.

Wenn ich von Ton rede, so meine ich damit nicht den sogenannten reinsten Ton, den Kaolin, sondern die Gesamtheit der Verwitterungssilicate.

VAN BEMMELEN (2 u. 3) hat uns gelehrt oder hat es wenigstens im Zusammenhang zuerst ausgesprochen, daß die Verwitterungssilicate sich trennen lassen in einen durch Salzsäure zerlegbaren und einen durch Salzsäure unzerlegbaren, aber durch Schwefelsäure aufschließbaren Anteil. Der letztere wird gewöhnlich als Kaolin in amorphem oder krystallisiertem Zustande betrachtet, wenigstens geben die Analysen zumeist und annähernd das Verhältnis zwischen Tonerde und Kieselsäure wie 1 : 2. Der salzsäurelösliche Anteil hingegen zeigt schwankende und meist viel höhere Kieselsäuremengen. Das Mischungsverhältnis zwischen den beiden Anteilen ist großen Schwankungen unter-

worfen, und manchmal fehlt der kaolinische Anteil ganz (VAN BEMMELEN 2). Neben diesen silicatischen Bestandteilen können sich in den Verwitterungssilicaten noch vorfinden: freie Tonerde (z. B. in den Lateriten), Eisenhydroxyd und endlich unverwittertes Gesteinsmaterial. Es mag noch bemerkt werden, daß nach VAN BEMMELEN (2 u. 3) in manchen Verwitterungssilicaten auch basische Verwitterungsprodukte vorkommen, die in verdünnter Kalilauge löslich sind.

Um nun über die Bedeutung der Tongesteine vollkommen ins klare zu kommen, wollen wir einen kurzen Augenblick bei der Betrachtung der anderen Sedimente verweilen. Dabei können wir zunächst alle diejenigen von ihnen ausscheiden, denen ein Gehalt von Tonsubstanz zu eigen ist. Im übrigen verbleiben uns wesentlich noch Sandsteine, die Carbonate der Erdalkalien, die Salzlager und die Ablagerungen von Kieselsäurehydrat. Die wesentlichsten Veränderungen, die mit diesen Gesteinen vor sich gehen, beruhen in einer Krystallisation, Umkrystallisation und Kornvergrößerung. In Rücksicht auf diesen Vorgang ist ihr Chemismus klar und eindeutig. Wir werden aber später sehen oder wenigstens andeutungsweise erfahren, daß diese Gesteine, besonders die Ablagerungen von Kieselsäurehydrat, dann auch äußerst feinkörnige Sandsteine und endlich auch schlammige Ablagerungen von Carbonaten der Erdalkalien, durch gewisse Eigenschaften den Tongesteinen ähnlich werden. Soweit diese Gesteine selbst Ton enthalten, nähern sie sich in ihren Eigenschaften den Tongesteinen, und diesen wollen wir jetzt unser besonderes Augenmerk zuwenden. Nach VAN BEMMELEN (2) ist der in Salzsäure lösliche Anteil der Verwitterungssilicate der Stoff, in welchem die meisten physikalischen und chemischen Bewegungen stattfinden, so die Absorption von Wasser, Basen, Säuren und Salzen, der Austausch von Basen. (Die Adsorptionsfähigkeit für Salze und Säuren ist nach Art und Menge beschränkt.) Die Hauptmasse dieses salzsäurelöslichen Anteils ist nach demselben Forscher zweifellos in kolloidalem Zustande vorhanden (4). Freilich sind es nach MARC (14) lyophobe Kolloide, aber sie adsorbieren aus Lösungen Metalle, und zwar am stärksten das Kalium, dann der Reihe nach Magnesium, Calcium und Natrium, von Säuren hauptsächlich die Phosphorsäure (4). Die Adsorption der Metalle scheint sich nach VAN BEMMELEN (4) in manchen Fällen hervorzutun als ein Vorläufer der chemischen Verbindung; in ähnlicher Weise verhält sich aber auch das Tonerdehydrat, denn nach WALTER CRUM (4) adsorbiert es aus verdünnter Alaunlösung abgeschieden und durch etwas Schwefelsäure zur Gerinnung gebracht, alles Kali der Lösung. Die adsorbierten Salze können in äquimolekularem Verhältnis ausgetauscht werden, doch verschwindet das Kali am schwersten. Das Adsorptionsvermögen für ganze Salze ist ein geringes (VAN BEMMELEN 4). Auch der Vorgang der Krümelbildung des Ackerbodens hängt mit diesen Eigenschaften nach G. WIEGNER (21) auf das innigste zusammen.

Der in Schwefelsäure, nicht aber in Salzsäure lösliche Anteil wird, wie ich schon oben hervorhob, gewöhnlich als Kaolin betrachtet, der entweder als amorph oder als krystallinisch angesehen wird, in jedem Falle aber von außerordentlicher Feinheit des Kornes ist. Diese Feinheit des Kornes bedeutet eine gewaltige Oberflächenvergrößerung, denn ein Würfelchen einer Masse von einem cm^3 hat eine Oberfläche von 6 cm^2 . Dieses Würfelchen in solche geteilt, die nur 1μ Kantenlänge besitzen, bedeutet bereits eine Oberfläche von 6 qm (Wo. OSTWALD 21). So nähert man sich kolloidalen Dimensionen, und es werden damit wohl auch mehr oder weniger kolloidale Eigenschaften eintreten (G. WIEGNER 21). Darum hat auch VAN BEMMELEN (4) von dem feinsten in Wasser suspendierten Kaolinteilchen nachweisen können, daß sie mit Salzen koagulierten.

Dazu kommt nun noch, daß in den Tonen nicht selten kolloidale Kieselsäure auftritt, die ebenfalls adsorptive Eigenschaften besitzt, wenn sie auch im Gegensatz zu dem eigentlichen Ton das Calcium bevorzugt (VAN BEMMELEN, 4), ja das Calcium aus in der Lösung suspendiertem kohlen-sauren Kalk so stark adsorbiert, daß in der Lösung Calciumbicarbonat entsteht. Bis zu einem gewissen Grade verhält es sich übrigens auch ähnlich mit den Carbonaten der Alkalien (VAN BEMMELEN 4).

Dem feinverteilten Kaolin ähnlich verhalten sich übrigens auch andere äußerst feinkörnige krystalloide Stoffe, so z. B. Sand. Sandkörner von $1,5 \mu$ Durchmesser brauchen nach ATTERBERG¹⁾ (21) in einer 10 cm hohen Säule reinen Wassers zum Absatz 8 Stunden, solche von $7,5 \mu$ Durchmesser nur 30 Minuten. Beim Zusatz von Elektrolyten wurde die Dauer des Absatzes außerordentlich verkürzt. Daher soll es auch kommen, daß im süßen Wasser Tone und Sande gewöhnlich getrennt zur Ablagerung kommen, daß im Meerwasser hingegen sandig-tonige Sedimente verbreitet sind. Nach den Untersuchungen MARCS (14) haben aber die feinverteilten Krystalloide auch eine starke Adsorptionsfähigkeit für Kolloide, so daß sie auf die letzteren wirken, wie die Elektrolyte, d. h. ausfällend oder koagulierend. Wir werden auf diese Umstände später noch einmal zurückkommen.

Kehren wir noch einmal zurück zur Bildung der Verwitterungssilicate. Bei der Zerstörung der Silicate der Eruptiven scheint zunächst eine Hydrolyse einzutreten, und mit ihr geht die Abnahme der alkalischen Erden und Alkalien, wie es scheint, bis auf Null Hand in Hand (3, 18). Nebenher geht die Oxydation der Ferrosalze und die Abscheidung von Eisenhydroxyd²⁾. Gleichzeitig tritt die Bildung gemischter Verwitterungssilicate ein, und zwar zunächst — besonders aus basischen Eruptiv-

1) Landwirtschaftl. Versuchsstation 69. 1908. 131.

2) Nach B. FACH (8) sind auch die Roterden durch Kalivormacht bei sehr geringem Gehalt von Alkali charakterisiert.

gesteinen — solcher, die wesentlich aus dem salzsäurelöslichen Anteil bestehen. Erst im weiteren Verlauf treten kaolinische und lateritische Produkte hinzu (VAN BEMMELEN 3). Im gleichen Maße verschiebt sich das Verhältnis von Tonerde und Kieselsäure zugunsten der letzteren. Die Basen nehmen im Verlaufe dieses Prozesses andauernd ab, und nur noch Kalium und Magnesium sind von einiger Bedeutung (VAN BEMMELEN 3, 2). Das abgeschiedene Eisenhydroxyd wird von den anderen Kolloiden adsorbiert, seltener geht es in eine kolloidartige Verbindung (Nontronit) über. Ganz analog verlaufen aber auch die Vorgänge, wenn fossile Sedimente der Verwitterung aufs neue anheim fallen. So zeigt ein silurischer Sandstein bei seiner Verwitterung sehr starke Abnahme der Basen, besonders des Alkaligehaltes (R. LENZ 11).

Die so entstandenen Produkte werden nun dem Transport unterworfen, der im allgemeinen zunächst zu einer Saigerung der Bestandteile nach der Korngröße führt. Erfolgt der Transport durch Wind oder Eis, dann wird im allgemeinen der Zersetzungszustand stationär bleiben. Sei es nun, daß der Absatz durch eintretende Windstille oder durch Abfangen des Staubes seitens der Vegetation oder durch Abschmelzen des Eises geschieht. Anders wird es sein bei längerem Transport durch das Wasser, insbesondere Süßwasser. Hier nehmen die abgeschiedenen größeren Teilchen auch Teile der anorganischen und organischen Kolloide aus der Suspension heraus. Andererseits findet durch das Süßwasser eine Auslaugung der Erdalkalien und Alkalien aus den Tonsubstanzen so lange statt, bis ein Adsorptionsgleichgewicht hergestellt ist, über dessen Daten man übrigens noch keinerlei Anhaltspunkte hat. Mit der Vermehrung des Transportmittels an Salzen, also zunächst mit der Lauflänge des Flusses und dann mit dem Eintreten des Flusses in das Meer tritt eine Koagulation der kolloiden und der feinverteilten krystalloiden Suspensionen ein. Dieser Vorgang wird noch befördert durch die gegenseitige Adsorption der Kolloide untereinander einerseits und die Adsorption zwischen Krystalloiden und Kolloiden andererseits. Endlich tritt bei dieser Gelegenheit auch eine Adsorption von Metallen aus der Salzlösung durch die Kolloide ein. Dabei werden verdünnte Lösungen besonders stark erschöpft, während aus konzentrierten Lösungen verhältnismäßig wenig adsorbiert wird. Temperatursteigerung ist für die Adsorption nachteilig (G. WIEGNER 21). Ich habe z. B. die Erfahrung gemacht, daß aus einer Lösung von Calciumbicarbonat durch feinste Tonteilchen, die darin suspendiert sind, beim Koagulieren durch die Salze des Meerwassers der ganze Kalkgehalt mitgefällt wird. Dasselbe kann man aber auch machen mit einer Gelatinelösung. In beiden Fällen ist das Fällungsprodukt vollkommen isotrop, und erst nach einigen Tagen und wiederholtem Befeuchten mit Wasser tritt die Krystallisation des Calciumcarbonates in Form von Sphärolithen ein. Die Tonteilchen, seien sie nun Kolloide oder nicht, spielen offenbar die Rolle eines Schutzkolloides.

Aus dem Vorhergegangenen ersehen wir nun, daß für die Verwitterungssilicate zunächst ganz allgemein ein Tonerdeüberschuß gegenüber der Summe der Alkalien und alkalischen Erden vorhanden sein muß, der um so größer wird, je weiter die Zersetzung fortschreitet, je weniger die nachträgliche Adsorption zur Wirkung gelangt, je reiner und unvermischter das Sediment ist. Das ist ein charakteristischer Unterschied gegenüber den Eruptiven. Wir ersehen weiter aus den obigen Betrachtungen, daß bei fortschreitender Verwitterung der Eruptiven das Verhältnis von Tonerde und Kieselsäure sich zugunsten der letzteren verschiebt, daß das Verhältnis von Kali zu Natron sowohl mit fortschreitender Verwitterung als mit fortschreitender Adsorption und mit gesteigerter Austauschmöglichkeit sich zugunsten des Kalis verschieben muß, und daraus folgt, daß in den Gesteinen, welche aus diesen Verwitterungssilicaten entstehen, Kalivormacht ganz allgemein ist. Dies ist ein zweiter charakteristischer Unterschied gegenüber den Eruptiven. Weiterhin ersehen wir noch, daß neben der Anreicherung des Kalis auch relativ eine solche der Magnesia und vor allem auch eine solche des Eisenoxyds stattfindet, so daß der femische Anteil der Analyse stets groß ist. Das ist ein dritter Unterschied gegenüber den Eruptiven.

Natürlich treten diese Eigentümlichkeiten nur bei reinen unvermischten Tongesteinen und bei gänzlich vollzogener Verwitterung voll und ganz in Erscheinung. Bei sandig-tonigen Sedimenten erreicht der Kieselsäuregehalt eine exorbitante Höhe. Bei tonig-kalkigem Sediment verschwindet der Tonerdeüberschuß über die Summe von Alkalien und Kalk. So ergibt sich aus den Untersuchungen von P. WERLING (20) H. G. SCHERING (17) und anderen mit großer Deutlichkeit, daß großer Kalkgehalt der Tongesteine stets auch mit erheblichem Kohlensäuregehalt verknüpft ist. Dies muß man sich gegenwärtig halten, weil bei sehr vielen Sedimentanalysen die Kohlensäure nicht bestimmt und im Glühverlust mit enthalten ist.

Um die eben erörterten Gesichtspunkte zu prüfen, habe ich in den nachstehenden Tabellen eine größere Anzahl von Analysen zusammengestellt, die im wesentlichen der Abhandlung von CLARKE (5) entnommen sind, und zwar deshalb, weil diese Analysen nach einheitlichen Methoden und aus einheitlichen Gesichtspunkten durchgeführt scheinen. Es sind nur die auf 100 berechneten Molekularproportionen angegeben und nur die wichtigeren Elemente. Von einer Angabe der Kohlensäure, der Schwefelsäure, des Wassers und anderer Dinge habe ich abgesehen, weil sie für die in Frage stehenden Probleme bedeutungslos sind oder auch vielfach nicht bestimmt wurden, so daß ein Vergleich der verschiedenen Analysen nicht erleichtert, sondern erschwert worden wäre. Doch füge ich in weiteren angehängten Tabellen noch eine Anzahl nachträglich zusammengestellter Analysen bei, aus denen zu ersehen ist, daß sie in bezug auf unsere Erörterungen nichts Neues ergeben, daß sie auch die Zahlenverhältnisse nur unwesentlich verschieben. Die Ana-

lysen sind angeordnet nach sinkendem Tonerdegehalt. Unter den Analysen befindet sich nun noch eine Anzahl von Zeichen und Zahlen, deren Bedeutung folgende ist: Unter »Al« findet man angegeben den Prozentsatz der Tonerde, welche über die Summe von Alkalien und Kalk überschüssig ist. Unter A, C, Fm sind angegeben die Menge der Alkalien (A) des Kalks (C), die Summe des Eisens als Oxydul berechnet und der Magnesia (Fm). Zusammengezogen ist die Summe 20. Endlich gibt die unter n angegebene Zahl die Menge des Natriums, wenn man die Summe der Alkalien gleich 10 setzt.

Die Analysen umfassen Tone, Löße, Glazialtone, Mergel, Schiefer-
tone, Tonschiefer und Grauwacken. Die Gesamtzahl der in die Betrachtung eingezogenen Analysen ist 125. Davon sind

1. 30 oder 24% Gesteine mit Natronvormacht,
2. 86 oder 69% Gesteine mit Kalivormacht,
3. 9 oder 7% Gesteine ohne Alkali.

In der dritten Gruppe sind ausschließlich Tone. In der ersten Gruppe 20% der Tone, 20% der Löße¹⁾ und Glazialsedimente, 25% der Tonschiefer usw. und 70% der Grauwacken. In der zweiten Gruppe finden wir je 80% der Tone, der Löße und Glazialsedimente, 75% der Tonschiefer usw. und 30% der Grauwacken. Bei der Berechnung dieser Prozentzahl in der I. und II. Gruppe sind nur die alkalihaltigen Gesteine in Betracht gezogen; die alkalifreien könnte man sinngemäß den Gesteinen mit Kalivormacht anreihen. Diese Statistik lehrt uns, daß abgesehen von den Grauwacken, welche ja gerade durch ihren großen Gehalt an unverwittertem Material charakterisiert sind, die Gesteine mit Kalivormacht weit überwiegen. Auf die Gesteine mit Natronvormacht werden wir später noch zurückkommen. Von den 125 Analysen haben nur 22 keinen Tonerdeüberschuß. Bei allen übrigen beträgt er in den weitaus meisten Fällen weit über 5%, ja man kann sogar sagen über 50% des gesamten Tonerdegehaltes. Damit Hand in Hand geht eine andere wichtige Tatsache; es ist nämlich bei mangelndem Tonerdeüberschuß Fm gewöhnlich klein und C groß. Dasselbe beobachtet man aber auch schon bei einer Abnahme des Tonerdeüberschusses.

Was das Verhältnis A zu C zu Fm anlangt, so ist bei niedrigem C gewöhnlich ein großes Fm vorhanden und umgekehrt. Dabei ist noch in Betracht zu ziehen, daß sehr häufig mit steigendem C der Magnesia-
gehalt zunimmt, d. h. also mit anderen Worten: je größer C wird, um so kleiner ist der Eisengehalt. Ferner ist zu bemerken, daß in den gealterten Gesteinen, wie Tonschiefer usw., C im allgemeinen niedriger wird als in dem jüngeren Ton.

Gehen wir nun zu der Betrachtung der einzelnen Tabellen über.

¹⁾ Nach SCHERING (17) haben die von ihm untersuchten Löße gern $\text{Na} > \text{K}$ oder doch wenigstens relativ großes n.

Tab. I. Alkalifreie Gesteine.

| | 29. | 111. | 31. | 30. | 34. | 33. | 32. | 112. | 5. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 57,43 | 80,79 | 88,79 | 88,59 | 90,14 | 91,39 | 92,64 | 93,32 | 88,80 |
| Al ₂ O ₃ | 24,22 | 18,35 | 9,77 | 8,49 | 8,10 | 7,27 | 7,11 | 5,92 | 4,88 |
| Fe ₂ O ₃ | — | 0,20 | — | — | 1,12 | 1,49 | — | 0,17 | 0,79 |
| FeO | — | — | — | — | 0,08 | 0,24 | — | — | — |
| MgO | 1,04 | 0,24 | — | — | 0,12 | 0,12 | — | 0,44 | 3,59 |
| CaO | 17,35 | 0,41 | 1,44 | 2,92 | 0,37 | 0,28 | 0,24 | 0,15 | 1,95 |
| Na ₂ O | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| K ₂ O | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Al | 28,37 | 97,70 | 85,25 | 65,61 | 95,43 | 96,16 | 96,63 | 97,48 | 60,05 |
| A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 18,9 | 8,1 | 20 | 20 | 2,9 | 1,7 | 20 | 3,4 | 5,6 |
| Fm | 1,1 | 11,9 | 0 | 0 | 17,1 | 18,3 | 0 | 16,6 | 14,4 |

Tabelle I. Alkalifreie Tone. Bei ihnen spielen im allgemeinen die Erdalkalien, abgesehen von den Analysen 30, 5 und besonders 29 gar keine Rolle. In den ersteren beiden Analysen ist vermutlich Calciumcarbonat vorhanden, in 29 ist es sicher bestimmt, d. h. das Gestein ist ein mergeliger Ton. Somit kann man sagen: alkalifreie Tone haben auch so gut wie keine zweiwertigen Basen, wenn sie nicht mit Carbonaten gemischt sind. Sie haben demnach normalerweise einen über 90% betragenden Tonerdeüberschuß, und Fm ist fast in allen Fällen sehr groß gegenüber C.

Tone mit Na-Vormacht.

Tab. II.

Tab. IIa.

| | 96. | 95. | 94. | 38. | 48. | 47. | 49. | 13. | 1. | 93. | 148. | 149. | 150. | 151. | 152. | 153. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 71,11 | 67,94 | 70,25 | 79,50 | 67,30 | 69,77 | 68,39 | 74,97 | 64,25 | 83,45 | 73,64 | 73,81 | 75,78 | 74,65 | 74,95 | 72,02 |
| Al ₂ O ₃ | 16,85 | 16,31 | 15,47 | 14,71 | 14,70 | 12,68 | 12,44 | 12,41 | 11,16 | 8,58 | 22,03 | 18,36 | 15,62 | 15,61 | 13,54 | 12,90 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,27 | 5,71 | 9,09 | 1,36 | 2,44 | 2,21 | 2,22 | 2,32 | 3,78 | 2,42 | 1,22 | 1,13 | 3,09 | — | 1,89 | — |
| FeO | 0,95 | 1,07 | 0,31 | — | 1,57 | 1,24 | 0,93 | 1,71 | 0,81 | 0,43 | — | — | — | 2,29 | — | 8,68 |
| MgO | 2,86 | 3,96 | 1,54 | 3,81 | 2,89 | 3,46 | 4,23 | 2,73 | 5,96 | 0,38 | — | 1,05 | 1,18 | — | 2,79 | 0,56 |
| CaO | 1,36 | 1,81 | 1,41 | — | 5,11 | 4,41 | 5,39 | 1,28 | 9,94 | 1,07 | — | 4,10 | 1,56 | — | 3,31 | 1,34 |
| Na ₂ O | 1,88 | 1,78 | 1,09 | 0,62 | 3,32 | 3,87 | 3,96 | 2,75 | 2,19 | 2,47 | 2,68 | 0,92 | 1,52 | 2,51 | 1,93 | 2,50 |
| K ₂ O | 0,71 | 1,41 | 0,84 | — | 2,67 | 2,35 | 2,43 | 1,83 | 2,17 | 1,19 | 0,43 | 0,63 | 1,24 | 2,03 | 1,58 | 2,00 |
| Al | 76,6 | 69,8 | 78,4 | 95,8 | 24,5 | 16,2 | 5,3 | 52,8 | 0 | 44,9 | 85,9 | 69,2 | 72,3 | 70,9 | 74,1 | 54,7 |
| A | 3,3 | 3,1 | 1,8 | 1,8 | 6,0 | 6,5 | 6,1 | 6,3 | 3,1 | 7,4 | 11,7 | 3,5 | 5,0 | 9,7 | 6,0 | 5,5 |
| C | 1,8 | 1,8 | 1,3 | 0 | 5,1 | 4,5 | 5,1 | 1,8 | 7,2 | 2,2 | 0 | 9,4 | 2,8 | 5,4 | 3,4 | 3,1 |
| Fm | 14,9 | 15,1 | 16,9 | 18,2 | 8,9 | 9,0 | 8,8 | 11,9 | 9,7 | 10,4 | 8,3 | 7,1 | 12,2 | 4,9 | 10,6 | 11,4 |
| n | 7,3 | 5,6 | 5,6 | 10,0 | 5,5 | 6,2 | 6,2 | 6,0 | 5,0 | 6,7 | 8,6 | 5,9 | 5,9 | 5,5 | 5,5 | 5,6 |

Tabelle II. Tone mit Natronvormacht. Zunächst bemerken wir das Überwiegen des Eisenoxyds über das Oxydul. Ferner ist zu beachten, daß auch hier noch ein verhältnismäßig großer Gehalt an Kali (n nicht über 6,2) bei 70% der Analysen vorhanden ist. Das Gestein Nr. 1 ist ein roter Tiefseeton, also im wesentlichen tuffogenes Sediment, darum ist hier auch kein Tonerdeüberschuß. Bei den Analysen 47, 48 und 49 besteht wegen des großen Wertes von C der Verdacht auf erheblichen Gehalt an Calciumcarbonat. Zwar ist die Kohlensäure

nicht bestimmt, aber der Glühverlust der bei 107° getrockneten Pulver ist 5,4; 5,1; 6,3%. Der Gehalt an Eisenoxydul (wo bestimmt) ist nur in einem Teil der Analysen erheblich, und es sind dies zumeist die Analysen mit geringem Tonerdeüberschuß, die zugleich auch durch relativ kleines Fm ausgezeichnet sind.

Löß mit Na-Vormacht.

Tab. III.

Tab. IIIa.

| | 37. | 99. | 162. | 163. | 164. | 165. | 166. | 168. | 169. | 170. | 171. | 172. | 174. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 71,40 | 83,64 | 70,75 | 71,40 | 75,23 | 74,92 | 76,69 | 80,73 | 84,11 | 83,70 | 64,44 | 66,78 | 64,13 |
| Al ₂ O ₃ | 5,46 | 8,09 | 14,18 | 12,33 | 11,61 | 11,56 | 10,68 | 7,87 | 7,66 | 6,55 | 5,64 | 5,62 | 4,75 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,14 | 1,36 | 3,23 | 2,72 | 2,22 | 2,25 | 2,95 | 2,09 | 1,89 | 2,91 | 1,02 | 2,11 | 1,28 |
| FeO | 0,64 | 0,11 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,79 | — | — |
| MgO | 7,99 | 1,89 | 2,25 | 5,45 | 2,44 | 3,71 | 2,43 | 1,67 | 2,40 | 2,25 | 6,39 | 4,04 | 5,32 |
| CaO | 11,22 | 2,03 | 7,40 | 3,13 | 2,87 | 4,42 | 2,60 | 4,78 | 1,59 | 1,35 | 18,27 | 19,43 | 22,03 |
| Na ₂ O | 1,33 | 1,56 | 1,41 | 3,85 | 3,94 | 2,16 | 3,47 | 1,51 | 1,33 | 1,72 | 1,95 | 1,07 | 1,54 |
| K ₂ O | 0,81 | 1,31 | 0,77 | 1,12 | 2,30 | 0,97 | 1,18 | 1,35 | 1,02 | 1,52 | 1,51 | 0,94 | 0,94 |
| Al | 0 | 39,4 | 32,4 | 34,3 | 21,5 | 34,7 | 32,1 | 2,9 | 47,3 | 30,0 | 0 | 0 | 0 |
| A | 1,8 | 6,1 | 2,5 | 5,4 | 8,0 | 3,9 | 7,2 | 4,4 | 4,8 | 5,4 | 2,2 | 1,3 | 1,6 |
| C | 9,3 | 4,4 | 8,4 | 3,4 | 3,7 | 5,8 | 4,0 | 7,3 | 3,3 | 2,2 | 11,9 | 13,3 | 13,7 |
| Fm | 8,9 | 9,5 | 9,1 | 11,2 | 8,3 | 10,3 | 8,8 | 8,3 | 11,9 | 12,4 | 5,9 | 5,4 | 5,4 |
| n | 6,2 | 5,4 | 6,5 | 7,7 | 6,3 | 6,9 | 7,5 | 5,3 | 6,4 | 5,3 | 5,6 | 5,3 | 6,2 |

Tabelle III. Löße mit Natronvormacht. Sie scheinen im allgemeinen einen geringen Tonerdeüberschuß zu besitzen. Dies hängt aber wahrscheinlich mit größerem oder geringerem Gehalt an Carbonaten zusammen, der in den Analysen auch nachgewiesen ist, allerdings könnte es auch mit der Gegenwart von unzersetztem Material zusammenhängen. Fm ist relativ niedrig und ebenso der Wert für n.

Tab. IV. Tonschiefer usw. mit Na-Vormacht.

| | 58. | 61. | 20. | 62. | 83. | 25. | 63. | 64. | 17. | 79. | 82. | 78. | 67. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 43,69 | 51,76 | 66,58 | 44,90 | 69,33 | 68,92 | 64,85 | 60,55 | 72,77 | 57,76 | 75,19 | 60,60 | 96,02 |
| Al ₂ O ₃ | 18,70 | 15,17 | 14,42 | 13,29 | 13,28 | 12,66 | 12,58 | 12,29 | 11,56 | 11,51 | 10,41 | 2,50 | 1,37 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,16 | 1,21 | 5,35 | 1,15 | — | 0,22 | 1,85 | 2,04 | 0,77 | 1,63 | 2,45 | 0,65 | 0,18 |
| FeO | 3,74 | 5,69 | 5,59 | 4,99 | 7,41 | 5,32 | 3,77 | 3,95 | 4,43 | 3,96 | — | 5,95 | 0,68 |
| MgO | 32,37 | 3,55 | 2,94 | 3,72 | 3,78 | 6,36 | 9,31 | 10,00 | 5,12 | 8,74 | 6,13 | 6,89 | 1,01 |
| CaO | 1,00 | 13,23 | 0,56 | 28,14 | 1,39 | 2,18 | 2,95 | 4,34 | 0,52 | 11,04 | 2,67 | 18,57 | 0,10 |
| Na ₂ O | 0,31 | 8,75 | 3,16 | 3,04 | 2,44 | 2,56 | 2,97 | 5,59 | 2,58 | 3,85 | 2,27 | 4,09 | 0,37 |
| K ₂ O | — | 0,70 | 1,38 | 0,85 | 2,32 | 1,76 | 1,71 | 1,21 | 2,24 | 1,51 | 0,88 | 0,77 | 0,33 |
| Al | 93,0 | 0 | 64,6 | 0 | 53,7 | 48,6 | 40,1 | 9,4 | 53,8 | 0 | 42,6 | 0 | 41,6 |
| A | 0,2 | 5,5 | 3,9 | 1,9 | 5,5 | 4,7 | 4,4 | 5,4 | 5,9 | 3,3 | 3,9 | 2,6 | 5,0 |
| C | 0,5 | 7,8 | 0,5 | 13,1 | 1,6 | 2,3 | 2,9 | 3,5 | 0,7 | 6,9 | 3,2 | 9,9 | 0,7 |
| Fm | 19,3 | 6,7 | 15,6 | 5,0 | 12,9 | 13,0 | 12,7 | 11,1 | 13,4 | 9,8 | 12,9 | 7,5 | 14,3 |
| n | 10 | 9,3 | 6,9 | 7,8 | 5,1 | 5,9 | 6,4 | 8,2 | 5,4 | 7,2 | 7,2 | 8,4 | 5,3 |

Tabelle IV. Tonschiefer usw. mit Natronvormacht. Der Kieselsäuregehalt liegt zumeist zwischen 44 und 75% — Analyse 67 stammt von einem verkieselten Gestein, ist sogar vielleicht ein Kieselschiefer

und bleibt daher außer Betracht — Analyse 78 ist ein stark veränderter Kalkschiefer und wahrscheinlich verkieselt, kann also ebenfalls unberücksichtigt bleiben — die meisten Analysen haben hohes n (über 7). Die Gesteine ohne Tonerdeüberschuß sind reich an Kalk, und es ist auch bei allen eine erhebliche Menge von Kohlensäure bestimmt. Verdächtig in dieser Richtung ist Analyse 64 mit 9,4% Tonerdeüberschuß und die Analyse 58 mit 32,37% Magnesia und 93% Tonerdeüberschuß. Die übrigen Analysen, die meist durch mittleres Fm ausgezeichnet sind, mögen aus unvollkommen oder wenig verwittertem Material bestehen (Grauwacken). Damit hängt es wohl auch zusammen, daß der Tonerdeüberschuß meist zwischen 40 und 50% liegt.

Tab. V. Grauwacken mit Na-Vormacht.

| | Tab. V. | | | | | Tab. Va. | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 124. | 123. | 126. | 125. | 122. | 175. | 176. | 177. | 178. | 179. | 180. | 181. | 182. |
| SiO ₂ | 75,58 | 79,25 | 78,26 | 85,36 | 80,51 | 83,35 | 76,19 | 85,43 | 90,19 | 85,68 | 74,15 | 60,88 | 92,60 |
| Al ₂ O ₃ | 9,84 | 8,93 | 8,13 | 7,63 | 6,58 | 8,24 | 7,35 | 6,89 | 6,24 | 6,06 | 4,29 | 3,79 | 3,93 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,42 | 0,33 | 0,16 | 0,52 | 0,23 | 2,33 | 2,04 | 1,31 | 0,42 | 2,46 | 1,44 | 3,07 | 1,26 |
| FeO | 3,39 | 3,08 | 3,53 | 0,34 | 3,80 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| MgO | 3,60 | 3,23 | 3,48 | 1,14 | 1,76 | 2,73 | 3,29 | 1,22 | 0,06 | 1,73 | 0,21 | 1,56 | 0,69 |
| CaO | 1,22 | 0,49 | 1,60 | 0,51 | 2,36 | 0,56 | 7,28 | 0,74 | 1,39 | 0,74 | 17,71 | 29,63 | 0,09 |
| Na ₂ O | 4,16 | 3,25 | 3,24 | 2,68 | 3,79 | 1,71 | 2,44 | 3,19 | 1,68 | 2,21 | 1,36 | 0,82 | 0,89 |
| K ₂ O | 1,79 | 1,44 | 1,61 | 1,83 | 0,96 | 1,06 | 1,42 | 1,23 | 1,02 | 1,12 | 0,84 | 0,25 | 0,55 |
| Al | 27,1 | 42,0 | 20,7 | 34,2 | 0 | 59,6 | 0 | 25,1 | 34,5 | 32,84 | 0 | 0 | 61,07 |
| A | 8,0 | 7,8 | 7,1 | 12,1 | 7,3 | 5,4 | 4,1 | 10,1 | 11,0 | 6,6 | 1,9 | 0,6 | 6,4 |
| C | 1,6 | 0,8 | 2,3 | 1,4 | 3,6 | 1,1 | 8,0 | 1,7 | 5,7 | 1,4 | 15,6 | 15,7 | 0,4 |
| Fm | 10,4 | 11,4 | 10,6 | 6,5 | 9,1 | 13,5 | 7,9 | 8,2 | 3,3 | 12,0 | 2,5 | 3,7 | 13,2 |
| n | 7,0 | 6,9 | 6,7 | 5,9 | 8,0 | 6,1 | 6,3 | 7,2 | 6,2 | 6,6 | 6,2 | 7,7 | 6,2 |

Tabelle V. Grauwacken mit Natronvormacht. Nur bei einer ist kein Tonerdeüberschuß vorhanden; sie ist wegen großen Kalkgehaltes auf Calciumcarbonat verdächtig. Bei den übrigen bleibt der Tonerdeüberschuß zwischen 20 und 42%. n ist meist relativ hoch, Fm niedrig bis mittel, A hoch.

Tab. VI. Tone mit K-Vormacht.

| | 35. | 117. | 3. | 46. | 115. | 11. | 9. | 36. | 10. | 4. | 28. | 45. | 42. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 65,72 | 70,63 | 63,91 | 71,63 | 76,18 | 62,80 | 73,21 | 73,35 | 64,74 | 73,35 | 71,15 | 80,82 | 79,41 |
| Al ₂ O ₃ | 28,50 | 28,41 | 21,89 | 21,69 | 21,26 | 19,94 | 17,99 | 17,26 | 16,08 | 15,34 | 14,85 | 14,44 | 14,42 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,10 | 0,39 | 8,43 | 1,53 | 0,83 | 1,07 | 5,60 | 4,12 | 2,09 | 3,58 | 3,10 | 0,73 | 1,24 |
| FeO | — | — | — | — | — | 2,73 | — | — | 3,21 | 0,42 | — | — | — |
| MgO | 1,67 | — | 0,67 | 1,19 | 0,63 | 6,25 | 1,31 | 2,87 | 5,90 | 2,32 | 1,01 | 1,20 | 0,94 |
| CaO | 1,52 | — | 1,00 | 0,31 | 0,59 | 1,63 | 0,60 | 0,21 | 1,95 | 0,70 | 9,20 | 0,11 | 0,82 |
| Na ₂ O | — | 0,14 | 1,73 | 0,61 | 0,04 | 2,15 | 0,31 | 0,21 | 2,15 | 0,29 | 0,29 | 0,40 | 0,06 |
| K ₂ O | 0,47 | 0,43 | 2,37 | 3,03 | 0,37 | 3,50 | 1,04 | 1,96 | 3,50 | 4,00 | 0,41 | 2,30 | 2,55 |
| Al | 93,2 | 98,0 | 76,7 | 81,9 | 95,3 | 63,5 | 88,6 | 86,2 | 52,7 | 67,5 | 33,3 | 80,5 | 76,2 |
| A | 1,3 | 9,0 | 3,9 | 9,2 | 2,6 | 6,2 | 2,0 | 3,4 | 5,6 | 6,1 | 0,8 | 10,1 | 7,9 |
| C | 4,0 | 0 | 1,0 | 0,8 | 3,8 | 1,8 | 0,9 | 0,4 | 1,9 | 1,0 | 11,2 | 0,4 | 2,5 |
| Fm | 14,7 | 11,0 | 15,1 | 10,0 | 13,6 | 12,0 | 17,1 | 16,2 | 12,5 | 12,9 | 8,0 | 9,5 | 9,6 |
| n | 0 | 2,4 | 4,2 | 1,7 | 1,0 | 3,8 | 2,3 | 1,0 | 3,8 | 0,7 | 4,1 | 1,5 | 0,2 |

| | 43. | 8. | 6. | 51. | 89. | 103. | 2. | 44. | 104. | 116. | 100. | 102. | 90. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 76,02 | 81,10 | 83,07 | 75,83 | 61,52 | 82,62 | 65,99 | 82,51 | 84,74 | 84,41 | 81,91 | 85,64 | 57,67 |
| Al ₂ O ₃ | 14,12 | 14,06 | 13,93 | 12,21 | 11,81 | 11,81 | 11,70 | 11,62 | 11,09 | 10,44 | 10,13 | 9,87 | 9,58 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,97 | 0,76 | 0,40 | 1,97 | 2,18 | 0,81 | 2,20 | 0,42 | 0,48 | 1,73 | 0,52 | 0,94 | 1,96 |
| FeO | — | — | — | 1,99 | — | — | 2,21 | — | — | — | — | — | — |
| MgO | 1,29 | 1,10 | 0,50 | 2,83 | 7,16 | 1,58 | 3,75 | 2,66 | 1,10 | 1,34 | 3,82 | 0,48 | 8,68 |
| CaO | 0,72 | 0,13 | 0,09 | 1,13 | 12,18 | 0,29 | 10,32 | 0,14 | 0,31 | 1,62 | 0,20 | 0,19 | 16,26 |
| Na ₂ O | 0,14 | 0,35 | 0,24 | 1,71 | 1,96 | 0,29 | 1,18 | 0,09 | 0,29 | 0,09 | 0,16 | 0,89 | 2,54 |
| K ₂ O | 2,75 | 2,50 | 1,63 | 2,32 | 3,18 | 2,60 | 1,66 | 2,56 | 2,02 | 0,37 | 3,26 | 1,95 | 3,32 |
| Al | 74,4 | 78,8 | 85,9 | 57,7 | 0 | 73,1 | 0 | 76,0 | 76,4 | 80,1 | 64,3 | 69,3 | 0 |
| A | 4,2 | 10,5 | 11,8 | 6,0 | 3,6 | 9,3 | 2,5 | 8,5 | 10,1 | 1,4 | 8,1 | 10,9 | 3,4 |
| C | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 3,6 | 8,6 | 0,9 | 8,9 | 0,5 | 1,3 | 5,0 | 0,6 | 0,7 | 9,5 |
| Fm | 14,8 | 9,0 | 7,7 | 12,4 | 7,8 | 9,8 | 8,6 | 11,0 | 8,6 | 13,6 | 11,3 | 8,4 | 7,1 |
| n | 0,5 | 1,2 | 1,3 | 4,2 | 3,8 | 1,0 | 4,1 | 0,3 | 1,2 | 2,0 | 0,5 | 3,1 | 4,3 |

| | 101. | 92. | 7. | 105. | 41. | 97. | 106. | 98. | 114. | 113. | 40. | 39. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 85,51 | 77,08 | 86,65 | 69,79 | 86,28 | 52,09 | 71,92 | 60,79 | 93,65 | 94,26 | 92,08 | 94,37 |
| Al ₂ O ₃ | 9,30 | 8,99 | 8,80 | 8,31 | 6,95 | 6,41 | 6,19 | 5,49 | 5,26 | 4,49 | 4,24 | 4,09 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,54 | 1,69 | 2,04 | 1,67 | 2,12 | 1,37 | 0,93 | 1,09 | 0,30 | 0,46 | 1,47 | 0,86 |
| FeO | — | 4,34 | — | 0,66 | — | 0,52 | 0,19 | 0,67 | — | — | — | — |
| MgO | 1,95 | 3,29 | 1,04 | 7,79 | 1,81 | 15,05 | 6,71 | 13,08 | 0,21 | 0,44 | 0,87 | 0,43 |
| CaO | 0,03 | 1,32 | 0,19 | 7,68 | 0,72 | 21,58 | 11,10 | 15,68 | 0,39 | 0,25 | 0,35 | 0,12 |
| Na ₂ O | 0,01 | 0,51 | 0,11 | 1,17 | 0,67 | 1,04 | 0,85 | 1,09 | — | — | 0,17 | 0,15 |
| K ₂ O | 2,79 | 2,86 | 1,17 | 2,94 | 1,45 | 1,94 | 2,12 | 2,06 | 0,18 | 0,09 | 0,83 | 0,62 |
| Al | 69,6 | 47,8 | 83,3 | 0 | 59,1 | 0 | 0 | 0 | 89,2 | 92,4 | 68,2 | 78,2 |
| A | 9,7 | 4,4 | 4,1 | 3,5 | 5,0 | 1,4 | 2,6 | 1,9 | 2,4 | 1,1 | 4,1 | 5,4 |
| C | 0,1 | 1,7 | 0,7 | 6,6 | 1,7 | 10,1 | 9,8 | 9,0 | 5,1 | 3,2 | 1,5 | 0,8 |
| Fm | 10,2 | 13,9 | 15,2 | 9,9 | 13,3 | 8,5 | 7,6 | 9,1 | 12,5 | 15,7 | 14,4 | 13,8 |
| n | 0 | 1,3 | 0,9 | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 2,8 | 3,4 | 0 | 0 | 1,7 | 2,0 |

Tabelle VI. Tone mit Kalivormacht. Mangelnder Tonerdeüberschuß ist stets mit hohem C verknüpft. C bleibt aber verhältnismäßig hoch in all den Fällen, wo der Tonerdeüberschuß unter 60% zurückgeht; n bleibt in den allermeisten Fällen weit unter 5 zurück. Niedriges n und hohes A geht meist mit erheblichem Magnesiumgehalt Hand in Hand, aber auch mit hohem C ist gern hoher Magnesiumgehalt (als Carbonat) verknüpft. Manche Gesteine sind ausgezeichnet durch ihre geringen Mengen von Alkalien und alkalischen Erden. Sie sind offenbar frisch verwittert, darum ist bei ihnen auch zumeist der Tonerdeüberschuß gegen 90%, wofern nicht große Mengen von Calciumcarbonat vorhanden sind. Der Eisenoxydgehalt ist durchweg sehr hoch, und mit ganz wenigen Ausnahmen gar kein Eisenoxydul vertreten. Ist das letztere vorhanden, so erreicht es fast nie die Menge des Eisenoxyds. Mit erheblichem Gehalt an Eisenoxydul ist geringer Tonerdeüberschuß verknüpft, was auf unverwittertes Material hinzuweisen scheint.

Tab. VIa.

| | 127. | 128. | 129. | 130. | 131. | 132. | 133. | 134. | 135. | 136. | 137. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 68,92 | 70,15 | 72,32 | 71,38 | 79,10 | 65,22 | 62,98 | 79,45 | 78,67 | 80,34 | 63,81 |
| Al ₂ O ₃ | 29,06 | 26,01 | 25,14 | 21,07 | 19,56 | 19,43 | 18,44 | 17,01 | 15,92 | 13,74 | 12,50 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,71 | 0,82 | 0,42 | 4,46 | 0,74 | 6,99 | 7,95 | — | 1,25 | 3,31 | 2,55 |
| FeO | — | — | — | — | — | — | — | 2,32 | — | — | 1,48 |
| MgO | — | 1,25 | 1,56 | — | — | 2,93 | 3,73 | — | 0,77 | 0,45 | 7,91 |
| CaO | 0,22 | 0,39 | — | 0,50 | — | 3,41 | 3,36 | — | 0,32 | 0,46 | 7,05 |
| Na ₂ O | 0,24 | 0,39 | — | 1,26 | 0,16 | 0,54 | 1,05 | 0,04 | 1,05 | 0,45 | 0,76 |
| K ₂ O | 0,84 | 0,98 | 0,55 | 1,32 | 0,44 | 1,48 | 2,48 | 1,18 | 1,99 | 1,27 | 3,92 |
| Al | 95,5 | 93,2 | 97,8 | 85,4 | 96,9 | 72,0 | 62,6 | 92,8 | 78,9 | 84,1 | 6,2 |
| A | 8,4 | 6,1 | 3,8 | 3,0 | 4,6 | 1,9 | 2,8 | 6,9 | 9,6 | 4,0 | 3,6 |
| C | 1,8 | 1,7 | 0 | 1,0 | 0 | 3,2 | 2,7 | 0 | 1,0 | 0,1 | 5,5 |
| Fm | 9,8 | 12,2 | 16,2 | 15,9 | 15,4 | 14,9 | 14,5 | 13,1 | 9,4 | 14,9 | 10,9 |
| n | 2,2 | 2,8 | 0 | 4,9 | 2,7 | 2,7 | 3,0 | 0,3 | 3,5 | 2,6 | 1,6 |

| | 138. | 139. | 140. | 141. | 142. | 143. | 144. | 145. | 146. | 147. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 63,53 | 78,60 | 75,04 | 83,31 | 80,56 | 62,85 | 80,17 | 81,70 | 60,19 | 27,22 |
| Al ₂ O ₃ | 12,32 | 11,39 | 11,29 | 11,17 | 10,86 | 10,74 | 10,45 | 9,89 | 7,11 | 4,67 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,20 | 1,34 | 4,07 | 3,66 | 2,66 | 3,12 | 2,90 | 1,81 | 0,69 | 1,11 |
| FeO | 1,46 | 2,24 | — | — | 0,56 | — | — | — | 0,76 | 0,77 |
| MgO | 12,55 | 3,05 | 4,17 | — | 2,28 | 6,49 | 3,58 | 1,50 | 11,74 | 33,47 |
| CaO | 2,64 | 1,11 | 1,84 | — | 0,75 | 9,92 | 0,22 | 1,94 | 17,03 | 31,07 |
| Na ₂ O | 0,79 | 0,73 | 0,64 | 0,21 | 0,79 | 3,13 | 0,42 | 0,51 | 0,83 | 0,54 |
| K ₂ O | 3,52 | 1,52 | 2,95 | 2,15 | 1,54 | 3,76 | 2,25 | 2,65 | 1,65 | 1,13 |
| Al | 43,6 | 70,5 | 51,9 | 78,9 | 71,7 | 0 | 72,3 | 48,4 | 0 | 0 |
| A | 3,2 | 4,1 | 4,2 | 5,3 | 4,4 | 4,8 | 4,7 | 6,4 | 1,5 | 0,5 |
| C | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 0 | 1,4 | 6,8 | 0,2 | 3,9 | 10,2 | 9,0 |
| Fm | 14,8 | 13,9 | 13,6 | 14,7 | 14,2 | 8,4 | 15,1 | 9,7 | 8,3 | 10,5 |
| n | 1,8 | 3,2 | 1,8 | 0,9 | 3,4 | 4,5 | 1,6 | 1,6 | 3,4 | 3,2 |

Tab. VII. Glazial und Löß mit K-Vormacht.

| | 12. | 50. | 109. | 108. | 118. | 91. | 107. | 110. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 71,07 | 78,26 | 76,02 | 79,37 | 80,78 | 75,02 | 79,16 | 80,59 |
| Al ₂ O ₃ | 14,76 | 11,59 | 11,49 | 9,11 | 8,98 | 7,23 | 7,12 | 7,00 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,79 | 1,33 | 2,44 | 1,61 | 1,96 | 1,13 | 1,11 | 1,10 |
| FeO | 2,11 | 0,82 | 0,37 | 0,98 | — | 0,49 | 0,30 | 0,46 |
| MgO | 2,91 | 1,68 | 2,99 | 1,87 | 1,57 | 6,39 | 1,29 | 1,93 |
| CaO | 1,34 | 1,33 | 3,70 | 2,81 | 1,37 | 6,70 | 7,43 | 5,68 |
| Na ₂ O | 2,34 | 2,31 | 1,17 | 1,88 | 2,67 | 1,51 | 1,62 | 1,42 |
| K ₂ O | 3,67 | 2,67 | 1,82 | 2,29 | 2,67 | 1,52 | 2,02 | 1,82 |
| Al | 50,2 | 45,6 | 41,8 | 23,3 | 25,3 | 0 | 0 | 0 |
| A | 7,7 | 8,9 | 4,1 | 6,5 | 9,0 | 3,2 | 5,0 | 4,9 |
| C | 1,7 | 2,4 | 5,2 | 4,5 | 2,4 | 7,2 | 10,1 | 8,5 |
| Fm | 10,6 | 8,7 | 10,7 | 9,0 | 8,6 | 9,6 | 4,9 | 6,6 |
| n | 3,9 | 4,6 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,0 | 4,4 | 4,4 |

Tabelle VII. Löß- und Glazialtone mit Kalivormacht. n ist verhältnismäßig höher als bei den Gesteinen der Tabelle VI, der Tonerdeüberschuß dagegen wesentlich geringer. Nur bei großem C ist der Tonerdeüberschuß Null. A ist im allgemeinen höher als bei Tabelle VI,

Fm dagegen niedriger. Alle Gesteine sind verhältnismäßig reich an Alkalien und alkalischen Erden. Fast überall zeigen sich (wo bestimmt) erhebliche Mengen von Eisenoxydul, die in keiner direkten Beziehung mit dem Tonerdeüberschuß zu stehen scheinen. Diese Erscheinungen weisen untrüglich auf größere Mengen unverwitterten Materials hin.

Tab. VIIa. Löß mit K-Vormacht.

| | 167. | 154. | 155. | 156. | 157. | 158. | 159. | 173. | 160. | 161. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 56,64 | 87,89 | 84,66 | 66,59 | 70,44 | 66,43 | 76,57 | 77,56 | 62,18 | 62,85 |
| Al ₂ O ₃ | 9,99 | 6,84 | 6,62 | 5,94 | 5,49 | 5,19 | 5,11 | 4,94 | 4,66 | 4,39 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,45 | 0,96 | 2,41 | 2,36 | 1,43 | 1,06 | 1,77 | 1,29 | 1,59 | 1,59 |
| FeO | — | — | — | — | 0,21 | 0,78 | — | — | — | — |
| MgO | 1,75 | 0,83 | 1,15 | 5,66 | 4,11 | 4,59 | 3,70 | 2,58 | 5,98 | 5,60 |
| CaO | 28,43 | 0,71 | 0,84 | 17,09 | 16,80 | 17,67 | 10,02 | 10,34 | 23,14 | 23,01 |
| Na ₂ O | 0,75 | 1,07 | 1,42 | 0,99 | 0,36 | 1,49 | 1,16 | 1,45 | 1,21 | 1,28 |
| K ₂ O | 0,99 | 1,69 | 2,88 | 1,36 | 1,18 | 2,78 | 1,66 | 1,83 | 1,25 | 1,28 |
| Al | 0 | 49,3 | 22,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A | 1,0 | 9,2 | 10,0 | 1,6 | 1,2 | 2,9 | 2,9 | 3,5 | 1,4 | 1,5 |
| C | 16,5 | 2,3 | 1,9 | 11,7 | 13,3 | 12,2 | 10,1 | 11,2 | 13,5 | 13,5 |
| Fm | 2,5 | 8,5 | 8,1 | 6,7 | 5,5 | 4,9 | 7,0 | 3,5 | 5,1 | 5,0 |
| n | 4,3 | 3,9 | 3,3 | 4,2 | 2,3 | 3,5 | 4,1 | 4,4 | 4,9 | 5,0 |

Tab. VIII. Tonschiefer und Ähnliches mit K-Vormacht.

| | 86. | 87. | 88. | 18. | 84. | 60. | 19. | 76. | 54. | 77. | 75. | 68. | 70. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 62,82 | 66,57 | 67,73 | 74,27 | 64,80 | 70,17 | 66,86 | 70,76 | 68,53 | 69,91 | 70,57 | 75,68 | 71,32 |
| Al ₂ O ₃ | 25,70 | 18,54 | 18,45 | 16,34 | 16,11 | 15,67 | 15,58 | 15,53 | 15,42 | 13,27 | 13,05 | 13,04 | 12,75 |
| Fe ₂ O ₃ | — | 0,86 | 5,45 | 1,17 | — | 2,39 | 5,84 | — | 0,48 | 1,31 | 0,50 | 2,67 | 1,31 |
| FeO | 3,91 | 6,04 | — | 0,46 | 8,81 | 1,64 | 4,35 | 5,90 | 5,76 | 5,62 | 6,49 | 2,31 | 5,45 |
| MgO | 1,64 | 5,83 | 4,09 | 2,47 | 3,83 | 4,39 | 2,53 | 3,57 | 5,04 | 4,80 | 3,89 | 1,95 | 4,08 |
| CaO | — | 0,27 | 0,41 | 0,17 | 1,34 | 2,18 | 0,41 | 0,51 | 0,65 | 0,77 | 0,53 | 0,61 | 0,42 |
| Na ₂ O | 0,05 | 0,58 | 1,41 | 0,64 | 0,86 | 1,00 | 0,46 | 0,97 | 1,57 | 1,35 | 2,15 | 1,22 | 1,79 |
| K ₂ O | 5,79 | 1,26 | 2,45 | 4,49 | 2,65 | 2,58 | 3,96 | 2,75 | 2,56 | 2,98 | 2,82 | 2,53 | 3,07 |
| Al | 77,1 | 88,6 | 76,9 | 67,6 | 69,9 | 63,2 | 69,0 | 72,8 | 69,0 | 61,6 | 57,9 | 66,6 | 58,6 |
| A | 10,3 | 2,4 | 4,2 | 9,9 | 4,0 | 4,5 | 4,0 | 5,4 | 5,0 | 4,8 | 5,9 | 5,6 | 5,7 |
| C | 0,0 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 1,5 | 2,7 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,4 |
| Fm | 9,7 | 17,2 | 15,3 | 9,7 | 14,5 | 12,8 | 15,6 | 13,8 | 14,2 | 14,3 | 13,4 | 13,5 | 13,9 |
| n | 0,1 | 3,1 | 3,9 | 1,2 | 2,4 | 2,8 | 1,0 | 2,6 | 3,8 | 3,1 | 4,3 | 3,2 | 3,7 |

| | 71. | 80. | 57. | 72. | 85. | 69. | 27. | 22. | 26. | 81. | 73. | 59. | 21. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 70,49 | 76,91 | 76,16 | 70,45 | 65,75 | 72,87 | 72,29 | 69,80 | 72,90 | 72,16 | 70,96 | 69,66 | 77,98 |
| Al ₂ O ₃ | 12,58 | 12,11 | 11,86 | 11,71 | 11,32 | 11,30 | 11,18 | 11,04 | 10,55 | 10,55 | 10,41 | 10,38 | 10,22 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,55 | 3,83 | 4,54 | 0,23 | — | 1,82 | 2,29 | 0,77 | 0,59 | 4,03 | 0,55 | 0,58 | 1,65 |
| FeO | 6,69 | — | — | 6,02 | 8,47 | 2,67 | 2,50 | 3,32 | 5,19 | — | 4,66 | 2,88 | 3,08 |
| MgO | 4,37 | 4,65 | 2,57 | 5,64 | 6,36 | 5,12 | 5,37 | 5,20 | 5,44 | 7,61 | 5,99 | 7,02 | 3,64 |
| CaO | 0,70 | 1,48 | 1,25 | 1,60 | 4,61 | 0,63 | 0,90 | 5,57 | 0,96 | 2,68 | 2,78 | 4,13 | 0,23 |
| Na ₂ O | 1,76 | — | 0,60 | 1,54 | 0,86 | 1,44 | 1,71 | 1,55 | 1,28 | — | 1,28 | 0,48 | 0,32 |
| K ₂ O | 2,85 | 1,52 | 3,02 | 2,82 | 2,65 | 4,16 | 3,76 | 2,75 | 3,11 | 2,97 | 3,37 | 4,87 | 2,95 |
| Al | 57,8 | 75,2 | 58,9 | 49,1 | 28,3 | 44,8 | 43,0 | 10,6 | 49,3 | 46,4 | 28,6 | 8,7 | 65,8 |
| A | 5,3 | 2,2 | 4,6 | 4,8 | 3,0 | 6,5 | 6,0 | 4,4 | 5,2 | 2,9 | 4,9 | 5,2 | 5,0 |
| C | 0,8 | 2,2 | 1,6 | 1,8 | 4,1 | 0,7 | 0,9 | 5,6 | 1,4 | 2,6 | 2,9 | 4,1 | 0,3 |
| Fm | 13,9 | 15,6 | 13,8 | 13,4 | 12,9 | 12,8 | 13,1 | 10,0 | 13,4 | 14,5 | 12,2 | 10,7 | 14,7 |
| n | 3,8 | 0 | 1,6 | 3,5 | 2,4 | 2,6 | 3,1 | 3,6 | 2,9 | 0 | 2,8 | 0,9 | 1,0 |

| | 74. | 65. | 14. | 52. | 15. | 66. | 16. | 24. | 56. | 23. | 55. | 53. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 76,97 | 49,76 | 77,96 | 78,17 | 67,50 | 81,76 | 76,37 | 74,41 | 73,90 | 75,36 | 69,58 | 50,32 |
| Al ₂ O ₃ | 9,39 | 9,33 | 8,93 | 8,54 | 8,12 | 8,03 | 7,28 | 6,91 | 6,64 | 6,33 | 5,32 | 1,92 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,34 | 0,99 | 2,32 | 2,44 | 1,56 | 2,75 | 0,62 | 0,77 | 1,68 | 0,47 | 17,57 | 8,93 |
| FeO | 4,46 | 3,70 | 1,15 | 1,20 | 1,41 | 1,06 | 3,58 | 1,14 | 1,39 | 1,02 | 1,09 | 29,62 |
| MgO | 4,01 | 28,80 | 5,48 | 5,62 | 11,42 | 2,27 | 7,65 | 8,77 | 9,25 | 8,42 | 1,93 | 7,47 |
| CaO | 0,76 | 5,65 | 0,14 | 0,32 | 6,52 | 0,48 | 1,72 | 5,01 | 4,37 | 5,55 | 0,24 | 1,09 |
| Na ₂ O | 1,52 | 0,69 | 0,75 | 0,69 | 0,60 | 0,83 | 0,84 | 0,26 | 0,22 | 0,24 | 0,41 | 0,12 |
| K ₂ O | 2,54 | 1,08 | 3,26 | 3,04 | 2,87 | 2,79 | 2,02 | 2,71 | 2,54 | 2,62 | 3,86 | 0,54 |
| Al | 48,7 | 20,5 | 53,5 | 52,6 | 0 | 49,1 | 37,1 | 0 | 0 | 0 | 15,2 | 8,9 |
| A | 5,8 | 0,8 | 5,4 | 4,9 | 2,7 | 5,9 | 3,4 | 3,1 | 2,7 | 3,1 | 2,1 | 0,2 |
| C | 1,1 | 2,8 | 0,1 | 0,4 | 5,1 | 0,7 | 2,0 | 5,2 | 4,2 | 5,9 | 0,2 | 0,4 |
| Fm | 13,1 | 16,4 | 14,5 | 14,7 | 12,2 | 13,4 | 14,6 | 11,7 | 13,1 | 11,0 | 17,7 | 19,4 |
| n | 3,7 | 4,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 2,3 | 3,0 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,8 |

Tabelle VIII. Tonschiefer usw. mit Kalivormacht. n bleibt zumeist weit unter 5, und dabei ist A im Durchschnitt höher, als bei Tabelle VI. Der Tonerdeüberschuß verschwindet nur bei hohem Kalkgehalt oder ist in diesem Falle niedrig. Wenn C nicht über 2,5 geht, beträgt der Tonerdeüberschuß immer über 50%. Über 70% Tonerdeüberschuß ist selten und dann stets mit hohem Magnesiumgehalt gepaart. Der Magnesiumgehalt ist durchschnittlich höher als bei den Tonen der Tabelle VI. Wird n gleich Null, so ist der Magnesiumgehalt stets sehr groß. Das Eisenoxydul erscheint im allgemeinen gegenüber dem Oxyd reichlich.

Grauwacken mit K-Vormacht.

Tab. IX.

Tab. IXa.

| | 121. | 120. | 183. | 184. |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 83,43 | 89,87 | 78,22 | 87,72 |
| Al ₂ O ₃ | 3,61 | 3,57 | 10,44 | 3,41 |
| Fe ₂ O ₃ | — | — | 2,84 | 3,21 |
| FeO | 3,42 | 3,87 | — | — |
| MgO | 2,51 | 0,91 | 4,59 | 2,53 |
| CaO | 6,41 | 0,65 | 0,51 | 0,87 |
| Na ₂ O | 0,32 | 0,27 | 1,15 | 0,83 |
| K ₂ O | 0,32 | 0,88 | 2,25 | 1,43 |
| Al | 0 | 50,0 | 62,6 | 8,2 |
| A | 1,0 | 3,5 | 5,0 | 4,0 |
| C | 9,9 | 2,0 | 0,8 | 1,5 |
| Fm | 9,1 | 14,5 | 14,2 | 14,5 |
| n | 5,0 | 2,4 | 3,4 | 3,7 |

Tabelle IX. Grauwacken mit Kalivormacht. n ist schwankend. Bei niedrigem n ist ein verhältnismäßig großer Tonerdeüberschuß vorhanden, wenn nicht gleichzeitig großes C zugegen ist. A ist im allgemeinen klein, und der Eisenoxydulgehalt hoch. Das sind Verhältnisse, wie sie für unverwittertes Material charakteristisch sind. Es nähern sich diese Gesteine mit Kalivormacht jedoch mehr den Lössen, d. h. sie sind stärker zersetzt als die mit Natronvormacht.

Bei den Eruptiven mit mehr als 5% Tonerdeüberschuß ist noch eine andere zu den Sedimenten gegensätzliche Tatsache zu bemerken, nämlich das Verhältnis der Summe der Alkalien zur Tonerde. Unter den Tiefengesteinen haben 13, also 6,2%, unter den Ergußgesteinen 14, also 3,4% und unter den Ganggesteinen 4, also 2,5%, einen über 5% betragenden Tonerdeüberschuß. Von den ersteren haben nur 4, also noch nicht 2% $2(K_2O + Na_2O) < Al_2O_3$, und unter diesen ist nur ein einziges mit Kalivormacht, während eines alkalifrei ist. Von den Ergußgesteinen sind es 5 Analysen, also 0,8%, bei denen $2(Na_2O + K_2O) < Al_2O_3$ ist, und alle haben Natronvormacht. Bei den hierhergehörigen Ganggesteinen ist bei einem einzigen also bei 0,6% $2(K_2O + Na_2O) < Al_2O_3$; es hat Kalivormacht. Bei den Sedimenten haben nur 16 Analysen, also etwa 13% $2(K_2O + Na_2O) < Al_2O_3$, und unter diesen sind 5, also 4% aller, Grauwacken, die ja im wesentlichen aus unverwittertem Eruptivmaterial bestehen. Es wird aber auch noch das kontaktmetamorphe Gestein Nr. 61, sowie 78 ein stark veränderter Kalkschiefer, 67 ein verkieselter Schieferton und 55 ein Eisenstein auszuschalten sein. Von den verbleibenden Gesteinen haben die An. 49, 64, 118, 59 einen über 5% betragenden Tonerdeüberschuß, drei 90, 98, 107 sind durch Kalivormacht neben großem Gehalt an alkalischen Erden als Sedimente charakterisiert.

Wir werden nachher sehen, wie man auf Grundlage dieser Verschiedenheiten eine Projektion der Analysen der Sedimente und Eruptiven zustande bringen kann, welche die Gesteine von zweierlei Entstehungsart fast ganz voneinander scheidet.

Zuvor aber sei es gestattet, noch einmal in kurzen Zügen das Zustandekommen der Eigentümlichkeiten der tonigen Sedimente zu schildern: Diese Gesteine sind ja im Grunde nichts weiter als die Verwitterungsprodukte der Eruptiven. Deren Verwitterung verläuft nun so, daß zunächst ein Verlust an alkalischen Erden und gleichzeitig eine Oxydation des Eisenoxyduls eintritt. Erst später tritt der Verlust der Alkalien auf, und zwar so, daß im ersten Falle das Magnesium (vgl. SCHERING 17), im zweiten das Kali am langsamsten verschwindet. Mit der Abnahme der alkalischen Erden und Alkalien tritt auch eine Hydratisierung der vorhandenen Silicate, bzw. der Kieselsäure ein. Somit kommt es bei weiter fortgeschrittenen Stadien der Zersetzung einerseits zur Bildung von Alkali- und Erdalkalisalzen, die gelöst mit dem gebildeten Kieselsäuresol weggeführt werden, und andererseits zu einem Rückstand mehr oder minder hydratisierter, teils lyophober kolloider, teils krystalloider Verwitterungssilicate, die im wesentlichen frei von Alkalien und Erdalkalien sind und fast nur aus Kieselsäure und Aluminiumoxyd (also Ton, Laterit usw.) bestehen, aber mit dem neugebildeten Eisenhydroxyd gemengt sind. Diese Vorgänge verlaufen wie geschildert natürlich nur bei der Einwirkung kohlenensäure- und sauer-

stoffhaltiger Gewässer, und man hat dabei in der unten angeführten Reihenfolge (CLARKE 6) zu erwarten:

| Anreicherung | Verarmung |
|-------------------------|-----------------------|
| an H_2O | an FeO |
| Al_2O_3 | CaO |
| Fe_2O_3 | Na_2O |
| SiO_2 | MgO |
| | K_2O |
| | SiO_2 |

Alle Teile, ob kolloid oder krystalloid, sind von außerordentlicher Feinheit. Wir sehen hierbei natürlich ab von unzersetzten oder unzersetzbaren (Quarz) Mineralien. Erfolgt nun Transport und Wiederabsatz, so hat man zu unterscheiden zwischen Wind- und Wassertransport und bei dem letzteren noch zwischen Süßwasser und Salzwasser. Windtransport führt zwar zu einer Saigerung nach der Korngröße, aber nicht zu einer Änderung des chemischen Bestandes, wofern nicht Staubteilchen verschiedener Herkunft gemischt werden, was natürlich bei weitem Transport leicht eintritt. Anders ist es mit Wassertransport, bei dem ebenfalls eine Saigerung nach der Korngröße eintritt.

Im Süßwasser, will sagen sehr salzarmen Wasser, erfolgt der Absatz feinsten Sandes getrennt, früher als der der Tonpartikelchen, im Salzwasser fallen sie durch Koagulation gleichzeitig aus. Beim Ausfallen des krystalloiden Sandes werden aber kolloide Substanzen adsorbiert, die teils organischer, teils unorganischer Natur sein können. In gleicher Weise werden aber von den kolloiden Verwitterungssilicaten gelöste Krystalloide adsorbiert, und zwar in erster Linie Kalium, dann Magnesium, dann Calcium und endlich Natrium. Natürlich hängt die Menge der adsorbierten Metalle auch von der Konzentration in der Lösung ab, aber die Auslese findet sehr stark zugunsten des Kaliums statt. Es scheint, daß beim Fossilisationsprozeß dieser Vorgang seine Fortsetzung findet, daß immer mehr das Natrium und Calcium durch Kalium ersetzt werden. Bis zu welchem Stadium dies geht, d. h. wann das Sediment an Kalium gesättigt ist, kann heute noch nicht mit Sicherheit gesagt werden, doch zeigen bei den Gesteinen mit Kalivormacht insbesondere die Tonschiefer gar häufig, ja zum größten Teil zwischen Alkali und Tonerde annähernd das Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 3, wie wir es von den Glimmern kennen. Damit geht beim Altern offenbar häufig ein Verlust des Calciumcarbonates durch Auslösung konform. Weiter tritt beim Altern vielleicht infolge der Gegenwart organischer Kolloide wieder eine Anreicherung des Eisenoxyduls gegenüber dem Eisenoxyd ein, da ja das einsinkende Wasser schon in geringer Tiefe frei von Sauerstoff ist (CLARKE 6). Endlich wird wohl mit dem Altern ein Übergang aus dem kolloiden in den krystalloiden Zustand verknüpft sein, wodurch eine Verhärtung des Sedimentes bedingt wäre. Dieser Vorgang kann sich schneller

oder langsamer vollziehen je nach Art der Kolloide, nach den Druck- und Temperaturverhältnissen; er kann aber auch eine Verzögerung erfahren, wenn Schutzkolloide vorhanden sind, oder Durchtränkung mit peptisierenden Lösungen stattfindet.

Es erübrigt eigentlich, noch ein Wort darüber zu sagen, daß die Sedimente aus mehr oder weniger zersetztem Eruptivmaterial bestehen können, daß gleichzeitiger Absatz verschieden gebildeter Produkte stattfinden kann, daß wieder aufbereitete fossile Sedimente aufs neue einen analogen Prozeß durchmachen, daß endlich die Disharmonie zwischen dem Mengenverhältnis der Alkalien im Meerwasser und in den Salzlagern einerseits und in den Eruptiven andererseits in dem Verhalten der Tongesteine ihre Erklärung findet.

Kehren wir nun zurück zu den Eigenschaften, in denen sich die Sedimente von den Eruptiven unterscheiden, so sehen wir folgendes:

| Sedimente: | Eruptive: |
|---|--|
| 1) meist mehr als 5% Tonerdeüberschuß, | 1) meist weniger als 5% Tonerdeüberschuß, |
| 2) meist Kalivormacht, | 2) meist Natronvormacht, |
| 3) bei Kalivormacht und mangelndem oder kleinem Tonerdeüberschuß großes C und stets $2(K_2O + Na_2O) \cong Al_2O_3$, | 3) bei Kalivormacht und mangelndem oder kleinem Tonerdeüberschuß kleines C und stets $2(K_2O + Na_2O) > Al_2O_3$, |
| 4) bei Natronvormacht und mangelndem oder kleinem Tonerdeüberschuß meist sehr großes C und $Al_2O_3 < CaO$. | 4) bei Natronvormacht und mangelndem oder kleinem Tonerdeüberschuß meist kleineres C und stets $Al_2O_3 > CaO$. |

Diese Verhältnisse gestatten eine auch anderwärts von mir schon ähnlich wiedergegebene Projektion der Analysenresultate¹⁾ (13), die eine fast reinliche Scheidung der tonigen Sedimente von den Eruptiven herbeiführt.

Man legt zwei gleichseitige Dreiecke mit einer Seite aneinander und bezeichnet die eine der beiden zusammenfallenden Ecken mit A (Alkalien), die andere mit C (Kalk) und die dritten nicht zusammenfallenden Ecken mit Fm (Eisen + Magnesium). Wir verwenden als Werte A, C, Fm, die in den Tabellen I—IX berechneten und wiedergegebenen Zahlen und berechnen sie ähnlich für die Eruptiven. Hierauf tragen wir in das eine, oben liegende Dreieck alle Analysen mit Kalivormacht ein, bei denen zugleich $2(K_2O + Na_2O) \cong Al_2O_3$ ist, von den Gesteinen mit Natronvormacht hingegen nur diejenigen, welche einen über 5% betragenden Tonerdeüberschuß haben, und von den Gesteinen ohne Tonerdeüberschuß nur diejenigen, bei denen $Al_2O_3 < CaO$ und $C > 9$ ist.

Bezeichnet man weiterhin dann alle Gesteine mit Natronvormacht durch ein Kreuz, die mit Kalivormacht durch einen Punkt, Tonüberschuß durch einen Ring, so erhalten wir eine gute Übersicht über die

¹⁾ Vgl. auch Verhandl. d. Ges. d. Naturforscher und Ärzte 1912.

chemischen Verhältnisse der Sedimente einerseits und über deren Vergleich mit den Eruptiven andererseits.

Die Eruptiven füllen im wesentlichen die drei Felder des unteren Dreiecks, welche an der Ecke Fm und zwischen dieser und A gelegen sind aus, und nur die Anorthosite liegen an C zwischen Fm und C. Die Sedimente hingegen liegen mit ganz wenigen Ausnahmen in dem oberen Dreieck, und zwar erfüllen sie im wesentlichen die beiden Felder an der Fm-Ecke, nur die carbonatreichen Gesteine rücken in die beiden zwischen Fm und C gelegenen Felder. Die wenigen Sedimentanalysen, welche in das Dreieck der Eruptiven entfallen, sind entweder tuffogene Sedimente oder unvollkommene zersetzte Eruptive (roter Tiefseeton, Grauwacken, Löße). Mit dem Hinrücken der Eruptiven gegen die C-Ecke nimmt die Tonerde sehr stark zu, mit dem Hinrücken der Sedimente gegen die C-Ecke nimmt dagegen der Tonerdegehalt sehr stark ab.

Es sei mir noch gestattet, mit wenigen Worten auf die Beziehung dieser Projektion zu den metamorphen Sedimenten hinzuweisen. Gesteine mit Tonerdeüberschuß werden Neigung haben, Aluminiumsilicate zu bilden, Gesteine, welche den Feldern zwischen Fm und A angehören, werden Alkali- und Erdalkali-Aluminiumsilicate zu enthalten vermögen, Gesteine, welche sich in den Feldern an der Linie Fm—C befinden, werden reine Erdalkali- und Eisensilicate oder -carbonate beherbergen.

Erst nachdem die vorliegende Arbeit fast vollendet war, kamen mir Bedenken wegen der verhältnismäßig geringen Anzahl der Analysen, und so habe ich noch mehr als 70 zusammengestellt und zu meiner Freude gesehen, daß eine völlige Übereinstimmung mit dem vorher Gefundenen stattfand. Diese nachträglich aufgenommenen Analysen sind in den oben angeführten statistischen Zusammenstellungen nicht enthalten und darum den entsprechenden Tabellen als IIa usw. beigegeben.

Erklärung zur umstehenden Projektion.

Soweit nicht durch das Obige bereits eine Erklärung gegeben ist, sei nachfolgendes bemerkt: Die Zahlen der Sedimentanalysen sind kursiv (nach rechts geneigt), die der Eruptiven nach links geneigt. Tonerdeüberschuß ist bei den Sedimenten durch einen Ring, bei den Eruptiven durch ein Dreieck kenntlich gemacht. Ein Punkt bei der Zahl bedeutet Kalivormacht, ein Kreuz Natronvormacht, weder Punkt, noch Kreuz im Ring ein alkalifreies toniges Sediment.

Die Analysenzahlen bei den Sedimenten beziehen sich auf die beigelegten Tabellen I—IX, die der Eruptiven auf OSANNs Zusammenstellung der Tiefengesteine, und zwar die Nummern 1—21 in der Projektion auf die Nummern 1, 11, 21, 31 usw. je um 10 mehr bei OSANN, Nummer 16a ist An. 149 bei OSANN. So sind 1—5 Granite, 6—8 Syenite, 9—11 Eläolithsyenite usw., 12—15 Diorite, 16, 16a Anorthosite, 17 Gabbro, 18—20 Theralith, Essexit usw., 21 Pyroxenit.

A + Fm + C = 20. A = Alkalien, C = Kalk, Fm = Eisenoxydul + Magnesia.

Analysenverzeichnis.

1. Roter Tiefseeton. Mittel aus 51 Anal. nach Abzug des wasserlöslichen Anteils. CLARKE, S. 231.
2. Terrigener Ton aus Tiefen von 240—2120 Faden. Mittel aus 52 Anal. nach Abzug des wasserlöslichen Anteils. CLARKE, S. 231.
3. u. 4. Toniger Rückstand aus einem Kalkstein, Lexington, Virg., und Staunton, Virg., Clarke, S. 222.
5. Ton, Hamilton Co. Flor. S. 222.
6. Kaolin, Greenville, Alab., S. 223.
7. Ton, Scoopa, Mississ. S. 224.
- 8, 9. Ton, Johnston quadrangle Penns. S. 221.
10. Ton, South Windsor, Conn. S. 220.
11. Ton, West Hartford, Conn. S. 220.
12. Glazialton, Still river, Mass., S. 219.
13. Ton, Haydens Point, Maine, S. 219.
- 14—16. Tonschiefer, Hampton Village, Granville und Janesville, N. Y. S. 212.
17. Virginiaschiefer, Minnes. S. 215.
18. Schieferton, Mansfield, Michig. S. 215.
- 19, 20. Schiefer, Penokeeserie, Wisc. S. 215.
21. Pink-Schiefer Menomineedistrict, Mich. S. 215.
22. Schiefer, Hazell dell quarry, Pens. S. 213.
23. Grüne Schmitzen im roten Schiefer 56. S. 213.
24. Purpurne Streifen im Vorhergehenden. S. 213.
25. Schieferton, Bayley Canyon, Calif. S. 218.
- 26, 27. Schiefer, Poultney und Castleton, Vermont. S. 211.
28. Ton, Charleston, S. Carol. S. 222.
- 29—35. Ton, Melborne Creek, Tampa, Lakeland, Lake Co., Bartow, Junction und Ocala, Florida. S. 222, 223.
36. Toniger Rückstand aus Dolomit, Morrisville, Alab. S. 224.
37. Löß. Vicksburg, Mississ. S. 224.
38. Ton, Scooba, Mississ. S. 224.
- 39—41. Ton, Anne Arundel Co. (Severn riv.), Anne Arundel Co. (Magothy riv.), Fort Washington Bluff, Maryl. S. 221.
- 42, 43. Northumberland Co, Penns. S. 221.
44. Ton aus Sericitschiefer entstanden. South Mountain, Penns. S. 221.
- 45, 46. Ton, Johnston quadrangle, Penns. S. 221.
- 47—49. Ton, Berlin, Newfield, New Haven, Conn. S. 220.
50. Glazialton, Lancaster, Mass. S. 219.
51. Ton, Thomaston brick yard, Maine. S. 219.
52. Tonschiefer, Granville, N. Y. S. 212.
53. Eisensteinschiefer, Mossmine, Mesabi Distr. Minnes. S. 216.
54. Schiefer der Penokeeserie, Wisc. S. 215.
55. Schiefer, vulk. Eisenform., Menominee distr. Michig. S. 215.
56. Roter Schiefer, Raceville, N. Y. S. 213.
57. Schieferton, Dry Gap, Georg. S. 214.
58. Schieferton, Hermosa, N. Mex. S. 214.
59. Tonschiefer, Longfellow mine, Ariz. S. 217.
60. Tonschiefer, Cherokee Co., Alab. S. 214.
61. Tonschiefer, (Contact mit Peridotit), Elliot Co., Kennt. S. 214.
62. Schieferfragment aus dem Peridotit, Elliot Co., Kennt. S. 214.
- 63—65. Schieferton, Bayley Creek und Arroyo del Cerro, Calif. S. 218.
66. Tonschiefer, Bayley Creek, Calif. S. 218.
- 67, 68. Schieferton, Bayley Creek (verkieselte) und Mariposa Co., Calif. S. 218.
- 69—75. Tonschiefer, S. Poultney, Benson, Pawlet, Poultney, Vermont. S. 211.

- 76, 77. Tonschiefer, Guilford, Hydeville, Vermont. S. 212.
 78. Kalkmergel, Arroyo del Cerro, Calif. S. 218.
 79. Schieferton, Arroyo del Cerro, Calif. S. 218.
 80—88. Tonschiefer, Lehesten (Thür.), Goslar (Harz), Prag, Wales, Kingsey (Can.),
 Christiania, Siegen, Hasselfelde (Harz), Steinach (Thür.), F. ZIRKEL, III, 750.
 89, 90. Ton, Henry Co., Illin. S. 225.
 91. Löß, Galena, Ill. S. 225.
 92. Ton, N. Ulm, Minnes. S. 225.
 93, 94. Ton, Dodgeville, Wisc. S. 225.
 95, 96. Ton, Cobb, Wisc. S. 225.
 97, 98. Milwaukee, Misc. S. 225.
 99. Löß, Kansas City, Miss. S. 226.
 100—104. Tone, Hot Springs, Arkansas. S. 226.
 (104 aus Versehen noch einmal als 119 aufgeführt.)
 105, 106. Ton, New Castle, Spearfish, S. Dakota. S. 227.
 107. Löß, Cheyenne, Wyom. S. 227.
 108—110. Löß, Denver, Highland, Wray (Concretion), Colorado. S. 227, 228.
 111—118. Ton, Davis ranch, Rock Creek, Red Creek Canyon, 2 Meilen S. 113., Near
 Canyon, 115 überlagernd, Jefferson Co., Jefferson Co. (lößähnlich), Colorado.
 S. 227, 228.
 119. = 104.
 120, 121. Grauwacke, Ramsbeck, Berghausen, Westf., ROSENBUSCH, Elem. S. 510.
 122—126. Grauwacke, Steinbach, Lehesten, Lobenstein, Wippra, Erläut. z. Spe-
 zialkarte.
 (Alle Seitenzahlen ohne Autor beziehen sich auf CLARKE (5).)

Ergänzung.

Umfaßt Analysen die nachträglich zusammengestellt und nicht in die Statistik mit einbezogen wurden.

127. Rhätton, Winkelhaid, KAUL.
 128. Rhätton, Wolfshöhe, KAUL.
 129. Kaolinknollen aus lehmiger Albüberdeckung (131), Steinbühl, KAUL.
 130. Liaston, Haimendorf, KAUL.
 131. Lehmige Albüberdeckung, Steinbühl, KAUL.
 132, 133. Bohnerzton, Herbolzheim, Ebringen, SCHWARZ.
 134. Rhätton, Kalchreuth, KAUL.
 135. Diluvialton, Steinplatte bei Nürnberg, KAUL.
 136. Laterit, Soeban Cladi, S.-Sumatra, LENZ.
 137, 138. Keupermergel, U.-Jessingen, WÜLFELING.
 139. Laterit, Soeban Cladi, S.-Sumatra, LENZ.
 140. Burgsandsteinletten, Erlangen, KAUL.
 141. Eluviallehm, Opalinuston, Au, KAUL.
 142. Laterit, Soeban Cladi, S.-Sumatra, LENZ.
 143. Blasensandsteinletten, Eltersdorf, KAUL.
 144. Opalinuston, Rothenberg, KAUL.
 145. Löß, Spardorf, KAUL.
 146, 147. Keupermergel, U.-Jessingen, WÜLFELING.
 148, 149. Rhätton, Großbellhofen, Heuchlinger Berg. KAUL.
 150. Liaston, Käswasser, KAUL.
 151. Zancledonletten, Ottensoos b. Lauf, KAUL.
 152. Liaston, Käswasser, KAUL.
 153. Zancledonletten, Heuchlinger Berg, KAUL.
 154, 155. Löß, Haida (Sachsen), Altkirch, WERLING.
 156. Löß, Wasenweiler, SCHERING.

- 157, 158. Löß, Umstadt (Hessen), Haarlaß b. Heidelberg, WERLING.
 159—161. Löß, Ringsheim, Wasenweiler, Ringsheim, SCHERING.
 162—169. Löß, Malagüeno (Argent.), Canadon von Pucara, Alvear, Talu, Rosario, Talu, Alvear (Argent.), Umstadt (Hessen), WERLING.
 170. Löß, Gottenheim, SCHERING.
 171—174. Löß, Höhnheim, Haidingsfeld, Langen-Weddungen, Mauer a. d. Elsenz, WERLING.
 175—179. Grauwacke, Lohra, Lohra, Altenkirchen, Heiliger Berg b. Roth., Erdhausen b. Gladenbach, WALTHER.
 180. Zechsteinkonglomerat, Sachsenberg, WALTHER.
 181—183. Grauwacke, Hermershausen, Oberstadtfeldt, Unkel a. Rhein, WALTHER.

Die Bildung der Dreikanter.

Von San.-Rat Dr. Wilhelm Pfannkuch (Cassel.)

(Mit 19 Textfiguren und Tafel X.)

In dem Bericht über die Versammlungen des Niederrheinischen geologischen Vereins vom Jahre 1911 findet sich ein Vortrag des Herrn L. LORIÉ-Utrecht über: »Die Bildung der Dreikanter«, aus dem hervorgeht, daß eine Einigung der Anschauungen über die Entstehung dieser interessanten Gebilde noch nicht erreicht ist. Während die einen den Hauptfaktor für die Bildung der Flächen und Kanten in der abschleifenden Wirkung des Sandflugs erblicken, heben die anderen die Präformierung der Kantengeschiebe durch die jedem Gestein eigentümliche Spaltbarkeit in verschiedenen Ebenen hervor und gestehen dem Windschliff nur eine sekundäre, nicht einmal immer förderliche Bedeutung zu.

Wenn ich als Laie mir erlaube, in dieser Frage das Wort zu ergreifen, so stütze ich mich dabei auf sorgfältige Beobachtungen, die ich bei wiederholtem Aufenthalt auf Sylt an den dort zahlreich zu findenden Kantern gemacht habe, und auf Grund derer ich zu der Überzeugung gekommen bin, daß die Winderosion die Hauptursache der Kantenbildung ist, und daß man, von dieser Annahme ausgehend, mit Hilfe einfacher physikalischer Gesetze die Entstehung einer jeden Kanterform leicht und ungezwungen erklären kann.

Die Kantengeschiebe finden sich in Sylt, gemischt unter anderes gewöhnliches Geschiebe, sowohl am Strand, hauptsächlich in einem Streifen, der der jeweiligen Flutgrenze entspricht, als auch in den Kiesgruben und Aufschlüssen im Innern der Insel, sowie in den Schichten, die in dem von Westerland zum Roten Kliff sich hinziehenden Steilabsturz der Küste zutage treten. Diesen Schichten entstammen auch die jetzt am Strand liegenden, vom Meere ausgeworfenen Kiesel, da ja bekanntlich ein Teil der Insel gegenwärtig vom Meere überflutet ist.

Diese Geschiebe sind in der Diluvialzeit mit dem Moränenschutt und Geschiebelehm der nach Süden vorrückenden nordischen Gletscher hierher transportiert und auf dem tertiären Kern der Insel abgelagert

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Linck Gottlob Eduard

Artikel/Article: [Über den Chemismus der tonigen Sedimente 289-311](#)