



BEITRÄGE  
ZUR  
**GEOLOGIE DER SCHWEIZ**

GEOTECHNISCHE SERIE, XVII. LIEFERUNG

HERAUSGEGEBEN MIT SUBVENTION DER EIDGENOSSENSCHAFT VON DER GEOTECHNISCHEN KOMMISSION  
DER SCHWEIZERISCHEN NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT

**Untersuchungen über die  
Gesteinsverwitterung  
in der Schweiz**

Von

**M. Gschwind und P. Niggli**

BERN

KOMMISSIONSVERLAG: GEOGRAPHISCHER KARTENVERLAG  
KÜMMERLY & FREY, BERN

1931

Buchdruckerei Aschmann & Scheller, Zürich



== Preis Fr. 18.— ==

BEITRÄGE  
ZUR  
**GEOLOGIE DER SCHWEIZ**

GEOTECHNISCHE SERIE, XVII. LIEFERUNG

---

HERAUSGEGEBEN MIT SUBVENTION DER EIDGENOSSENSCHAFT VON DER GEOTECHNISCHEN KOMMISSION  
DER SCHWEIZERISCHEN NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT

---

**Untersuchungen über die  
Gesteinsverwitterung  
in der Schweiz**

Von

**M. Gschwind und P. Niggli**

---

BERN

KOMMISSIONSVERLAG: GEOGRAPHISCHER KARTENVERLAG  
KÜMMERLY & FREY, BERN

1931

Buchdruckerei Aschmann & Scheller, Zürich

## Vorwort der Geotechnischen Kommission.

---

In der Sitzung der Geotechnischen Kommission vom 15. Dezember 1929 legten die Herren *M. Gschwind* und *P. Niggli* der Geotechnischen Kommission ein Manuskript über Untersuchungen der Gesteinsverwitterung in der Schweiz vor. In Anbetracht der Bedeutung dieser Untersuchungen für viele praktische Fragen, beschloß die Kommission den Druck in den Beiträgen. Das Untersuchungsmaterial ist deponiert im Mineralogisch-petrographischen Institut der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich.

Für den Inhalt von Text und Figuren sind die Verfasser allein verantwortlich.

Für die Geotechnische Kommission  
der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Der Präsident:  
Prof. Dr. P. Niggli.

Der Aktuar:  
Dr. E. Letsch.

## Vorwort der Verfasser.

---

Nachstehende Untersuchungen sollen eine erste Grundlage für die Frage der Bodenbildung und der Wetterbeständigkeit der Gesteine in der Schweiz liefern. Die Teile I—III sind zugleich Dissertation des Erstunterzeichneten, ausgeführt unter der Leitung des Zweitgenannten. Herrn Prof. Dr. *G. Wiegner* ist herzlich zu danken für das vom bodenkundlichen Standpunkt aus entgegengebrachte Interesse. Verwitterungsproben wurden in verdankenswerter Weise von Herrn Dr. *E. Truninger*, Vorstand der Eidg. Agrikulturchemischen Anstalt Liebefeld und von Herrn *P. Knoblauch*, damals Sekundarlehrer in Bellinzona, zur Verfügung gestellt.

Bei den Korrekturen und Berechnungen hat Herr Dr. *F. de Quervain* mitgeholfen.

Zürich, Mai 1931.

M. Gschwind.

P. Niggli.

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>I. Einleitung</b> ... ..	1
A. Allgemeines ... ..	2—5
1. Wichtige Agenzien der Verwitterung ... ..	2
2. Verwitterung und Bodenbildung ... ..	3
B. Methodisches ... ..	5—12
1. Mikroskopische Methode .. ..	6
2. Die Schlämmanalyse. Graphische Darstellungen ... ..	7
3. Chemische Analysen und deren Umrechnung ... ..	8
4. Kalkbestimmung ... ..	9
5. pH-Reaktionsbestimmung .. ..	9
6. Humusbestimmung ... ..	10
7. Aufnahme von Verwitterungsprofilen ... ..	10
8. Klimafaktoren ... ..	10
<b>II. Verwitterungsstudien an Sedimentgesteinen</b> ... ..	13
A. Verwitterung von losen Sanden ... ..	13—21
1. Flußanschwemmungen ... ..	13
2. Niederterrassenschotter ... ..	15
3. Hochterrassenschotter .. ..	16
4. Zusammenfassung ... ..	21
B. Verwitterung von Gesteinen aus dem Gebiet der Molasse und des Flyschs ... ..	21—35
1. Sandstein der untern Süßwassermolasse, Gränichen ... ..	22
2. Sandstein der marinen Molasse, Wangen a./A. ... ..	27
3. Mergeliger Sandstein der untern Süßwassermolasse, Bern .. ..	29
4. Mergelschiefer des Flyschs, Niesen ... ..	32
5. Zusammenfassung ... ..	35
C. Verwitterung von Kalksteinen ... ..	35—52
1. Kalkstein der Klus, Effingerschichten ... ..	35
2. Kalkstein der Wangenerschichten, Baden ... ..	40
3. Kalkmergel des obern Doggers am Stanserhorn ... ..	42
4. Schrattekalk des Bürgenstocks ... ..	44
5. Kalkstein von Ruvigliana bei Lugano (Lias) ... ..	46
6. HCL-Auszüge von zwei Profilen des Nationalparks ... ..	48
7. Zusammenfassung ... ..	48
<b>III. Verwitterungsstudien an Gesteinen des alpinen Kristallins</b> ... ..	53
A. Erste Verwitterungsstadien feldspat- und biotitreicher Gesteine ... ..	53—60
1. Gneis von San Vittore Lumino (Misox) ... ..	53
2. Angengneis von Val Morobbia bei Giubiasco ... ..	54
3. Biotitgneis von Giubiasco ... ..	75

	Seite
B. Erste Verwitterungsstadien feldspat- und hornblendereicher Gesteine ... ..	60—62
1. Amphibolit, Schloß Unterwalden, Bellinzona ... ..	60
2. Amphibolit, Monti Rodas, Roveredo ... ..	62
C. Verwitterung serizitreicher Gesteine, relativ arm an dunklen Gemengteilen ...	63—64
1. Verrucano, Allmend in Murg ... ..	63
2. Serizit-Biotitgneis, Amsteg ... ..	64
D. Bodenprofile auf silikatischen Gesteinen ... ..	65—76
1. Syenit, Etlital ... ..	65
2. Diorit, Etlital ... ..	67
3. Bodenbildung in den Alpen ... ..	69
4. Rofnaporphyr südwestlich von Andeer ... ..	72
5. Gneis nördlich von Comano bei Lugano .. ..	75
E. Zusammenfassung ... ..	76
<b>IV. Zusammenstellung der Bauschalanalysen und deren Molekularwerte von Verwitterungsproben aus der Schweiz</b> ... ..	<b>78</b>
1. Sedimente ... ..	78
2. Kristalline Gesteine ... ..	81
<b>V. Die Gesteinsverwitterung in der Schweiz im Vergleich zu derjenigen anderer Gebiete</b> . ... ..	<b>85</b>
1. Die Mineralverwitterung ... ..	85
2. Die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung ... ..	93
Zusammenstellung der Analysen ... ..	101
Zusammenfassung ... ..	127
<b>Literaturverzeichnis</b> . ... ..	<b>128</b>

# I. Einleitung.

Die Gesteine befinden sich nie in einem starren, unveränderlichen Zustande. Ihre Umbildung ist in keinem Zeitpunkt abgeschlossen. Zu derartigen Veränderungen gehören die Zersetzungserscheinungen der Lithosphäre, die durch die Einwirkung der Atmosphären und durch die Organistentätigkeit zustande kommen. Wir fassen alle diese Vorgänge unter der Bezeichnung Verwitterung zusammen.

In den nachfolgenden Ausführungen soll nach einer kurzen, allgemein orientierenden Erörterung über Verwitterung und Bodenbildung der Verlauf der Verwitterungsprozesse an einigen Vorkommnissen schweizerischer Gesteine dargelegt werden. Neben bereits bekannten werden neue Untersuchungen mitgeteilt. Noch befinden sich die Studien über Verwitterungserscheinungen und Bodenbildungen in der Schweiz in den Anfängen. Es wird aber immer mehr zu einer Notwendigkeit, unsere Bodenverhältnisse genauer kennenzulernen, geben doch solche Studien nicht nur theoretisch wertvolle Aufschlüsse; sie bieten bei weiterer Ausdehnung auch für den Praktiker wichtige Anhaltspunkte.

Aus dem Laboratorium von G. WIEGNER sind bereits mehrere Arbeiten über die Bodentypisierung in der Schweiz entstanden [siehe 65] und neuerdings hat P. NIGGLI [47] einige Anfangsstadien der Verwitterung untersucht. Graf zu LEININGEN (Natw. Ztschr. für Forst- u. Landw. 1909, 1912) beschäftigt sich hauptsächlich mit alpinen Böden während HARRASSOWITZ [23] vor kurzem Verwitterungsdaten aus dem Kanton Tessin und Graubünden veröffentlichte. Von H. BROCKMANN [11] liegt eine das Prinzipielle betreffende Bodenbeschreibung vor.

Die bereits untersuchten Einzelfälle ließen sich nach den verschiedenen klimatischen Daten, unter der die Verwitterung stattgefunden hat, zusammenfassen. Andererseits ist eine petrographische Einteilung nach dem Ausgangsmaterial möglich, wobei Gesteine des alpinen Kristallins und Sedimentgesteine in erster Linie auseinanderzuhalten sind. Letzterer Einteilung wurde der Vorzug gegeben, weil in den meisten Fällen das verwitterte Material, insbesondere in den Anfangsstadien der Bodenbildung, noch gut seine Herkunft nach Chemismus und Mineralbestand erkennen läßt. Schon durch den Kalkgehalt und durch das Bindemittel sind zudem die Sedimentgesteine gesondert zu behandeln. Unzweifelhaft spielt aber das Klima bei fortgeschrittenen Stadien der Verwitterung eine bedeutende Rolle. Das zeigen besonders die Hochgebirgsböden, verglichen mit denjenigen, welche bei geringerer Niederschlagsmenge, höherer Temperatur und bedeutender Humuszersetzung entstanden sind. Jedoch auch Leiningen, der Humusablagerungen auf Kalk- und Silikatgesteinen studiert hat, bemerkt, daß der Einfluß der Gebirgsart immer noch erkennbar sei.

Die petrographische Einteilung ist für die vorliegende Arbeit auch deshalb gegeben, weil sie sich weit vorwiegend mit den ersten Stadien der Gesteinsverwitterung befaßt. Sie soll nicht nur für die Fragen der Bodenbildung nutzbar gemacht werden, sondern soll auch zeigen, welche Zersetzungserscheinungen an zu Bauwerken verwendeten Gesteinen zu erwarten sind. Deshalb wurde versucht, möglichst das Verhalten der Einzelminerale im Verbandsstudium zu untersuchen.

## A. Allgemeines.

### I. Wichtige Agenzien der Verwitterung.

Die Verwitterungserscheinungen werden von vielen Faktoren beeinflusst; einige der hauptsächlichsten seien kurz erwähnt.

Die physikalischen Faktoren, wie Temperaturschwankungen, Frost, die mechanische Wirkung des Wassers, u. a. sind bei der Gesteinsaufbereitung nicht zu vernachlässigen. J. HIRSCHWALD<sup>1)</sup> glaubt sogar, daß deren Wirkung bei den Sedimentgesteinen, die den Atmosphären ausgesetzt sind, größer ist als die chemische. Durch sie erfolgt eine Zerkleinerung des Gesteinsmaterials, wobei durch die Vergrößerung der Oberfläche die Einwirkung von Lösungen rascher und intensiver erfolgen kann.

Eine bedeutende Rolle besonders in fortgeschrittenen Stadien der Verwitterung, kommt jedoch in unserm Klima stets den chemischen Agenzien zu. Die wichtigsten derselben sind Wasser, Kohlensäure, Sauerstoff, Humusstoffe, Salze und in speziellen Fällen auch Schwefelsäure, Rauchgase usw.

Wasser übt die erste Einwirkung auf die verwitternden Gesteine aus, indem es die Mineralien hydratisiert und die hydrolytische Spaltung einleitet.

Ueber die H-Ionen-Konzentration gibt uns die Azidität Auskunft.<sup>2)</sup>

Sie orientiert uns nicht nur über das Fortschreiten der Verwitterung (zunehmende saure Reaktion mit dem Alter), sondern sie ist ausschlaggebend für die biologischen Bodeneigenschaften und die damit verbundene Fruchtbarkeit im Boden. Es erscheint indessen merkwürdig, daß zwischen ihr und dem Humusgehalt keine engern Beziehungen bestehen.

Der Einfluß der H-Ionen macht sich in der Bodenbeschaffenheit bemerkbar, indem diese Ionen von kolloidem Ton und Humus adsorbiert werden und durch Basenaustausch die übrigen Kationen verdrängen. Die Kationen wandern alsdann in die Tiefe, wodurch die Oberfläche an Pflanzennährstoffen verarmt und physikalisch der Dispersitätsgrad geändert wird.

Die Geschwindigkeit, mit der die Reaktionsänderung vor sich geht, ist von Niederschlag, Temperatur und Verdunstung abhängig. So ist es oft möglich, aus dem Verlauf der Reaktion im Bodenprofil abzulesen, ob das Klima arid oder humid ist. Sind die obern Horizonte saurer als die untern, so ist normalerweise das Klima humid, sind die erstern dagegen alkalischer, so liegt, unberührter Boden vorausgesetzt, arides Klima vor. Der saure Boden überwiegt also in niederschlagsreichen, der neutrale bis alkalische Boden dagegen in trockenen Gebieten.

In der Schweiz [28] findet man

für kalkhaltige Böden . . . .	pH zirka	7,2
für Tonböden	} ohne CaCO <sub>3</sub> . .	pH „ 5—6
für Sandböden		
für saure Humusböden . . . .	pH „	4—5

Infolge der großen Niederschlagsmengen beobachten wir in der Schweiz häufig eine Versäuerung des obern Horizontes (Podsolierung). Bei kalkhaltigen Böden wird infolge der guten Pufferung die H-Ionenkonzentration nicht so rasch ansteigen können. Daß aber auch in kalkhaltigem Gestein pH unter 7 sinken kann, werden wir noch an mehreren Beispielen festzustellen haben.

Daß die Temperatur, mit der auch der Dissoziationsgrad des Wassers rasch zunimmt, auf den Verwitterungsverlauf großen Einfluß hat, läßt sich aus den verschiedenen Typen der Bodenbildung, wie sie K. GLINKA [21] bodenkundlich-hydrologisch unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsgrades aufgestellt hat, und aus der rein klimatischen Einteilung der Böden in aride und humide mit allen ihren Übergängen nach G. WIEGNER [64] erkennen.

<sup>1)</sup> Hirschwald, J. Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung. 1920.

<sup>2)</sup> Eine neutrale wässrige Lösung enthält gleich viele H- und OH-Ionen (H<sub>2</sub>O besitzt z. B. bei 18° 0,85 · 10<sup>-7</sup> Gramm-äquivalente im Liter). In sauren Lösungen sind nun mehr Grammäquivalente H-Ionen vorhanden, in alkalischer Lösung sind es weniger. Eine neutrale Lösung wird mit pH 7 bezeichnet, wobei pH negativer Briggscher Logarithmus der Wasserstoff-Ionenkonzentration ist, ausgedrückt in Grammäquivalenten im Liter. pH-Zahlen kleiner als 7 bedeuten, daß der Boden sauer reagiert. pH-Zahlen größer als 7 weisen auf alkalische Böden hin [28].

Der Einfluß der Kohlensäure auf die Verwitterung ist kein so bedeutender, wie der des Wassers. Schon die Tatsache, daß die Verwitterung in warmem Klima, bei dem doch die Kohlensäure im Wasser in geringerer Konzentration vorhanden ist, rascher und intensiver verläuft, ist nicht mit der frühern Annahme in Einklang zu bringen, daß Kohlensäure ausschlaggebender Faktor bei der Verwitterung sei.

Wie der Kohlensäure, so ist auch den Humusstoffen nur eine sekundäre Wirkung zuzuschreiben. Es ist nicht daran zu zweifeln, daß Humusstoffe mehr oder weniger kolloide Medien sind. Für den leichten Boden ist der Humus der Regulator der Wasserführung; ohne ihn hätte derselbe eine geringe Wasserkapazität. Die bei der Zersetzung entstandene Kohlensäure wirkt besonders auf das Karbonat ein und führt dieses in seine lösliche Form über. Bei nicht vollständigem Abbau entsteht dann der Humus, der aus kolloider Struktur organischer Komplexe besteht, welche Oberflächen besitzen, die sich wie Säurereste verhalten. Wiegner versteht übrigens unter Humus alle Komplexe, welche im Boden an der Schutzwirkung beteiligt sind.

Untersuchungen von Niklas [43] haben ergeben, daß Humusstoffe für sich allein Silikate nur in geringem Maße angreifen. Erst wenn die Silikate durch Wasser hydrolytisch gespalten sind, können die Humusstoffe ihre Wirkung äußern. Ein Effekt, der sich in humosem Boden oft geltend macht, ist der Vorgang der Reduktion; Eisenoxydsalze werden wieder in Ferroform übergeführt.

Die Hauptwirkung, welche den Humusstoffen zukommt, ist jedoch die, daß sie in hochdispenser, adsorptiv ungesättigter Form Schutzkolloide bilden, wodurch die Stabilität der Sole bedeutend erhöht wird. Daher kommt ihnen, wenn sie sauer reagieren, die Fähigkeit zu, Gesteine anzubleichen (Podsol). Eisen, Tonerde, Phosphorsäure werden durch Humusstoffe beweglich. Auf diese Weise erklärt sich ROTHER [53] die Entstehung eines Ton-Eisenortsteins. Die Bewegung von Eisen und Tonerde, welche vom Standpunkt der Bodenkultur eine oft störende Verwitterungserscheinung im Boden darstellt, ist in der Bildung von geschütztem Eisen- und Tonerdesol zu suchen. Die Wiederauscheidung dieser Kolloidgele erfolgt durch die Gegenwart von kohlensaurem Kalk (ein zweiwertiger Elektrolyt fällt stärker als ein einwertiger) oder infolge Konzentrationserhöhung in der Verwitterungszone durch zunehmenden Elektrolytgehalt und durch die fortschreitende Verdunstung der Bodenlösung.

BLANCK, GEILMANN, KLANDER und ZAPF [8, 33, 67], welche Verwitterungslösungen und Krustenbildung im Buntsandstein untersuchten, glauben, daß Schwefelsäure, deren Schwefel aus den organischen Pflanzenmaterialien stammt, bedeutend größere Verwitterungserscheinungen auslöse als die viel schwächer wirksamen Humussäuren, denen oft solche Einflüsse zugeschrieben werden. In den zu besprechenden Verwitterungsproben konnte kein bedeutender Schwefelsäureeinfluß bei der Verwitterung festgestellt werden.

## 2. Verwitterung und Bodenbildung.

Wenn sich in Frühstadien der Verwitterung der Verlauf der Verwitterungsprozesse zum größten Teil von den petrographischen Verhältnissen abhängig zeigt, so wird bei ältern Böden hauptsächlich das Klima für den Endablauf der Prozesse verantwortlich gemacht werden müssen. Es bilden sich schließlich Bodenprofile aus, die für bestimmte Gebiete als Ganzes charakteristisch sind (ektodynamorphe Böden im Gegensatz zu endodynamomorphen, bei denen die Eigenschaften noch stark vom Muttergestein abhängig sind).

Die Einteilung der Böden wurde früher hauptsächlich nach den geologisch-petrographischen Verhältnissen vorgenommen. Es sei z. B. an die Bezeichnungen von Buntsandsteinboden, Muschelkalkboden usw. erinnert. Diese Ansicht hat für unfertige Böden größte Berechtigung, muß aber von einer mehr klimatischen Klassifizierung, wie sie RAMANN, GLINKA, STREMMER<sup>1)</sup> und neuerdings JENNY [29] für die Schweiz in Bodenkarten zum Ausdruck bringen, abgelöst werden, sobald ein ektodynamorpher Boden vorliegt.

Daß im Boden neben den rein chemischen die kolloidchemischen Verhältnisse von größter Bedeutung sind (G. WIEGNER definiert den Boden als grob- und kolloid-disperses System, das auch maximal-

<sup>1)</sup> *Krische, P.* Bodenkarten und andere kartographische Darstellungen der Faktoren der landwirtschaftlichen Produktion verschiedener Länder. Berlin 1928.

disperse Substanzen enthält, wobei Wasser und Luft Dispersionsmittel sind), zeigen uns besonders die Adsorptionerscheinungen. Die oft gemengten Gele von  $\text{Al}(\text{OH})_3$  und Kieselsäure mit ihren Ionschwärmen der Oberfläche halten unter vergleichbaren Verhältnissen das Kaliumkation fester als das Na- und Ca-Kation. Kalium bleibt als oft adsorptiv zurück, während Na und Ca in Lösung abfließen. Die Erscheinung macht sich in der Praxis so geltend bemerkbar, daß bei reichlicher Salpeter- oder Kalidüngung der Boden entkalkt wird.

Da aber für unsere humiden Verhältnisse Feldspat, besonders aber Muskovit, zum Teil auch Augit, Hornblende, Biotit und andere Mineralien relativ widerstandsfähig sind, darf bei einer Anreicherung von  $\text{K}_2\text{O}$  in den Analysen unfertiger Böden jedoch nicht immer auf Adsorption durch Austauschgele geschlossen werden.  $\text{K}_2\text{O}$  reichert sich oft, infolge der schweren Zersetzbarkeit der Kalimineralien, relativ an. Dies mag für andere Komponenten ebenfalls gelten, besonders für Mg.

In der Schweiz sind die Böden als relativ jung zu bezeichnen. Reife Profile, wie sie z. B. von skandinavischen und russischen Forschern beschrieben werden, sind selten. Für die Bodentypen sind, wie die Namen besagen, bestimmte Farbenfolgen in den Profilen als bezeichnend angenommen worden. Auf Grund der Farbänderungen, mit Berücksichtigung des Chemismus, können wir in einem Bodenprofil oft einen

Illuvial- oder Einspülhorizont von einem  
Eluvial- oder Auswaschhorizont

auseinanderhalten. Darunter liegt das frische Gestein. Der Auswaschhorizont wird mit A, der Einspülhorizont mit B und das unverwitterte Gestein mit C bezeichnet. Wenn sich die Horizonte noch weiter nach Farben oder chemischen und physikalischen Eigenschaften unterteilen lassen, so pflegt man zu den Buchstaben die Ziffern 1, 2 usw. hinzuzufügen.

In unserm humiden Klima treffen wir den Eluvialhorizont über dem Illuvialhorizont ausgebildet. Es findet also ein Wandern der Lösungen nach unten statt. Im ariden Klima hingegen liegen die Verhältnisse umgekehrt. Zur Bezeichnung der Horizonte waren meistens die Farben maßgebend. Da geringe Mengen z. B. von Eisen oder Humus, zumal bei Feuchtigkeits-, Dispersitäts- und Temperaturveränderungen, bedeutende Farbverschiedenheiten zur Folge haben können, sind jedoch Fehlschlüsse nicht zu vermeiden. Zur Charakteristik des Bodentypus sollten vor allem auch chemische und mineralogische Daten verwendet werden.

Bei dem Vergleich der Analysen ergibt sich von selbst, daß dieselben glühverlustfrei berechnet werden müssen. Wie im methodischen Teil erwähnt wird, können wir mit Hilfe von Molekularwerten die chemischen Verschiebungen in den einzelnen Verwitterungsstadien gut überblicken.

Die hauptsächlichsten Bodentypen, welche in der Schweiz zu finden sind, sollen nur kurz skizziert werden.

Eine weitverbreitete Bodenart, mit mäßigem Gehalt an koaguliertem Humus (2—50%), reichem Gehalt an kolloiden Austauschzeolithen, ist die Braunerde. Sie ist charakteristisch für die Region der winterkahlen Laubbäume. RAMANN hat den Begriff Braunerde für Produkte eines gemäßigten Klimas mit mittelstarker Auswaschung eingeführt. Die löslichen Salze, einschließlich Sulfate und Karbonate, sind in den obersten Horizonten zum Teil entfernt. Hingegen färben Humus und Eisenhydroxyd, das mit Tonerdehydroxyd und Phosphorsäure nur wenig ausgewaschen wird, den Boden gelb, braun, oft dunkelbraun.

Die Braunerde entsteht im allgemeinen bei einer Niederschlagsmenge von 500—600 mm, im gemäßigten Klima bei 8—9° C Jahresmittel. Dies gewährleistet zu den Zeiten günstiger Sommertemperatur die mikrobiologische Zersetzung und hat einen nur mäßigen Humusgehalt von 2—5% zur Folge. Der Humus ist absorptiv gesättigt; er liegt in Krümelstruktur vor und ist daher locker. Durch seinen relativ geringen Einfluß (bei mäßiger Menge) auf die Bodeneigenschaften, kommt die Natur der mineralischen Bestandteile noch stark zur Geltung. Der Boden ist endodynamomorph, was an mehreren Beispielen im speziellen Teile dieser Arbeit gezeigt werden kann. Braunerde wird vor allem, wie dies auch JENNY in der Bodenkarte zum Ausdruck bringt, im Mittelland angetroffen. Sie ist besonders dort zu finden, wo Laubwald vorherrscht. Wie H. BURGER [13] schon festgestellt hatte, entwickelt sich das Profil unter Nadelwald weiter zum Podsol. Ob wir indessen stets scharf Braunerde, podsoligen Boden oder Pod-

solboden voneinander trennen können, werden erst weitere Untersuchungen zeigen. Die Begriffe sind ja auch so definiert, daß Übergänge möglich sind.

Geht die Auswaschung weiter, derart daß wir von einem Boden mit starker Umlagerung der Sesquioxide unter Ausbildung eines weißen ausgebleichten Horizontes sprechen können, so nennen wir den Bodentyp Podsol. Im Felde läßt er sich sofort durch das Auftreten eines Bleicherdehorizontes erkennen. Dieser ist aber in unserm Klima selten gut ausgebildet. Wir haben es oft nur mit podsoligen, nicht mit Podsolböden zu tun. Es wird dann nötig, die Farbvertiefung des darunterliegenden Ortsteins zu beachten.

Da wir aus mehreren Klimadaten der Schweiz folgern können, daß unser Klima als vorwiegend humid anzusehen ist, — in den Hochalpen sogar perhumid, — ergibt sich bei der Bodenbildung auf silikatischem Gestein die Tendenz zur Podsolierung von selbst. Wenn Podsol noch nicht überall entwickelt ist, so beruht dies auf der Gesteinsbeschaffenheit, der Wasserdurchlässigkeit, dem Kalkgehalt und den Vegetationsbedingungen. Es ist deshalb vorteilhaft, von unsern jungen Böden, wie dies von G. WIEGNER getan wird, als von einem podsoligen Typus zu sprechen, der die unmittelbare Vorstufe zur eigentlichen Podsolbildung darstellt.

Die Bleicherde im Podsol weist oft eine relative Zunahme der Kieselsäure auf. Ein kleiner Teil davon kann aber, sofern es sich um Tonerdesilikat handelt, weggeführt werden. Demgegenüber steht eine Verminderung, doch keine vollständige Abfuhr von Eisen und Tonerde. Tonerde und Kieselsäure verhalten sich also umgekehrt. Phosphorsäure und die Basen werden ausgelaugt. AARNIO [2] macht auf das verschiedene Verhalten von Eisen und Tonerde aufmerksam. Während in Horizonten mit reichen Humus- und geringen Elektrolytmengen Eisenoxd auswandert und Tonerde (besonders in sandigem Boden) gefällt wird, vollzieht sich die gleichzeitige Ausfällung von Eisenoxd und Tonerde in Bodenhorizonten, welche arm an Humusstoffen, doch reich an anorganischen Elektrolyten sind. Im B-Horizont hingegen, in welchem nach HARRASSOWITZ [22] bis 90 % der in der Bleicherde gelösten Stoffe ausgefällt sind, und die einen Humus-Kieselsäure-Al-Oxyd-Fe-Oxyd-Komplex darstellen, werden die Basen und die Phosphorsäure in kleinen Mengen adsorbiert. Wenn auch Eisenortstein stark rot erscheint, ist in vielen Fällen die niedergeschlagene Eisenmenge an sich gering, die Anreicherung ist aber besonders für Tonerde und Eisenoxd charakteristisch. Sie scheint allmählich zu verlaufen. Nur dort, wo Humus-Eisenstoffe (Eisen, Tonerde+Humus als Schutzkolloid) in die neutrale Kalkzone gelangen, scheiden sie sich rasch aus und bewirken eine deutliche Rotfärbung.

Über Rendzina, Rendzinapodsol und alpine Humusböden soll im spätern Verlauf der Darlegungen kurz berichtet werden.

## B. Methodisches.

Im folgenden handelt es sich um Studien über die Verwitterung von Gesteinen in der Schweiz, wobei versucht wurde, von einigen hauptsächlichsten Typen Beispiele zu erhalten. In einigen Fällen wurden zur Vervollständigung auch andere Arbeiten herbeigezogen. Bei derartigen Untersuchungen ist es besonders wichtig, daß von den verschiedensten Gesichtspunkten aus an das Problem herangegangen wird. Womöglich sollten die Untersuchungen vom frischen Gestein bis zum eigentlichen Boden ausgedehnt werden, woraus sich von selbst ergibt, daß mineralogisch-petrographische und bodenkundliche Methoden berücksichtigt werden müssen.

Es kommen besonders in Frage:

1. die mikroskopische Untersuchung zur Feststellung der Veränderung im Verbands- und zur Klärstellung der Umsetzungen an den Einzelmineralien (oft war es zum Studium der einzelnen Mineralien notwendig, Trennungsmethoden anzuwenden);
2. die schlämmanalytische Methode zur Feststellung der Korngröße und des verschiedenen Verhaltens der Mineralien gegenüber Zertrümmerungen und formzerstörenden Umwandlungen;
3. chemisch-analytische Methoden zur Feststellung der Stoffwanderungsprozesse;
4. Untersuchungen der Gesamtheit der Vorgänge nicht nur an Proben, sondern an geologisch genau aufgenommenen Profilen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen mußten zu Vergleichszwecken graphisch veranschaulicht werden. Zu den einzelnen Methoden ist folgendes zu sagen:

## 1. Mikroskopische Methode.

An Dünnschliffen wie auch an Lockerpräparaten können wir mit Hilfe des Mikroskopes weitgehend Verwitterungserscheinungen an Einzelmineralien und Veränderungen der Verbandsverhältnisse studieren. Dadurch erhalten wir wertvolle Aufschlüsse über die Art und Intensität des Verwitterungsverlaufs. Zur Diagnostik der Mineralien in Lockerpräparaten war es erforderlich, verschiedene Trennungsmethoden anzuwenden.

Präparate von ungetrenntem Sand erweisen sich als unvorteilhaft. Obschon wir nur aus den Mittelwerten mehrerer Gesamtpräparate die prozentuale Verteilung der einzelnen Mineralien zu bestimmen vermögen, konnten dieselben erst als letzte Übersichtsproben verwendet werden, nachdem man über den Mineralbestand bereits orientiert war. Denn diese Präparate sind im allgemeinen durch filzige, splittrige, kleine Mineralbruchstücke, die das Bild stark beeinflussen, unübersichtlich. Bei stark verwitterten, humusreichen Böden lassen sich sogar die Körnchen, wegen der braunen kolloidalen Einbettungsmasse, oft nicht mehr diagnostizieren. Zudem sind in frischen Sanden einzelne Gemengteile oft so überwiegend, daß seltenere Mineralien nicht oder nur zufällig gefunden werden.

Meist geht schon mit der mechanischen Analyse eine gewisse Trennung der Mineralien parallel, indem z. B. Quarz und Muskovit zur Hauptsache in der vierten Fraktion liegen, während Zirkon und Turmalin im untersuchten Sandstein, Mergel und Kalkstein in der zweiten Fraktion auftreten. Beim Schotter finden wir diese Mineralien schon in der Korngröße von 0,05 bis 0,1 mm. Für das Studium der Verwitterungserscheinungen ist es zudem interessant zu wissen, wie die Korngröße der einzelnen Mineralien sich mit der Umwandlung verändert.

Mit der Verwendung von schweren Flüssigkeiten wird die Bestimmung wesentlich erleichtert [71]. Die Abtrennung der leichtern Mineralien, Quarz, Feldspat, Kalzit, Kaolinit, Zeolithe und Glaukonit, von den schwereren erfolgte mit Bromoform (spez. Gewicht 2,9).

Die Flüssigkeit wurde mit einer der Korngröße angepaßten Menge Sand in einen Scheidetrichter [71, S. 76] gegossen. Nach einigem Umrühren und Befeuchten der an der Oberfläche schwimmenden Körnchen mit dem Glasstabe läßt man die schwereren Mineralien, nachdem sie sich gesetzt haben, durch ein Filter in ein Uhrglas oder Becherglas abfließen. Die leichten, meist hellen, farblosen Mineralien im Scheidetrichter werden nun mit alkoholischer Lösung ebenfalls in ein Uhrglas ausgespült.

Für die feinen Fraktionen und für Verwitterungsproben, bei welchen oft die einzelnen Mineralarten schwer voneinander zu trennen sind, wurde die Methode von ST. KREUZ und M. JUREK [74, S. 14] benutzt. Die Trennung erfolgte in einem Uhrglas, in welches man eine geringe Menge Substanz einfüllt. Dann wurde Bromoform hinzugefügt und die an der Oberfläche der Flüssigkeit gebildete dünne Staubkruste mittels eines Glasstabes betupft. Hierauf wurde die Flüssigkeit mit Benzol verdünnt, so daß die Hauptmasse des Staubes auf den Boden sank; nun wurde das Benzol langsam verdampft, was das allmähliche Steigen der leichtern Mineralien bewirkte. Die schwereren Mineralien, welche sich zuerst abgesetzt haben, blieben jedoch infolge ihrer Schwere und Adhäsion zum Glas am Boden des Gefäßes liegen. Das Verfahren wurde mehrmals wiederholt und dann die an der Oberfläche der Flüssigkeit gebildete Kruste leichterer Mineralien durch Hinzufügen reinen Bromoforms mittels einer Pipette weggeschwemmt, oder mittels eines Fließpapiers, am besten aber durch Absaugen mit einer Pipette entfernt.

Zur weitem Trennung einzelner Mineralien fand Thouletsche Lösung Verwendung.

Die schwerern Mineralien wurden weiterhin mit dem Elektromagneten behandelt [71, S. 90]. Stark magnetisch sind Magnetit, Hämatit, Augit, Hornblende, Glaukophan, Biotit u. a. Schwach magnetisch: Turmalin, Epidot, Granat, Rutil u. a., während Zirkon im allgemeinen von Magneten nicht angezogen wird. Muskovit (spez. Gew. 2,9) findet sich sowohl in der hellen (leichten) wie auch in der dunklen (schweren) Fraktion. Wenn etwas Limonit beigemischt ist, wird er oft vom Magneten angezogen. Die Abgrenzung mit dem Magneten war übrigens keine für einzelne Mineralien typische, da alle Übergänge von stark magnetischen bis zu schwach magnetischen Stoffen vorliegen.

Die erhaltenen Mineralfraktionen wurden dann in Einbettungsflüssigkeiten von verschiedenem Brechungsindex und in Kanadabalsam (für Dauerpräparate) mikroskopisch untersucht.

Einzelne Körnchen der Sandfraktion ließen sich mit dem Binokular schon bestimmen. Vor allem erkennen wir mit diesem Instrument, ob noch ungetrennte Gesteinsbruchstücke vorhanden sind. Meistens sind diese übrigens nur in Bruchstücken  $> 2$  mm anzutreffen.

## 2. Die Schlämmanalyse.

Die Eigenschaften der Gesteine und der Böden sind in weitgehendem Maße von der Korngröße der Bestandteile abhängig. Diese wird bis zu einem gewissen Grade durch die Schlämmanalyse ermittelt. Man erhält dadurch ein quantitatives Maß für die einzelnen dispersen Anteile. Bei Verwitterungsstudien lassen sich auch die Kornveränderungen im Verlaufe der Umwandlung untersuchen.

Von verschiedenen Forschern sind Apparate gebaut worden, die zur Hauptsache auf zwei Prinzipien beruhen.

1. Auf dem Prinzip der Sedimentation. Hier wäre die Methode von ATTERBERG zu erwähnen und die neuerdings ausgearbeitete Methode von G. WIEGNER und H. GESSNER [87, 86, S. 309], die gestattet, jede beliebige Korngröße quantitativ auszurechnen. Bei Elektrolyt- und Koagulationsversuchen kann besonders die letztere gute Dienste leisten.
2. Auf dem Prinzip, daß durch den aufsteigenden Wasserstrom von bestimmter Geschwindigkeit einzelne Korngrößen auseinander gehalten werden.

Die Methode von SCHÖNE und diejenige von KOPECKY sind die üblichen Spülmethoden.

Zur Ermittlung der vier Fraktionen diente ein Kopecky-Apparat [73], bei dem gewöhnliches Leitungswasser als Spülflüssigkeit verwendet wurde. Die Fehler, die im Vergleich zu Analysen, bei denen destilliertes Wasser Verwendung fand, auftreten, sind als gering zu bezeichnen. Sie liegen innerhalb der Fehlergrenzen. Der Vorteil dieses Apparates besteht darin, daß er in relativ kurzer Zeit die Probe in vier Fraktionen trennt. Diese werden folgendermaßen bezeichnet:

I. Abschlämmbares	unter 0,01 mm
II. Staub	0,01—0,05 mm
III. Staubsand	0,05—0,1 mm
IV. Sand	0,1 — 2 mm.

Bei feindispersen Böden ist es wichtig, eine einheitliche Vorbereitungsmethode anzuwenden; bei verschiedener Vorbereitung schwanken die Resultate stark. Verwendung fand die Koch- und Reibmethode.

20 g Feinerde werden in der Porzellanschale mit 200 ccm destilliertem Wasser angefeuchtet und mit dem Glasstabe gut durchmischt. Nach 24 Stunden wird dann die Probe 2 Stunden auf dem Wasserbade unter zeitweisem Rühren erhitzt. Noch einmal läßt man sie über Nacht stehen und gießt sie dann in den Apparat, wobei nach gutem Zerreiben immer nur die trübe Flüssigkeit abgegossen wird, bis auf dem Schalenboden praktisch reiner Sand vorhanden ist. Dieser wird nachträglich ebenfalls in den Schlämmapparat gespült.

Bei der Anwendung beider Methoden müssen wir jedoch bedenken, daß Dichte und Form der einzelnen suspendierten Teilchen verschiedenes Verhalten bedingen können. So werden z. B. ein Glimmerplättchen und ein Magnetikorn von gleichem Durchmesser sich bezüglich der Sedimentation nicht gleich verhalten. Daher sind die Größenangaben nur als Mittelwerte anzusehen.

An dieser Stelle soll noch erwähnt sein, daß eine Grenze zwischem kolloidem und kristallisiertem Anteil nicht besteht. Es zeigen sowohl grobdisperse wie feindisperse Teilchen Kolloidreaktionen. Die letztern zeigen solche nur in erhöhtem Maße. Wenn deshalb hie und da von kolloidem Anteil gesprochen wird, so ist darunter lediglich der mikroskopisch amorph erscheinende Teil verstanden.

Graphische Darstellungen. Zur leichtern übersichtlichen Orientierung über die Korngrößenveränderungen dienen graphische Darstellungen.

Eine solche stellt auf Punkten einer Horizontalachse den jeweiligen Prozentgehalt der Fraktion auf Vertikalen dar. Die Endpunkte werden durch eine Kurve verbunden.

Es können auch durch nebeneinander gestellte Streifen, deren Höhe den Prozentgehalt der betreffenden Fraktion angibt, die Analysen dargestellt werden.

Weiter wurden die Fraktionsprocente einer Schlämmanalyse, die als Summe 100 ergeben, auf einem Streifen übereinander aufgetragen.

Außerdem finden Kummulativprozent-Darstellungen Verwendung. Hier wird auf der Abszisse der log. der Korngröße und auf jeder Ordinate der Prozentgehalt aller Teilchen aufgetragen, die größer sind als die rechts vor ihnen liegenden [71].

Für zusammenfassende Vergleiche und zur Nomenklatur der Verwitterungsproben wurden schließlich die Analysenwerte in einem Fraktionsdreieck: Sand — Staub — Ton eingetragen.

### 3. Chemische Analysen und deren Umrechnung.

Zur chemischen Kennzeichnung der Verwitterungsvorgänge ist unbedingt eine *Bauschalanalyse* notwendig. Sie vermittelt eine Menge von Angaben, die aus den Auszügen allein nicht zu gewinnen ist. Um aber vergleichbare Werte zu erhalten, erweist sich die Umrechnung auf Molekularwerte nach NIGGLI [81, S. 51] als günstig.

Um diese Molekularwerte zu erhalten, bestimmt man zuerst die Molekularzahlen. Die Molekularwerte von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O} + \text{MgO}$  (der Wert für  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  gilt als  $\text{FeO} = 2\text{FeO}$ , er wird mit 2 multipliziert und mit  $\text{FeO}$  vereinigt),  $\text{CaO}$  und  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  werden auf die Summe 100 umgerechnet und mit

- al* (entsprechend  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- fm* (entsprechend  $[\text{Fe}, \text{Mn}]\text{O} + \text{MgO}$ )
- c* (entsprechend  $\text{CaO}$ )
- alk* (entsprechend  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) bezeichnet.

$al + fm + c + alk = 100$  bilden die Hauptstoffgruppe, ihr gegenüber stehen die Molekularwerte für  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  usw. Sie werden in die Verhältnißgrößen umgerechnet, die den *al*-, *fm*-, *c*- und *alk*-Werten entsprechen, etwa nach der Gleichung: Molekularzahl von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : Molekularzahl von  $\text{SiO}_2 = al : x$  ( $x = si$ ). So entstehen die Werte *si*, *ti*, *p*, *h*, *co<sub>2</sub>*, *so<sub>3</sub>*, usw. Die Molekularverhältnisse von  $\text{K}_2\text{O}$  zur Summe der Alkalien in  $alk = \frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$  und von  $\text{MgO}$  zur Summe  $(\text{FeO} +$

$\text{MnO} + \text{MgO})$  in  $fm = \frac{\text{MgO}}{(\text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})}$  werden mit *k* und *mg* bezeichnet.  $o = \frac{2 \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}}$  und gibt an, der wievielte Teil von *fm* als dreiwertiges Eisen vorhanden ist. Diese Umrechnung ermöglicht, eine größere Anzahl von Analysen direkt miteinander zu vergleichen. Dabei ist besonders vorteilhaft, daß die Werte *si*, *al*, *fm*, *alk*, usw. unabhängig vom  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt und dem Gehalt an organischen Substanzen berechnet werden. Deshalb läßt sich an Hand dieser Molekularwerte leicht erkennen, ob als Ganzes eine Stoffwegfuhr oder bloß eine Glühverlustzunahme von einer Probe zur andern stattgefunden hat.

Versuche auf Grund der  $\text{HCl}$ -Auszüge vergleichbare Ziffern zu erhalten, haben sich als aussichtslos erwiesen. Zu Vergleichszwecken in bezug auf den Löslichkeitsgrad können sie jedoch wertvolle Dienste leisten, wie es für einige Fälle dargetan wird. Für die partiellen  $\text{HCl}$ -Auszüge war das Praktikumsbuch von G. WIEGNER [85] wegleitend.

Verschiedene Zusammenstellungen von Verwitterungsanalysen haben gezeigt, daß es zweckmäßig ist, den Wert *fm* in *f* und *m* zu trennen, d. h. Eisen und Magnesium gesondert zu betrachten. Dadurch kann das verschiedene Verhalten der beiden Komponenten während des Verwitterungsverlaufs gut überblickt werden. Die Werte sind aus den Nigglichen Molekularwerten ohne weiteres abzuleiten.

Es ist  $fm = f + m$ , wobei  $\text{MnO}$  molekular dem *f* beigegeben ist.

$$mg = \frac{m}{fm}$$

d. h.  $m = mg \cdot fm$ . Auf gleiche Weise berechnet sich

$$f = (1 - mg) \cdot fm.$$

Über den Oxydationsgrad des Eisens geben  $f_2$  und  $f_3$  Auskunft.

$f_3$  = Molekularwert des  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  als FeO berechnet

$f_2$  = Molekularwert des FeO.

Gleiches läßt sich auch mit den Alkalien durchführen, wenn es nötig erscheint, die Alkalien getrennt in  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$  im Diagramm zur Darstellung zu bringen. Hier gibt jedoch der allgemein eingeführte  $k$ -Wert genügend Aufschluß.

Es wurden außerdem die Verhältnisse  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{FeO}$  molekular berechnet. Sie entsprechen in der modifizierten Nigglichschen Bezeichnungsweise der Beziehung  $si : al : f$ . (Alles Eisen wird als FeO berechnet.)

Dieses Verhältnis und der Quotient  $\frac{si}{al}$  vermögen über die Entkieselung bzw. relative Kieselsäureanreicherung Auskunft zu geben, wenn man annimmt, daß  $al$  sich relativ gleichbleibt.

Ebenso können wir den Quotienten  $\frac{\text{MgO}}{\text{CaO}}$  durch  $\frac{m}{c}$  molekular darstellen.

Ferner gestattet uns der Wert  $\frac{c + alk}{al}$  unter Umständen die Feldspatzersetzung zu überblicken, indem eine Verkleinerung des Quotienten eine Entbasung bedeutet.

Es sei hier auf die analogen Quotienten von HARRASSOWITZ hingewiesen (Geol. Rundschau, 1926, S. 129 und Fortschr. d. Geol. u. Paläont. Bd. IV, H. 14, S. 274). Dieser Forscher bezeichnet  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  als  $ki$ ,  $\frac{\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  als  $ba$ . „Magnesium wird in diesen Quotienten nicht einbezogen, da es sich unabhängig von Ca, Na und K verhält und, soweit ich übersehe, keine charakteristische Stellung besitzt.“

HARRASSOWITZ gibt auch die Veränderung der Verwitterungsquotienten gegenüber dem frischen Gestein in Quotienten an.

Bei Analysen von Gesteinen, die wesentliche Mengen  $\text{CaCO}_3$  enthalten, wurde in den Quotienten  $c = 0$  gesetzt. Es ist dann also an Stelle von  $\frac{c + alk}{al}$ ,  $\frac{alk}{al}$  zu setzen. Bei den gleichen Analysen war es nötig, dieselben  $c$ -frei zu berechnen, um dadurch zu vermeiden, daß der hohe Kalkgehalt zu stark einen Vergleich der andern Komponenten erschwert. Die Fehler, welche dadurch entstehen, daß dasjenige  $c$ , welches silikatisch gebunden ist, nicht berücksichtigt wurde, weil ein Teil des  $\text{CO}_2$  auch an Mg gebunden sein kann, sind nicht zu vermeiden. Sie fallen aber wegen des bedeutend überwiegenden  $c$ -Gehaltes nicht stark ins Gewicht.

#### 4. Kalkbestimmung.

Um sich in Profilen rasch über den  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt zu orientieren, kann man sich des größeren und des kleineren Bestimmungsapparates nach M. PASSON bedienen [86, S. 180]. Er vermittelt, indem er HCl-löslichen Kalkanteil angibt, in vielen Fällen gute Angaben über die Kalkauswaschung.

#### 5. pH-Reaktionsbestimmung.

Der Kalkbestimmung parallel ging eine pH-Reaktionsbestimmung. Die Ausführung derselben erfolgte mit dem Ionoskop der einfarbigen Indikatoren-Dauerreihe nach MICHAELIS vom Schweizerischen Impf- und Seruminstitut in Bern [85, S. 165, 28, S. 269] mit einem Geltungsbereich von pH 2,8 bis 8,4. Die Vorbereitung geschah nach Vorschrift:

20 g lufttrockene Feinerde (durch ein 2-mm-Sieb getrieben) werden mit 50 ccm destilliertem, karbonatfreiem  $\text{H}_2\text{O}$  geschüttelt und gut verschlossen längstens 24 Stunden stehen gelassen. Dann wurde die Wasserstoffionenkonzentration der über dem Bodenkörper stehenden Flüssigkeit (Filtrat) bestimmt.

Bei humusreichen und sehr feindispersen Böden ist die Bestimmung der lange bleibenden Trübung der Flüssigkeit wegen etwas schwieriger. Sie mußte in wenigen extremen Fällen (alpine Humusböden) durch die elektrometrische pH-Bestimmung in der Suspension ersetzt werden. Die pH-Werte erweisen sich nach H. PALLMANN<sup>1)</sup> im Vergleich zu denjenigen, welche im Filtrat bestimmt werden, etwas verschieden. Im Felde wurde zur Orientierung über die Bodenazidität oft auch die Comber-Methode angewandt [86, S. 160].

## 6. Humusbestimmung.

Verwendung fand die Methode der nassen Verbrennung nach W. KNOP [85, S. 188]. Die Verbrennung erfolgt mit  $K_2Cr_2O_7$  und  $H_2SO_4$ . Bestimmt wird das organische  $CO_2$ , welches mit dem Faktor 0,47 multipliziert die Humusmenge ergibt. Der Umstand, daß der Kohlenstoffgehalt des Humus Schwankungen aufweist, bewirkt, daß es sich in den Daten nur um mittlere Werte handeln kann. An einzelnen Stellen wurde nur der Glühverlust bestimmt.

## 7. Aufnahme von Verwitterungsprofilen.

In der Schweiz bietet es Schwierigkeiten, eindeutige, gewachsene Profile zu finden. Fast durchweg ist die normale Profilbildung durch geologische Einflüsse gestört, sei es, daß Grundwasser eine normale Stoffwanderung und Lösung verhindert hat, sei es, daß die Profile durch andere Ablagerungen überdeckt sind, z. B. durch Schotter, Moräne usw. Profile auf Kulturböden werden meistens durch künstliche Düngung verändert. Dazu kommt, daß der Boden häufig bis zu 50 cm Tiefe bearbeitet vorliegt. Seine physikalischen Eigenschaften sind demzufolge stark verändert. An Gehängen sind die Profile im allgemeinen weiter entwickelt als in der Ebene (s. auch [56]). Am einwandfreisten sind Profile des Waldbodens. Doch müssen wir berücksichtigen, daß die physikalische Beschaffenheit derartiger Böden von derjenigen des Freilandbodens verschieden ist.

In den Alpen wechseln häufig infolge tektonischer Verhältnisse verschiedene Gesteinsarten auf kurze Distanz miteinander ab, so daß wir oft vor die Frage gestellt sind, ob die Profilhorizonte wirklich aus dem darunterliegenden Gestein entstanden sind, oder ob die Bodenhorizonte Gesteinsreste aus verschiedenen Gesteinsarten enthalten. Profile an Hängen sind durch Bodenbewegung und eventuelle Geschiebezufuhr meist unsicher. Weiter müssen wir bedenken, daß im Hochgebirge besonders Flugstaub einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf die Bodenbildung ausübt. Nicht zu vernachlässigen sind Modifikationen, welche durch verschiedene Vegetation bedingt sind.

Alle diese erwähnten Schwierigkeiten wurden bei der Aufnahme von Profilen berücksichtigt. pH-Reaktions- (Comber-Methode) und Kalkbestimmung ( $HCl$  1,15) erfolgte zur übersichtlichen Orientierung im Felde. Hernach wurden, nach einer geologisch-petrographischen Orientierung über die Fundstelle, die Proben der einzelnen unterscheidbaren Bodenhorizonte und des frischen Gesteins gesammelt. Gerade für die ektodynamomorphen Bodenverhältnisse ist es von großer Wichtigkeit, das Muttergestein genau zu kennen. Aus ihm lassen sich oft schon gewisse Verwitterungstendenzen ableiten.

## 8. Klimafaktoren.

Die Bodenbildung und die Bodentypenbildung sind hauptsächlich Funktionen der Befeuchtung und der Temperatur. Den LANGSchen Regenfaktor  $\frac{\text{Niederschlag}}{\text{Temperatur}}$  sucht neuerdings A. MEYER [38] durch gleichzeitige Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit in den N-S-Quotienten  $\frac{\text{Niederschlag}}{\text{Sättigungsdefizit}}$  zu verbessern. Die Verdunstung ist ja nicht nur eine Funktion der Temperatur, sondern wird von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windstärke, Luftdruck usw. beeinflusst. Da Messungen über Bodenverdunstung nicht existieren, ist man gezwungen, die Verdunstung in der Atmosphäre derjenigen des

<sup>1)</sup> Pallmann, H. Die Wasserstoffaktivität in Dispersionen und kolloiddispersen Systemen (Kolloidchem. Beihefte Bd. XXX, Heft 8—12, 1930, S. 334).

Tabelle 1. Zusammenstellung klimatischer Daten für die Lokalitäten der zu besprechenden Verwitterungsproben.

Ort, Höhe	Luft-Temperatur			Nieder- schlags- summe	Regenfaktor nach R. Lang	N-S-Quotient nach A. Meyer
	mittl. jährl. Maximum	mittl. jährl. Minimum	norm. Mittel			
Gränichen 430 m (Daten von Aarau 397 m) . . . . .	28,8	—14,8	8,2	1056	126	690
Murgenthal } Wangen a. d. A. } (Olten 395 m) . . . . .	30,3	—13,8	8,7	1007	115	798
Bern 572 m . . . . .	28,7	—14,6	7,9	922	116	524
Niesen (Schwandegg) (Beatenberg 1148 m) . . . . .	26,6	—15,4	6,0	1453	242	—
Klus (Olten 395 m und Langenbruck 718 m) . . . . .	30,3	—14,8	7,7	1033	134	798
Baden 470 m (Zürich 470 m) . . . . .	30,5	—13,7	8,5	1147	135	595
Harrissenbucht am Bürgenstock 500 m (Gersau 442 m) . . . . .	27,2	—8,9	9,3	1571	169	940
San Vittore-Lumino 268 m . . . . .	31,4	—8,0	10,9	1465	144	624
Giubiasco 500 m (Rivera-Bironico 475 m) . . . . .	30,7	—8,9	10,2	1995	199	890
Bellinzona 235 m . . . . .	31,7	—6,9	12,0	1693	140	535
Roveredo, Mt. Rodas 1120 m (Braccio)	25,3	—12,4	6,2	1523	245	—
Murg 540 m (Sargans 570 m) . . . . .	31,2	—13,6	8,7	1279	147	758
Amsteg 560 m (Altdorf 450 m und Göschenen 1110 m) . . . . .	27,6	—12,5	7,6	1305	172	—
Etzlihüte 2100 m (Pilatus 2096 m . vgl. mit St. Gotthard)	20,0	—21,3	0,3	ca. 1600 bis 2000	—	—
Andeer 1150 m (Suretta) (Klosters 1207 m) . . . . .	26,5	—19,7	4,7	1023	217	—
Comano 680 m } Ruvigliana } (Lugano 275 m) . . . . .	31,2	—6,3	11,4	1701	150	700

Bodens gleichzusetzen. Die Verdunstung im Boden ist dabei um so größer, je größer das Sättigungsdefizit<sup>1)</sup> ist. Durch den N-S-Quotienten kommen wir zu einem bessern Gradmesser der Verdunstung als durch den Regenfaktor nach Lang.

In Tabelle 1 sind einige klimatische Daten zusammengestellt. Aus ihnen geht hervor, daß die Gesteine, mit Ausnahme von denjenigen in den Alpen und im Tessin, unter ähnlichen jährlichen klimatischen Mittelwerten verwittern. Die lokalen Verwitterungsbedingungen spielen meistens eine ebenso große Rolle wie die geringfügigen klimatischen Unterschiede geographisch verschieden gelegener Orte. Die Werte für die relative Feuchtigkeit schwanken von 70—80.

---

<sup>1)</sup> Das Sättigungsdefizit erhält man durch die absolute und relative Luftfeuchtigkeit einerseits, durch die Temperatur anderseits.

## II. Verwitterungsstudien an Sedimentgesteinen.

### A. Verwitterung von losen Sanden.

Große Teile der Schweiz sind von fluviatilen, fluvioglazialen und glazialen, wenig verfestigten Sedimenten bedeckt. Soweit es sich um Schotter und Blockmoränen handelt, ist eine pauschal-chemische Untersuchung nicht am Platz, da der Mineralbestand, wie auch der Chemismus, auf geringe Distanzen sehr stark variieren kann. Vielmehr muß man sich hier an die Untersuchung des Verwitterungsprofils als Ganzes sowie an die Art der Verwitterung der Trümmer halten. Die Profilbildung kann besonders gut an losen Schottersanden studiert werden. Hier vollzieht sich infolge der großen Durchlässigkeit der Gesteine die Entwicklung zu einem Bodentyp relativ rasch. Das Wasser kann weitgehend in die Tiefe dringen. Die wandernden Stoffe werden in Hohlräumen abgesetzt und bilden durch Zementation Anreicherungs-horizonte, in denen die Mineralbestandteile in einer humusreichen, eisenschüssigen, tonigen Masse eingebettet liegen. Durch das Mitwirken von Humus wird das Profil gewissermaßen in die Tiefe gezogen. Dies geht aus dem Vergleich der Mächtigkeiten von Molassesandsteinprofilen mit Schotterprofilen deutlich hervor.

Molossesandstein Gränichen . . . . .	zirka 0,40 m
Molossesandstein Wangen a. d. A. . . . .	zirka 1,00 m
Hochterrassenschotter Murgenthal . . . . .	1,50 m
Hochterrassenschotter Wolfwil . . . . .	1,70 m
Hochterrassenschotter Gränichen (nach H. Geßner) . . . . .	2,10 m
Niederterrassenschotter Rapperswil (nach H. Geßner) . . . . .	1,60 m

Wie verschieden die Durchlässigkeit verschiedener Gesteine sein kann, zeigen uns die von A. MEYER zitierten Zahlen [38, S. 268] für den prozentischen Grundwasserablauf bezogen auf die Regenmenge 100 cm.

Molasse	5—10 %
Niederterrasse	42—52 %

Dabei muß erwähnt werden, daß der Waldboden für unsere Verhältnisse im allgemeinen stärker verwittert als der Ackerboden mit seinem niedern Dispersitätsgrad (Feinerde und Grobsand); er weist eine geringe Wasserkapazität, aber eine bessere Wasserführung auf. Infolge geringer Kohäsion besitzt er schlechte chemische, aber gute physikalische Eigenschaften. Die Auswaschung kommt besonders darin zur Geltung, daß der Humus adsorptiv ungesättigt seine Schutzwirkung ausüben kann. Wie auch schon H. BURGER betont hat, findet man, daß unter Laub- und Laubmischwald der Braunerdetypus eintritt, während unter Nadelwald die Entwicklung bis zur Podsolierung weitergeht.

Im folgenden sei versucht, fremde und eigene Beobachtungen zusammenzustellen:

#### 1. Flußanschwemmungen.

In Niederungen finden wir längs Flußläufen sandige und lehmige Anschwemmungen, welche noch zum Überschwemmungsgebiet der Flüsse gehören. An ihnen können wir verschiedene Stadien der Verwitterung und der Bodenbildung studieren. Von vegetationslosen Sandbänken über Sandablagerungen mit Erstlingsvegetation bis zum eigentlichen Auenwaldboden lassen sich alle Übergänge feststellen.

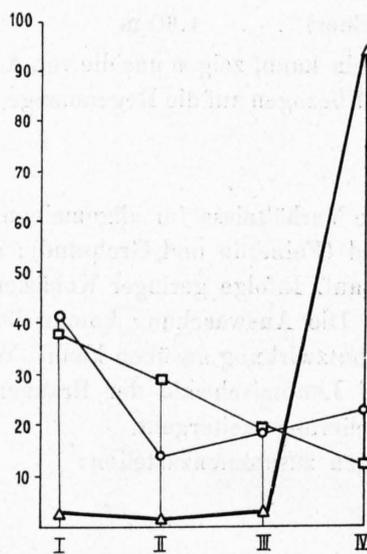
Wenn in frisch angeschwemmten Sanden ein unwesentliches und nicht typisches Verwitterungsbild vorliegt, so ist im Auenboden die Vorstufe, das Frühstadium der Profilbildung zu erblicken (dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß oft alte Humusschichten mit Sand wechsellagern — Sandhumus —). „Im Auenboden ist bereits eine schwache Kalkauswaschung und eine kräftige Humusanreicherung festzustellen. Im Gegensatz zu dem jungfräulichen Auenboden ist dieses Stadium nicht mehr ein reiner Ortsboden, sondern der Einfluß durch die klimatisch bedingte Verwitterung ist bereits deutlich [96, S. 113].

Aus den folgenden Schlämmanalysen (Tabelle 2) von Sandablagerungen aus dem Gebiete der Aare von H. GESSNER [96] erkennt man die mit der Verwitterung zunehmende Kornverkleinerung.

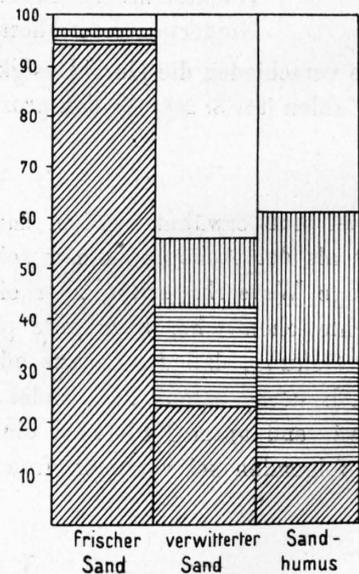
Tabelle 2. Auenboden des Umikerschachens (nach H. Geßner).

Horizonte	Tiefe cm	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	CaCO <sub>3</sub>	Humus
		I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm			
Sandhumus . . . . .	0—10	38,3	29,0	19,8	12,7	32,5	25,0	6,2
leicht verwitterter Sand . .	15—25	41,4	14,5	19,3	23,0	42,3	27,4	3,8
frischer Sand . . . . .	30—45	2,8	0,8	2,0	94,5	96,5	24,2	3,4

Trotz der relativ geringen Kalkauswaschung hat bei der Verwitterung die grösste Fraktion bedeutend abgenommen, die andern Fraktionen vergrößern sich dementsprechend, besonders aber die feinste, welche von 2,8 auf 38,3 ansteigt. In eindeutiger Weise geht dies aus den Figuren 1a und b hervor. Bei den nachfolgenden Profilaufnahmen von Schotter und Molasse wurden keine so starken Verschiebungen konstatiert.



□ = Sandhumus  
○ = verwitterter Sand  
△ = frischer Sand



IV 2 - 0,1 mm  
III 0,1 - 0,05 mm  
II 0,05 - 0,01 mm  
I < 0,01 mm

a) Schlämmanalysendiagramm der prozentischen Korngrößenveränderung im Verwitterungsprofil eines Sandes.

b) Darstellung der prozentischen Korngrößenverteilung in den Verwitterungsprofilhorizonten des Sandes.

Fig. 1. Auenboden, Umikerschachen.

Die Auen des Tessin [97] verhalten sich im übrigen in bezug auf die Verwitterung nicht wesentlich verschieden von denjenigen der Aare, die Bedeutung des Klimas spielt also für die ersten Stadien.

der Verwitterung keine entscheidende Rolle. Die eigentliche klimatische Bodenbildung setzt erst im vorgeschrittenen Auenboden ein. So sind die Tessinauenböden zur Braunerde zu zählen. „Auch die ältesten der untersuchten Verwitterungsstufen müssen noch als solche bezeichnet werden. Die Analysen weisen aber darauf hin, daß die weitere Verwitterung zu einem Podsolboden führen muß, was ja bei den herrschenden klimatischen Bedingungen zu erwarten ist [97, S. 129].“

Zur Vervollständigung seien einige Analysen (HCl-Auszüge), bei denen Na<sub>2</sub>O nicht bestimmt wurde, angeführt (Tabelle 3). Man erkennt die wesentlichen Verschiebungen des löslichen Teils. Da es sich aber um partielle Analysen handelt, können sie mit den andern nicht verglichen werden.

**Tabelle 3. HCl-Auszüge von Auenböden in verschiedenen Verwitterungsstadien (nach H. Geßner) aus dem Kanton Aargau und dem Kanton Tessin.**

Tiefe	Frisch angeschwemmtes Land	Humus-sandschicht 0—10 cm	Frisch angeschwemmtes Land	Ältere Sand-anschwe-mung	Verwitterter Sandboden	Stark verwitterter Wiesenboden
Lokalität	Biberstein Kt. Aargau	Biberstein	Bodio Kt. Tessin	Bodio	Bodio	Bodio
Vegetation	keine	Erlenau	keine	Hippophaë	Hippophaë und Salices	Kulturwiese
In HCl unlöslich . . . . .	72,97	65,10	85,50	77,60	72,85	72,65
SiO <sub>2</sub> (HCl lösl. Silikate) . .	0,27	0,50	1,01	0,4 (?)	1,08	1,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,43	1,31	4,41	5,80	5,72	4,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,19	1,70	3,26	3,43	4,04	3,73
CaO . . . . .	12,88	12,00	1,74	2,97	3,12	0,72
MgO . . . . .	0,49	0,67	1,67	2,72	2,53	1,56
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,03	0,07	0,69	0,60	0,64	0,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,05	0,10	0,12	0,17	0,23	0,15
H <sub>2</sub> O (Feuchtigkeit) Lufttrockenprobe . . . . .	0,37	2,82	0,30	0,82	2,10	3,76
CO <sub>2</sub> . . . . .	10,34	9,37	1,10	1,32	2,02	0,00
Humus . . . . .	3,90	7,80	0,00	1,75	4,27	9,74
Diff. = Na <sub>2</sub> O u. nicht bestimmte Anteile . . . . .	2,92	1,44	0,20	2,42	1,40	1,17
pH . . . . .	7,0—7,2	7,0—7,2	7,0	7,0	7,0	6,2

## 2. Niederterrassenschotter.

Böden des Niederterrassenschotter sind im allgemeinen der Braunerde zuzurechnen, mit Übergängen zum podsoligen Bodentypus. Als Beispiel sei das Profil angegeben, welches von H. GESSNER [96] in der Kiesgrube bei Rapperswil gefunden wurde. Der Übergang vom obern Horizont nach dem untern ist ein langsamer, indem gelöstes Eisen und Tonerde, wie die löslichen Alkalien und Erdalkalien nach unten wandern. Die Ausfällung erfolgt rasch, wenn die Lösungen in kalkreiche Zonen gelangen. Es sei jedoch bemerkt, daß der wandernde Teil im Boden für unsere Verhältnisse leicht zu hoch eingeschätzt wird. Es wandern vor allem diejenigen Substanzen, welche im Anreicherungs-horizonte auch

in ursprünglicher Form die Einbettungsmasse bilden. Der größte Teil des Anreicherungshorizonts besteht bei uns stets noch aus gröbern oder feinem Mineralsplittern. Der wandernde Teil kann somit wohl für die Vegetation von Bedeutung werden, besonders in bezug auf die großen Verschiebungen im  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt, aber die kolloiden Neuausfällungen sind oft nicht so bedeutend, wie man aus der makroskopischen Farb- und Zustandsänderung vermuten würde.

Im Profil [96] hat, wie nachstehende Tabelle 4 zeigt, eine Versäuerung stattgefunden; besonders im schwach ausgebleichten Horizont sinkt pH auf 6,3,  $\text{R}_2\text{O}_3$  erreicht in der Verwitterungszone, dem Anreicherungshorizont, die höchsten Werte.  $\text{CaCO}_3$  wird ausgewaschen.

Tabelle 4. Profil im Niederterrassenschotter von Rupperswil (nach H. Geßner).

Tiefe	H o r i z o n t e		pH	$\text{CaCO}_3$	Humus	$\text{R}_2\text{O}_3$
3—5	Humus durch Flugstaub gedüngt	A	7,2	0,4	21,6	
5—20	Humus schwach ausgebleicht .		6,3	0,0	9,5	4,72
20—160	Verwitterungszone . . . . .	B?	6,6—6,8	0,0	1—2,5	6,35
	unverwitterter Sand . . . . .	C	7,2	23,0	4,1	2,89

Bemerkenswert ist das Auftreten von  $\text{CaCO}_3$  im A-Horizont. Diese Erscheinung, daß ein Kalkgehalt oberflächlich auftritt und wodurch die pH-Reaktion neutral wird, kann noch öfters beobachtet werden. Sie beruht vielleicht zur Hauptsache auf der noch zu besprechenden Flugstaubwirkung.

### 3. Hochterrassenschotter.

Im Hochterrassenschotter ist die Profilbildung etwas weiter fortgeschritten als in dem oben-erwähnten Niederterrassenschotter. Der Podsolcharakter tritt stark hervor. Als Vergleich diene ein Profil von Gränichen (Tab. 5).

Tabelle 5. Profil im Hochterrassenschotter (Rinthawand, Gränichen) (nach H. Geßner [96]).

Tiefe in cm	H o r i z o n t e			pH	$\text{CaCO}_3$	Humus
0—20	Humus . . . . .	A	schwarz	5,2	0,0	12,3
20—40	ausgebleichte Schicht . . .		hellbraun	4,9	0,0	4,7
40—140	Verwitterungshorizont . . .	B <sub>1</sub> ?	rotbraun	6,2	0,0	3,1
140—205	kalkhaltig mit ausgefälltem $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . . .	B <sub>2</sub> ?	dunkelbraun	7,2	19,0	3,5
	Untergrund . . . . .	C	grau	7,2	23,0	2,9

Die ausgebleichte Schicht tritt hier stark in den Vordergrund (pH = 4,9). Im Anreicherungshorizont, wo der Kalk immer noch zum Werte von 19% ansteigt, erreicht pH die neutrale Reaktion wieder. Der Humusgehalt ist gegenüber dem darüberliegenden Horizont angestiegen. Eisen und Tonerde sind durch Kalk ausgefällt worden.

Tabelle 6. HCl-Auszüge von Schottern aus dem Kt. Aargau nach (H. Geßner) [96].

	Frischer angeschwemmter Sand	Verwitterter Sand 10—20 cm	Verwitterter Sand 20—30 cm	Am stärksten verwitterte Schicht aus einer höhern Ni...-Stufe 8—12 cm	Verwitterter Schotter, ausgebleichte Schicht aus dem Hochterrassenschotter 10—20 cm
Lokalität	Biberstein	Eiacker	Eiholz	Rupperswil	Rinthalwand
Vegetation	keine	angepflanzter Mischwald	Mischwald	Mischwald	Weißtannenwald
in HCl unlösl. . . . .	72,97	84,75	83,30	80,50	84,70
SiO <sub>2</sub> (HCl lösl.) . . . . .	0,27	0,70	1,36	0,25	0,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,43	1,37	1,98	1,88	1,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,19	2,51	2,42	1,80	2,76
MgO . . . . .	0,49	0,48	0,67	0,32	0,44
CaO . . . . .	12,88	0,73	0,42	0,12	0,08
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,03	0,02	0,065	0,05	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,05	0,06	0,095	0,20	—
H <sub>2</sub> O . . . . .	0,37	2,34	2,35	2,66	1,90
CO <sub>2</sub> . . . . .	10,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Humus . . . . .	3,90	3,67	4,25	9,49	4,70
Diff. = Na <sub>2</sub> O u. nicht bestimmte Anteile . . . . .	2,92	3,37	3,09	2,73	3,65
pH . . . . .	7,0—7,2	6,9	6,3	6,3	4,9

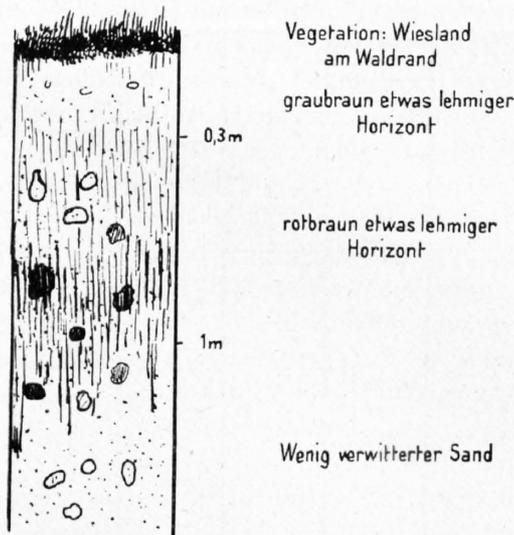


Fig. 2. Verwitterungsprofil auf Hochterrassenschotter, Murgenthal.

Obschon Schottergruben die Beobachtungen wesentlich erleichtern, bietet es doch Schwierigkeiten, gut gewachsene Profile zu finden. Durch die Beackerung ist meist der obere und oft sogar der untere Teil des Profils stark in Mitleidenschaft gezogen. Ebenfalls ist die Düngung für die Reaktionsänderungen von wesentlichem Einfluß, zudem wird das Profil oft in der normalen Entwicklung durch darüberliegende Moräne, oder durch Grundwasser usw. gestört. Am einwandfreisten sind Profile des Waldbodens. Ein solches Profil am Waldrande sei im folgenden beschrieben:

Profil im Hochterrassenschotter von Murgenthal.

Das zu besprechende Profil vom Rank östlich Murgenthal (Kt. Aargau) wurde an einer Stelle aufgenommen, wo es sich möglichst ohne kulturelle Einflüsse entwickelt hat. In der Grube konnten folgende grobe Gerölle gefunden werden:

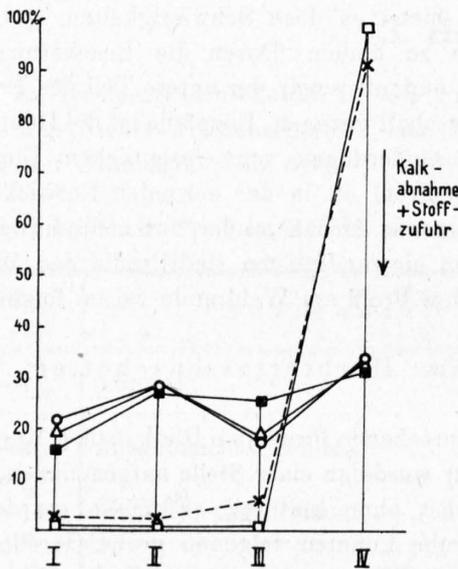
- |                        |                                                                |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|
| dunkelgrauer alp. Kalk | } teils frisch umgeben mit schalenförmigen Verwitterungsrinden |
| Jurakalk               |                                                                |
| Kieselkalk             | frisch                                                         |
| Gneis                  | meist frisch                                                   |
| Diorit                 | frisch                                                         |
| Quarzite               | frisch                                                         |
| Sandstein              | stark verwittert                                               |
| Granit                 | zerbröckelt (Grus)                                             |

Es sei auch auf die geologische Beschreibung in den Erläuterungen zur geologischen Karte des Gebietes Roggen-Born-Boowald von MÜHLBERG und NIGGLI [107] hingewiesen.

Als Untersuchungsmaterial wurde eine Sandpartie gewählt, in der man die einzelnen Horizonte nach der Farbe gut auseinanderhalten konnte (Fig. 2). Der reine, bläulichgraue Sand verwittert zu einem staubigen Sand bis sandigen Lehm. Von einer Stelle nebenan wurde ein nur wenig verwitterter Sand geschlämmt. Seine Farbe ist deutlich bräunlich. Trotz dieser äußern Farbverschiedenheit gegenüber dem frischen Sand hat nur eine unwesentliche Änderung in der Korngrößenverteilung stattgefunden. Die Verschiebung wird jedoch in den eigentlichen Profilhorizonten bedeutender. Mit der Entkalkung hat die größte Fraktion sich vermindert. Der abschlämmbare Teil ist größer geworden und liegt als bräunlich-gelbe, lehmige Substanz vor, die als eigentliche Verkittungsmasse zu bewerten ist.

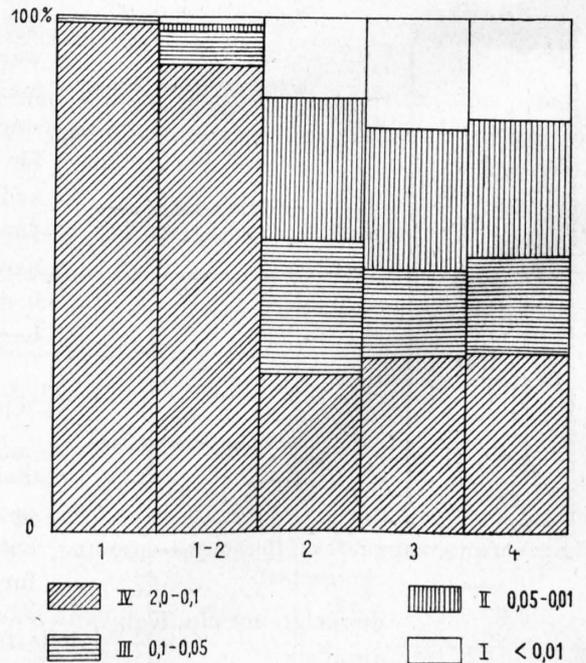
Tabelle 7. Profil im Hochterrassenschotter östlich von Murgenthal.

	Tiefe	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	pH	CaCO <sub>3</sub>	Humus	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm					
4	0—0,10 m . . . .	19,60	27,35	18,55	34,50	53,05	6,0	0,00	9,2	—
3	0,30 graubraun . . .	21,15	27,65	17,80	33,40	51,20	5,7	0,00	4,2	4,23
2	1,00 rotbraun. . . .	15,30	27,00	25,90	31,80	57,70	6,5	0,00	3,9	5,43
1—2	verwitterter Sand (Sonderprobe)	1,15	1,65	5,30	91,90	97,20	7,1	10,75	—	—
1	frischer Sand . . . .	0,00	0,05	0,60	99,35	99,95	7,1	20,2	—	2,12



- △ 4 = Humusschicht mit Vegetation, etwas lehmig.
- 3 = etwas lehmig (graubraun).
- 2 = etwas lehmig (rotbraun), kein Sandkorn makroskopisch zu erkennen.
- × 1—2 = Sandprobe verwittert von einer Stelle neben dem Profil, bräunlich gefärbt.
- 1 = frischer Sand.

a) Schlämmanalysendiagramm der prozentischen Korngrößenveränderung im Verwitterungsprofil eines Schottersandes.



b) Darstellung der prozentischen Korngrößenveränderung in den Verwitterungshorizonten eines Schottersandes.

Fig. 3. Hochterrassenschotter, Murgenthal.

Die stark verwitterten Horizonte zeigen, daß der größte Teil des Materials in Korngrößen  $> 0,01$  mm vorliegt (Fig. 3), daß wir also nur zirka 20% als abschlämmbaren Teil mit sicher zu erwartenden Kolloidreaktionen annehmen können. Der Boden ist trotz seiner relativ fortgeschrittenen Entwicklung noch typisch endodynamomorph. Obschon kein Kalk mehr vorhanden ist, sinkt die größte Fraktion nicht unter 30%. Die Reaktionszahlen fallen in dem graubraunen Horizont auf 5,7, steigen nach der Oberfläche etwas an und erreichen nach unten hin im frischen Sande den Neutralpunkt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt beginnt erst im frischen Gestein und der Humusgehalt vermindert sich nach der Tiefe.

**Mikroskopisches.** Der frische Schotter sand mit seiner grauen Farbe besitzt als hauptsächlichste Mineralien Quarz, Feldspat, und zwar Orthoklas und Plagioklas, Kalk- und Kieselkalkbruchstücke. Die klastischen Quarzkörner liegen als eckige, kantige, sowie als etwas gerundete Bruchstücke von unregelmäßiger Gestalt vor. Gut gerundete Individuen wurden nicht gefunden. Quarzkörner treten vor allem in den größten Fraktionen auf und sind oft stark durch Einschlüsse getrübt. Die Feldspäte sind zum Teil schon in relativ frischem Sande durch die beginnende, wohl kaolinartige Zersetzung trübe. Je stärker diese eingreift, um so abgerundeter erscheinen die Formen. Die Kieselkalkbruchstücke können unter dem Mikroskop nicht diagnostiziert werden, da sie als dunkle, mehr oder weniger gerundete Körner vorliegen. Hingegen orientiert uns das Binokular über diese Bruchstücke. In etwas geringerer Menge finden wir Muskovit, Biotit, Augit, letzterer in dunkelbraunen, oft etwas gerundeten Körnern, ferner Chlorit in Form grüner Blättchen und Granat als splittriges Mineral mit muschelartigem Bruch, meist schwach bräunlich gefärbt. Turmalin in prismatischer Ausbildung ist durch den starken Pleochroismus erkennbar. Epidot findet man in eckigen Splittern, aber auch in gerundeten Formen mit schwach grünlicher bis intensiv grüner Farbe. Aktinolith ist besonders in der II. und III. Fraktion zu erkennen, ihm sind beige gesellt grüne Hornblende, Glaukophan ( $n\alpha$  gelblich-grün,  $n\beta$  violett,  $n\gamma$  blau), Glaukonit und Erze.

Die Verwitterung setzt ein mit einer Verrostung der Erze und des Biotits; der Sand wird gebräunt, ohne daß sich der übrige Mineralbestand wesentlich ändert. Jedoch geht mit dieser Verfärbung eine stärkere Zersetzung der Feldspäte parallel. Die Veränderungen sind besonders in der II. Fraktion zu beobachten; limonitische Fetzen verwaschen das mikroskopische Bild. Die andern Mineralien bleiben noch frisch, soweit wenigstens, als sie noch bestimmbar sind. Epidot fängt an sich umzusetzen, indem er randlich trübe wird. Zirkon und Turmalin sind als Rückstände häufig in typischer Ausbildung anzutreffen. Kalzit zeigt sich nur vereinzelt.

Wenn im frischen Sande oder auch im Sandstein die Mineralien durch den Einfluß des Bindemittels etwas getrübt erscheinen, kommen dieselben im verwitterten Boden in Idealgestalt zur Geltung. Besonders schön ist dies im magnetischen Teil festzustellen (Fig. 1, T. I). Diese Tatsache ist uns ein Fingerzeig dafür, daß bei sediment-petrographischen Arbeiten die Untersuchung des gewachsenen Bodens, in dem die meisten Mineralien außer Kalzit und etwas Feldspat angereichert sind, für die Bestimmung des Mineralbestandes des frischen Gesteins ergänzende wertvolle Dienste leisten kann. Daß sehr viele Mineralien auch in stark verwittertem Boden noch frisch sind, wurde schon bereits erwähnt. Natürlich muß berücksichtigt werden, daß gelegentlich im Boden Mineralien als Neubildung auftreten können.

Makroskopisch besitzt der B-Horizont ein lehmig-eisenschüssiges Aussehen. Sein feindisperser Anteil beträgt 21%. Durch die auflösende Tätigkeit des einsickernden Wassers ist in den obern Horizonten Kalk aufgelöst worden. Die tonigen, lehmigen Verwitterungsprodukte bleiben zurück, wozu sich in geringerer Menge ebenfalls noch solche von Feldspat gesellen, sowie Limonit als Neubildung. Letzterer bewirkt mit dem Humus die braune Färbung des Horizonts. Während in der hellen Fraktion hauptsächlich grau-bräunlich getrübe Feldspäte und Quarz neben Muskovit bemerkbar sind, finden wir im magnetischen Teil Turmalin, Epidot (randlich getrübt), Augit, grüne Hornblende (im Innern oft bräunlich verfärbt, so daß die Auslöschungsschiefe nicht mehr einwandfrei bestimmt werden kann). Chlorit ist zur Hauptsache noch frisch, in wenigen Fällen etwas ausgebleicht, mit punktförmigen Erzausscheidungen im Innern. Strahlstein und Zirkon sind in der üblichen guten Ausbildung vorhanden. Alle diese Mineralien liegen fast durchweg in charakteristischen Formen vor.

Haben sich die Untersuchungen dieser Schotter vorzugsweise auf den Sandanteil beschränkt, so ist versucht worden, an einem andern Beispiel die Geröllverwitterung zahlenmäßig zu erfassen.

Geröllauszählung in einem Schotterprofil von Stammheim.

In einer Schottergrube nördlich von Stammheim, in welcher deutlich ein brauner, etwas lehmiger Verwitterungshorizont abzutrennen war, konnte eine Auszählung der faust- bis nußgroßen Gerölle vorgenommen werden. Während die Gerölle im untern Teil der Grube noch frisch vorliegen, sind sie in der Verwitterungsmasse des Anreicherungshorizonts zu einem großen Teil schon zerfallen. Die Auszählung und die prozentuale Intensität der Verwitterung kann uns einen Überblick geben, wie sich die einzelnen Gesteinsarten den Verwitterungsagenzien gegenüber verhalten. Herrn E. GEIGER verdanke ich die Auszählungsdaten des frischen Materials im untern Teil der Grube.

Wenngleich ein quantitativer Vergleich mit dem frischen Gestein, infolge der verschiedenen Lagerung im Schotter, nicht ohne weiteres durchführbar ist, gestattet doch ein Vergleich der Hauptverwitterungsstadien zahlenmäßig über die einzelnen Gesteine etwas auszusagen. (Der hohe Prozentgehalt von Flyschmergel und Sandstein im Vergleich zu der Auszählung des frischen Schotters kann im verwitterten Material durch Verwitterung allein nicht erklärt werden. Offenbar handelt es sich um zugeführtes Moränenmaterial).

Der Einfluß der Korngröße, des Mineralbestandes, eventuell auch der Art des Bindemittels, der Intensität der Verzahnung der einzelnen Mineralien, der Textur sowie der physikalischen Faktoren, worunter die Ausdehnungskoeffizienten der Mineralien (besonders bei grobkörnigen Gesteinen) an erster Stelle stehen, auf die Verwitterung, kommen hier zur Geltung.

Tabelle 8. Geröllauszählung in einem Schotterprofil von Stammheim.

Gerölle	Verwitterungshorizont					Auszählung der frischen Gerölle in der Schottergrube nach E. Geiger
	frisch	halb verwittert	stark verwittert	oberflächl. verwittert	Summe	
Tertiäre Sandsteine . . . . . toniges Bindemittel	—	4,7	8,9	—	13,6	8,8
Flyschmergel und Flyschsandsteine . . . . .	—	9,5	35,0	—	44,5	2,4
Glaukonitsandstein . . . . .	—	—	1,8	0,6	2,4	—
Alpiner Kalk . . . . .	3,0	4,1	1,3	—	8,4	48,4
Verrucano . . . . .	3,6	—	—	—	3,6	2,4
Hornstein . . . . .	0,6	—	—	—	0,6	0,5
Dolomit . . . . .	—	—	3,0	—	3,0	0,8
Brekzien . . . . .	—	—	—	—	—	1,0
Granit . . . . .	0,6	1,2	—	0,6	2,4	2,0
Quarzporphyr . . . . .	1,2	0,6	0,6	—	2,4	0,5
Diorit . . . . .	0,6	—	—	—	0,6	0,4
Diabas . . . . .	—	—	—	—	—	1,5
Zweiglimmergneis . . . . .	—	2,4	0,6	0,6	3,6	1,0
Hornblendegneis . . . . .	—	—	0,6	0,6	1,2	3,0
Phyllit . . . . .	—	1,2	—	—	1,2	19,4
Glimmerschiefer . . . . .	0,6	1,8	1,8	—	4,2	0,5
Amphibolit . . . . .	5,4	0,6	—	1,8	7,8	6,0
Chloritschiefer . . . . .	—	0,6	—	—	0,6	1,2
Serpentin . . . . .	—	—	0,6	—	0,6	0,5

So ist z. B. Diorit und Amphibolit infolge der engen Verzahnung von Feldspat und Hornblende zum größten Teil noch unverwittert, während Granit und ebenfalls Gneis bei geringer chemischer Umwandlung in Bröckelchen zerfallen sind.

Flyschmergel und Sandstein liegen in der lehmigen Verwitterungsmasse in ihrer ursprünglichen

Form vor, sind aber vollkommen mürbe, braungelb verwittert und zerfallen, wenn man sie aus dem Verbande entfernt. Alpiner Kalkstein ist im Verwitterungshorizont viel seltener. Wir müssen also auch hier eine deutliche Kalkauswaschung annehmen.

### Zusammenfassung.

Die Untersuchungen, im Vergleich mit denjenigen von H. GESSNER, ergeben folgende Bodenentwicklungen auf losen Sanden und Schottern.

Kiesbankablagerungen, welche vom Hochwasser noch überflutet werden, mit einem geringen Humusgehalt von 3—4% und einer eventuellen Erstlingsvegetation, weisen nur spärliche Verwitterungsanzeichen auf. Selbst wenn der Sand schon stark braun verfärbt ist, finden wir im Mineralbestand und in der Korngröße unwesentliche Veränderungen. Im Auenwaldstadium hingegen mit seiner typischen Sandhumusbildung, hat im obern Horizont bereits eine Verkleinerung des Kornes stattgefunden. Ebenfalls hat sich der Kalkgehalt etwas verringert. Schon in diesen jungen Profilstadien beginnt der Einfluß des humiden Klimas sich geltend zu machen. Die Verwitterung scheint aber erst dann rascher fortzuschreiten, wenn sich der Humusgehalt vergrößert hat.

Ein weiteres Entwicklungsstadium finden wir auf Niederterrassenschotter. Dieser relativ junge Schotter weist oft im obersten Horizont eine völlige Kalkauswaschung auf, so daß wir den Boden als Braunerde, oft als schwach podsoliert ansprechen können.

Unsere klimatisch humiden Verhältnisse führen jedoch zumeist erst in Ablagerungen vom Alter der Hochterrasse zu einer deutlichen Podsolierung. Diese ist, wie im Profil von Murgenthal gezeigt werden konnte, durch eine Kalkauswaschung, Humus-Sesquioxyd-Anreicherung und eine Kornverkleinerung in den obern Horizonten bemerkbar. Bemerkenswert für das Fortschreiten der Profilstadien ist, daß der Humus adsorptiv ungesättigt vorliegt und dadurch seine Schutzwirkung ausüben kann.

Mit der Verwitterung setzt bei den Sanden eine Kornverkleinerung ein. Diese ist aber auch dann noch unbedeutend, wenn schon eine starke Bräunung des Sandes eingesetzt hat. (Die Veränderung erreicht natürlich bei kalkreichen Sanden höhere Werte als bei kalkarmen.) Mit der Kalkauswaschung verringert sich die grösste Fraktion. Dieser Korngröße gehörten zur Hauptsache die Kalkreststücke an. Im Profil macht sich nach der Oberfläche ein Ausgleich sämtlicher Fraktionen geltend. Die abschlämmbare Fraktion erreicht indessen 50% bei weitem nicht, was darauf hindeutet, daß der Boden noch stärker endodynamomorphes Verhalten zeigt, als man schätzen würde.

Ein großer Teil der Mineralien ist selbst in den stärkst veränderten Horizonten noch gut erhalten. Neben Kalk, welcher gelöst wird, zeigen Feldspat, Erze und Biotit die bedeutendsten Verwitterungserscheinungen und erst spät finden wir bei Epidot, Hornblende, Chlorit Umwandlungsanzeichen.

Die Korngrößenverschiebung von frischem Sand zum Boden beruht nicht nur auf einer Verwitterung der Einzelmineralien, sondern kommt zu einem großen Teil durch Stoffzufuhr humusreicher Verwitterungslösungen zustande.

Im Fraktionsdreieck (Fig. 25), das uns über die Nomenklatur bezüglich der physikalischen Zerteilung der Proben Auskunft geben kann, sind die einzelnen Verwitterungsstadien zusammengestellt. Aus der Darstellung geht die Tendenz zur Bildung lehmiger Verwitterungsprodukte hervor. Besonders große Veränderungen sind vom frischen Sand zum ersten Verwitterungsstadium zu beobachten.

## B. Verwitterung von Gesteinen aus dem Gebiet der Molasse und des Flyschs.

Im schweizerischen Molassegebiet liegen wenig verfestigte bis gut verfestigte Gesteine von psephitischem, psammitischem bis pelitischem Charakter vor. Einer vollständigen Untersuchung zugänglich sind die psammitischen bis pelitischen Gesteine. Um ein Bild von der Art der hier bemerkbaren Bodenbildungsprozesse zu erhalten, wurden ein kalkreicher und ein kalkarmer Sandstein sowie ein

mergeliger Sandstein der Süßwassermolasse mit ihren Verwitterungsprodukten nach verschiedenen Richtungen untersucht. Eine gewisse Ähnlichkeit mit den pelitischen Sedimenten der Molasse weisen die Mergelschiefer des Flyschs auf. Auch eine solche Verwitterungsstufe wurde analytisch bearbeitet.

### 1. Profil im Sandstein der untern Süßwassermolasse in Gränichen.

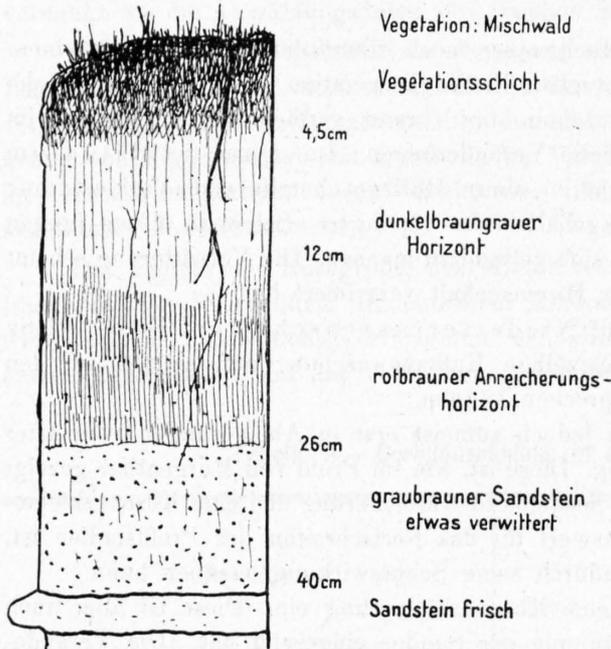


Fig. 4. Verwitterungsprofil auf Molassesandstein, Gränichen.

Das Profil (Fig. 4) wurde an der Burghalde in Gränichen unter Mischwald aufgenommen. Die Humusschicht weist eine dunkelgraue Farbe auf, welche in 4—5 cm Tiefe dunkel graugelb wird, um endlich in den rotbraunen Horizont überzugehen. Das Wurzelwerk des Baumbestandes geht an einzelnen Stellen durch das ganze Profil hindurch, wobei um die Wurzeläste herum eine braune Verfärbung, infolge Hydratisierung und Wandern des Eisens, auffällt.

Die Prüfung auf  $\text{CaCO}_3$  und HCl und die pH-Messung mit der Comber-Methode, welche im Felde angestellt wurden, lassen im Vergleich mit den Analysen auf den podsoligen Bodentypus schließen. Der rotbraune Horizont, der keine  $\text{CaCO}_3$ -Reaktion aufweist, und durch sein Aussehen keinen Zweifel über den bedeutenden kolloiden Anteil seiner Bestandteile aufkommen läßt, grenzt sich scharf von dem darunterliegenden, halbverwitterten, bräunlich olivfarbenen Sandstein ab, durch starkes Aufbrausen des letztern mit HCl.

Vergleichen wir das Profil mit demjenigen von H. GESSNER, welches im Hochterrassenschotter

von Gränichen gefunden wurde (Seite 16), so konstatieren wir, mit Ausnahme der geringern Mächtigkeit, weitgehende Ähnlichkeit.

Im HCl-löslichen Anteil (HCl, spez. Gew. 1,15) einiger Komponenten, finden wir die Vermutung, daß unter den gegebenen klimatischen Faktoren Podsolierung stattfindet, bestätigt. Der Kalk (er wurde mit dem Passon-Apparat bestimmt) ist bis zu zirka 26 cm weggeführt. Die pH-Reaktion sinkt auf 6,3 in der Bleicherde und nähert sich der neutralen Reaktion im Anreicherungs-horizont.

Tabelle 9. Profil im Molassesandstein, Burghalde, Gränichen.

Horizonte	Löslicher Teil	Teilanalyse des löslichen Anteils				$\text{CaCO}_3$	pH	Humus
		$\text{R}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$			
A <sub>1</sub> Vegetationsschicht . . .	—	—	—	—	—	7,1	—	
A <sub>2</sub> dunkelbraungrau . . .	12,38 %	6,47	2,98	3,42	0,07	0	6,3	—
B rotbrauner Anreicherungs-horizont . . . . .	14,66 %	8,36	3,97	4,31	0,08	0	6,9	7,2
C <sub>1</sub> graubraun etwas verwittert	30,09 %	5,21	2,17	2,97	0,07	23,6	7,3	2,1
C frischer Sandstein . . .	34,90 %	3,13	1,68	1,38	0,07	30,5	7,4	—

Die sprunghaft auftretende Kalkreaktion im halbverwitterten Sand wurde bereits erwähnt. Hier geht die Reaktion auf 7,3; im frischen Gestein sogar auf 7,4. Daß nun in der oberflächlichen Vegetationsschicht (zirka 5 cm) pH wieder neutral ist, muß wohl auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden.

Wie schon von H. BURGER [13] festgestellt wurde, kann durch den Blatt- oder Nadelabfall der Bäume die Reaktion in dem obersten Bodenhorizont verändert werden. Besonders kann eine Laubdecke neutralisierend auf den Boden wirken. Die Reaktionsänderung wird oft so stark, daß die Ausbildung eines Podsol, infolge der Bildung von gesättigtem Humus weitgehend gehemmt wird. Wir können uns diese Tatsache durch die Daten von WOLFF erklären:

Buchenholz 4 % Asche, wovon 1,5 % Kalk,  
 Buchenblätter 70 % Asche, wovon 20 % Kalk.

Aber auch der Flugstaub kann den Boden neutralisieren. TREITZ hatte auf die Bedeutung dieser Einwirkung hingewiesen und betont, daß der Flugstaub als regulierender Faktor bei dem Auslaugungsprozeß von großer Wichtigkeit sein kann. Auch W. ZU LEININGEN wies auf die Bedeutung der „Verstaubung“ hin (Natw. Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft 1909, S. 20; 1912, S. 483). Neuerdings hat H. JENNY [102] Messungen über die Flugstaubmenge ausgeführt und kommt z. B. auf der Alp Murtèra, 2340 m, im schweizerischen Nationalparkgebiet, auf die bedeutende Zahl von 1,4 bis 1,85 kg pro m<sup>2</sup> in einem Jahr. Bei sehr großer Auswaschung genügen natürlich solche Mengen immer noch nicht, den Boden vor Versäuerung zu schützen. (Nach A. STÖCKLI [116] kann der obere Bodenhorizont auch durch die Tätigkeit des Regenwurms neutralisiert werden. — In unserm Falle werden wohl alle genannten Faktoren mitgewirkt haben.)

Die löslichen Anteile (gewogen wurde je der unlösliche Teil) sind im frischen Gestein, des Karbonatgehaltes wegen, natürlich am größten. Sie besitzen die kleinsten Werte in der ausgebleichten Schicht A<sub>2</sub>. Im Anreicherungshorizont B konstatieren wir eine Sesquioydzunahme. Die beiden Komponenten sind wohl als Hydrate in diesen Horizont mit Humus als Schutzkolloid gewandert und durch den Kalk des Gesteins wieder ausgefällt worden. (Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Wert ist wenig gestiegen. Das tonig-eisenschüssige Material, welches im Dünnschliff stark hervortritt, ist in HCl-löslich.)

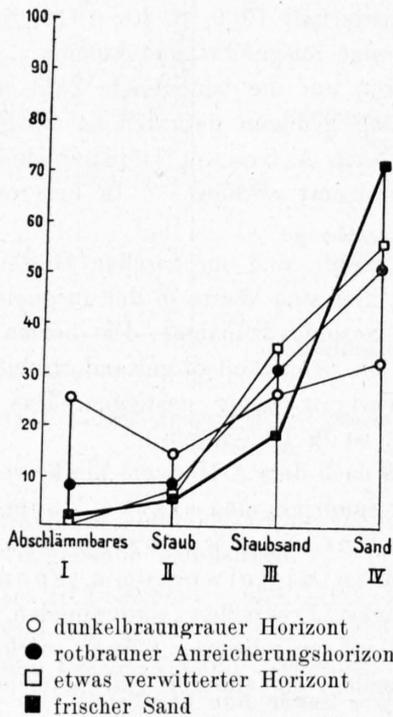
Profil und Schlämmanalyse. Wenn beim Kalkstein nach dem A-Horizont hin keine große Veränderung in der Korngröße zu beobachten ist, so tritt beim Sandstein eine starke Verminderung der größten Fraktion ein, der eine Zunahme der kleinsten Fraktion gegenübersteht, während die mittleren Fraktionen in Mittelwerten auspendeln. Nach der Oberfläche hin hat im Profil ein Ausgleich sämtlicher Fraktionen stattgefunden, siehe Fig. 5. Die größten Körnchen, vor allem Kalzit, werden zuerst, infolge teilweiser Lösung, zerkleinert. Ein Teil des Verwitterten wird sich zum Abschlämbbaren gesellen, ein anderer Teil bereichert die mittlern Fraktionen.

Tabelle 10. Profil im Molassesandstein, Burghalde, Gränichen.

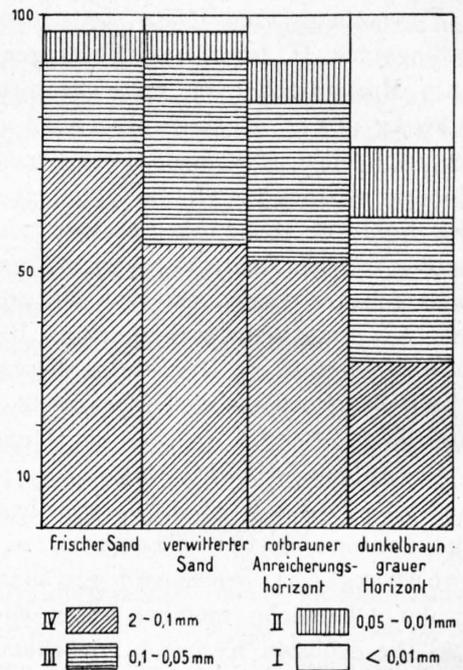
Horizonte	Tiefe (cm)	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	CaCO <sub>3</sub>	pH	Humus
		I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm				
A <sub>1</sub> Vegetationsschicht . . . . .	0—5	—	—	—	—	—	—	7,1	—
A <sub>2</sub> dunkelbraungrau . . . . .	5—15	25,50	14,35	27,00	33,15	60,15	0,0	6,3	—
B rotbrauner Anreicherungsh. . . . .	15—27	8,65	7,70	31,80	51,85	83,65	0,0	6,9	7,2
C <sup>1</sup> graubraun etwas verwittert . . . . .	27—41	1,60	6,25	36,85	55,30	92,15	23,6	7,3	2,1
C frischer Sandstein	—	2,20	6,35	18,65	72,80	92,45	30,5	7,4	—

Wäre der Verwitterungsverlauf ein idealer, und wären Koagulationserscheinungen, die bei sehr feinen Zerteilungen leicht auftreten, ausgeschlossen, so könnte als Endstadium eine Kornverteilung im Boden resultieren, bei der die kleinste Fraktion sich 100 % nähert. Die Ursache, daß dies nicht der Fall ist, ist darin zu suchen, daß es sich in unsern Fällen um unfertige endodynamomorphe Böden handelt, die noch beträchtliche Mengen unzersetzter Mineralien enthalten; mikroskopisch läßt sich dies leicht nachweisen.

Der Sandstein, der auch im frischen Zustand zerbröckelt werden konnte und sich somit ohne weiteres zur Schlämmanalyse eignete, zeigt schon in den ersten Stadien der Verwitterung eine starke Kornverkleinerung. Die Sandfraktion geht zurück, während der abschlämmbare Teil eine entsprechende Zunahme erfährt. Kalzit wird angegriffen und geht in die kleinern Fraktionen über, während Staubsand und Staub keine starken Verschiebungen aufweisen. Beim verwitterten Material rückt der Kalzit in die Korngröße des Staubsandes und mit dem Verschwinden des Kalzits vermindert sich auch diese Fraktion. Die Analysen der obersten Horizonte geben schon das Bild einer fortgeschrittenen Verwitterung. Die Feldspäte sind getrübt und die dunklen Gemengteile zu einem großen Teil zersetzt.



a) Schlämmanalysendiagramm der prozentischen Korngrößenveränderung im Verwitterungsprofil.



b) Darstellung der prozentischen Korngrößenverteilung in den Verwitterungshorizonten.

Fig. 5. Sandstein der untern Süßwassermolasse, Gränichen.

Staub und der abschlämmbare Teil reichern sich kontinuierlich an. Besonders stark ist der Zuwachs in der abschlämmbaren Fraktion. Die tonige bis limonitische, dunkelgraue bis braune Verschleierungs-masse tritt in den Vordergrund.

**Mikroskopisches.** Der Sandstein, der makroskopisch durch seinen Muskovitreichum auffällt, besitzt eine oliv-grünlichgraue Farbe. Es handelt sich um einen gleichkörnigen Sandstein mit kalkigem Bindemittel. Kalk ist in selbständigen Individuen vorhanden. Zur Hauptsache füllt er als Bindemittel die Zwickel aus. Als häufig auftretenden weitem Gemengteil finden wir Quarz; dieser weist im Innern Blasen und Einschlüsse auf; oft löscht er undulös aus. Die Feldspäte, als wesentliche Bestandteile, liegen als Plagioklas, Mikroklin und untergeordnet als Orthoklas vor. Alle diese Gemengteile sind noch nicht stark verwittert. Jedoch hat schon eine Trübung stattgefunden, die für einzelne Individuen die Bestimmung erschwert. Diese tritt beim verwitterten Sand (Fig. 1, T. II) besonders deutlich in Erscheinung. Relativ häufig finden wir Glaukonit. Man könnte nach seinem Aussehen und nach dem Verwitterungsverlauf verschiedene Typen auseinanderhalten. Rundliche Körner, die intensiv grün-

gefärbt sind und Aggregatpolarisation zeigen, wechseln mit fast klaren grünen Individuen ab. Häufig finden sich dann auch gelbbraune Mineralien, die wohl als verwitterter Glaukonit anzusprechen sind. Glaukonit verwittert zu eisenschüssigen Körnern oder Fetzen (Limonit und Erzausscheidung).

Über die Ausbildungsformen der Glaukonite kann ich hier nicht näher berichten, ich verweise auf die zusammenfassende Arbeit von P. NIGGLI [108] sowie auf die Untersuchungen von A. ERNI [94] und ARN. HEIM [101]. Aus diesen Arbeiten können wir ersehen, wie vielgestaltig das Mineral auftritt. Diese Vielgestaltigkeit ist natürlich auch bei der Verwitterung vorhanden.

Abgerundete, trübe Massen konnten nicht näher diagnostiziert werden. Es handelt sich offenbar um tonige Substanz, die sich primär im Sandstein vorfindet. Hornblende finden wir nur vereinzelt, ebenfalls Chlorit, Zirkon, Rutil sowie Granat.

Hat im Sandstein makroskopisch eine Bräunung stattgefunden (C<sup>1</sup>), so zeigt sich dies mikroskopisch in der limonitischen Umrandung einzelner Mineralien. Ursache davon sind kleine verwitterte Erzstückchen. Aber auch Glaukonit limonitisiert vereinzelt, trotzdem gleichzeitig noch das frische Material zu finden ist. Die Trübung der Feldspäte ist schon sehr weit fortgeschritten. Ebenfalls scheint die Kalzitumgrenzung nicht die ursprüngliche zu sein. Das Gefüge hat sich dadurch gelockert. Es setzt eine Karbonatwegfuhr ein.

In weitem Stadien der Verwitterung zeigt sich die Limonitisierung der dunklen Gemengteile häufiger. Damit wächst natürlich auch die Intensität der Braunfärbung des Sandsteins, der in diesem Stadium bereits als lockerer Sand vorliegt.

Im Boden schließlich ist die Verrostung sehr weit gediehen. Starke rostbraune Umgrenzung der Quarze und einiger noch erkennbarer Feldspäte sind überall bemerkbar. Dazu kommt eine bräunliche limonitische Masse, vermischt mit dunkelgrauer, wohl toniger Substanz (Fig. 2, T. II). Noch konnten in der Verwitterungsmasse vereinzelt stark zersetzte Glaukonite angetroffen werden. Weiter findet man Zirkonkörner. Daß in einem solchen Stadium der Verwitterung Kolloidreaktionen für den Verwitterungsverlauf von großer Bedeutung werden müssen, dürfen wir wohl nicht bezweifeln.

Chemismus. Schon im unbedeutend verwitterten Material weist der Sandstein eine Entkalkung auf; dieser gegenüber nehmen die *fm*- und *al*-Werte in ungefähr gleichem Maße zu, während die Alkalien nur eine schwache Anreicherung erfahren.

**Tabelle 11. Sandstein der untern Süßwassermolasse, Burghalde, Gränichen [47].**

	Gewichtsprozent				Molekularwerte		
	Frischer Sandstein I	Verwitterter Sand II	Anreicherungs-horizont III		I	II	III
	%	%	%				
SiO <sub>2</sub> . . . .	51,52	57,70	63,95	<i>si</i> . . . .	188	230	348
TiO <sub>2</sub> . . . .	0,32	0,49	0,59	<i>al</i> . . . .	12,5	20	31,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	5,77	8,72	9,75	<i>fm</i> . . . .	12	19	33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	2,43	3,44	4,97	<i>c</i> . . . .	66,5	50	21
MnO . . . .	0,14	0,14	0,15	<i>alk</i> . . . .	9	11	14,5
MgO . . . .	0,95	1,33	1,49	<i>k</i> . . . .	0,49	0,47	0,47
CaO . . . .	16,96	11,74	3,56	<i>mg</i> . . . .	0,43	0,43	0,37
Na <sub>2</sub> O . . . .	1,32	1,54	1,48	<i>c/fm</i> . . .	5,4	2,7	0,64
K <sub>2</sub> O . . . .	1,90	2,00	2,03	<i>h</i> . . . .	27,5	31	65,5
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . .	2,25	2,32	3,60	<i>co<sub>2</sub></i> . . . .	66,5	44,5	16,5
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . .	2,54	2,08	4,06	<i>f</i> . . . .	6,8	10,8	20,8
CO <sub>2</sub> . . . .	13,34	8,17	1,22	<i>m</i> . . . .	5,2	8,2	12,2
SO <sub>3</sub> . . . .	0,52	0,23	0,00	<i>si/al</i> . . .	15,2	11,2	11,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	0,10	0,11	0,23	<i>m/c</i> . . . .	0,07	0,16	0,59
			+ org. Subst.				
	100,06	100,01	97,02				

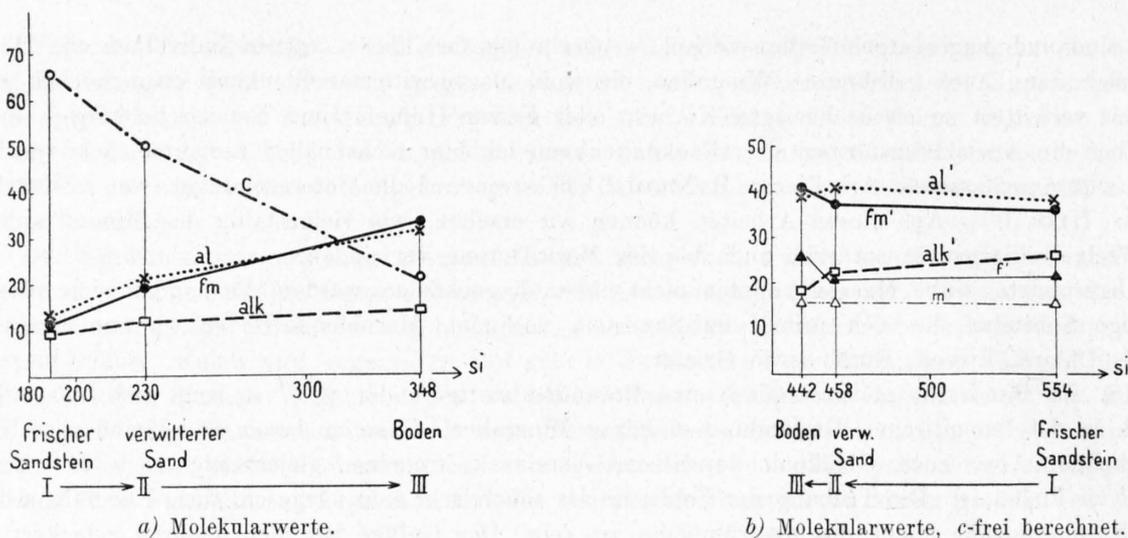


Fig. 6. Verwitterungsdiagramme des Sandsteins der untern Süßwassermolasse, Gränichen.

Die Kieselsäure, welche sich nur relativ durch den Verwitterungsvorgang angereichert hat, ist in Wirklichkeit in bezug auf Tonerde sowie auf Eisen stark vermindert. Die Entkieselung tritt deutlich nur vom frischen zum verwitterten Sandstein hervor. Von II zu III bleibt das Verhältnis nahezu konstant.

	I	II	III
$si/al$	15,2	11,2	11,2

Zum Vergleich seien die Zahlen eines Kalksteinprofils hinzugesetzt:

Kalkstein Klus	$si/al$	I	II	III
		35,8	17,5	10,5.

Daß Magnesia weniger als CaO ausgelaugt wurde, mag in dem verwitternden Sand vor allem durch den Mineralbestand bedingt sein, wogegen die Zunahme des Verhältnisses  $m/c$  im Boden kolloid-chemisch durch verminderte Austauschfähigkeit erklärt werden muß.

	I	II	III
$m/c$	0,07	0,16	0,59

Der  $CO_2$ -Wert ist uns ein Maß für die Karbonatauswaschung.

c-frei berechnet erkennt man die Entkieselung sehr deutlich.

Tabelle 11a. c-frei berechnete Molekularwerte.

	Sandstein I	Verwitterter Sand II	Anreicherungshorizont III
$si'$	554	458	442
$al'$	36,7	40,7	39,5
$fm'$	36,4	37,3	41,8
$alk'$	26,9	22,0	18,7
$f'$	21,0	21,5	25,5
$m'$	15,4	15,8	15,3

Der  $al'$ -Wert steigt zum verwitterten Material an (Fig. 6b), sinkt aber dann zum Boden um einen geringen Betrag, was auch mit dem  $si/al$ -Verhältnis im Einklang steht. Beide Komponenten vermindern sich gleichzeitig.  $fm'$  verändert sich zur Probe II nicht stark, hingegen wächst es relativ zum Boden an. Diese Anreicherung besteht in der Zunahme des Eisens, während Mg unverändert bleibt.

Die mikroskopisch erkennbare limonitische Einbettungsmasse spricht schon dafür, daß hier eine Anreicherung des Eisens stattfinden muß; eine Erscheinung, wie sie im Anreicherungshorizont zu erwarten ist. Die Alkalien vermindern sich kontinuierlich. Kalium ist eher etwas stärker in Lösung gegangen als Natrium.

Das  $-H_2O$ , welches in den Anfangsstadien der Verwitterung eher verringert wird, reichert sich im Boden rascher an als das gebundene.

	I	II	III
+ H <sub>2</sub> O	2,25	2,32	3,60
- H <sub>2</sub> O	2,54	2,08	4,00

Der *h*-Wert (für +H<sub>2</sub>O berechnet), der in seinem Verlauf mit *al* und *fm* ähnliche Tendenzen aufweist, mag auch im Zusammenhang mit der Humusanreicherung stehen.

	I	II	III
Humus	—	2,13	7,21
<i>h</i>	27,5	31	65,5

Die Niederschlagsverhältnisse, der Langsche Regenfaktor 129 und der N-S-Quotient von Meyer 690 (für Aarau berechnet) lassen die Podsolierung, die hier chemisch in ihren Anfängen als Entkieselung und Wanderung von Eisenverbindungen nachgewiesen wurde, erwarten.

## 2. Sandstein von Wangen a./A. (marine Molasse).

Nach der Beschreibung des Profils eines kalkreichen Sandsteins sei nun noch ein Verwitterungsprofil auf kalkfreiem Sandstein angegeben. Dasselbe wurde in Wangen a./A. in einer Sandsteingrube unter Mischwald gefunden.

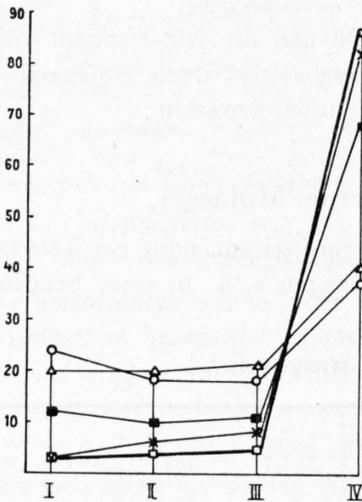
Tabelle 12. Profil im Molassesandstein von Wangen a./A.

	Horizonte	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	pH	CaCO <sub>3</sub>	Humus
		I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm				
5	0—10 cm dunkelbraungrau .	19,25	18,90	21,30	40,55	61,85	6,8	0,0	8,3
A									
4	60—70 cm gelbbraun, tonig . . .	24,70	18,00	19,40	37,40	56,80	4,6	0,0	5,2
3 B	100 cm rotbraun verkittet . .	10,65	9,30	10,40	69,65	80,05	4,8	0,0	7,5
2 C <sub>1</sub>	Sonderprobe . . .	3,55	6,65	7,15	82,65	89,80	6,0	0,0	—
1 C	frischer Sandstein .	3,30	4,45	5,05	87,20	92,25	6,7	0,0	—

Die Verschiebung in der Korngröße von frischem Sandstein (der so wenig verfestigt ist, daß man ihn ohne weiteres schlämmen kann) zum bräunlichen Sand ist gering. Auch unter dem Mikroskop sind mit Ausnahme von unwesentlichen Verfärbungen keine Veränderungen zu erkennen. Im rotbraunen Horizont, in welchem die Mineralien in kolloiden Humus-Eisenstoffen eingebettet liegen, hat nur eine geringe Kornverkleinerung stattgefunden (Fig. 7), die eigentlich eine Zufuhr von feindispersen Stoffen ist. Der Prozentgehalt der abschlämbaren Fraktion hat sich von 3,55 auf 10,65 erhöht. Die zwei obersten Horizonte indessen zeigen eine bedeutendere Verschiebung in der Korngrößenverteilung; die abschlämbare Fraktion steigt bis auf 24%. Aber auch hier ist die Verschiebung neben einer Kornverkleinerung teilweise durch Stofftransport und Humusanreicherung zu erklären. Gegen die Oberfläche hin scheinen die Fraktionen sich auszugleichen.

Mikroskopisches. Der frische, karbonatfreie und quarzreiche Sandstein mit geringer Verkittung, besitzt eine hellgraue Farbe und besteht vorwiegend aus leukokraten Mineralien. Die dunklen Gemengteile spielen eine untergeordnete Rolle. Grobe, etwas abgerundete Körner von Quarz, die oft durch Einschlüsse getrübt sind und vorwiegend in Körnchen von 0,1—2 mm vorliegen, sowie Plagioklas, Muskovit und etwas weniger Kalifeldspat sind die hauptsächlichsten hellen Bestandteile. Der Feldspat ist oft schon sehr stark kaolinartig zersetzt. Er besitzt dann ein graues, getrübttes Aussehen. Von den dunklen Mineralien ist Epidot mit seiner saftiggrünen Farbe, den abgerundeten Formen und dem hohem Relief stark vertreten; daneben finden wir Biotit, Chlorit, Granat, Glaukonit, Magnetit

und in der mittlern Fraktion Glaukophan. Biotit ist selten frisch, teils ist er schon vererzt, teils ausgebleicht. In der kleinsten Fraktion finden wir von Feldspat, Hornblende, Chlorit und Biotit herführende bräunliche Zersetzungsreste, neben einem faserigen, an Strahlstein erinnernden Mineral, welches meist unfrisch vorliegt. Besonders zu erwähnen ist Zirkon, der in der mittlern und in der zweiten Fraktion häufig anzutreffen ist.



△ 5 = dunkelgrauer Horizont, dem organische Reste beigegeben sind.

A

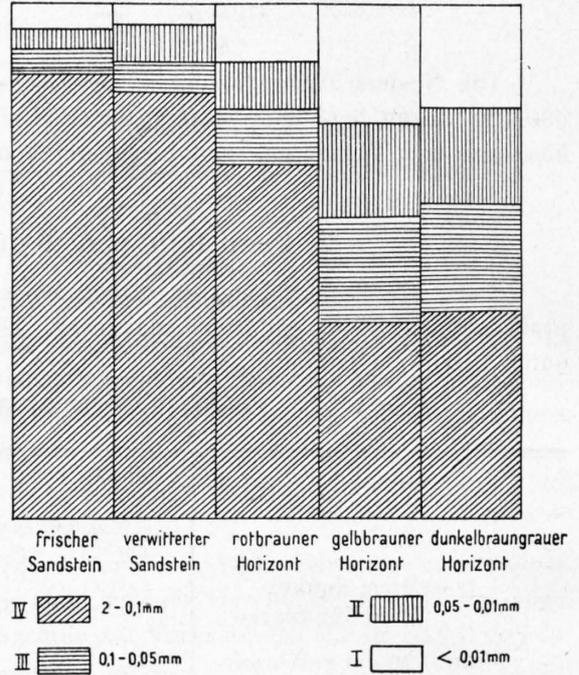
○ 4 = gelbbrauner Horizont, im Wurzelwerk, toniges Aussehen

■ 3B = rotbrauner Horizont, etwas verkittet.

× 2C<sub>1</sub> = verwitterter bräunlicher Sand (Sonderprobe).

◻ 1C = frischer Sandstein, grau.

a) Schlämmanalysendiagramm der prozentischen Korngrößenveränderung im Verwitterungsprofil.



b) Darstellung der prozentischen Korngrößenverteilung in den Verwitterungshorizonten.

Fig. 7. Molassesandstein Wangen a./A.

Es ist erstaunlich, wie wenig die einzelnen Mineralien durch die Verwitterung verändert worden sind, trotzdem die rötliche Verfärbung in der Sonderprobe deutlich zu erkennen ist. Mit Ausnahme von Feldspat, der in größten Teilchen bis zu 1 mm schon stark verwittert und dunkelgrau getrübt vorliegt, frisch aber nur in wenigen Körnchen zu erkennen ist, sind alle Mineralien relativ gut erhalten. In der größten Fraktion und besonders im unmagnetischen Teil überwiegt ein dunkel graugrünes Zersetzungsmineral. Es handelt sich offenbar um stark umgewandelten Feldspat.

Auch in den Verwitterungsproben der A- und B-Horizonte sind die hellen Mineralien weit vorherrschend (Fig. 2, T. I). Im magnetischen Teil der größten Fraktion wurde jedoch Epidot, Turmalin, Chlorit, Granat, Hornblende, neben einer sehr überwiegenden Menge des beschriebenen Zersetzungsminerals, gefunden. Das ähnliche Bild ergibt sich auch für die mittlere Fraktion; Quarz, Muskovit und das zersetzte Mineral bilden den leukokraten Anteil, denen in untergeordnetem Maße Granat, Epidot, Zirkon, Turmalin, Chlorit, Glaukophan und zersetzter Glaukonit gegenüberstehen. Besonders reichlich ist Zirkon im unmagnetischen Teil anzutreffen (Fig. 3, T. I). Biotit liegt meist stark zersetzt vor.

Durch die Verwitterung sind also hauptsächlich die Feldspäte sehr stark umgewandelt worden. Da besonders die größte Fraktion reichlich Feldspat enthält (der übrigens auch schon im frischen Sandstein nicht mehr als vollkommen frisch zu bezeichnen ist), können wir im Profil die starke Abnahme der größten Fraktion nach der Oberfläche hin in der starken Feldspatzersetzung suchen.

Natürlich ist auch der abschlämmbare Anteil bedeutend gestiegen, er beträgt 60 cm unter der Oberfläche (24 %). Die limonitischen Lösungen haben eine Menge von Mineralien oberflächlich verrostet, so daß wir es hier oft mit Oberflächenerscheinungen zu tun haben, die den Anschein erwecken, als ob das ganze Mineral zersetzt wäre. Solche Stoffe der Verwitterungslösung können sich besonders gut an der rauhen, bereits zersetzten Oberfläche der Feldspäte ansetzen und dadurch die starke Trübung hervorrufen.

### 3. Mergeliger Sandstein der untern Süßwassermolasse, Felsenau, Bern.

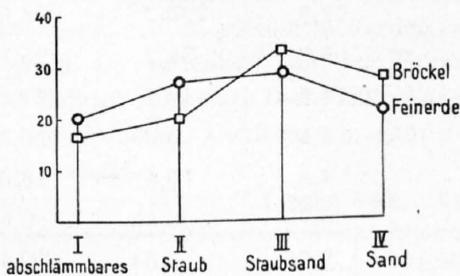
Die Süßwassermolasse des Aquitans<sup>1)</sup>, ein bunter, gelb-, blau-, grau- und rotfleckiger Mergel, ist als mergeliger Sandstein mit kalkigem Bindemittel ausgebildet. Über die mechanische Zusammensetzung von Bröckel und Feinerde geben die Schlämmanalysen Aufschluß.

Tabelle 13. Schlämmanalysen.

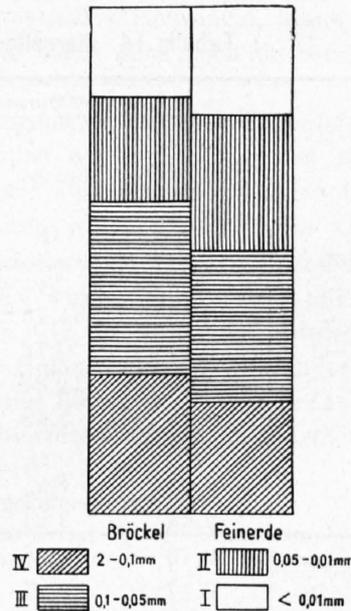
Verwitterungsstadien	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	pH	Humus
	I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm			
Feinerde . . . . .	20,40	27,15	29,70	22,75	52,45	7,2	1,78
Bröckel . . . . .	17,40	20,45	33,60	28,55	62,15	7,3	0,07
Mergeliger Sandstein (frisch) . . . . .	—	—	—	—	—	7,4	—

In den groben Fraktionen der Bröckelprobe kommt der Sandsteincharakter deutlich zum Ausdruck, indem das Bindemittel bereits weggeführt wurde. Wie beim nachfolgenden Flysch, konnte auch hier das frische Gestein nicht geschlämmt werden. Sowohl der Sand wie der Staubsand verringern sich bei der Verwitterung zugunsten der feinsten Fraktion. Die Verhältnisse kommen in den Diagrammen (Fig. 8) deutlich zum Ausdruck.

Mikroskopisches. Als hauptsächlichste Mineralien des Gesteins wurden gefunden: Kalzit, Orthoklas, Muskovit, Quarz, Plagioklas neben einem chloritischen Mineral,



a) Schlämmanalysendiagramm der prozentischen Korngrößenveränderung von den Bröckeln zur Feinerde.



b) Darstellung der prozentischen Korngrößenverteilung von Bröckel und Feinerde.

Fig. 8. Mergeliger Sandstein, untere Süßwassermolasse, Bern.

Hornblende, Biotit und Aktinolith. In der II. Fraktion der Schlämmanalyse ist Zirkon angereichert, auch Glaukophan konnte in der dunklen, magnetisch getrennten Probe gefunden werden (Pleochroismus  $n\gamma$  blau,  $n\beta$  violett). Die hellen Gemengteile überwiegen stark gegenüber den dunklen. Die Unterscheidung

<sup>1)</sup> Die Proben verdanke ich der freundlichen Übermittlung von Dr. E. Truninger.

der Mineralien bietet Schwierigkeiten, da einzelne schon unfrisch vorliegen. Um die Unterscheidung besser durchführen zu können, wurden die hellen von den dunklen Mineralien mit Bromoform getrennt und jede Portion mikroskopiert. Die weitere Trennung erfolgte mit dem Magneten. Diese erwies sich besonders vorteilhaft zum Trennen der chloritartigen Mineralien von den andern. Als Untersuchungsmaterial dienten die Fraktionen der Schlämmanalysen. Kalifeldspat ist sehr früh umgewandelt (kaolinisiert?). Er liegt dann als trübes, graubräunlich getrübt Mineral vor. Neben völlig unfrischen Individuen sind jedoch noch gut erkennbare, relativ frische vorhanden. Die Abtrennung gegenüber den andern Feldspäten geschah mit Hilfe der Beckeschen Methode; der Brechungsexponent ist niedriger als derjenige von Kanadabalsam. Während Muskovit sehr häufig anzutreffen ist, findet man nur untergeordnet polysynthetisch verzwilligte, relativ frische Plagioklase. Der Quarz enthält meist Einschlüsse.

Im Bröckelstadium sind immer noch einige Kalzitindividuen vorhanden. Sie fallen durch ihre unregelmäßige Gestalt, durch hohes Relief und starke Doppelbrechung auf. Die Ausbildung zeigt, daß sie in Auflösung begriffen sind. An einigen Kalziten erkennen wir aber noch deutlich die rhomboedrische Spaltform. Die dunklen Gemengteile sind teilweise schon sehr stark zersetzt, zum Teil sind sie noch frisch. Zum Beispiel läßt sich ein grünes, blättriges Mineral, das vermutlich in die Chloritgruppe gehört, mit fast isotropem Verhalten (optisch zweiachsig) und einem  $n = 1,60$  häufig finden. Nebenbei finden wir noch eine Menge bräunlich verfärbter bis vollkommen limonitisierter Mineralien. Es sind Verwitterungsprodukte von Biotit, Hornblende und dem chloritischen Mineral. Sehr häufig bildet Limonit Überzüge über die Feldspäte, so daß es scheint, als ob ein verwittertes Mineral vorliege. In den Präparaten konnten Übergangsstadien von frischem zu verwittertem Feldspat festgestellt werden. Wieder andere Individuen mit etwas abgerundeten Formen sind wohl als Glaukonit-Zersetzungsprodukte zu bezeichnen.

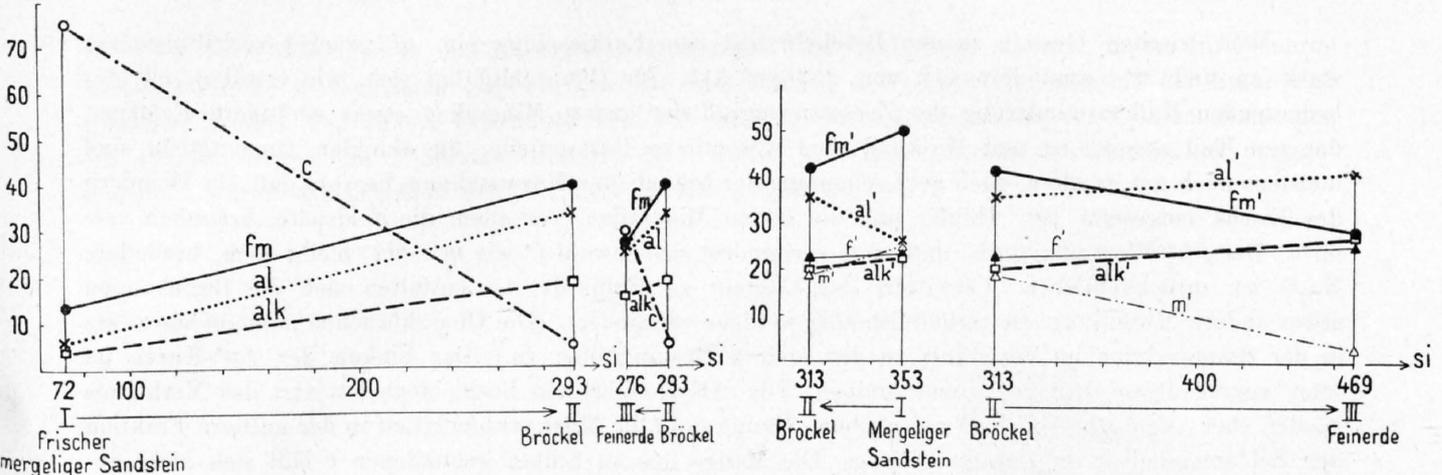
Von den Bröckeln zur Feinerde haben sich, wenn auch der Mineralbestand nicht wesentlich geändert wurde, die verwitterten Gemengteile etwas angereichert, so daß wir bei näherer Betrachtung eine deutliche Abstufung konstatieren können. Die Intensität der Limonitisierung ist bedeutend größer geworden. Neben einzelnen, noch relativ frischen sind vollkommen verrostete Mineralien häufig.

Chemismus.

Tabelle 14. Mergeliger Sandstein der untern Süßwassermolasse, Bern.

	Gewichtsprocente				Molekularwerte		
	Mergeliger Sandstein	Bröckel	Feinerde Auswashingtonshorizont III		I	II	III
	I	II	III				
	%	%	%				
SiO <sub>2</sub> . . . .	30,56	64,78	61,07	<i>si</i> . . . .	72,3	293,3	276,5
TiO <sub>2</sub> . . . .	0,47	0,72	0,60	<i>al</i> . . . .	5,3	34,2	25,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	3,88	12,88	9,43	<i>fm</i> . . . .	14,3	40,7	27,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	2,78	5,49	4,52	<i>c</i> . . . .	75,5	5,6	30,3
FeO . . . .	—	—	—	<i>alk</i> . . . .	4,8	19,4	16,6
MnO . . . .	0,01	Sp.	0,01	<i>k</i> . . . .	0,77	0,55	0,59
MgO . . . .	2,64	3,24	1,85	<i>mg</i> . . . .	0,65	0,54	0,45
CaO . . . .	29,79	1,16	6,24	<i>mg/fm</i> . . . .	5,2	0,14	1,08
Na <sub>2</sub> O . . . .	0,47	2,01	1,54	<i>h</i> . . . .	14,6	50,8	48,4
K <sub>2</sub> O . . . .	2,47	3,69	3,43	<i>co<sub>2</sub></i> . . . .	79,6	9,3	41,0
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . .	1,86	3,36	3,21	<i>f</i> . . . .	4,9	18,7	15,3
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . .	0,27	1,21	1,18	<i>m</i> . . . .	9,4	22,0	12,6
CO <sub>2</sub> . . . .	24,67	1,15	6,65	<i>si/al</i> . . . .	13,4	8,7	11,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	0,18	0,13	0,18	<i>m/c</i> . . . .	0,13	3,7	0,42
Org. Subst. .	—	(0,07) <sup>1)</sup>	(1,78) <sup>1)</sup>				
	100,08	99,82	99,91				

<sup>1)</sup> Humus.



a) Molekularwerte.

b) Molekularwerte, karbonat-frei berechnet.

Fig. 9. Verwitterungsdiagramme des mergeligen Sandsteins der untern Süßwassermolasse, Bern.

In chemischer Hinsicht stimmt das Verhalten des Süßwassermolassemergels mit demjenigen des Molassesandstein bis zu der als Bröckel analysierten Probe überein. Letztere weist neben braungelbem, zerfallenem Material erbsengroße Stücke auf mit einem noch nicht stark verwitterten Kern. Von dieser zur graugelben Feinerdeprobe tritt jedoch, mit einer schwachen Kieselsäureabnahme, welche aber keine Entkieselung bedeutet, ein umgekehrtes Verhalten in allen Komponenten der Analyse ein.

	I	II	III
<i>si/al</i>	13,4	8,7	11,0

Es erscheint merkwürdig, daß einer Verminderung von *si*, *al*, *fm*, *alk* und *h* im Boden ein Anwachsen von *c* und *co<sub>2</sub>* gegenübersteht. Dieses Verhalten wurde jedoch auch beim Mergelschiefer der Schwandegg gefunden.

Abgesehen davon, daß der *CO<sub>2</sub>*-Wert kleiner wird und eventuell verschwindet, wenn wir den Humusgehalt, in *CO<sub>2</sub>* umgerechnet, vom Gesamt-*CO<sub>2</sub>* subtrahieren, bleibt doch noch ein beträchtlicher *c*-Gehalt.

Eine Karbonatanreicherung könnte eventuell durch die Gegenwart von kapillar aufsteigendem *CaCO<sub>3</sub>* zu erklären sein. Diese Anreicherung von Karbonat in den obersten Horizonten wird sehr häufig konstatiert. Aber auch Flugstaub oder die Vegetation können solche Verschiebungen bewirken. Es soll hier nicht entschieden werden, welcher Faktor am stärksten wirkt. Die Tatsache allein soll erwähnt sein. Es wurde versucht, die karbonatfrei und auf Molekularwerte umgerechneten Analysen vergleichend zu betrachten. Die Berechnung, welche so ausgeführt wurde, daß zuerst *c* mit *co<sub>2</sub>*, der Rest von *co<sub>2</sub>* mit *m* gebunden wurden, wobei vorerst Humus als *CO<sub>2</sub>* berücksichtigt wurde, erweist sich nicht als vorteilhaft, da der Faktor 0,47 für verschiedene Humusarten verschieden sein kann. *c* wird dadurch sehr stark beeinflusst. Aus diesem Grunde wurde in der Berechnung (Tabelle 14 a) Humus nicht berücksichtigt. Die Analysen ganz *c*-frei zu berechnen ist nicht vorteilhaft, da ein bedeutender Mg-Gehalt vorliegt.

Tabelle 14 a. Karbonat-frei berechnete Molekularwerte.

	Mergeliger Sandstein I	Bröckel II	Feinerde III
<i>si'</i>	353	313	469
<i>al'</i>	26,4	36,8	42,6
<i>fm'</i>	50,4	42,4	29,1
<i>alk'</i>	23,5	20,8	28,3
<i>f'</i>	24,2	19,9	26,0
<i>m'</i>	25,8	22,5	3,1

Vom frischen Gestein zu den Bröckeln tritt eine Entkieselung ein.  $al'$  wächst verhältnismäßig stark an und  $si'$  vermindert sich von 353 auf 313. Im Dünnschliff hat sich, wie erwähnt, mit der bedeutenden Kalkverminderung der Zersetzungsgrad der andern Mineralien etwas verändert. Feldspat, der zum Teil zersetzt ist und Muskovit sind wesentliche Bestandteile, die dunklen Gemengteile sind meistens noch gut erhalten, doch geht schon aus der bräunlichen Verwaschung hervor, daß ein Wandern des Eisens eingesetzt hat. Häufig sind die hellen Mineralien, vor allem die Feldspäte, bräunlich verfärbt. Der  $fm'$ -Wert nimmt ab, und zwar vermindert sich sowohl  $f'$  wie  $m'$ .  $alk'$  bleibt hoch, besonders  $Na_2O$  ist zurückgeblieben. Verwittert das Gestein zu Feinerde, so gestalten sich die Beziehungen etwas anders. Kieselsäure ist verhältnismäßig weniger vermindert. (Die Quarzkörnchen nehmen besonders in der Staubfraktion im Verhältnis zu den andern Bestandteilen zu.) Das Sinken der  $fm'$ -Kurve ist jetzt vorzugsweise dem  $m'$  zuzuschreiben. Die Alkalien bleiben hoch, doch ist jetzt das Verhältnis wieder eher zugunsten von  $K_2O$  verschoben. Damit steht die Muskovithäufigkeit in der mittlern Fraktion der Schlämmanalyse in Zusammenhang. Die Menge des an Silikat gebundenen  $c$  läßt sich nicht abschätzen. Der dadurch entstehende Unterschied ist aber von unbedeutendem Einfluß auf das Kurvenbild. In der Feinerde ist die Limonitisierung und Zersetzung der Feldspäte sehr weit fortgeschritten, wenn gleich immer noch frische Mineralien angetroffen werden.

Der mergelige Sandstein ist somit unter den klimatischen Faktoren: Langscher Regenfaktor 116 und N-S-Quotient 525, zu einem staubigen Sand bis zu sandigem Lehm verwittert, unter relativ starkem Verlust von  $CaO$ ,  $MgO$  und  $Fe_2O_3$  sowie einer deutlichen Entkieselung. Die Alkalien sind zum Teil zurückbehalten worden.

#### 4. Profil im Mergelschiefer des Flysch, Schwandegg, Niesen.

Das frische Gestein, das als Mergelschiefer<sup>1)</sup> bezeichnet werden kann, besteht aus einem kalzischen Gefüge mit tonigem Bindemittel. Das Maschenwerk der einzelnen Mineralkomponenten mit dem Bindemittel ist so fein, daß im Dünnschliff die einzelnen Individuen nur schwer auseinandergelassen werden können. Vereinzelt erkennt man in dem Gefüge des Dünnschliffs Kalzitindividuen, Quarze oder Muskovitblättchen. Diese sind aber vollkommen in die Grundmasse eingebettet. Relativ reichlich sind die Erze im ganzen Schliff zerstreut.

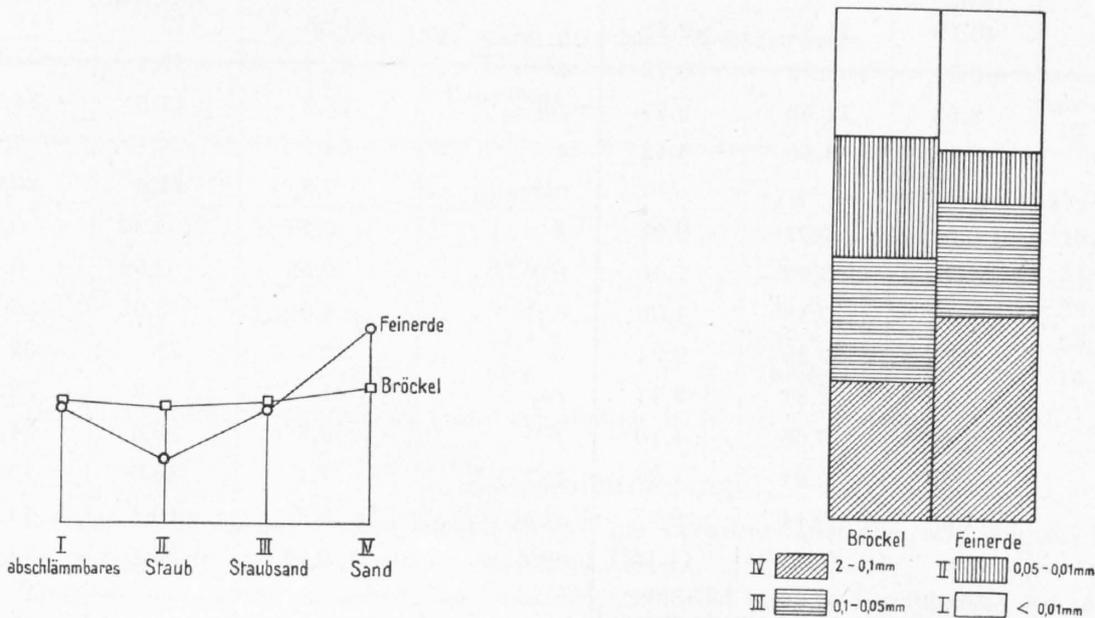
Schlämmanalyse. Folgende Zahlen geben uns Auskunft über die Korngrößenveränderungen zum verwitterten Material.

Tabelle 15. Schlämmanalysen.

Verwitterungsstadien	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	pH	Humus
	I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm			
Feinerde . . . . .	23,60	13,80	23,60	39,00	62,60	5,3	1,11
Bröckel . . . . .	24,65	23,65	24,40	27,30	51,70	6,5	0,21
Mergelschiefer (frisch) . .	—	—	—	—	—	7,2	—

<sup>1)</sup> Die Proben verdanke ich der freundlichen Übermittlung von Dr. E. Truminger.

Die Verschiebungen in den Korngrößenverteilungen sind hier etwas anormal, indem zur Feinerde (offenbar infolge mechanischer Stoffwegfuhr) die Sandfraktion sich vergrößert, während der Staub eine Abnahme erfährt. Die andern Fraktionen sind sich ungefähr gleichgeblieben. In den Schlümmfraktionen der Bröckel liegen die Mineralien getrennt vor, wobei das feine Material des Bindemittels weggeschlämmt wurde. Kalzit ist in den Bröckeln bereits ausgewaschen.



a) Schlümmanalytendiagramm der prozentischen Korngrößenveränderung von den Bröckeln zur Feinerde.

b) Darstellung der prozentischen Korngrößenverteilung von Bröckel und Feinerde.

Fig. 10. Mergelschiefer des Flysch, Schwandegg, Niesen.

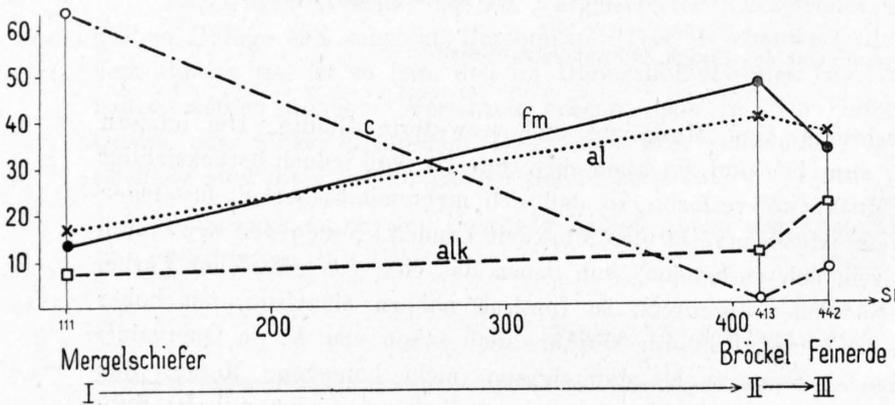
**Mikroskopisches.** Sehr verbreitet sind Muskovite und verwitterte Biotite. Die letztern scheinen zum Teil etwas ausgebleicht, zum Teil sind sie aber verrostet. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß der Limonit auch die Muskovite verfärbt, so daß sich nicht mit Sicherheit feststellen läßt, ob es sich um ausgebleichten Biotit oder um verfärbten Muskovit handelt. Neben den erwähnten Mineralien sind zwei helle Mineralien reichlich vorhanden, von denen das eine von gräulicher Farbe, mit scheinbar untergeordneten feinen Nadelchen durchsetzt ist (optisch nahezu einachsigt, mit hoher Lichtbrechung), eventuell handelt es sich um Kaolinit, wie er auch schon von F. de Quervain<sup>1)</sup> beschrieben wurde. Dieser erscheint in der Feinerde als dunkelgraue, nicht homogene Masse. Das andere, gelblich verfleckt erscheinende Mineral liegt in der Feinerde als hellbraune, limonitische Substanz vor. Weiter ist ein strahliges, an Aktinolith erinnerndes Mineral zu erkennen, mit oft spindelförmiger Ausbildung. Die Bestimmung wird aber durch den starken Zersetzungszustand erschwert. Offenbar handelt es sich um Strahlstein. In wenigen Individuen ist Feldspat vorhanden. Chloritähnliche Mineralien sind in geringer Zahl vorhanden.

**Chemismus.** In den Molekularwerten konstatieren wir vom Mergelschiefer zu den Bröckeln im Basenanteil ein starkes relatives Anwachsen von *fm*, ein etwas schwächeres Ansteigen von *al*, während *alk* den üblichen Verlauf zeigt. In Wirklichkeit sind gegenüber  $\text{SiO}_2$  sowohl  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  wie die Alkalien zurückgegangen.

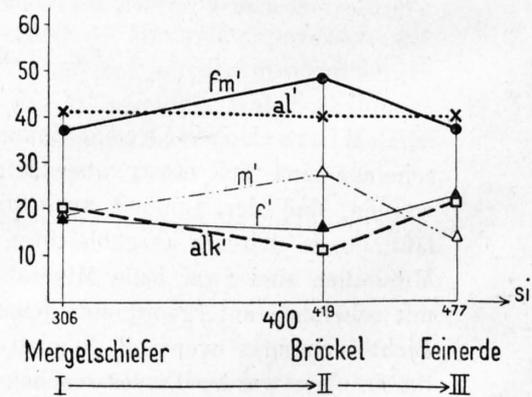
<sup>1)</sup> de Quervain, F. Zur Petrographie und Geologie der Taveyannazgesteine. S. M. P. M., Bd. VIII 1928 (S. 21).

Tabelle 16. Mergelschiefer des Flysch, Niesen.

	Gewichtsprozent				Molekularwerte		
	Frischer Mergelschiefer I	Bröckel II	Feinerde III		I	II	III
	%	%	%				
SiO <sub>2</sub> . . .	40,19	71,35	69,81	<i>si</i> . . .	111,3	413	442
TiO <sub>2</sub> . . .	0,73	0,72	0,72	<i>al</i> . . .	15,2	39,7	37,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	9,33	11,66	9,97	<i>fm</i> . . .	13,7	47,6	34,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	3,16	4,50	4,48	<i>c</i> . . .	63,7	1,1	7,2
FeO . . .	—	—	—	<i>alk</i> . . .	7,3	11,5	20,6
MnO . . .	0,01	0,01	0,01	<i>k</i> . . .	0,77	0,90	0,72
MgO . . .	1,71	3,22	1,45	<i>mg</i> . . .	0,52	0,59	0,39
CaO . . .	21,48	0,18	1,06	<i>c/fm</i> . . .	4,6	0,02	0,20
Na <sub>2</sub> O . . .	0,71	0,20	0,91	<i>h</i> . . .	32	71	87
K <sub>2</sub> O . . .	3,10	2,81	3,71	<i>co<sub>2</sub></i> . . .	61	5,2	22,8
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . .	3,49	3,66	4,10	<i>f</i> . . .	6,6	19,6	21,2
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . .	0,39	0,81	1,23	<i>m</i> . . .	7,1	28,0	13,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . .	Sp.	0,11	0,27	<i>si/al</i> . . .	7,3	10,4	11,9
Org. Subst. . .	—	(0,21 <sup>1</sup> )	(1,11 <sup>1</sup> )	<i>m/c</i> . . .	0,11	25,1	1,9
CO <sub>2</sub> . . .	16,08	0,66	2,64				
	100,38	99,90	100,36				



a) Molekularwerte.



b) Molekularwerte, c-frei berechnet.

Fig. 11. Verwitterungsdiagramme von Mergelschiefer des Flysch, Niesen.

Die Verschiebung in den Komponenten ist eine Folge der starken Kalkauswaschung. Von den Bröckeln zum Boden tritt eine Umkehrung im Kurvenbild ein. *c* reichert sich an, und zwar sowohl silikatisch wie auch als Karbonat; demgegenüber sinkt nun *fm* stark; *al* vermindert sich etwas. Die Alkalien hingegen weisen von den Bröckeln zur Feinerde ein rascheres relatives Anwachsen auf als zur ersten Verwitterungsstufe. Der rasch ansteigende Kieselsäuregehalt kann schon auf eine Kieselsäureanreicherung hindeuten.

	Mergelschiefer	Bröckel	Feinerde
<i>si/al</i>	7,3	10,4	11,9

Die *mg*-Werte des Flysch zeigen in ihrem Verlauf gewisse Übereinstimmung mit denjenigen der Süßwassermolasseprobe. Eigentümlich ist das hohe MgO im Bröckelstadium, trotz der Analogie mit der vorher beschriebenen Probe ist an eine ganz lokale Unregelmäßigkeit zu denken.

<sup>1</sup>) Humus.

		I	II	III
Flysch	<i>m/c</i>	0,11	25,1	1,9
	MgO	1,71	3,22	1,45
Süßwassermolassemergel	<i>m/c</i>	0,13	3,73	0,42
	MgO	2,64	3,24	1,85

In den *c*-frei berechneten Molekularwerten sind die Verhältnisse ungefähr gleichgeblieben wie im ersten Diagramm.

Tabelle 16a. *c*-frei berechnete Molekularwerte.

	Tonschiefer I	Bröckel II	Feinerde III
<i>si'</i> . . . . .	306	419	477
<i>al'</i> . . . . .	41,9	40,3	40,1
<i>fm'</i> . . . . .	37,7	48,1	37,8
<i>alk'</i> . . . . .	20,4	11,6	22,2
<i>f'</i> . . . . .	18,1	19,8	23,0
<i>m'</i> . . . . .	19,6	28,3	14,8

Der Flyschmergel verwittert bei einem ungefähren R. F. von 242 zu einem tonigen Lehm.

### 5. Zusammenfassung.

Bei den beschriebenen Proben handelt es sich um Verwitterungsstadien, die sich auf Sandstein, mergeligem Sandstein und Mergelschiefer entwickelt haben.

Trotzdem das äußere Aussehen, das mikroskopische Bild und die Kornbindung wesentlich verschieden sind, weist der Verwitterungsverlauf doch gewisse Übereinstimmung auf. Eine Analogie mit der Kalksteinverwitterung ist durch den oft respektablen Kalkgehalt des frischen Gesteins gegeben. Der Kalk wird beim Übergang zu den Bröckeln, schon wesentlich ausgewaschen. Mit der dadurch bedingten, oft scheinbaren Kieselsäureanreicherung erfolgt gleichzeitig ein *al*- und *fm*-Zuwachs. Die beiden letztern Werte wachsen in den Frühstadien ungefähr gleichsinnig, bei stärkerer Verwitterung *fm* etwas rascher an. Beide erreichen in den Bröckelstadien ihre Maximalwerte. In der Feinerde ist bei Mergelschiefer und mergeligem Sandstein schon eine Verminderung eingetreten. Gegenüber  $Al_2O_3$  hat sich  $SiO_2$  erhöht oder vermindert. In der Molasse von Gränichen liegen die Höchstwerte von *al* und *fm* im Anreicherungs-horizont. Hier findet auch deutlich eine Entkieselung statt.

Mit der Verwitterung zeigt sich besonders in der Feinerde eine relative Alkalianreicherung. Die *c*-Zunahme in derselben kann verschieden gedeutet werden. Sie wurde ebenfalls bei Kalksteinböden gefunden und wird an jener Stelle diskutiert.

Typendiagramm, (*al-alk*)-*c*-Diagramm und Fraktionsdreieck werden im Zusammenhang mit den Kalksteinen besprochen.

## C. Verwitterung von Kalkstein.

Sowohl im Gebiet des Juras wie auch in den Alpen besitzen Kalksteine weite Verbreitung. Ihre petrographische Beschaffenheit variiert oft stark. Von fast reinem Kalkstein zu mergeligem, kieseligem, eisenschüssigem Kalkstein sind wohl alle Übergänge anzutreffen. Im folgenden werden einige Verwitterungsbeispiele aus verschiedenen Gebieten der Schweiz zusammengestellt, die uns eine gute Übersicht über die Art und Weise zu geben vermögen, wie Kalksteine unter unsern klimatischen Bedingungen umgebildet werden.

### I. Kalkstein der Klus (Effingerschichten).

Der Kalkstein, der stratigraphisch zu den hydraulischen Kalken der Effingerschichten zu zählen ist, stammt von der Kuhweide in der Klus bei Balsthal. Es handelt sich um eine mit Jungholz, vor allem mit Tannen, bewachsene alte Weide. Das Profil konnte an einer Stelle aufgenommen werden, wo eine Bodenbearbeitung ausgeschlossen war.

Der fast reine, feinkörnige Kalkstein verwittert (unter klimatischen Verhältnissen, die der Braunerde oder dem podsoligen Boden auf silikatischem Gestein entsprechen) zu einem noch nicht fertig entwickelten Rendzinaboden.

Nach AARNIO und STREMMER [1] bildet sich Rendzina auf Kalkstein und Mergel, wobei die oberste Schicht reich an Humusstoffen ist. Der Bodenbildungsprozeß macht sich in einer Auswaschung des kohlensauren Kalkes bemerkbar. Dieser wird durch die bei der Zersetzung des adsorptiv gesättigten Humus gebildeten Kohlensäure beschleunigt. Der Rendzinaboden führt noch reichlich Kalk und da er einen hohen Gehalt an gesättigtem, grobdisperssem Humus aufweist, wandern die Sesquioxide nicht (s. auch H. JENNY [102, S. 327]). Im B-Horizont bleiben die Silikatanteile und die Verwitterungsprodukte zurück. Es fällen sich  $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_3$  und  $SiO_2$  gegenseitig und durch  $Ca^{++}$  aus. Geht die Kalkauswaschung weiter, so daß die Humusstoffe beweglich werden, wird sich erst ein Podsol ausbilden. Die klimatischen Faktoren (R.F. nach Lang = 134 und N-S-Quotient nach Meyer = 798) sprechen dafür, daß für das untersuchte Profil dieses Endstadium eintreten sollte.

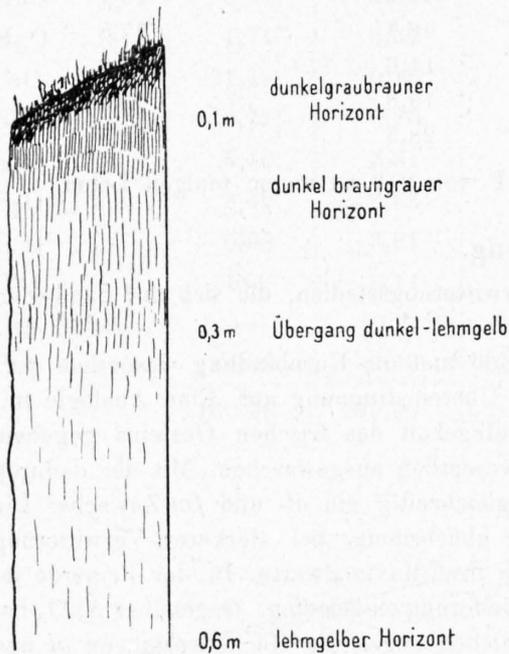


Fig. 12. Verwitterungsprofil auf Kalkstein, Klus.

Korngrößen in Verwitterungsprofilen aus Sand und Sandstein sehr groß sind, sind hier mit Ausnahme der chemischen Veränderung, der Kalkauswaschung, unwesentliche Verschiebungen nach der Tiefe zu erkennen, handelt es sich doch um die Verwitterungsprodukte eines feinkörnigen Kalksteins (Fig. 13). Die Korngrößenverteilung spricht für einen etwas lehmigen Ton.

Unser Profil (Fig. 12), das eine Mächtigkeit von zirka 60 cm aufweist, zeigt kontinuierliche Übergänge von der dunkelgraubraunen Vegetationsschicht über den erdigen, dunkelbraungrauen zum lehmig gelben, lehmigen Horizont.

Die Kalkbestimmung, die mit dem Passon-Apparat ausgeführt wurde, ergab in allen Horizonten noch wesentliche Mengen Kalk. Immerhin konstatieren wir nach der Tiefe ein beständiges Anwachsen des Kalkgehaltes. Demgegenüber nimmt der Humusgehalt ab.

Daß die Reaktion den Neutralpunkt nicht erreicht, können wir schon aus dem Kalkgehalt ablesen.

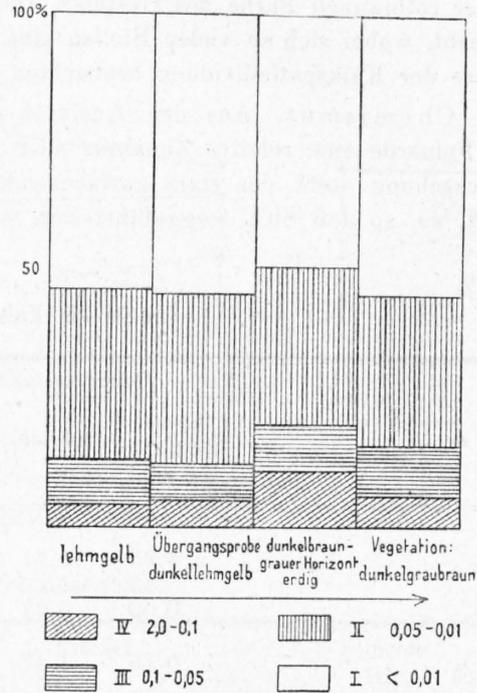
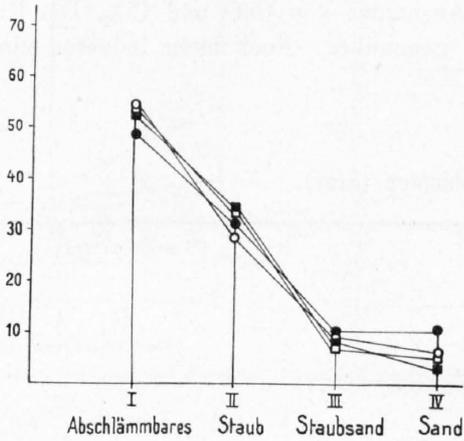
Von diesem Profil wurden die später zu besprechenden Analysen angefertigt. Die als Feinerde bezeichnete Probe wurde dem dunkelbraungrauen Horizont entnommen, während die Bröckelanalyse dem darunterliegenden Horizont in einer Tiefe von 40—50 cm entstammt. Das frische Material fand ich ungefähr 1 m neben der Profilstelle als anstehendes Gestein. Diese Probe wurde ebenfalls analysiert.

Schlamm-analyse. Die Zusammenstellung der Schlamm-analysen gibt uns ein Bild über die physikalische Veränderung im Boden. Während die Verschiebungen der

Tabelle 17. Profil auf Kalkstein der Effingerschichten (Klus).

Verwitterungsstadien	Tiefe cm	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	CaCO <sub>3</sub>	pH	Humus
		I <0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm				
Vegetation dunkelgraubraun	5—10	54,75	29,60	8,85	6,80	15,65	11,9	7,2	2,1
dunkelbraungrau (erdig)	15	49,05	31,05	9,60	10,30	19,90	12,5	7,2	1,6
dunkel lehmig gelb (Übergangsprobe)	30	54,40	32,80	7,35	5,45	12,80	23,3	7,3	1,5
lehmig gelb	60—70	53,05	34,60	8,70	3,65	12,45	44,8	7,3	—

Unter dem Mikroskop erkennen wir in den Fraktionen neben Karbonat vorwiegend eine tonige, eisenschüssige Substanz, die man nicht weiter diagnostizieren kann. In ihr sind reichlich Quarz und andere Mineralien, wie Zirkon und Turmalin, bemerkbar. Diese Mineralien sind besonders in der mittlern Fraktion gut zu erkennen.



a) Schlämmanalysendiagramm der prozentischen Korngrößenveränderung im Verwitterungsprofil.

b) Darstellung der prozentischen Korngrößenverteilung in den Verwitterungshorizonten.

Fig. 13. Kalkstein der Effingerschichten, Klus.

**Mikroskopisches.** Bei dem frischen Kalkstein erkennen wir im Dünnschliff ein feines, nicht identifizierbares Gefüge von Kalzit, in welchem kleinere oder größere Kalkspatindividuen in Adern oder in Drusen ausgebildet sind. Um den Quarz, der sich untergeordnet in kleinen, unregelmäßigen Formen vorfindet, sind die Individuen des Kalzits etwas besser ausgebildet. An einzelnen Stellen findet sich in verschiedenen Größen einzeln oder in Anhäufungen Magnetit vor, dessen Umgrenzung infolge Limonitisierung gelb bis gelbbraun verschleiert ist (Taf. II, Fig. 3).

Im innern Kern des Gesteins, welcher makroskopisch durch seine graublaue Farbe gegenüber der durch ihre Farbe stark abgegrenzten, bräunlichgrauen Rinde gekennzeichnet ist, treten die gelbbraunen Verfärbungen der Erze zurück. Der makroskopische Farbunterschied ist also in einer Limonitisierung zu suchen. Die Erze scheinen, besonders wenn sie angehäuft auftreten, aus einer größeren Erzpartie durch Abtrennung (körnchenweise) entstanden zu sein. Von den größeren Magnetitstücken, die sich im auffallenden Licht als Anhäufungen kugeliger Individuen erweisen, sieht man einzelne sich ablösen. So liegen viele kugelige, noch unzersetzte Körnchen im Schlitze zerstreut. Diese werden erst später limonitisiert, indem die Umgrenzung des Erzes zuerst unscharf wird. Andere Mineralien außer Pyrit konnten im Schliffe nicht bestimmt werden. An einzelnen Stellen findet sich ein grünes, glaukonitisches, formloses Mineral, das vermutlich mit einem teilweise in bräunlichen Fetzen auftretenden identisch ist. — Ist das Gestein in Grus zerfallen, so tritt der Limonit stark hervor. Die Bröckel sind nach makroskopischem Aussehen in ihrer Farbe unwesentlich verschieden von der Rinde des frischen Gesteins. Die Umwandlung der Eisenmineralien durch gelbbraune Verwaschung wird hier auffälliger. Quarz ist häufiger geworden.

Die II. Fraktion der Schlämmanalyse von der Feinerde, welche der im übrigen starken Verschleierung der Bestandteile wegen zum Mikroskopieren einzig in Betracht kommen konnte, zeigte vereinzelt Zirkon und Turmalin neben viel Quarz und getrübbten, verwitterten Mineralien.

Analoge Erscheinungen wie bei dem besprochenen Kalkstein finden wir im Schriff eines Rogensteins (Taf. II, Fig. 4) vom Balmberg bei Solothurn. Die kleinen Kalzitindividuen des Grundgewebes, welche im frischen Gestein kaum unterschieden werden können, treten in der verwitterten Probe durch limonitische Umrandung die Einzelindividuen stärker hervor. Makroskopisch zeigt sich die Erscheinung in der rotbraunen Farbe des Gesteins. Die großen Kalzitkristalle sind in den Spaltrissen gelblichbraun verfärbt, wobei sich an vielen Stellen eine fortschreitende Verwaschung längs feinen Spaltrissen in das Innere der Kalkspatindividuen beobachten läßt.

Chemismus. Aus den Analysen des Effinger Kalksteins erkennen wir vom frischen Gestein zur Feinerde eine relative Zunahme aller Komponenten mit Ausnahme von CaO und CO<sub>2</sub>. Der Kalkauswaschung steht der stark anwachsende Kieselsäuregehalt gegenüber. Noch mehr indessen nimmt Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zu, so daß SiO<sub>2</sub> weggeführt sein muß.

Tabelle 18. Kalkstein der Effingerschichten (Klus).

	Gewichtsprozent				Molekularwerte		
	Frischer Kalkstein I	Bröckel II	Feinerde III		I	II	III
	%	%	%				
SiO <sub>2</sub> . . . . .	3,23	15,11	27,77	<i>si</i> . . . . .	5,6	29,2	66,1
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,07	0,14	<i>al</i> . . . . .	0,2	1,6	7,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,15	1,47	4,51	<i>fm</i> . . . . .	2,3	3,1	8,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,78	1,54	2,77	<i>c</i> . . . . .	96,3	92,6	79,1
MnO . . . . .	Sp.	Sp.	Sp.	<i>alk</i> . . . . .	1,2	2,7	5,7
MgO . . . . .	0,49	0,31	1,10				
CaO . . . . .	51,56	44,64	31,07	<i>k</i> . . . . .	0,47	0,65	0,66
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,39	0,48	0,84	<i>mg</i> . . . . .	0,56	0,29	0,45
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,53	1,38	2,46	<i>c/fm</i> . . . . .	42,2	29,7	8,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Sp.	0,02	0,12	<i>h</i> . . . . .	4,0	6,5	2,49
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,70	1,01	3,14	<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	100,4	88,5	78,9
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,12	0,52	1,57	<i>f</i> . . . . .	1,1	2,2	4,9
CO <sub>2</sub> . . . . .	42,22	33,52	24,28	<i>m</i> . . . . .	1,2	0,9	4,0
	100,17	100,07	99,77	<i>si/al</i> . . . . .	35,8	17,5	10,5
pH . . . . .	7,3	7,3	7,2	<i>m/c</i> . . . . .	0,013	0,009	0,05
Humus . . . . .	—	1,58	1,58				
SO <sub>3</sub> . . . . .	Sp.	0,05	0,11				

Die Molekularwerte nach Niggli geben diesbezüglich ein gutes Bild über den Verwitterungsverlauf.

Ein starkes Fallen der *c*- und *co<sub>2</sub>*-Kurve fällt auf, während *al* und *fm* ungefähr im gleichen Sinne ansteigen. Dagegen wächst *alk* etwas schwächer an (Fig. 14 a).

Da das starke Auswaschen des Karbonats Veränderungen der silikatischen Anteile nicht deutlich hervortreten läßt, wurden die Molekularwerte *c*-frei berechnet.

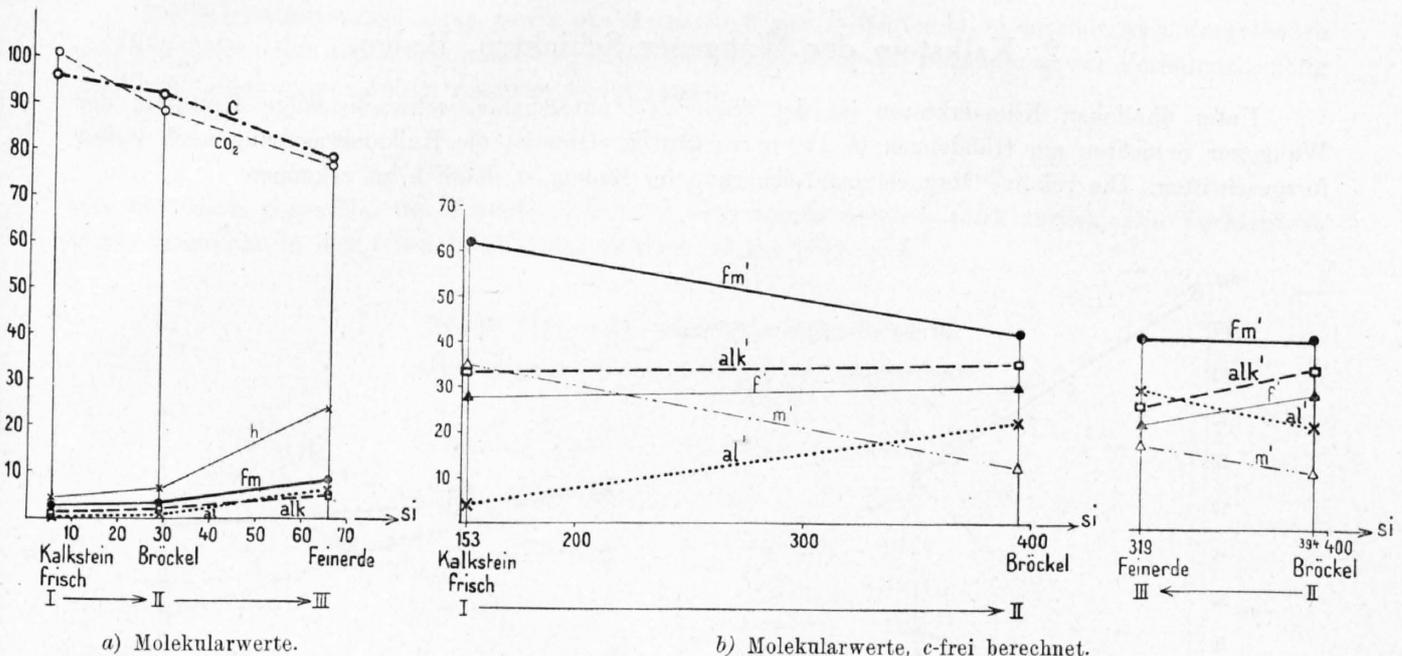


Fig. 14. Verwitterungsdiagramme des Kalksteins, Argovien, Klus.

Tabelle 18a. c-frei berechnete Molekularwerte.

	Frischer Kalkstein I	Bröckel II	Feinerde III
si'	153	394	319
al'	4,2	22,6	30,5
fm'	62,1	42,2	42,1
alk'	33,7	35,2	27,4
f'	27,3	30,0	23,2
m'	34,8	12,2	18,9

Ebenfalls schien es hier nötig,  $fm'$  in  $f'$  und  $m'$  zu trennen, da die beiden Komponenten verschiedenes Verhalten aufweisen. (Im Diagramm werden sowohl  $fm$  sowie auch  $f$  und  $m$  berücksichtigt.)

Vom frischen Gestein zu den Bröckeln zeigt sich ein Anwachsen von  $al'$ , das sich zu der Feinerde trotz relativer Kieselsäureabnahme fortsetzt. Während in dieser Darstellung  $f'$  und  $alk'$  nur schwach ansteigen, wird  $mg'$  bedeutend verringert. Von den Bröckeln zum Boden nehmen mit dem Kieselsäuregehalt auch  $f'$  und  $alk'$  ab, wogegen sich  $m'$  anreichert.

Durch die weitgehende Verwitterung hat eine starke Entkieselung eingesetzt.

$si/al$  geht von I zu III von 35,8 auf 10,5 zurück.

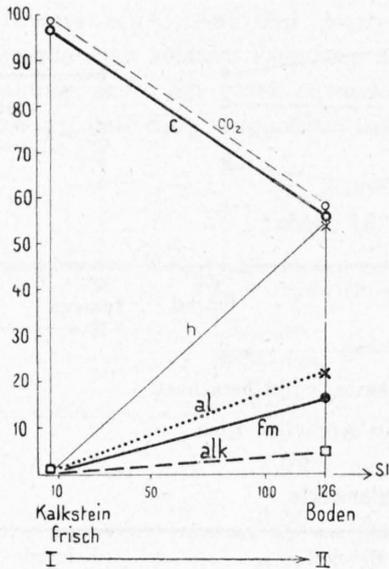
Die relative Anreicherung von MgO gegenüber CaO, die erst von den Bröckeln zur Feinerde zu erkennen ist, und mit der auch das Anwachsen des  $k$ -Wertes parallel geht, muß wahrscheinlich kolloidchemisch erklärt werden.

	Frischer Kalkstein	Bröckel	Feinerde
$m/c$	0,013	0,009	0,05

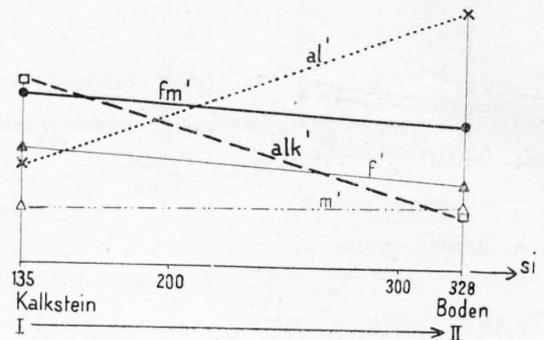
Sie kann im tonig-lehmigen Boden ganz allgemein dadurch zustandekommen, daß Mg mit seinem schlechtern Austauschvermögen als Ca fester am Ultramikron haftet als das letztere. Mg bildet mit den Innenionen des Ultramikrons schwerer lösliche Verbindungen als Ca [103]. Nach K. FAJANS [95] werden ja solche Ionen besonders gut absorbiert, welche mit den Innenionen der Ultramikronen wenig lösliche Verbindungen geben. So muß also bei  $Mg(OH)_2$  der Effekt besonders stark hervortreten.

## 2. Kalkstein der Wangener Schichten, Baden.

Unter ähnlichen Klimafaktoren ist der früher [47] untersuchte, schwachsandige Kalkstein der Wangener Schichten am Hundsbuck in 470 m verwittert. Hier ist die Kalkauswaschung noch weiter fortgeschritten. Die relative Magnesiumanreicherung im Boden ist deutlich zu erkennen.



a) Molekularwerte.



b) Molekularwerte, c-frei berechnet.

Fig. 15. Verwitterungsdiagramme des Kalksteins, Wangener Schichten, Baden.

Tabelle 19. Kalkstein der Wangener Schichten, Baden.

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	Frischer Kalkstein I	Boden II		I	II
SiO <sub>2</sub> . . . . .	1,65	40,27	si . . . . .	3	126
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,46	11,79	al . . . . .	0,5	22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,38	4,18	fm . . . . .	1	17
MnO . . . . .	Sp.	0,12	c . . . . .	97,5	56
MgO . . . . .	0,11	1,52	alk . . . . .	1	5
CaO . . . . .	54,23	16,87	k . . . . .	0,45	0,77
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,28	0,39	mg . . . . .	0,33	0,42
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,36	1,88	c/fm . . . . .	97,5	3,3
H <sub>2</sub> O+ . . . . .	—	5,41	h . . . . .	—	56,2
H <sub>2</sub> O- . . . . .	—	3,52	co <sub>2</sub> . . . . .	98,2	58
CO <sub>2</sub> . . . . .	42,76	13,67	f . . . . .	0,67	9,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Sp.	0,21	m . . . . .	0,33	7,1
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,04	0,56	si/al . . . . .	6,1	5,8
Org. Subst. . . . .	—	—	m/c . . . . .	0,003	0,13
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,06	0,19			
	100,33	100,58			

Die Magnesiumanreicherung sowie das Anwachsen des *k*-Wertes im eisenschüssigen Mergelboden sprechen dafür, daß neben der mineralogischen die kolloidchemische Beurteilung der Verhältnisse nötig ist. Neben einer unmerklichen relativen Entkieselung

	Kalkstein	Boden
<i>si/al</i>	6,1	5,8

tritt das Eisen gegenüber der Tonerde sowie der Kieselsäure ziemlich stark zurück. Die Verhältnisse treten deutlicher in den *c*-frei berechneten Werten zutage (Fig. 15 b).

**Tabelle 19 a. *c*-frei berechnete Molekularwerte.**

	Kalkstein I	Boden II
<i>si'</i> . . . . .	135	328
<i>al'</i> . . . . .	22,1	55,8
<i>fm'</i> . . . . .	37,2	31,4
<i>alk'</i> . . . . .	40,7	12,8
<i>f'</i> . . . . .	25,0	18,2
<i>m'</i> . . . . .	12,2	13,2

Die Alkalien vermindern sich danach bedeutend, und zwar verschiebt sich das Verhältnis von  $K_2O$  zu  $Na_2O$  stark zugunsten des erstern. Die Trennung in *f'* und *m'* zeigt, daß die Verminderung des *fm'* in diesem Falle hauptsächlich dem Eisen zuzuschreiben ist.

Der HCl-unlösliche Rückstand macht uns mit ähnlichen Verhältnissen bekannt, wie wir sie bei dem zu besprechenden Beispiel des Mergelkalksteins antreffen werden (Fig. 16).

**Tabelle 19 b. Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes.**

	Kalkstein I	Boden II
<i>si</i> . . . . .	32,5	306
<i>al</i> . . . . .	41,2	59,5
<i>fm</i> . . . . .	40,0	34,0
<i>c</i> . . . . .	—	5,5
<i>alk</i> . . . . .	18,8	11,0
<i>k</i> . . . . .	0,68	0,79
<i>mg</i> . . . . .	—	0,41
<i>c/fm</i> . . . . .	—	0,16
<i>f</i> . . . . .	40,0	20,0
<i>m</i> . . . . .	—	14,0

Obgleich vom frischen Gestein zum verwitterten im Rückstand *si* zunimmt, ist doch die Kieselsäure gegenüber *al* zurückgegangen. — *f* und *alk* vermindern sich. Die Alkalien und das Eisen sind in Lösung gegangen. Da *m* und *c* im frischen Gestein zum weitaus größten Teil als Karbonat vorliegen, sind sie im Boden, wo nun besonders die silikatisch gebundenen Anteile zur Geltung kommen, angereichert. Im HCl-unlöslichen Rückstand finden wir ähnliche Verhältnisse, wie wir sie in einem sehr stark fortgeschrittenen Stadium der Verwitterung bei starker Auswaschung anzutreffen hätten.

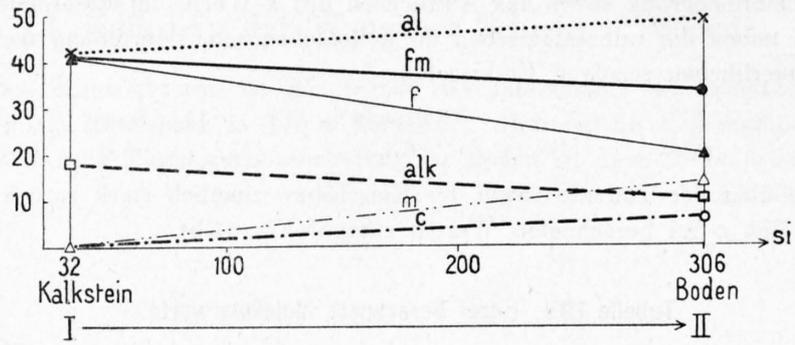
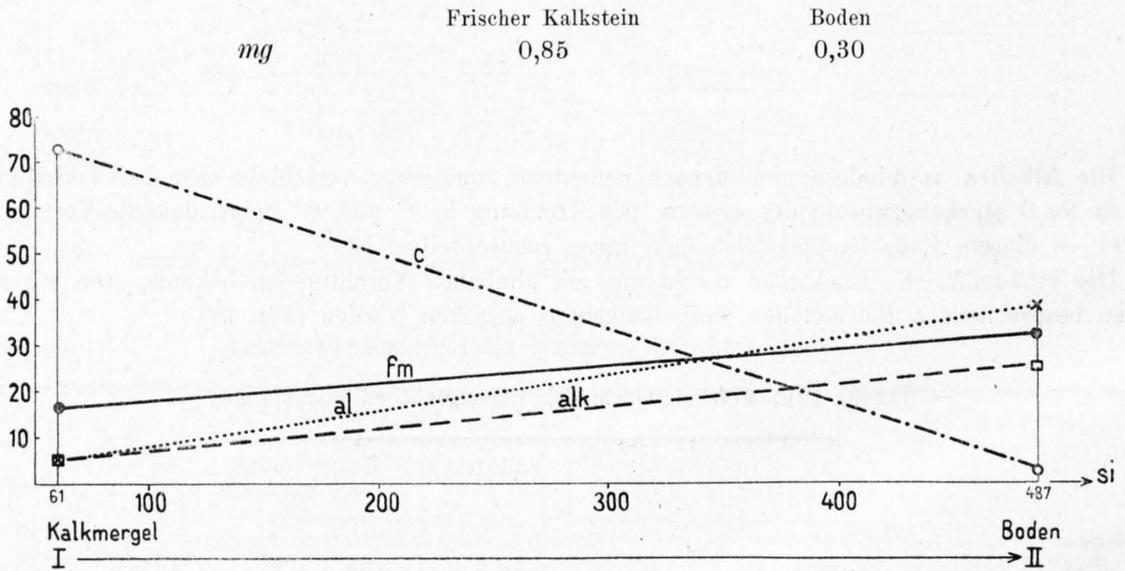


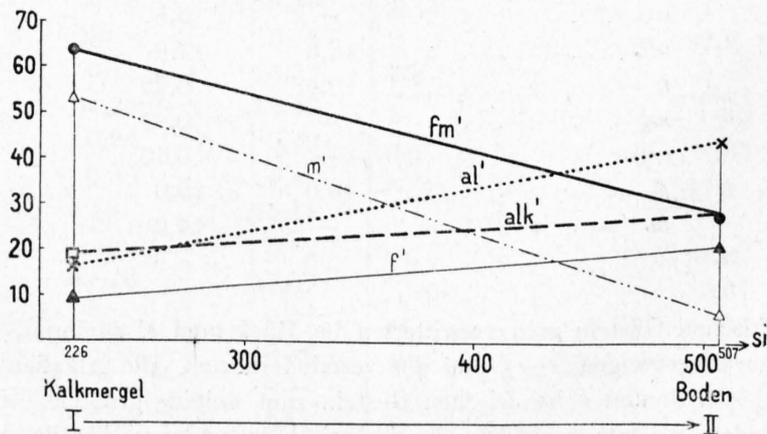
Fig. 16. Diagramm der Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes, Kalkstein, Baden.

### 3. Kalkmergel des oberen Doggers am Stanserhorn.

Bei einem Kalkmergel des Doggers am Stanserhorn in zirka 500 m ist die Kalkauswaschung besonders stark; der *c*-Wert sinkt von 73 auf 3, wobei aber auch die bedeutende Abnahme des *mg* zu beachten ist.



a) Molekularwerte.



b) Molekularwerte, *c*-frei berechnet.

Fig. 17. Verwitterungsdiagramm des Kalkmergels, oberer Dogger, Stanserhorn.

Tabelle 20. Kalkmergel, oberer Dogger, Stanserhorn.

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	Frischer Kalkmergel I	Boden II		I	II
	%	%			
SiO <sub>2</sub> . . . . .	27,86	71,35	<i>si</i> . . . . .	61	487
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,64	9,78	<i>al</i> . . . . .	5	39,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,54	3,73	<i>fm</i> . . . . .	17	32,5
MnO . . . . .	0,02	0,03	<i>c</i> . . . . .	73	3
MgO . . . . .	4,44	0,96	<i>alk</i> . . . . .	5	25
CaO . . . . .	31,39	0,46	<i>k</i> . . . . .	0,67	0,75
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,78	0,94	<i>mg</i> . . . . .	0,85	0,30
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,48	4,32	<i>c/fm</i> . . . . .	4,3	0,09
H <sub>2</sub> O+ . . . . .	0,16	5,59*)	<i>h</i> . . . . .	1,2	127,0
H <sub>2</sub> O- . . . . .	—	1,88	<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	81,3	0
CO <sub>2</sub> . . . . .	27,32	—	<i>f</i> . . . . .	2,5	22,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,10	0,43	<i>m</i> . . . . .	14,5	9,8
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,20	0,55	<i>si/al</i> . . . . .	13,0	11,7
Org. Subst. . . . .	0,29	—*)	<i>m/c</i> . . . . .	0,19	1,7
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,09	0,10			
	100,31	100,12			

\*) Mit Bitumen.

Die relative *alk*-Zunahme ist in den Niggli-Werten größer als bei den besprochenen Kalksteinen. *fm* zeigt ein schwächeres Anwachsen als *al*.

Tabelle 20a. c-frei berechnete Molekularwerte.

	Kalkmergel I	Boden II
<i>si'</i> . . . . .	226	507
<i>al'</i> . . . . .	17,4	44,1
<i>fm'</i> . . . . .	63,6	27,9
<i>alk'</i> . . . . .	19	28
<i>h'</i> . . . . .	4,4	142
<i>f'</i> . . . . .	9,6	21,5
<i>m'</i> . . . . .	54	6,4

Im c-frei berechneten Diagramm (Fig. 17b), in dem Magnesium nicht zum Karbonat mitgerechnet wurde, trotzdem es zum größten Teil als solches vorhanden ist, steigen *f'* und *alk'* ungefähr im gleichen Sinne an, wogegen die starke *al'*-Zunahme eine schwache Entkieselung erwarten läßt. Diese ergibt sich ebenfalls aus dem Verhältnis

	Kalkmergel	Boden
<i>si/al</i>	13,0	11,7

In bezug auf Tonerde hat sich auch der Gehalt an Eisen verringert. Obschon *f* im c-frei berechneten Diagramm etwas ansteigt, liegt Eisen zu einem Teil in löslicher Form vor. Im HCl-unlöslichen Rückstand (Fig. 18) kommt dies dadurch zur Geltung, daß sich *f* vermindert.

Tabelle 20 b. Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes.

	Kalkmergel I	Boden II
<i>si</i> . . . . .	564	702
<i>al</i> . . . . .	42,5	49
<i>fm</i> . . . . .	21	15
<i>c</i> . . . . .	5	5
<i>alk</i> . . . . .	31,5	31
<i>f</i> . . . . .	12,4	4,8
<i>m</i> . . . . .	8,4	10,2

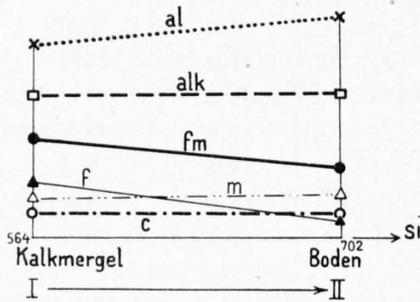
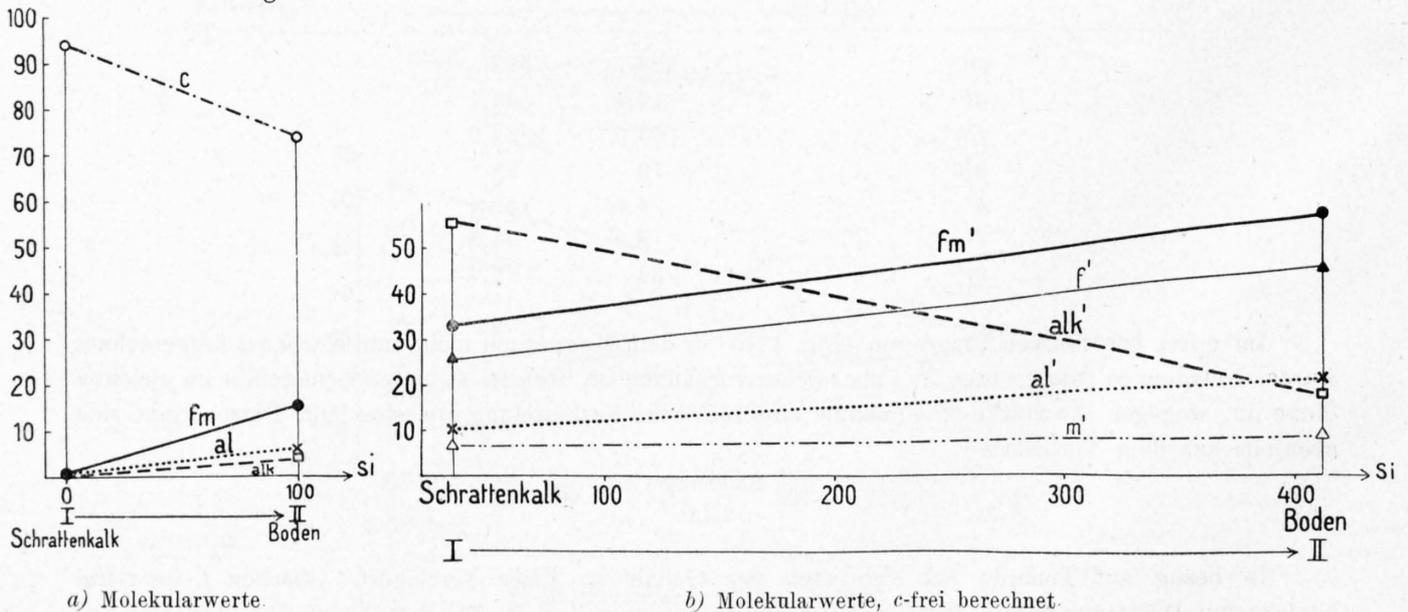


Fig. 18. Diagramm der Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes, Kalkmergel, Stanserhorn.

Hingegen verändert sich in diesem Diagramm die *m*-, *alk*- und *c*-Kurve unbedeutend; sie verlaufen sozusagen horizontal. Wir können uns den Verwitterungsvorgang, der zu einem eisenschüssigen Lehm Boden tendiert, so vorstellen, daß zuerst eine starke Kalk-Magnesiumauswaschung einsetzte, der eine Limonitisierung der Erze und einiger dunkler Gemengteile parallel ging. Hingegen sind die silikatisch gebundenen Bestandteile, *al*, *alk*, *c* und *m*, nur unwesentlich verändert. Die starke Auswaschung der löslichen Komponenten ist mit der großen Niederschlagsmenge im Hochgebirge in Zusammenhang zu bringen, immerhin brauchen  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nur in relativ geringen Mengen fortgeführt zu sein, da sich das Verhältnis *si* : *al* : *f* nicht stark verschoben hat.

#### 4. Schrattenkalk des Bürgenstocks.

Hier ist die Kalkwegfuhr bis zu dem untersuchten Verwitterungsstadium nur eine teilweise. Der Boden weist immer noch einen *c*-Wert von 74 auf. Es handelt sich somit um ein frühes Stadium der Verwitterung.



a) Molekularwerte.

b) Molekularwerte, c-frei berechnet.

Fig. 19. Verwitterungsdiagramme des Schrattenkalks, Bürgenstock.

Tabelle 21. Schrattenkalk, Bürgenstock.

	Gewichtsprozente			Molekularwerte	
	Frischer Schrattenkalk I	Boden II		I	II
SiO <sub>2</sub> . . . . .	% 0,29	% 33,80	<i>si</i> . . . . .	0,3	100
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	} 0,29	3,20	<i>al</i> . . . . .	} zirka 0,5	5,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .		5,01	<i>fm</i> . . . . .		15,5
MnO . . . . .	Sp.	0,09	<i>c</i> . . . . .	98,8	74
MgO . . . . .	0,15	0,62	<i>alk</i> . . . . .	0,7	5
CaO . . . . .	55,57	23,36	<i>k</i> . . . . .	0,27	0,48
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,34	0,86	<i>mg</i> . . . . .	?	0,17
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,22	1,16	<i>h</i> . . . . .	—	114
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	—	11,51 *)	<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	96,0	66,6
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	—	3,26	<i>f</i> . . . . .	—	12,9
CO <sub>2</sub> . . . . .	43,39	16,52	<i>m</i> . . . . .	—	2,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,05	0,63	<i>si/al</i> . . . . .	—	17,9
TiO <sub>2</sub> . . . . .	—	0,42	<i>m/c</i> . . . . .	—	0,037
Org. Subst. . . . .	—	—*)			
SO <sub>3</sub> . . . . .	Sp.	0,24			
	100,30	100,26			

\*) Mit Bitumen.

Die Molekularwerte zeigen nichts wesentlich Neues, nur daß hier *fm* relativ etwas stärker ansteigt (Fig. 19). K<sub>2</sub>O reichert sich, wie dem *k*-Wert zu entnehmen ist, gegenüber Na<sub>2</sub>O stark an. *c*-frei berechnet, ergibt sich eine relative Zunahme von *al'* und *fm'*, und zwar beruht diese Anreicherung sowohl auf *f'* wie auf *m'*.

Tabelle 21 a. *c*-frei berechnete Molekularwerte.

	Schrattenkalk I	Boden II
<i>si'</i> . . . . .	34,3	41,2
<i>al'</i> . . . . .	10,7	22,7
<i>fm'</i> . . . . .	33,5	58,0
<i>alk'</i> . . . . .	55,8	19,3
<i>h'</i> . . . . .	—	46,7
<i>f'</i> . . . . .	26,4	47,6
<i>m'</i> . . . . .	7,1	10,4

Die Alkalien werden dagegen ausgelaugt (besonders Na). Im HCl-unlöslichen Rückstand finden wir ähnliche Verhältnisse wie bei den schon besprochenen Fällen. *c*, als silikatisch gebundener Anteil, weist relativ hohe Werte infolge seiner schweren Löslichkeit auf. Die für in HCl-unlöslich berechneten Molekularwerte lauten für den Boden:

Tabelle 21b. Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes.

	Boden
<i>si</i> . . . . .	559
<i>al</i> . . . . .	30
<i>fm</i> . . . . .	46
<i>c</i> . . . . .	16
<i>alk</i> . . . . .	8
<i>k</i> . . . . .	0,75
<i>mg</i> . . . . .	0,17
<i>c/fm</i> . . . . .	0,35

### 5. Kalkstein von Ruvigliana bei Lugano (Lias).

Vergleichsweise sei noch eine von HARRASSOWITZ untersuchte Verwitterungsstufe angeführt [23].

Der Liaskalk von Ruvigliana bei Lugano verwittert bei einem ungefähren N-S-Quotienten von 700 (für Lugano). Aus dem Vergleich der Analysen mit denjenigen aus dem schweizerischen Jura geht hervor, daß kein wesentlicher Unterschied auftritt.

Die Kalkauswaschung setzt sich bis in den Humusboden fort; mit Ausnahme von *c* nehmen alle Molekularwerte zu, und zwar zeigt *alk* nur ein schwaches Ansteigen.

Tabelle 22. Liaskalkstein, Ruvigliana.

	Gewichtsprozent			Molekularwerte			
	Frischer Liaskalk	Gelberde	Humusboden	I	II	III	
	I	II	III				
	%	%	%				
SiO <sub>2</sub> . . . . .	32,31	60,85	75,44	<i>si</i> . . . . .	80,2	286	648
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,96	12,62	9,36	<i>al</i> . . . . .	4,3	33,9	47,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,92	2,91	2,68	<i>fm</i> . . . . .	7,2	20,1	35,6
FeO . . . . .	Sp.	1,20	0,96	<i>c</i> . . . . .	88,0	40,8	8,2
MnO . . . . .	—	—	—	<i>alk</i> . . . . .	0,5	5,2	8,8
MgO . . . . .	1,46	0,85	0,98	<i>k</i> . . . . .	0,67	0,37	0,47
CaO . . . . .	32,98	8,31	0,89	<i>mg</i> . . . . .	0,75	0,29	0,35
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,10	0,78	0,54	<i>c/fm</i> . . . . .	12,22	2,03	0,23
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,16	2,55	0,78	<i>h</i> . . . . .	9,9	30,0	113
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	1,25	1,96	3,95	<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	92,4	39,9	Sp.
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,25	1,24	3,11	<i>f</i> . . . . .	1,7	14,3	23,2
CO <sub>2</sub> . . . . .	27,20	6,38	Sp.	<i>m</i> . . . . .	5,4	5,8	12,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,04	0,15	0,06	<i>si/al</i> . . . . .	18,6	8,4	13,7
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,15	0,65	0,58	<i>m/c</i> . . . . .	0,06	0,14	0,15
Org. Subst. . . . .	—	—	—				
SO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—				
	99,68	100,45	99,33				

Das Diagramm (Fig. 20a) gestaltet sich nicht wesentlich anders als dasjenige von der Klus und von der Läger.

Im *c*-frei berechneten Diagramm (Fig. 20 b) tritt von frischem Kalk zur Gelberde eine Entkieselung ein.



Es handelt sich sicherlich zum Teil um primär schwach angegriffene Konkretionen.

	Liaskalk	Gelberde	Humusboden
<i>m/c</i>	0,06	0,14	0,15

Magnesium wird zu Beginn der Verwitterung ausgewaschen. Gegenüber CaO konstatieren wir eine kontinuierliche Zunahme.

### 6. HCl-Auszüge von zwei Profilen des Nationalparks.

Zur Vervollständigung des chemischen Verwitterungsverlaufs im Bodenprofil seien zwei Profilaufnahmen aus dem Nationalparkgebiet angeführt [102].

Leider können die partiellen HCl-Auszüge nicht mit den übrigen Analysen verglichen werden. Wir erkennen aber deutlich die unter perhumidem Klima erfolgte Kalk- und Magnesiumauswaschung, während sich besonders  $R_2O_3$  und  $H_2O$  im B-Horizont anreichert. Der Humus erreicht hier bedeutend höhere Werte als auf Kalksteinprofilen des Juras (Vergleiche auch zu Leiningen). Damit geht auch die Versäuerung des Bodens parallel.

Ein ungefähr ähnliches Bild tritt uns bei dem Rendzina-Podsol-Profil von Murtaröl entgegen, nur daß hier neben dem Horizont B noch ein  $A_2$ -Horizont ausgebildet vorliegt, wo die Versäuerung noch weiter fortgeschritten ist. Sie erreicht im obersten Horizont Werte von pH 5 – 5,7. Für eine Podsolierung spricht übrigens schon die Niederschlagsmenge von 1000—1700 mm und der hohe N-S-Quotient von 500—2400.

Tabelle 23. Profile des Nationalparks.

	Rendzina-Profil der Alp Murtèr 2500 m unter Elynetum (nach H. Jenny)			Rendzinapodsol-Profil Murtaröl 2579 m unter Curvuletum (nach H. Jenny)			
	C Kalkfels 65 cm?	B dunkelgrauer, schwerer Ton 25—65 cm	A Humus 0—25 cm	C Kalkfels mit vielen Kalzit- adern 45 cm?	B gelbbrauner, sandiger Ton 38—45 cm	$A_2$ hellgrauer, sandiger Ton 35—38 cm	$A_1$ brauner Humus 0—35 cm
in HCl löslich:							
SiO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . .	1,94	13,03	—	1,39	13,50	11,18	—
CaO . . . . .	46,00	0,38	—	33,58	0,25	0,30	—
MgO . . . . .	0,75	0,05	—	0,54	0,00	0,30	—
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,00	0,12	—	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,00	0,21	—	0,00	0,24	0,11	—
H <sub>2</sub> O (110°) . . .	0,30	6,41	11,21	3,03	4,10	3,40	10,20
CO <sub>2</sub> . . . . .	36,10	0,00	0,00	28,40	0,00	0,00	0,00
Humus . . . . .	0,00	17,85	35,32	0,00	2,95	0,51	22,43
pH . . . . .	7,6	6,9	6,0	7,8	6,5	5,7	5,0

### 7. Zusammenfassung.

Aus den beschriebenen Verwitterungsdaten geht hervor, daß der Kalkstein unter humiden Verhältnissen, wie wir sie zum größten Teil in der Schweiz antreffen, einheitliche Verwitterungstendenzen aufweist. In den Frühstadien der Verwitterung macht sich eine braune Verfärbung der Erze und eventuell eine solche des Glaukonits durch Limonitisierung geltend. Diese setzt sich in den Bröckeln weiter fort und in dem zur Feinerde verwitterten Boden haben wir es zur Hauptsache mit einer tonigen, etwas eisenschüssigen Substanz zu tun, in der schwer zersetzbare Mineralsplitterchen eingebettet sind.

Chemisch macht sich die Verwitterung in einer Kalkauswaschung geltend, die schon sehr bald auftritt;  $\text{CaCO}_3$  geht als Bikarbonat in Lösung. Der  $c$ -Abnahme gegenüber reichern sich die übrigen Komponenten an, wobei meistens  $al$  und  $fm$  stärker als  $alk$  ansteigen. Typisch für den Verwitterungsverlauf ist die mehr oder weniger starke Entkieselung gemessen an  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Während der Limonitierung wächst  $f$  etwas an, hingegen wird  $m$  fortgeführt. Im Boden dagegen scheint eher das entgegengesetzte Verhalten zu bestehen;  $m$  kann hier relativ wieder zunehmen.

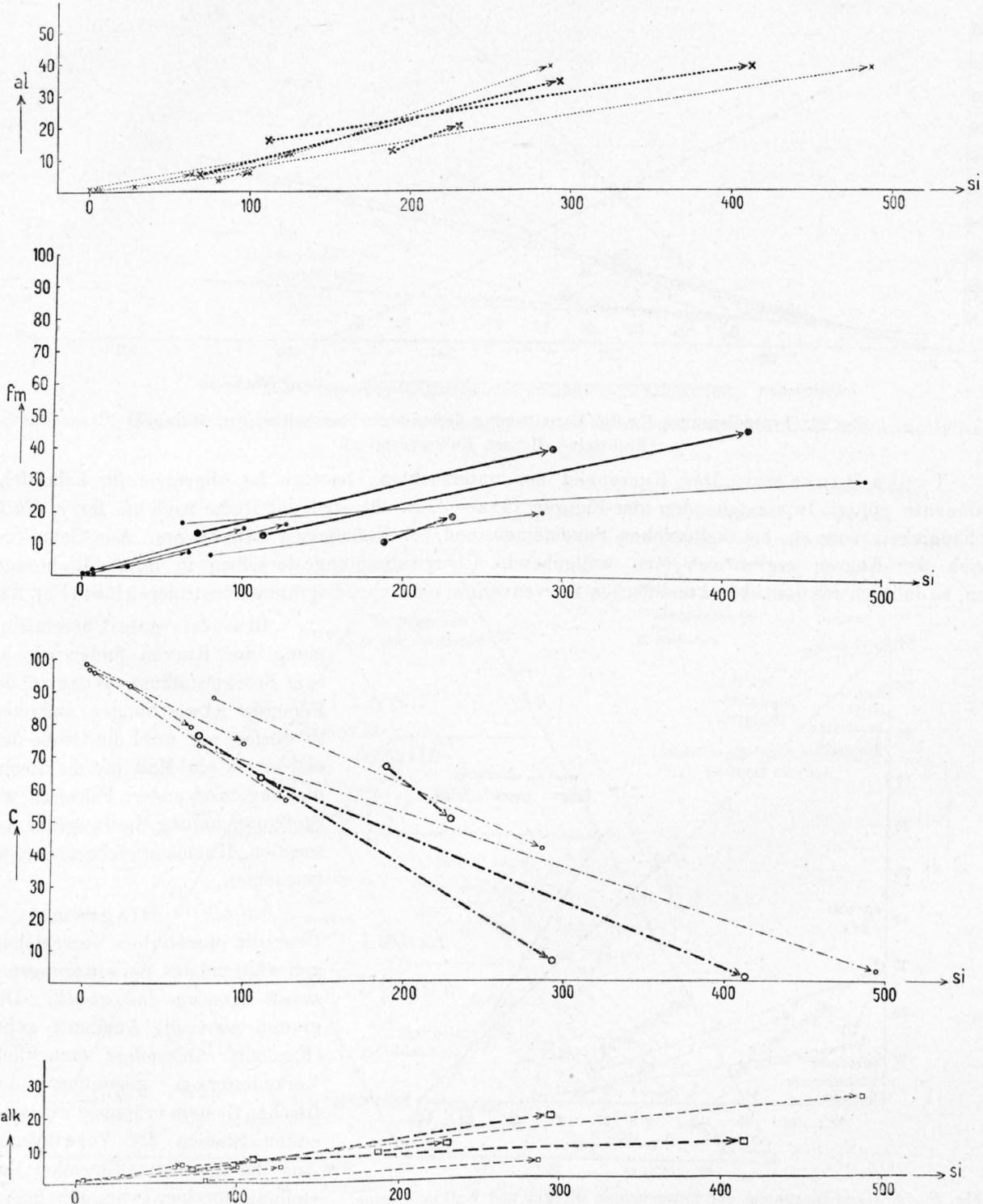


Fig. 21a—d. Sammeldiagramme der  $al$ -,  $fm$ -,  $c$ - und  $alk$ -Werte der untersuchten Verwitterungsproben. Die Verwitterung verläuft in der Pfeilrichtung. Dicke Linien = Sandsteine und Mergel; dünne Linien = Kalksteine.

Die Bodentypenbildung zeigt sich in unserm Klima, wie schon aus obigem hervorgeht, in einer teilweisen Kalkauswaschung im A-Horizont. Der reichliche Gehalt an gesättigtem Humus und die noch nicht völlige Wegfuhr von Kalk bilden die Rendzina. Die alkalische Reaktion ist noch deutlich vorhanden.

Geht die Kalkauswaschung weiter, so verschwindet die alkalische Reaktion. Schutzwirkung tritt auf, Eisen und Tonerde wandern. Es bildet sich das Rendzina-Podsol, das nach Jenny im Hochgebirge mit dem Humusboden als Klimax das Endstadium erreicht.

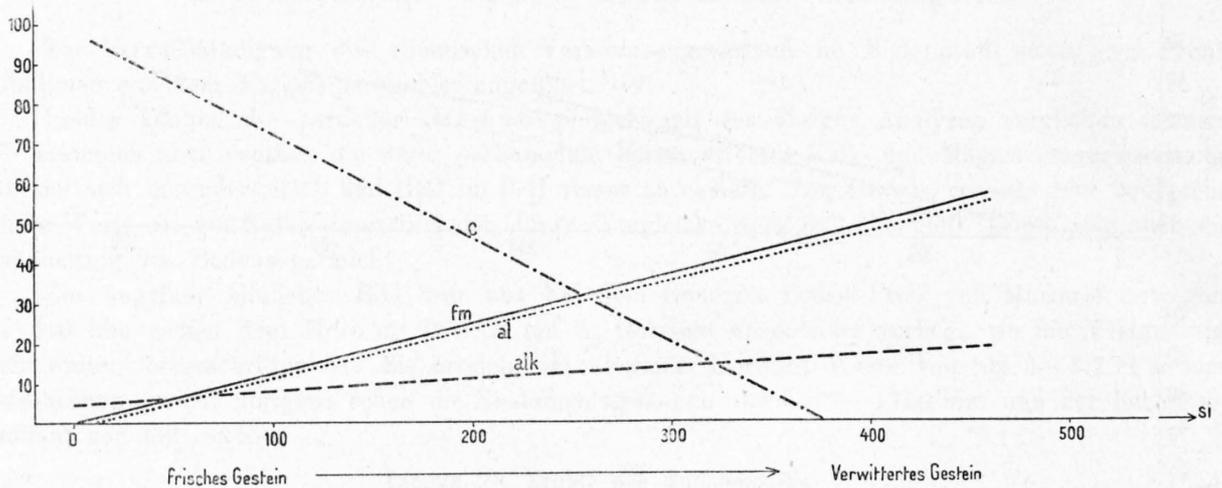


Fig. 22. Typendiagramm für die Verwitterung der untersuchten kalkreichen Sedimente (Kalksteine, Mergel, Kalksandsteine).

Typendiagramm. Das Kurvenbild der untersuchten Gesteine ist allgemein für kalkreiche Sedimente gültig. In vorstehenden vier Figuren (21a—d, S. 49) sind der Reihe nach *al*, *fm*, *c*, *alk* in Abhängigkeit von *si*, bei kalkreichen Sandsteinen und bei Kalksteinen aufgetragen. Aus dem Vergleich der Kurven ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung derselben in ihrem Richtungssinn, so daß sich aus dem charakteristischen Kurvenverlauf ein Typendiagramm konstruieren läßt (Fig. 22).

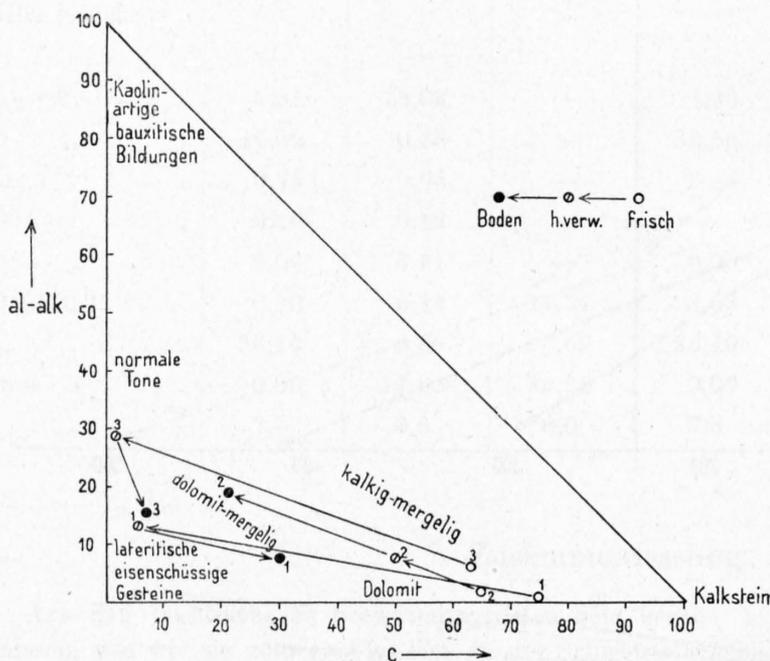


Fig. 23.  $(al-alk)/c$ -Diagramm der untersuchten Mergel und Kalksandsteine.

1. Mergeliger Sandstein, Bern.
2. Sandstein, Gränichen.
3. Mergelschiefer, Niesen.

Besonders gute Übereinstimmung der Kurven finden wir bis zum Bröckelstadium. Wenn in der Feinerde Abweichungen auftreten, so dürfen wir wohl die Größe derselben als ein Maß für die Beeinflussung durch andere Faktoren, wie Stoffanreicherung, Stoffwegfuhr, Adsorption, Humusanreicherung usw., betrachten.

$(al-alk)/c$ -Diagramm. Über die chemischen Verschiebungen während des Verwitterungsprozesses kann uns das  $(al-alk)/c$ -Diagramm wertvolle Auskunft geben (Fig. 23). Besonders einheitliche Veränderungen gegenüber dem frischen Gestein erkennen wir in den ersten Stadien der Verwitterung. Aus der zusammenfassenden Darstellung einzelner Typen geht hervor, daß sie nach ihrem Richtungssinne in Mergel bis Ton verwittern. Dies

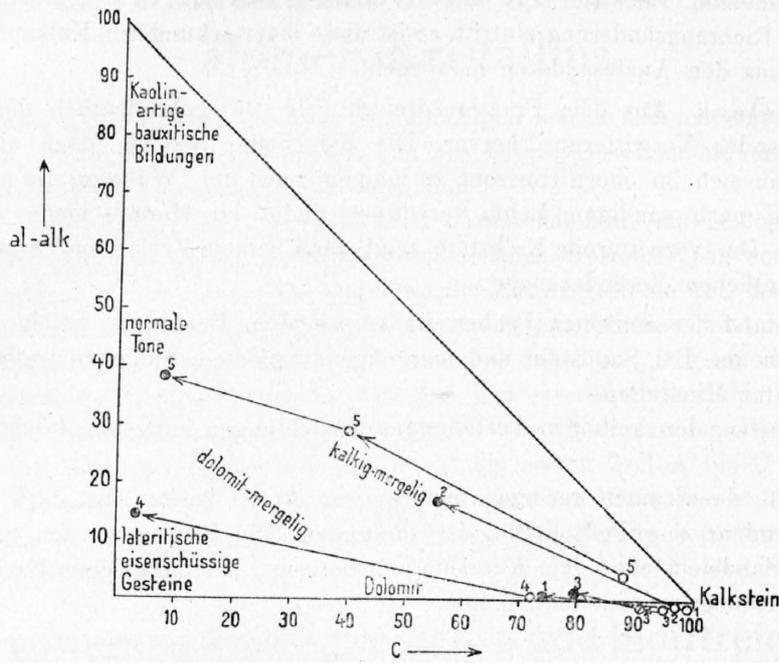


Fig. 24. (al-alk)/c-Diagramm der untersuchten Kalksteine.

1. Schrattenkalk, Bürgenstock. 2. Kalkstein, Baden. 3. Kalkstein, Klus. 4. Kalkmergel, Stanserhorn. 5. Liaskalk, Ruvigliana.

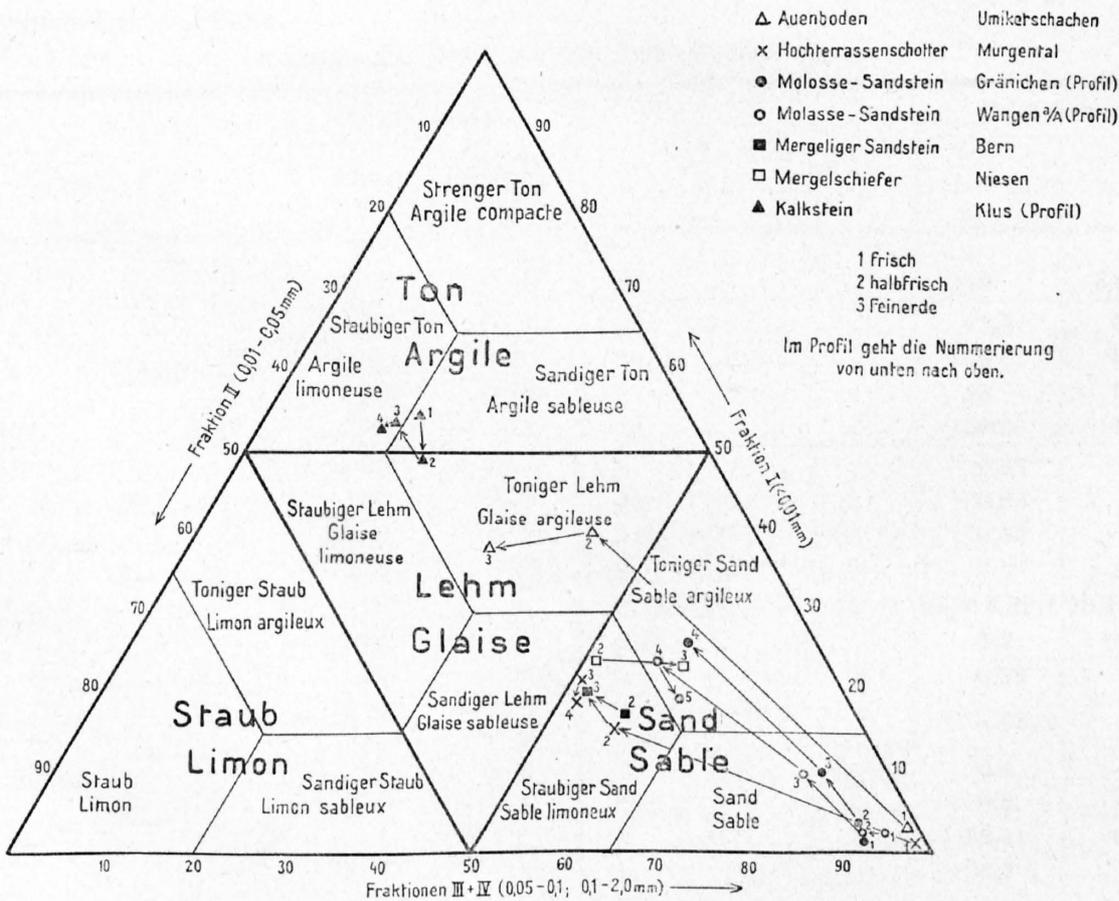


Fig. 25. Verwitterungsproben, dargestellt im Fraktionsdreieck.  
(Nach Vorschlag der Kulturingenieurschule, Prof. E. Diserens.)

wird wohl den allgemeinen Verwitterungscharakter unserer kalkhaltigen Sedimentgesteine darstellen. Wenn im Boden eine Richtungsänderung eintritt, so ist diese einer sekundären Kalkzufuhr zuzuschreiben, wie übrigens schon aus den Analysendaten hervorgeht.

Fraktionsdreieck. Aus dem Fraktionsdreieck (Fig. 25) geht deutlich die Verfeinerung des Kornes mit zunehmender Verwitterung hervor. Die Sandsteine, welche frisch als reiner Sand zu bezeichnen sind, bilden sich im obern Horizont zu tonigem Sand um. Während der mergelige Sandstein über staubigem Sand nach sandigem Lehm verwittert, findet im Mergelschiefer eine Umbildung in tonigen Sand statt. — Der verwitternde Kalkstein zeigt nach seinem Zerfall im Vergleich zu den andern im Profil keine wesentlichen Veränderungen.

Der Mineralbestand der einzelnen Proben ist verschieden. Besonders weicht der Mergelschiefer stark von den andern ab. Bei Sandstein und mergeligem Sandstein hingegen treffen wir eine Menge noch völlig unzersetzter Mineralien.

Ob vereinzelt neben den kolloiden Ausfällungen Neubildungen auftreten, konnte nicht festgestellt werden.

Der Boden muß, da er einen geringen feindispersen Anteil besitzt, als stark endodynamomorph beurteilt werden. Tendenz zur Podsolierung ist vorhanden. Die Proben wurden, soweit das beurteilt werden konnte, bei Sandstein eher dem Anreicherungshorizont, bei mergeligem Sandstein und Mergelschiefer dem Auswaschungshorizont entnommen.

### III. Verwitterungsstudien an Gesteinen des alpinen Kristallins.

Die sogenannten „kristallinen“ Gesteine unserer Alpen setzen sich aus einem Komplex von metamorphen Gesteinen, die aus Sedimentgesteinen und aus Eruptivgesteinen hervorgegangen sind, sowie aus noch wenig veränderten Eruptivgesteinen zusammen.

Im Rahmen dieser Arbeit kann es sich nicht darum handeln, auf geologisch-tektonische Verhältnisse einzugehen. Es werden an mehreren verschiedenen Gesteinstypen bodenbildende Verwitterungsprozesse studiert. Von einer scharfen Trennung der Eruptivgesteine von den metamorphen wurde abgesehen, da auch die erstern fast durchweg schwach metamorphosiert sind. Besonders notwendig schien es, die Anfänge der Verwitterung zu studieren und dabei das Augenmerk auf das Verhalten der einzelnen Mineralien zu richten. Es ist dies bei den Gesteinen des alpinen Kristallins leichter möglich als bei den Sedimenten, deren Zusammensetzung eine eintönigere ist. Die Daten sind möglichst durch solche aus der Literatur ergänzt worden. In einem ersten Teil A bis C sind Untersuchungen zusammengestellt, die hauptsächlich über das Verhalten einzelner Mineralien im Gesteinsverband Auskunft geben und die im wesentlichen Anfangsstadien der Verwitterung betreffen. Ein zweiter Teil D handelt von einigen Bodenprofilen.

#### A. Erste Verwitterungsstadien feldspat- und biotitreicher Gesteine.

##### 1. Gneis von San Vittore-Lumino, Misox<sup>1)</sup>.

Wie geringfügig als Ganzes die Stoffverschiebungen sind, auch wenn das Gestein äußerlich bereits vollständig verwittert erscheint, zeigen nachstehende zwei Analysen eines Biotitgneises von San Vittore-Lumino, Misox.

Tabelle 24. Gneis von San Vittore-Lumino, Misox.

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	frisch I	Bröckel (stark zersetzt) II		I	II
	%	%			
SiO <sub>2</sub> . . . . .	70,55	69,90	<i>si</i> . . . . .	340	342
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	14,64	14,40	<i>al</i> . . . . .	41,5	41,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,52	2,16	<i>fm</i> . . . . .	16	15,5
FeO . . . . .	1,71	0,98	<i>c</i> . . . . .	13	12,5
MnO . . . . .	0,04	0,04	<i>alk</i> . . . . .	29,5	30,5
MgO . . . . .	0,52	0,52	<i>k</i> . . . . .	0,37	0,39
CaO . . . . .	2,53	2,42	<i>mg</i> . . . . .	0,23	0,24
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,98	3,76	<i>c/fm</i> . . . . .	0,80	0,81
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,53	3,83	<i>h</i> . . . . .	3,7	16,4
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,23	1,01	<i>si : al : f</i> . . . . .	27,3:3,32:1	28,4:3,43:1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,00	0,17	<i>si/al</i> . . . . .	8,2	8,3
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	<i>m/c</i> . . . . .	0,29	0,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,18	0,19	<i>c + alk</i>		
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,50	0,46	<i>al</i> . . . . .	1,02	1,04
Org. Subst. . . . .	n. b.	n. b.	<i>f<sub>3</sub></i> . . . . .	5,5	7,8
SO <sub>3</sub> . . . . .	n. b.	n. b.	<i>f<sub>2</sub></i> . . . . .	6,9	4,0
	99,93	99,84	<i>f</i> . . . . .	12,4	11,8
			<i>m</i> . . . . .	3,6	3,7

<sup>1)</sup> Die Analysen der Proben der Abschnitte A und B wurden bereits von P. Niggli [47] publiziert; Sammler ist P. Knoblauch.

Die verwitterte Probe ist vollständig verrostet, bildet jedoch noch eine lose zusammenhängende Masse. Die Analysen (Tab. 24) zeigen, daß eine Stoffwanderung im eigentlichen Sinn noch nicht begonnen hat.

In diesem Vorstadium der Verwitterung handelt es sich also im wesentlichen um eine Stoffumlagerung. Mit Ausnahme einer Wasseraufnahme und einer Oxydation liegen die Schwankungen im Chemismus fast innerhalb der Fehlergrenzen.

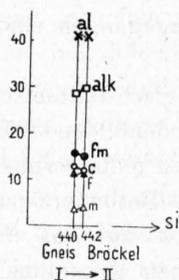


Fig. 26. Verwitterungsdiagramm, Gneis, San Vittore-Lumino.

	Gneis	Bröckel
$f_3$	5,5	7,8
$f_2$	6,9	4,0
$f$	12,4	11,8
$m$	3,6	3,7
$h$	3,7	16,4

Von dem zu hellgrauem Grus zerfallenen Material wurde eine Schlämmanalyse angefertigt, aus welcher der Sandcharakter des Verwitterungsmaterials hervorgeht.

Tabelle 25. Schlämmanalyse der Bröckelprobe.

Fragmente > 2 mm	Fragmente < 2 mm	I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm	III+IV
19,33	80,66	9,55	12,40	15,95	62,10	78,05

Der grobe Anteil (größer 2 mm) beträgt nur 19,33%.  $\frac{3}{4}$  der Feinerde verteilen sich auf die III. und IV. Fraktion, also auf die größten Fraktionen. Im Lockerpräparat erwies sich der Feldspat als stark zersetzt. Oft ist er sogar vollkommen gebräunt und von schwammartigem Aussehen. Biotit unterliegt einer Ausbleichung. Häufig konnten Übergänge in Chlorit beobachtet werden. Von Interesse ist die bedeutende Anreicherung von Zeolithneubildungen im Verwitterungssand. Auf diese Bildung, die auch in Verwitterungsprodukten anderer kristalliner Gesteine gefunden wurde, soll später eingegangen werden. Die prismatischen und an den Enden ausgefranzten Zeolithkristalle finden sich hauptsächlich in den mittlern (II. und III.) Fraktionen. Im weitem ließen sich noch Hornblende, Granat, Epidot sowie auch Zirkon darin feststellen.

## 2. Augengneis von Val Morobbia bei Giubiasco.

Etwas weiter fortgeschritten ist die Verwitterung der Probe eines Augengneises des Val Morobbia. Hier ist besonders die Neubildung eines zeolithähnlichen Minerals aus Feldspäten, neben intensiver Biotit- und Hornblendeumwandlung, von Interesse.

Der Augengneis ist als feldspatreicher Gneis zu bezeichnen. Er besteht zum größten Teil aus undulösen, als Albit bis Oligoklas bestimmten Feldspäten, in Individuen von 4 bis 7 mm Größe; einzelne derselben sind schon stark serizitisiert, oft sind sie von Adern eines niedrig brechenden, schwach rosafarbenen Minerals durchzogen (Zeolith) (Taf. III, Fig. 1) und an verschiedenen Stellen des Schiffs kommen mit dem weniger häufig auftretenden Kalifeldspat Myrmekitbildungen vor. Quarz, in verzahnten Aggregaten, zeigt undulöse Auslöschung. Der Biotit, teils mit Hornblendefäserchen verwachsen, kann oft von diesen nicht leicht unterschieden werden (Pleochroismus  $n\gamma$  grünbraun,  $n\alpha$  schwach gelblich). Seine Umgrenzung wird an den Schmalseiten der Blättchen durch Chloritisierung bald unscharf. Der Übergang Biotit—Chlorit kann sowohl im Dünnschliff wie auch im Lockerpräparat gut verfolgt werden. In Lockerpräparaten beobachten wir ein Ausbleichen der Blättchen, oft sind noch grüne Reste eines Chlorits in farblosen Blättchen zu finden.

Tabelle 26. Schlämmanalyse der Bröckelprobe.

Fragmente > 2 mm	Fragmente < 2 mm	I < 0,01 mm	II 0,01 – 0,05 mm	III 0,05 – 0,1 mm	IV 0,1 – 2,0 mm	III+IV
37,44	62,56	6,00	11,50	10,80	71,70	82,50

Die größten Gneisfragmente besitzen eine Größe von  $\frac{1}{2}$  bis 1 cm und liegen in einer Feinerde, welche man dem reinen Sand zuordnen kann (siehe Fraktionsdreieck Fig. 39).

In diesem zu Grus zerfallenen Verwitterungsmaterial bestehen die Teilchen, die größer als 0,1 mm sind, zumeist aus unfrischen, von grünlichgrauen Zersetzungsprodukten durchsetzten Feldspäten; daneben finden sich bräunliche, verrostete Mineralreste, welche vermutlich aus der Biotit- und Hornblendezersetzung hervorgingen (Fig. 2, Taf. III).

Ebenfalls besteht die Staubfraktion neben Quarz zur Hauptsache aus unfrischen Feldspatbruchstücken, aus Biotit, an welchem man alle Verwitterungsstadien beobachten kann und neugebildetem Zeolith, welcher anschließend genauer besprochen wird. Hornblende ist längs Spaltrissen limonitisch gebräunt. Im Präparat liegen weiter faserige bis spindelförmige, stark getrübe Mineralien, die an Hornblendefasern erinnern. Die zweite Fraktion weist ungefähr gleichen Mineralbestand auf. Die Limonitisierung der dunkeln Mineralien ist hier besonders fortgeschritten. Braune, undurchsichtige, unregelmäßig geformte Verwitterungsprodukte neben organischen Resten sind häufig. Zirkon ist angereichert. Die Häufigkeit in der das neugebildete zeolithische Mineral in den beiden Fraktionen vorliegt, ist geradezu überraschend.

Die Zeolithbildung im Boden stand schon oft zur Diskussion. Es sei nur auf die Arbeiten von J. M. VAN BEMMELEN, R. GANS, H. STREMMER, und andern verwiesen, da an dieser Stelle nicht weiter auf Einzelheiten eingegangen werden kann. Meist wurde der kolloide Anteil im Boden als amorphe zeolithische Substanz angenommen, da an Zeolithen ähnliche Erscheinungen festgestellt wurden.

VAN BEMMELEN [124] bezeichnet das Verwitterungssilikat als kolloid und erwähnt, daß zwischen dem Verhalten der Ackererde und dem Verwitterungssilikat in bezug auf Adsorptionsverbindungen große Ähnlichkeit besteht, und H. STREMMER [154, 155] kommt zur Ansicht, daß „wenn die Glieder der Allophanreihe den Austausch der Basen vermitteln und die gleiche Eigenschaft des Ackerbodens an in Salzsäure leicht löslicher Tonerde und Kieselsäure in nicht kristallisierter Form gebunden ist, dann ist der Schluß berechtigt, daß die Bodenzeolithe die kolloidale Modifikation der kristallinen Zeolithe, d. h. die Allophantone sind“.

R. GANS [132], der mit Hilfe der zeolithischen Silikate zu einer klimatischen Beurteilung der Bodenbildung von Tonerdesilikatgesteinen kommt, schließt sich weitgehend an die Untersuchung von VAN BEMMELEN an. Die Schwierigkeiten bei solchen Untersuchungen liegen vor allem darin, den kolloiden Anteil im Boden vom kristallinen zu trennen. Schlämmanalyse, Salzsäureauszug, Färbemethoden und Oberflächenbestimmungen nach MITSCHERLICH [157] waren die üblichen Methoden, um sich über das Verwitterungssilikat zu orientieren. Aber schon der Umstand, daß beispielsweise in dem abschlämmbaren Teil der Schlämmanalyse noch zum größten Teil Mineralteilchen vorliegen, und daß z. B. Karbonate und zum Teil Silikate usw. von HCl und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> angegriffen werden, beweist, daß die quantitative Trennung von kolloiden und kristallisierten Teilchen Schwierigkeiten bieten.

Im allgemeinen darf wohl gesagt werden, daß die Neubildungen im Boden zu wenig Berücksichtigung fanden, denn sehr oft konnte man bei der mikroskopischen Analyse von geschlämmtem Verwitterungsmaterial im Zweifel sein, ob es sich um wenig zersetzte Mineralsplitterchen handelt oder ob die teils sehr frischen Mineralien als Neubildungen aufzufassen sind. Durch die Verfeinerung der Methoden werden sich noch eine Anzahl Mineralneubildungen in Zersetzungsprodukten finden lassen. Untersuchungen von MÜGGE [148] zeigten, daß eventuell Feldspat unter gewöhnlichen Bedingungen entstehen kann. Dieser Autor findet im Ackerboden gelblichen Plagioklas, welcher den Orthoklas kranzartig umgibt. Ebenso wurden von ihm kaolinartige gelbliche Körner mit glitzerndem, neugebildetem Orthoklas durchspickt gefunden. Ein sekundäres Weiterwachsen von Feldspatfragmenten in ununterbrochener

kristallographischer Orientierung in Arkosesandstein und von Hornblendefragmenten in gewissen Konglomeraten, wurde von VAN HISE [138, 139] schon 1885 beobachtet. Ebenfalls im Kalkstein konnte GRANDJEAN [135, 136] natronhaltigen Kalifeldspat als Neubildung feststellen und im Kalkstein der Effingerschichten von der Klus wurden Zirkon und Turmalin gefunden, die vermutlich als Neubildungen anzusprechen sind. Daß nun auch zeolithische Neubildungen aus Verwitterungssilikaten entstehen können, kann uns nicht überraschen. Von C. FRIEDLAENDER [130] konnte zum Beispiel in Quarzporphyr der Alp Nadèls als sekundäres Mineral ein Vertreter der Leverrieritgruppe festgestellt werden.

Es ist also wohl zu glauben, daß solche Neubildungen, die für die Bodenbeurteilung nicht übersehen werden dürfen, eine größere Rolle spielen, als oft angenommen wird. So werden im Verwitterungssilikat kolloide, wie mineralogische Momente zu berücksichtigen sein. Eine einseitige Betrachtungsweise kann leicht zu irrtümlichen Verallgemeinerungen führen. Wenn im relativ frischen Gestein der Mineralbestand stark in den Vordergrund rückt, so wird er es auch in vielen Fällen durch die Neubildung von Mineralien im stark verwitterten Material, dem Boden tun.

Das Mineral, welches im verwitterten Augengneis gefunden wurde, ist auch im später zu besprechenden Gneis anzutreffen.

Mit der Immersionsmethode wurde der Brechungsindex bestimmt und durch Mischung von Zedernöl ( $n = 1,504$ ) und Nelkenöl ( $n = 1,533$ ) ergab die genauere Bestimmung mit dem Refraktometer  $n = 1,507$ . Die kurzsäuligen Kristalle haben einen rechteckigen Querschnitt; an den Prismenenden sind sie oft ausgefranst (Fig. 3, Taf. III). Das Mineral ist optisch negativ, nahezu einachsig, mit schiefer Auslöschung und niedriger Doppelbrechung.

Die Individuen wurden mit verdünnter Thouletscher Lösung (spez. Gew. 2,2) von den schwereren Mineralien getrennt und nach längerem Auswaschen gelang es, zirka 0,08 g praktisch rein zu isolieren. Prof. J. JAKOB hatte die Freundlichkeit, diese geringe Menge einer chemischen Analyse zu unterwerfen. Diese ergab:

	%	
SiO <sub>2</sub>	51,15	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,21	
CaO	5,71	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	13,20	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1,90	
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	
	94,17	Rest vermutlich Alkalien.

Es handelt sich also um ein zeolithisches Mineral, dessen nähere Zuordnung jedoch noch nicht möglich ist. Vielleicht wird es später gelingen, durch Trennung von größeren Mineralmengen eine vollständige Analyse auszuführen. Das molekulare Verhältnis SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : CaO ist grob angenähert 8 : 2 : 1.

Chemismus. Trotzdem das Gestein in der Bröckelprobe zu einem Teil schon in Feinerde zerfallen ist (62,56%) und Neubildungen nachgewiesen werden können, hat der Gesamtchemismus wider Erwarten sich verhältnismäßig wenig verändert (Fig. 27). Die *si*-Zunahme entspricht wie wir aus dem *si/al* Verhältnis ableiten können nur einer schwachen relativen Kieselsäureanreicherung gegenüber Tonerde. *al*- und *alk*-Werte sind zum verwitterten Material unbedeutend angestiegen und zwar reichert sich von den Alkalien K<sub>2</sub>O etwas stärker an als Na<sub>2</sub>O. Die Abnahme des *fm*-Wertes beruht auf einer Verminderung von *m*; *f* hat sich kaum verändert, auch *c* zeigt eine Abnahme. Die Feldspatzersetzung wird mit der Kalkverminderung in Beziehung zu bringen sein. Diese läßt sich auch aus dem *c + alk/al*-Verhältnis erkennen, hingegen wird die Mg-Wegfuhr in der Verwitterung der Biotite und Hornblenden zu suchen sein.

Die Umwandlung zeigt sich ebenfalls in der Oxydation.

	Augengneis	Bröckel
$f_3$	4,5	5,6
$f_2$	7,9	7,0
$o$	0,37	0,45

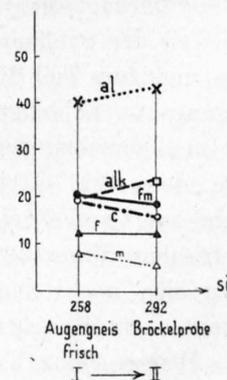


Fig. 27. Verwitterungsdiagramm, Augengneis, Giubiasco.

*c/fm* würde offenbar eine größere Verschiebung zugunsten von *fm* aufweisen, wenn sich nicht im Boden Kalkzeolithe neugebildet hätten. Ebenfalls beeinflußt diese Bildung den Kieselsäure- und Tonergehalt im gleichen Sinne.

Die Verwitterung setzt mit einer starken Wasseraufnahme ein

	Augengneis	Bröckel
<i>h</i>	6,9	63,0

Es erfolgt dann eine Oxydation des zweiwertigen Eisens, welche schließlich in der Limonitbildung endigt. Im weitem finden aber Umlagerungsprozesse statt, die man quantitativ nicht vollständig fassen kann.

**Tabelle 27. Augengneis, Val Morobbia bei Giubiasco.**

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	frisch	Bröckelprobe		I	II
	I	II			
	%	%			
SiO <sub>2</sub> . . . . .	65,23	63,70	<i>si</i> . . . . .	258	292
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	17,18	16,00	<i>al</i> . . . . .	40,0	43,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,48	1,61	<i>fm</i> . . . . .	20,5	18,5
FeO . . . . .	2,32	1,74	<i>c</i> . . . . .	19,5	15,5
MnO . . . . .	0,06	0,05	<i>alk</i> . . . . .	20,0	23,0
MgO . . . . .	1,35	0,86	<i>k</i> . . . . .	0,33	0,39
CaO . . . . .	4,56	3,07	<i>mg</i> . . . . .	0,40	0,32
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,55	3,17	<i>c/fm</i> . . . . .	0,94	0,82
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,62	3,07	<i>h</i> . . . . .	6,9	63,0
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,52	3,78	<i>si:al:f</i> . . . . .	21,6 : 3,36 : 1	23,2 : 3,49 : 1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,15	0,89	<i>si/al</i> . . . . .	6,4	6,8
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	<i>m/c</i> . . . . .	0,42	0,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,24	0,20	$\frac{c+alk}{al}$ . . . . .	0,99	0,89
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,62	0,57	<i>f<sub>3</sub></i> . . . . .	4,5	5,6
Org. Subst. . . . .	n. b.	zirka 1,00	<i>f<sub>2</sub></i> . . . . .	7,9	7,0
SO <sub>3</sub> . . . . .	n. b.	n. b.	<i>f</i> . . . . .	12,4	12,6
	99,88	99,71	<i>m</i> . . . . .	8,1	5,9

### 3. Biotitgneis von Giubiasco.

Wie die bisherigen und weitem Ergebnisse der Untersuchungen dartun, gehört Biotit zu den Silikaten unserer Gesteine, die am leichtesten zersetzt werden. Neben unbedingt auf die Verwitterung zurückführender Chloritisierung (siehe Seite 68) spielen Ausbleichungen, Wegfuhr von Eisen, Mg und Alkalien eine wichtige Rolle. Wir wollen das Beispiel eines Biotitschiefers bis Biotitgneises dazu benutzen, einige Daten über die für unser Klima so wichtige Biotitzersetzung zu geben.

Der stark schiefrige Biotit-Muskovit-Granatgneis von Giubiasco mit porphyroblastischer Struktur, den man makroskopisch als Biotitschiefer ansprechen würde, besteht aus Quarz, Plagioklas, Biotit, Muskovit, Hornblende, Granat, Epidot, Magnetit, Zirkon und Turmalin.

Quarz, einzeln und in Körneraggregaten ist verzahnt und zeigt meist undulöse Auslöschung. Seine Größe beträgt im allgemeinen 0,1--1 mm. Der Plagioklas, ein Oligoklas-Albit, liegt in kleinen

Individuen vor, die 0,5 mm im Durchmesser meist nicht erreichen, während Granat in großen Porphyroblasten anzutreffen ist. Biotit wie Muskovit sind gebogen und es scheint, als ob letzterer in einzelnen Fällen aus Biotit entstanden sei. (Pleochroismus von Biotit  $n\gamma$  dunkelbraun,  $n\alpha$  schwach gelb). Die Granatporphyroblasten sind teils etwas zertrümmert, meist durchspickt von vielen Mineralien, vor allem von Biotit, Muskovit und Erzkörnern. Stellenweise sind Magnetitkörner häufig und umgeben den Glimmer. Von solchen ausgehend bilden sich limonitische Schnüre in der Schieferungsrichtung. Vereinzelt findet sich Turmalin und Zirkon.

Schlämmanalyse der Bröckelprobe. Die Korngrößenverteilung im verwitterten Bröckelmaterial geht aus folgender Schlämmanalyse hervor.

Tabelle 28. Schlämmanalyse der Bröckelprobe.

Fragmente > 2 mm	Fragmente < 2 mm	I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2 mm	III + IV
79,78	20,22	7,40	10,10	12,00	70,50	82,50

Die Fragmente über 2 mm wurden mit dem Sieb von den andern getrennt. Der Rest wurde durch die Schlämmanalyse in die üblichen Fraktionen getrennt. Weitaus der größte Teil der Probe liegt in groben Gesteinsbruchstücken vor, die von Feinerde umgeben sind. Die Sandfraktion weist zum größten Teil noch Gesteinsbruchstücke auf. Die Verrostung der Biotite läßt sich deutlich mit der Binokularlupe feststellen; sie bewirkt, daß auch Quarz und Feldspat oft oberflächlich rötlich verfärbt sind. In der mittlern Fraktion sind die hellern Gemengteile zurückgetreten; Biotit und auch Muskovit sind vorherrschend. Biotit ist häufig getrübt, oft etwas grünlich. Daneben findet man als wichtigen Bestandteil ein schwach rosa gefärbtes, prismatisches Mineral, dem die gleichen optischen Daten zukommen wie dem untersuchten Zeolith, der im Augengneis von Giubiasco gefunden wurde (Taf. III, Fig. 3). Neben Zirkon sind Epidot und Hornblendesplitterchen häufig, sie liegen meist frisch vor.

Biotit kann man in verschiedenen Stadien der Verwitterung antreffen; neben vollkommen frischen Blättchen findet man ihn ausgebleicht oft unter Ausscheidung von Erzkörnchen. Meist ist es dann nicht leicht zu entscheiden, ob sich limonitische Substanz zwischen die Muskovitblättchen eingelagert hat (was oft beobachtet werden konnte), oder ob es sich um eine Ausbleichung handelt. Man findet sowohl Biotit, ausgebleichten Biotit, Muskovit, als auch bräunlich verfärbten Muskovit nebeneinander.

Über Biotitverwitterung orientieren mehrere Arbeiten. In der Hauptsache haben wir es bei den Vorgängen mit einer Ausbleichung zu tun, die auf verschiedene Art, direkt oder indirekt, unter Bildung von Zwischensalzen (GLINKA) entstehen kann.

RINNE [151] hat für den kristallographischen Abbau des Glimmers die Bezeichnung Baueritisierung eingeführt, die sowohl für die natürliche wie für die künstlich erzeugte Bleichung gilt. Mit der Verwitterung findet eine Wasseraufnahme statt, welche JOHNSTONE [140] zur Benennung Hydrobiotit und Hydromuskovit führt. Während beim Muskovit unter Verschwinden von Glanz und Elastizität nur  $H_2O$  aufgenommen wird, ohne daß nach der Versuchszeit etwas in Lösung gegangen ist, hat sich Biotit durch  $H_2O$ -Aufnahme in Hydrobiotit umgewandelt und dabei Eisen und Magnesium verloren. So glaubt Johnstone, daß Biotit nach jahrelangem Behandeln sich in Hydromuskovit umwandeln wird. Durch die Behandlung des Minerals mit kohlensäurehaltigem Wasser [128, 145] bleicht Biotit aus. Die ursprünglich fast schwarze Substanz wird grünlich und gelblichbraun, ohne daß die optischen Verhältnisse sich wesentlich ändern.  $SiO_2$  reichert sich an, dagegen werden  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  und  $FeO$  und die Alkalien entfernt.

Nach Lotz [145] jedoch ist der Einfluß von CO<sub>2</sub>-haltigem Wasser gering, so daß er annimmt, gesteinsbildende Mineralien unterliegen hauptsächlich der H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Wirkung.

Die Angreifbarkeit durch HCl und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ist in der Tat viel bedeutender. Nach der Behandlung mit H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> wird zerriebener Biotit silberweiß [153]. Nach Rinne bildet sich auf diese Weise talkigweißes, nach Biotit pseudomorphes Kieselhydrat (SiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O) der Bauerit. Der Abbau führt, wie Dreibröd [128] bestätigt, zu einer Auslaugung der Basen. Wie Glinka [133] beschreibt, kann sich Biotit auch pseudomorph in ein blättriges Aggregat von Kaolinit mit sekundärem Quarz umwandeln. Auch kann aus ihm eine pulverig, schmutzgrüne Substanz entstehen, die bei günstigen Verwitterungsbedingungen (organischer Substanzzufuhr und O<sub>2</sub> der Luft) in Kaolinit und sekundären Quarz übergeht, welche ein weiteres Stadium der Verwitterung darstellt als das soeben erwähnte blättrige Produkt.

Chloritisierung des Biotits tritt häufig auf. Unter der Einwirkung der natürlichen Reagenzien geht die braune Biotitfarbe in Grün über, wobei nur das elastische Verhalten der Blättchen verloren geht. Mit fortschreitender Verwitterung bleicht dann derselbe mehr und mehr aus. V. M. Goldschmidt<sup>1)</sup> macht auf die Bedeutung des Biotits als Kaliquelle für die Pflanzen aufmerksam. Die ersten Anteile des Kaligehalts werden nach ihm leichter herausgelöst als die spätern, und zwar sind die natürlichen Lösungsmittel in stande, Kali aus dem Glimmer auszulaugen.

Mit der Zersetzung nehmen die Tiefe der Färbung, die Stärke des Pleochroismus und die Lichtbrechung ab. Zschimmer [159] hat hauptsächlich die ersten Stadien der Verwitterung berücksichtigt. Trotz der bedeutenden Ausbleichung ändert sich die Optik nicht sehr stark. Fouqué [129] beobachtet, daß der Achsenwinkel bei der Entfärbung kleiner wird, bis der Biotit in gebleichten, randlichen Partien einachsigt erscheint. Der Achsenwinkel scheint sich besonders mit dem Chemismus zu ändern. Biotit zeigt also je nach seinen Verwitterungsagenzien, nach seiner speziellen Zusammensetzung und den eventuellen Einschlüssen, verschiedene Verwitterungstendenzen. In den untersuchten Verwitterungsproben sind von Biotit zu Muskovit oder angebleichtem Biotit alle Übergangsstadien zu finden.

Chemismus. Wie zu erwarten ist, hat vom frischen Biotitschiefer zu den Bröckeln noch keine starke chemische Verschiebung eingesetzt (Tab. 29). Der gewichtsprozentische Kieselsäuregehalt hat sich nur wenig erhöht und *al* ist sozusagen gleichgeblieben (Fig. 28). Die Kieselsäureanreicherung in bezug auf *al* ist also unbedeutend.

	Biotitgneis	Bröckel
<i>si/al</i>	5,0	5,5

Die Zunahme des *fm*-Wertes liegt auf Seite von *m*, während *f* sich vermindert. Die Trennung von *f* und *m* scheint also berechtigt. Sicherlich ist das verschiedene Verhalten in der Biotitverwitterung oder in einer kleinen primären Verschiedenheit zu suchen. Der Oxydationsgrad hat sich zum Bröckelstadium erhöht.

	Biotitgneis	Bröckel
<i>f</i> <sub>3</sub>	4,9	8,6
<i>f</i> <sub>2</sub>	16,9	12,9
<i>o</i>	0,22	0,41

Trotz einer *alk*-Verminderung ist Na<sub>2</sub>O gewichtsprozentisch angewachsen. Ebenfalls zeigt *c* eine Anreicherung im verwitterten Material. Da Adsorptionsphänomene in diesem Stadium von untergeordneter Bedeutung sind, kann die Zunahme durch mineralische Anreicherung oder durch zeolithische Neubildungen zustande gekommen sein. Es bereitet aber Schwierigkeiten, alle chemischen Verschiebungen in dem unfertig verwitterten Gestein zu deuten.

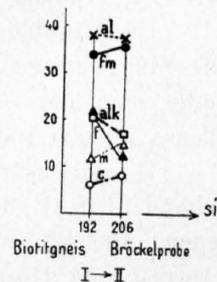


Fig. 28. Verwitterungsdiagramm, Biotitgneis, Giubiasco.

<sup>1)</sup> Goldschmidt, V. M., und Johnson. Glimmermineralernes Betydning som Kalikilde for Planterne. Norges geologiska Undersökelse Nr. 108, Publ. 8. Kristiania 1922.

Tabelle 29. Biotitgneis, Giubiasco.

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	frisch I	Bröckelprobe II		I	II
	%	%			
SiO <sub>2</sub> . . . . .	56,87	57,68	<i>si</i> . . . . .	192	206
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	19,34	17,84	<i>al</i> . . . . .	38,5	37,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,89	3,26	<i>fm</i> . . . . .	34,5	36,5
FeO . . . . .	6,09	4,28	<i>c</i> . . . . .	6,5	8,5
MnO . . . . .	0,17	0,10	<i>alk</i> . . . . .	20,5	17,5
MgO . . . . .	2,49	2,80	<i>k</i> . . . . .	0,57	0,44
CaO . . . . .	1,74	2,26	<i>mg</i> . . . . .	0,36	0,41
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,65	2,77	<i>c/fm</i> . . . . .	0,15	0,23
K <sub>2</sub> O . . . . .	5,47	3,31	<i>h</i> . . . . .	18,6	56,6
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	1,66	4,33	<i>si : al : f</i> . . . . .	8,5 : 1,70 : 1	9,6 : 1,75 : 1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,11	0,41	<i>si/al</i> . . . . .	5,0	5,5
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	<i>m/c</i> . . . . .	2,0	1,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,16	0,28	<i>c+alk</i> <i>al</i> . . . . .	0,71	0,68
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,14	1,14	<i>f<sub>3</sub></i> . . . . .	4,9	8,6
Org. Subst. . . . .	n. b.	n. b.	<i>f<sub>2</sub></i> . . . . .	16,9	12,9
SO <sub>3</sub> . . . . .	n. b.	n. b.	<i>f</i> . . . . .	21,8	21,5
	99,78	100,46	<i>m</i> . . . . .	12,7	15,0

## B. Erste Verwitterungsstadien feldspat- und hornblendereicher Gesteine.

Leichter noch als die sauren Plagioklase und Kalifeldspäte scheinen sich die basischen Plagioklase zu zersetzen. Neben Saussuritisierung scheint wieder eine zeolithische Bildung aufzutreten. Gewählt wurden Gesteinsproben die zugleich als wichtiges Mineral Hornblende enthalten, da deren Verwitterungsfähigkeit schon mehrfach erwähnt werden mußte.

### 1. Amphibolit Schloß Unterwalden, Bellinzona.

Der Amphibolit mit typisch granoblastischer Struktur besteht zur Hauptsache aus Plagioklas und Hornblende in lückenlosem Gefüge (Taf. IV, Fig. 1). Ersterer liegt als Labrador bis Andesin vor. Die Zwillingslamellierung ist scharf und die Individuen sind in vollkommen frischem Zustand, frei von jeglicher Trübung.

Die Hornblende ist in Individuen, die den Feldspäten an Größe nicht nachstehen, vorhanden. Oft füllt sie auch die Zwickel aus. Granat und Magnetit sind relativ häufig anzutreffen, hingegen findet man nur wenig Biotit. Quarz tritt untergeordnet auf, meist als Einschluß in Hornblende. In ebenso kleinen Individuen trifft man Zirkon und Zoisit.

Vom frischen zum verwitterten Amphibolit macht sich makroskopisch schon eine Gefügelockerung geltend (Taf. IV, Fig. 2). Der Feldspat ist matt-weiß und gibt dem Gestein ein helles, gelockertes Aussehen. Die Wirkung der physikalischen Faktoren kommt noch besser im Dünnschliff zur Geltung. Feldspat und Hornblende sind partienweise in Bruchstücke zerfallen. Lokal kann Feldspat stark zertrümmert sein, während er an andern Stellen noch seine Form beibehält. Es ist nun wohl denkbar, daß bei einer solchen Zertrümmerung die Verwitterungsagenzien intensiv eingreifen können. In der Tat ist das Mineral oft getrübt und zeigt ebenso häufig Entmischungs- oder Zersetzungerscheinungen. Die Frage, ob es sich in einzelnen Fällen nicht um Zeolithbildung handelt, soll noch offen gelassen werden. Auch im Biotit- und Augengneis wurden ja solche „Entmischungsstrukturen“ gefunden. Hier

wie dort sind die wurmartigen Bildungen schwach rosa gefärbt und besitzen eine niedrige Lichtbrechung, in Übereinstimmung mit derjenigen der Zeolithe (Taf. III, Fig. 1). Auf alle Fälle muß es sich um Verwitterungserscheinungen handeln, da im frischen Gestein jegliche Spuren dieser Bildungen fehlen.

Die Hornblende zeigt zwischen den Spaltrissen ebenfalls Verwitterungsanzeichen. Die Individuen sind durch die limonitische Umrandung schärfer konturiert. Der mechanische Zerfall kann daher gut verfolgt werden. Die Spaltrisse werden deutlicher, bis schließlich eigentliche Körneraggregate vorliegen.

Hat der Amphibolit den Zusammenhang völlig verloren, ist er also in Bröckel zerfallen, so resultiert folgende Korngrößenverteilung.

**Tabelle 30. Schlämmanalyse der Amphibolitbröckelprobe.**

Fragmente > 2 mm	Fragmente < 2 mm	I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—0,5 mm	III+IV
2,7	97,3	4,60	5,50	18,60	71,30	83,90

Es handelt sich um einen einigermaßen gleichkörnigen Verwitterungssand von graugrüner Farbe. 97% der Körner sind im Durchmesser kleiner als 2 mm, und zwar fallen von diesem Prozentgehalt 71,3% zur Sandfraktion. Wie mit dem Binokular festgestellt werden konnte, ist die Auflösung in die Einzelminerale in der letztern noch nicht vollständig erfolgt. Es liegen noch Gesteinsbruchstücke vor, in denen Feldspat und Hornblende innig miteinander verwachsen sind. Der Feldspat scheint an einzelnen Stellen, mit guten Kristallflächen, frisch; vereinzelt ist er aber matt. Hornblende ist schwarz, verfärbt und oberflächlich frisch, hingegen liegt Biotit stark verrostet und ausgebleicht vor. Auf seinen Nachbarmineralien sind Limonitbräunungen zu erkennen. Im Lockerpräparat der III Fraktion sind Glimmerblättchen relativ häufig, aber zum größten Teil nicht mehr frisch. Die Hornblende ist meist bräunlich verfärbt, besonders kann man dies in der II. Fraktion erkennen. In dieser Fraktion ist dann auch der Feldspat getrübt, mit unscharfer Umgrenzung anzutreffen.

**Tabelle 31. Amphibolit, Bellinzona (Schloß Unterwalden).**

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	frisch I	sandartige Bröckelprobe II		I	II
	%	%			
SiO <sub>2</sub> . . . . .	50,53	48,55	<i>si</i> . . . . .	123	135
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	18,74	21,79	<i>al</i> . . . . .	26,5	36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,89	5,24	<i>fm</i> . . . . .	41	38
FeO . . . . .	6,52	4,10	<i>c</i> . . . . .	25,5	18
MnO . . . . .	0,13	0,08	<i>alk</i> . . . . .	7	8
MgO . . . . .	5,70	4,14	<i>k</i> . . . . .	0,13	0,18
CaO . . . . .	9,86	6,12	<i>mg</i> . . . . .	0,49	0,45
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,50	2,39	<i>c/fm</i> . . . . .	0,62	0,47
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,56	0,79	<i>h</i> . . . . .	4,1	36,4
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,51	3,92	<i>si : al : f</i> . . . . .	6,0 : 1,31 : 1	6,5 : 1,72 : 1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,00	1,64	<i>si/al</i> . . . . .	4,5	3,8
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	<i>m/c</i> . . . . .	0,81	0,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,15	0,16	<i>c+alk</i>		
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,83	0,90	<i>al</i> . . . . .	1,22	0,74
Org. Subst. . . . .	n. b.	n. b.	<i>f<sub>3</sub></i> . . . . .	7,0	11,2
SO <sub>3</sub> . . . . .	Sp.	Sp.	<i>f<sub>2</sub></i> . . . . .	13,4	9,5
	99,92	99,82	<i>f</i> . . . . .	20,4	20,7
			<i>m</i> . . . . .	20,6	17,3

Chemismus. Bei der kleinen *si*-Zunahme hat zu dem sandigen Bröckelstadium  $Al_2O_3$  bezüglich  $SiO_2$  stark zugenommen.

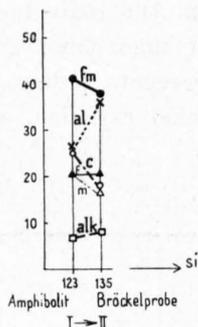


Fig. 29. Verwitterungsdiagramm, Amphibolit, Bellinzona.

	Amphibolit	Bröckel
$si/al$	4,5	3,8

Es mußte also  $SiO_2$  in Lösung gegangen sein. Die Zersetzung der Feldspäte und der Hornblende kommt als Ursache dieser  $si/al$ -Verschiebung in Frage. Die Zersetzung beider geht auch aus dem Verhältnis  $\frac{c+alk}{al}$  hervor.

	Amphibolit	Bröckel
$\frac{c+alk}{al}$	1,22	0,74

wobei als Ganzes der *alk*-Wert (*k!*) eine schwache Anreicherung zeigt. Die Mg-Abnahme beruht auf der Hornblende- und Biotitzersetzung. Sie bedingt ein Fallen der *fm*-Kurve, während *f* nur schwach anwächst (Fig. 37). Die Oxydation des Eisens bestätigt dieses Verhalten ebenfalls.

	Amphibolit	Bröckel
$f_3$	7,0	11,2
$f_2$	13,4	9,5

Die relative *al*- und die tatsächliche *h*-Zunahme und eine entsprechende *c*-Wegfuhr sind neben Entkieselung, Enteisenung und  $MgO-Na_2O$ -Wegfuhr die bedeutendsten und vielleicht auch die bestimmenden Veränderungen, die durch die Verwitterung eingetreten sind. Als Ganzes ist die chemische Veränderung bedeutend größer als bei den Alkalifeldspatgneisen.

## 2. Amphibolit Monti Rodas, Roveredo.

Ein Amphibolit von Roveredo, Monti Rodas, 1020 m, ist in seiner Struktur dem besprochenen ähnlich. Er zeigt ebenfalls geringe Verwitterungsanzeichen. Hornblende und saurer Plagioklas halten sich in der Menge das Gleichgewicht. Im ganzen Schriff liegen kleine Titanitkörner zerstreut (Taf. IV, Fig. 3). Die Verwitterung verläuft bei diesem Gestein jedoch anders als beim Amphibolit von Bellinzona. Während im letztern eine partienweise Zertrümmerung stattgefunden hat und erst nachträglich die chemische Verwitterung einsetzte, macht sich hier die chemische Umwandlung fast von Anfang an geltend. Im Dünnschliff erkennt man eine grünlich-graue bis schwärzliche (schmutzfarbene) Verwaschung (Taf. IV, Fig. 4). Die Vermutung liegt nahe, daß es sich um stark verwitterten Titanit handelt, da derselbe im verwitterten Material nicht mehr frisch anzutreffen ist. An der Umwandlung beteiligt sich außerdem Hornblende. Obschon in zahlreichen Individuen noch gut erhalten, hat bei ihr an vielen Stellen ein vollkommenes Verwischen der Umrisse stattgefunden, vereint mit der dunklen Verwaschung, so daß man stellenweise die Individuen nicht mehr voneinander trennen kann; sie sind in ein grünlich-graues Gewebe zerfallen. Oft ist Hornblende (infolge einer Ausbleichung) auch grünlich-gelblich gefleckt und an verschiedenen Stellen von feinen Adern durchsetzt. Der Feldspat ist ebenfalls zertrümmert. In den Spaltrissen sowie um die Individuen findet man verschleiertes Maschengewebe. Weiter fällt der Feldspat auf durch seine Zersetzungsstruktur, indem er durch wurmförmige, etwas rosafarbene Adern von oft verschiedener Lichtbrechung durchsetzt wird.

Tabelle 32. Schlämmanalyse der Amphibolitbröckelprobe.

Fragmente > 2 mm	Fragmente < 2 mm	I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm	III+IV
19,19	80,81	7,50	17,70	31,10	43,70	74,80

Auch hier liegt der größte Teil der Probe in der Korngröße unter 2 mm vor. Die Verschiedenheit und Intensität der Verwitterung kommt dadurch zum Ausdruck, daß die kleinern Fraktionen auf Kosten der IV. Fraktion sich vermehrt haben.

## C. Verwitterung serizitischer Gesteine, relativ arm an dunklen Gemengteilen.

Im Gegensatz zu den Mineralien Biotit und Hornblende zeigen Muskovit und Serizit nur geringfügige Zersetzungstendenz. Gesteine die neben kalkarmen Feldspäten und Quarz fast nur aus hellem Glimmer bestehen, zeigen daher bis zur Feinerde weniger Änderungen im Chemismus (Verrucano, Tab. 33). Tritt Biotit daneben auf (Serizit-Biotitgneis, Tab. 34), so sind im *fm* besonders deutliche Verschiebungen bemerkbar. Das mögen zwei Beispiele zeigen, die von L. HEZNER analysiert wurden, deren Proben jedoch leider nicht mehr mikroskopiert werden konnten.

### I. Verrucano, Allmend in Murg.

Tabelle 33. Verrucano, Murg.

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	frisch I	Boden II		I	II
	%	%			
SiO <sub>2</sub> . . . . .	66,12	70,30	<i>si</i> . . . . .	310	402
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	14,52	12,63	<i>al</i> . . . . .	40	42,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,82	4,23	<i>fm</i> . . . . .	28	27
FeO . . . . .	—	—	<i>c</i> . . . . .	8	11
MnO . . . . .	n. b.	Sp.	<i>alk</i> . . . . .	24	19,5
MgO . . . . .	1,10	1,06	<i>k</i> . . . . .	0,59	0,54
CaO . . . . .	1,62	1,85	<i>mg</i> . . . . .	0,27	0,32
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,21	1,63	<i>c/fm</i> . . . . .	0,29	0,41
K <sub>2</sub> O . . . . .	4,69	2,87	<i>h</i> . . . . .	47,8	52,7
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	3,05	2,77	<i>si : al : f</i> . . . . .	15,2 : 1,95 : 1	22,1 : 2,34 : 1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,08	0,67	<i>si/al</i> . . . . .	7,8	9,4
CO <sub>2</sub> . . . . .	n. b.	0,89	<i>m/c</i> . . . . .	0,93	0,81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,31	0,23	<i>c+alk</i>		
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,81	0,43	<i>al</i> . . . . .	0,80	0,74
Org. Subst. . . . .	n. b.	n. b.	<i>f</i> . . . . .	20,4	18,4
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,15	0,20	<i>m</i> . . . . .	7,6	8,6
	100,58	99,76			

Die Proben wurden auf der Allmend südwestlich von Murg in einer Höhe von zirka 540 m gefunden.

Trotzdem das Gestein in der Bodenprobe schon stark verwittert vorliegt, hat doch nur eine unbedeutende chemische Verschiebung stattgefunden. Durch die Verwitterung setzt eine relative Kieselsäureanreicherung ein *si/al* steigt von 7,8 im frischen Gestein auf 9,4 im Boden. Von den Alkalien vermindert sich besonders Kali.

	Verrucano	Boden
<i>k</i>	0,59	0,54
<i>alk</i>	24	19,5

Der anwachsende *c*-Gehalt beruht auf einer Karbonatzufuhr, wie dies aus der CO<sub>2</sub>-Zunahme hervorgeht.

Hier scheinen die hellen Gemengteile umgewandelt vorzuliegen. Die Feldspatzersetzung können wir aus dem

	Verrucano	Boden
$\frac{c+alk}{al}$	0,80	0,74

ablesen.

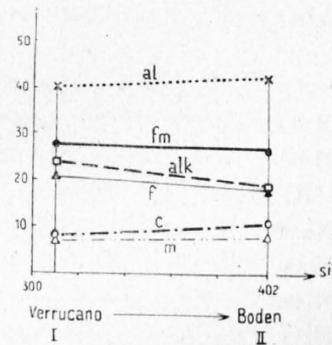


Fig. 30. Verwitterungsdiagramm des Verrucano, Murg.

Der HCl-unlösliche Rückstand der Bodenprobe weist mit Ausnahme eines erhöhten Kieselsäuregehaltes ähnliche Zusammensetzung auf wie die Bauschalanalyse. Das *si/al*-Verhältnis hat sich ebenfalls unwesentlich erhöht.

**Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes:**

<i>si</i>	<i>al</i>	<i>fm</i>	<i>c</i>	<i>alk</i>	<i>k</i>	<i>mg</i>	<i>c/fm</i>	<i>si : al : f</i>	<i>si/al</i>	<i>m/c</i>
448	45	27	7	21	0,55	0,29	0,26	23,4 : 2,4 : 1	9,8	0,95

**2. Serizit-Biotitgneis, Amsteg.**

Der Gneis (nordöstlich der Bahnstation, zirka 560 m) verwittert hauptsächlich in seinen dunklen Gemengteilen. Während *alk* und *al* größer werden, beruht die Abnahme von *fm* vor allem auf der Verminderung des *m*. Serizit und saurer Plagioklas scheinen noch nicht stark zersetzt zu sein.

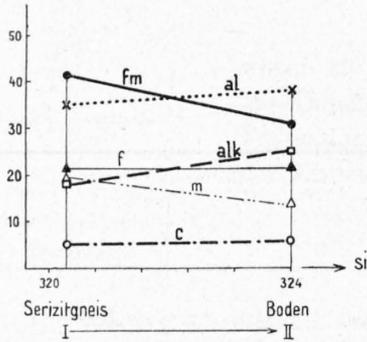


Fig. 31. Verwitterungsdiagramm, Serizit-Biotitgneis, Amsteg.

	Serizitgneis	Boden
<i>k</i>	0,46	0,48
<i>alk</i>	18	25

Durch die Verwitterung hat eine Kieselsäureanreicherung stattgefunden.

Über den löslichen Teil des Bodens gibt der HCl-Auszug Aufschluß.

<i>si/al</i>	6,6	8,5
--------------	-----	-----

**Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes:**

<i>si</i>	<i>al</i>	<i>fm</i>	<i>c</i>	<i>alk</i>	<i>k</i>	<i>mg</i>	<i>c/fm</i>	<i>si : al : f</i>	<i>si/al</i>	<i>m/c</i>
428	46	23	5,5	25,5	0,52	0,53	0,24	39,0 : 4,2 : 1	9,3	2,2

Hier beträgt das Verhältnis  $si/al = 9,3$ . Somit ist durch die Verwitterung die Tonerde zum Teil löslich geworden. Ebenso ist durch die HCl ein Teil des Eisens gelöst worden. Die Alkalien und der *c*-Gehalt haben sich nur wenig geändert.

**Tabelle 34. Serizit-Biotitgneis, Amsteg.**

	Gewichtsprozente			Molekularwerte	
	frisch I	Boden II		I	II
	%	%			
SiO <sub>2</sub>	61,20	66,54	<i>si</i>	227	324
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,19	13,38	<i>al</i>	35	38,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	4,47	<i>fm</i>	41,5	30,5
FeO	6,64	—	<i>c</i>	5,5	6
MnO	0,10	0,11	<i>alk</i>	18	25
MgO	3,62	1,87	<i>k</i>	0,46	0,48
CaO	1,36	1,21	<i>mg</i>	0,48	0,46
Na <sub>2</sub> O	2,64	2,82	<i>c/fm</i>	0,13	0,20
K <sub>2</sub> O	3,51	3,87	<i>h</i>	38,4	69
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3,11	4,23	<i>si : al : f</i>	10,7 : 1,6 : 1	20,5 : 2,4 : 1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,11	0,05	<i>si/al</i>	6,6	8,5
CO <sub>2</sub>	0,00	n. b.	<i>m/c</i>	3,7	2,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,33	0,46	$\frac{c+alk}{al}$	0,67	0,81
TiO <sub>2</sub>	1,09	0,54	<i>f<sub>3</sub></i>	0,78	—
Org. Subst.	n. b.	n. b.	<i>f<sub>2</sub></i>	20,5	—
SO <sub>3</sub>	0,28	0,41	<i>f</i>	21,3	16,5
	100,45	99,96	<i>m</i>	19,7	14,0

## D. Bodenprofile auf silikatischen Gesteinen.

An zwei alpinen Profilproben konnten die an Hand des Studiums der Frühstadien der Verwitterung gefundenen Erscheinungen bestätigt werden. Gleichzeitig ergab sich auch, daß die jungen Böden im allgemeinen noch typisch endodynamomorph sind. Nach einigen allgemeinen Bemerkungen über alpine Humusböden werden weiterhin aus der Literatur zwei von HARRASSOWITZ angegebene Bodenprofile angeführt, die zum Teil bedeutendere Stoffverschiebungen erkennen lassen. Vermutlich handelt es sich im letztern Fall um für unsere Verhältnisse recht alte Bodenbildungen, bei denen insbesondere eine intensive Alkaliwegfuhr zu vermerken ist.

### I. Syenit, Etlital.

Von einem wohl durch Einschmelzung veränderten Syenit, der im obern Teil des Etlitals, nordwestlich der Etlühütte, in zirka 2100 m Höhe gefunden wurde, konnte ein Verwitterungsprofil aufgenommen werden. Wie aus der Figur hervorgeht, ließen sich frisches Gestein, Bröckel sowie ein schwarzer und brauner Bodenhorizont voneinander trennen. Dem frischen Gestein mit seiner grau-grünlichen Farbe kommt durch die großen (bis 10 mm) Feldspatindividuen porphyrtartige Struktur zu. Plagioklase weisen grünliche Farbe auf. In kleinern Individuen bilden Hornblende und Biotit den dunklen Anteil im Gestein. Der Syenit besitzt als Ganzes eine gerichtete Textur.

Im Dünnschliff dominiert der Mikroklinnmikroperthit, welcher dem Orthoklas bei oberflächlicher Betrachtung sehr ähnelt. Die mikroperthitische Verwachsung mit Albit ist felderartig verschieden

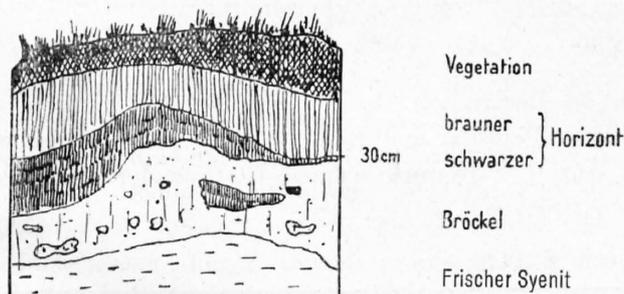


Fig. 32. Verwitterungsprofil auf Syenit, Etlital.

intensiv. WEBER [158] bezeichnet den Feldspat als Kryptomikroclin. Meist zeichnet er sich durch seine Frische aus. Nur selten hat eine Serizitisierung stattgefunden. Im verwitterten Rindenstück und selbst in den Bröckeln hält das Mineral sich noch lange frisch. An einzelnen Stellen setzen dann jedoch kaolinartige, wolkige Trübungen ein, ohne daß sie die Bestimmung verunmöglichen würden. Der englamellierte Plagioklas hingegen ist schon im frischen Gestein stark saussuritisiert. Auch Serizitbildungen sind wahrzunehmen. Es handelt

sich um einen Albitoligoklas. Seine Durchwachsung mit Quarz leistet an vielen Stellen der Bestimmung gute Dienste. Hier setzt die Verwitterung intensiv ein, indem die Trübung soweit geht, daß die Zwillingslamellen verschwinden und der Feldspat in den Bröckeln schon als trübe Masse vorliegt. Quarz findet man untergeordnet in kleinen Individuen, die teils sekundärer Natur sind. Meist bildet er nesterförmige, mosaikartige Anhäufungen.

Hornblende und Biotit sind großenteils aggregatartig miteinander verwachsen. Dazu gesellen sich auch Titanitkörner und Epidot, oft Umsäumungen um die Mineralien bildend. Biotit wie Hornblende besitzen grünlich-braune Farbe und weisen nicht sehr starken Pleochroismus auf. Biotit hat  $n_{\alpha}$  gelblich und  $n_{\gamma}$  schmutzig-braun. Orthit ist in kleinen oder größern Individuen in meist gut ausgebildeten Formen vereinzelt anzutreffen. Sobald die Verwitterung einsetzt, beginnt seine Umgrenzung unscharf zu werden. Die Epidotbildung um den Orthit wurde bereits von WEBER eingehend diskutiert [158].

Apatit und Zirkon sind im ganzen Schliff zerstreut zu finden. Erzkörnchen, vor allem Magnetit, liegen hauptsächlich in Titanit, Hornblende und Biotit vor. Im Schliff des relativ frischen Gesteins zeigt sich auch Kalzit. Derselbe ist aber schon in der Verwitterungsrinde nicht mehr anzutreffen. Eine detailliert mikroskopische Beschreibung des frischen Gesteins gibt WEBER, und da der untersuchte, allerdings dem Chemismus nach etwas absonderliche Syenit mit seinen Angaben weitgehend übereinstimmt, sei auf eine eingehendere Beschreibung verzichtet.

Schon in der Verwitterungsrinde, die durch Flechten weitgehend beeinflußt wird, machen sich nun die fortschreitenden Verwitterungsanzeichen geltend. Die einzelnen Mineralien erhalten durch braune Verwitterungsprodukte, welche sich in Spaltrissen und längs den Mineralumrissen vorfinden,

schärfere Konturen (Taf. V, Fig. 1). An den Enden und seitlich dieser braunen Ausfüllungen findet ein Ausfasern statt. Die Verwitterungsprodukte sind zur Hauptsache limonitisch, sie verfolgen die feinsten Spaltrisse. In größern Spaltrissen beteiligt sich dann auch Titanit und zuweilen auch Serizit.

Hornblende und Biotit sind noch ungefähr in gleicher Frische wie im frischen Gestein, hingegen hat die Zersetzung der Feldspäte in der Rindenpartie einen höhern Grad erreicht. Besonders weit fortgeschritten ist die Saussuritisierung der Plagioklase, aber auch die Kalifeldspäte zeigen beginnende Trübung.

Ein weiteres Stadium bilden die Bröckel. Hier sind die Feldspäte vollkommen kaolinartig getrübt. Biotit, der in Basisschliffen oft ein schönes Sagenitgewebe zeigt, ist fleckig geworden. Trotzdem die Gesteinsbruchstücke in Humus eingebettet liegen und oberflächlich braunschwarz verfärbt sind, ist doch die chemische Verwitterung im übrigen nicht sehr tiefgreifend, so daß man wohl annehmen darf, daß die physikalische Verwitterung hier stark ins Gewicht fällt.

**Tabelle 35. Schlämmanalysen der Bodenproben des Syenits.**

Horizonte	Fragmente > 2 mm	Fragmente < 2 mm	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	Glühverl.	pH
			I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2,0 mm			
Brauner Horizont	5,0	95,0	21,50	35,50	15,80	27,20	42,00	70,92	3,9
Schwarzer Horizont	7,9	92,1	32,25	20,70	15,80	31,25	47,05	56,77	3,7
Bröckel	49,5	50,5	7,25	8,00	9,90	74,84	84,74	—	—

Im geschlämmten Material kommt der Charakter des Bodens gut zur Geltung. Neben organischen Resten, die das ganze Präparat braun verfärben, dominiert Feldspat und Biotit, beide durch organische Substanz und Limonit oberflächlich braun verfärbt. Der Verwitterungszustand ist trotz der geringen Korngröße ungefähr gleich wie im Schliff von groben Bröckeln

**Tabelle 36. Syenit, Etlital.**

	Gewichtsprozent					Molekularwerte			
	frisch I	Bröckel- probe II	schwarzer Horizont III	brauner Horizont IV		I	II	III	IV
	%	%	%	%					
SiO <sub>2</sub> . . . .	64,79	63,80	29,40	19,79	<i>si</i> . . . .	262	301	307	319
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	18,63	15,69	6,73	3,79	<i>al</i> . . . .	44,5	43,4	41,2	35,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	1,21	3,01	1,30	0,56	<i>fm</i> . . . .	17,8	19,8	18,1	17,5
FeO . . . .	2,36	—	—	—	<i>c</i> . . . .	9,1	7,1	11,2	12,6
MnO . . . .	0,08	0,04	0,01	0,01	<i>alk</i> . . . .	28,6	29,7	29,5	33,9
MgO . . . .	0,91	1,31	0,52	0,47	<i>k</i> . . . .	0,40	0,35	0,40	0,49
CaO . . . .	2,07	1,39	1,03	0,74	<i>mg</i> . . . .	0,31	0,45	0,45	0,67
Na <sub>2</sub> O . . . .	4,21	4,23	1,74	1,13	<i>c/fm</i> . . . .	0,51	0,35	0,62	0,72
K <sub>2</sub> O . . . .	4,44	3,51	1,85	1,64	<i>h</i> . . . .	6,3	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . .	0,46	—	—	—	<i>si : al : f</i> . . . .	21,8 : 3,71 : 1	28,0 : 4,03 : 1	30,7 : 4,1 : 1	54,9 : 6,1 : 1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . .	0,02	0,85	—	—	<i>si/al</i> . . . .	5,9	7,0	7,5	9,0
CO <sub>2</sub> . . . .	—	—	—	—	<i>m/c</i> . . . .	0,62	1,28	0,72	0,92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	0,15	0,20	0,19	0,17	<i>c+alk</i>	0,84	0,85	0,99	1,29
TiO <sub>2</sub> . . . .	0,61	0,65	0,37	0,36	<i>al</i> . . . .	—	—	—	—
Org. Subst. (Glühverl.)	—	5,74	56,77	70,92	<i>f<sub>3</sub></i> . . . .	3,9	—	—	—
	99,94	100,42	99,91	99,58	<i>f<sub>2</sub></i> . . . .	8,3	—	—	—
					<i>f</i> . . . .	12,2	10,8	10,0	5,8
					<i>m</i> . . . .	5,6	9,0	8,1	11,7

Chemismus. Daß die physikalischen Faktoren bei der Verwitterung beteiligt sind, geht vor allem auch aus dem Vergleich der Analysen des frischen und verwitterten Syenits hervor. Trotzdem in den Bodenhorizonten das Gestein seinen Zusammenhang völlig verloren hat und die anorganischen Bestandteile in der reichlichen Humusmenge direkt gesucht werden müssen, hat eine relativ geringe chemische Veränderung stattgefunden. Diese steht auch in Übereinstimmung mit dem mikroskopischen Befund.

Mit der Verwitterung setzt gegenüber *al* eine kontinuierliche, jedoch kleine, relative Kieselsäurezunahme ein. So steigt bei geringer Verminderung des *al* das *si/al*-Verhältnis vom frischen Gestein zu den Bröckeln von 5,9 auf 7,0. Von den Bröckeln zum Boden ändert sich das Verhältnis im gleichen Sinne. Die scheinbare *fm*-Zunahme zu den Bröckeln liegt in einer relativen Magnesiumanreicherung, während Eisen zu wandern beginnt. Von dieser Magnesiumanreicherung abgesehen sind die Verschiebungen sehr gering. Die limonitische Umrandung und Spaltenausfüllung sowie die braune Verfärbung des Lockerpräparates wird zum Teil darauf zurückgeführt werden müssen. Im schwarzen oberen Horizont verändern sich die Werte unwesentlich, hingegen fällt *f* zum braunen Horizont, während *m* sich anreichert. Die Karbonatauswaschung ist dadurch deutlich geworden, daß in den Bröckeln kein Karbonat mehr gefunden wurde, wogegen es im frischen Gestein an einzelnen Stellen im Schriff zu erkennen war.

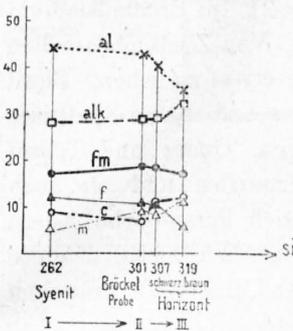


Fig. 33. Verwitterungsdiagramm, Syenit, Etlital.

Eigentümlich ist hier, daß der ursprünglich vorhandene Tonerdeüberschuß durch relatives Anwachsen von *alk* und *c* verschwindet. Die Analyse des braunen Horizonts ist ausgesprochener syenitisch als die des frischen Gesteins. Da es nicht ausgeschlossen ist, daß primäre Unterschiede vorhanden waren, wollen wir nicht näher auf diese Tendenz der Analysenbefunde eingehen. Frisches Gestein und Bröckel gehören sicher zusammen, und die Analyse der Bodenhorizonte zeigt auf alle Fälle, daß der Chemismus des Muttergesteins selbst in diesem Stadium noch deutlich erkennbar ist.

Im Boden selbst erfolgt eine außerordentlich starke Zunahme der organischen Substanz. Der Glühverlust beträgt 56,77% im schwarzen, 70,92% im braunen Horizont. In diesen organischen Pflanzenresten liegen Gesteinsbruchstücke von 2—3 mm Durchmesser, die vorwiegend aus stark getrübttem Feldspat bestehen. Der innere Zusammenhang ist so gering geworden, daß man das Mineral, bzw. die Pseudomorphose nach Feldspat, leicht auf dem Objektträger zerdrücken kann.

Die beiden Bodenproben eigneten sich ihres Humusgehalts wegen nicht gut zur Schlämmanalyse. Nach der ersten Schlämmung wurden deshalb die Proben noch einmal zerstoßen. Es zeigte sich dann, wie bei den Analysen des Dioritbodens, der anschließend besprochen wird, daß die größte Fraktion sich noch weiter aufbereiten ließ, während die III. Fraktion des braunen und schwarzen Horizonts aus organischen Reststücken bestand.

## 2. Diorit, Etlital.

Im Etlital wurde bei Culma in einer Höhe von zirka 1920 m, am Wege zur Etlzhütte, eine weitere Verwitterungsstufe aufgenommen. Es handelt sich um ein Profil auf Diorit. Auch hier verwittert das Gestein zu einem stark humosen Boden. Der Humusgehalt erreicht sogar 89%, so daß von einer Analyse des Bodenhorizonts Umgang genommen wurde. Die Analysen und Schriffe vom frischen Gestein und der Bröckel können uns jedoch über die ersten Verwitterungsstadien orientieren. Der frische, feinkörnige Diorit von grünlicher Farbe geht an der Oberfläche in eine zirka 2 cm mächtige bräunliche Verwitterungsrinde über. Im Profil liegt über dieser Rinde das wenige Zentimeter mächtige, grusartige, gleich- und feinkörnige Bröckelmaterial, über welchem sich die humosen Horizonte ausbilden.

Das frische Gestein besitzt als Hauptgemengteile Quarz, Plagioklas (saussuritisiert), Biotit; als Nebengemengteile Titanit, Apatit, Zirkon, Magnetit, Orthit, Granat.

Der Plagioklas, durchspickt von Zoisit, Epidot, Serizit, Chlorit, kommt im Schriff nie völlig frisch vor. Nur vereinzelt lassen sich noch Reststücke von Plagioklas (Oligoklas bis Andesin) bestimmen. Quarz trifft man partienweise vollkommen verzahnt als Zwickelausfüllung der letzten Ausscheidung.

Die größeren Individuen, bis zu  $\frac{1}{2}$  cm Durchmesser, zeigen stark undulöse Auslöschung. Biotit, ein häufiges Mineral, oft gut ausgebildet, meist aber zerfetzt und Siebstruktur aufweisend, besitzt einen Pleochroismus  $n\gamma$  dunkel braungrün,  $na$  hellgelb. Auf der Basis ist das Sagenitgewebe gut zu erkennen. An verschiedenen Stellen sind Chloritbildungen festgestellt worden. Diese entwickeln sich im verwitterten Gestein weiter. Titanit findet man in relativ gut ausgebildeten Formen, aber weit häufiger in Reliktstrukturen.

Die Verwitterung setzt mit einer allgemeinen Lockerung des Gefüges ein, so daß sich limonitische und andere Verwitterungsprodukte zwischen die einzelnen Mineralien einlagern können. Sogar die Mineralien der Saussuritisierung werden braun umrandet angetroffen (Taf. V, Fig. 2). Im Bröckelstadium sind die Feldspäte stark getrübt. Von Zwillinglamellen ist nur noch an wenigen Stellen etwas zu sehen. Biotit weist die stärksten Veränderungen auf. Seine Spaltrisse werden durch Erzausscheidungen, Quarz und Titanit stark hervorgehoben. Von Erzpartien und oft auch von Biotit ausgehend, bilden sich limonitische Adern durch das Gestein hindurch. Seitlich zweigen diese Adern ab, indem sie die neuen Mineralien bräunlich umgrenzen.

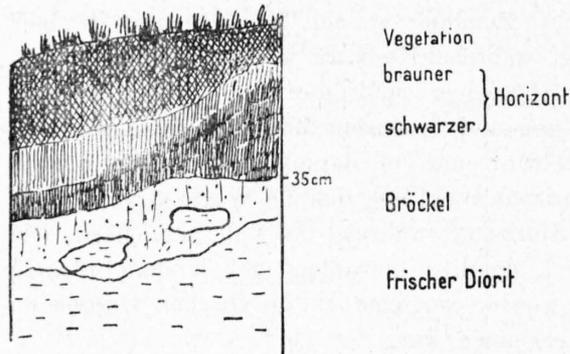


Fig. 34. Verwitterungsprofil auf Diorit, Eitzlital.

Im Lockerpräparat (Taf. I, Fig. 4) der Bröckel treten die Verwitterungserscheinungen mit Ausnahme von Quarz und Muskovit an jedem Mineral stark in Erscheinung. Der Biotit ist zur Hauptsache vollkommen gebräunt, Feldspat grau getrübt, während Titanit in dunkelgrauen, fast schwarz umrandeten Reststücken vorliegt.

Tabelle 37. Schlämmanalysen der Bodenproben des Diorits.

Horizonte	Fragmente > 2 mm	Fragmente < 2 mm	Fraktionen der Schlämmanalyse				III+IV	Glühverl.	pH
			I < 0,01 mm	II 0,01—0,05 mm	III 0,05—0,1 mm	IV 0,1—2 mm			
brauner Horizont	—	—	48,87	19,00	13,28	18,85	32,13	88,69	4,2
schwarzer Horizont	—	—	47,85	25,00	21,14	6,00	27,14	89,35	3,8
Bröckel	8,4	91,6	10,55	24,65	16,55	48,25	64,80	—	—

Chemismus. Die chemischen Veränderungen des Diorits liegen in einer nicht sehr großen scheinbaren Kieselsäurezunahme, mit der auch diejenige des *al* parallelgeht (Tab. 38). Das Verhältnis der beiden Komponenten hat sich unbedeutend zugunsten von *si* verschoben. *m*, *f* und Kali vermindern sich.

	Diorit	Bröckel
<i>k</i>	0,41	0,21

Diese Verschiebung darf wohl zu einem großen Teil der starken Zersetzung des Biotits zugeschrieben werden. Der Kalkgehalt nimmt gewichtsprozentisch zu. Vermutlich beruht dies auf einer lokalen Anreicherung von Plagioklas im untersuchten Bröckelmaterial. Auch hier kann, wie im Syenit, die chemische Veränderung im Vergleich zu dem äußern Aussehen als gering bezeichnet werden. Das Auswaschen von Stoffen spielt noch keine bedeutende Rolle. An einer Stelle des Profils konnte ein brauner und ein schwarzer Humushorizont auseinandergehalten werden, sonst aber sind die beiden Horizonte vermischt.

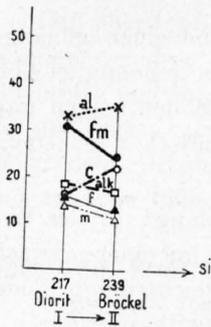


Fig. 35. Verwitterungsdiagramm. Diorit, Etlital.

Die Humushorizonte unterscheiden sich durch den hohen Prozentgehalt in der groben Fraktion voneinander, was darauf zurückzuführen ist, daß oberflächlich eine mechanische Auswaschung stattgefunden hat. Der obere Horizont besteht aus wenigen Wurzelbestandteilen, dagegen aus viel mehr Blättern, während der schwarze Horizont reich ist an feinen und gröbern Wurzelresten. In beiden Horizonten sind nur vereinzelt anorganische Bestandteile von weißen, matten Körnchen (Feldspat) anzutreffen. Durch Glühen blieb gelblich-brauner, eisenschüssiger Ton zurück.

Tabelle 38. Diorit, Etlital.

	Gewichtsprozent			Molekularwerte	
	frisch I	Bröckel II		I	II
	%	%			
SiO <sub>2</sub> . . . . .	60,91	58,19	si . . . . .	217	239
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	16,05	14,70	al . . . . .	33,6	35,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,49	4,12	fm . . . . .	31,5	24,7
FeO . . . . .	3,33	—	c . . . . .	16,5	22,2
MnO . . . . .	0,06	0,05	alk . . . . .	18,4	17,6
MgO . . . . .	2,77	1,89	k . . . . .	0,41	0,21
CaO . . . . .	4,30	5,03	mg . . . . .	0,47	0,47
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,20	3,49	c/fm . . . . .	0,52	0,90
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,27	1,42	h . . . . .	16,5	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	1,38	—	si : al : f . . . . .	13,2 : 2,05 : 1	18,2 : 2,7 : 1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,12	1,30	si/al . . . . .	6,4	6,7
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,62	—	m/c . . . . .	0,89	0,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,13	0,15	c+alk/al . . . . .	1,06	1,12
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,08	1,12	f <sub>3</sub> . . . . .	6,6	—
Org. Subst. (Glühverl.)	—	8,25	f <sub>2</sub> . . . . .	10,1	—
	99,81	99,74	f . . . . .	16,7	13,1
			m . . . . .	14,8	11,6

### 3. Allgemeines über Bodenbildung in den Alpen.

Die große Niederschlagsmenge, die starke Insolation und die niedrige Lufttemperatur sind im gemäßigten Klima wohl die Hauptbedingungen zur Bildung des lockern, pulverförmigen Alpenhumus. Die Niederschlagsmengen erreichen in dem perhumiden Hochgebirgsklima Werte von 1000 bis 1500 mm.

Die Vegetation, welche zur Hauptsache aus Heidelbeeren, Preiselbeeren, Alpenrosen, Moosen Pilzen usw. besteht, liefert eine dicke Humusschicht, die im Gegensatz zu nordischen Böden, welche größtenteils aus Wurzelresten bestehen, sowohl Wurzel- wie oberirdische Pflanzenbestandteile enthält. Daß wir im Alpenhumus eine Bildung vor uns haben, die mit Bildungen im Norden nicht identisch ist, hat besonders TSCHERMAK [156] betont; die Erscheinung ist nach ihm klimatisch begründet. „Das Resultat der günstig verlaufenden, aber durch zu lange Zeit im Lauf des Jahres gehemmten Verwesung ist Moder, Alpenhumus.“ Die Böden höherer geographischer Breite entstehen unter geringer Bestrahlung, ohne extreme Tagesschwankungen. Infolge Rohhumusbildung erfolgen chemische Ausfällungen und geringe Humusanreicherungen. Die alpinen Böden dagegen bilden sich unter zeitweiser

starker Bestrahlung, wobei die Bodentemperatur die Lufttemperatur übersteigt und einen günstigeren Abbau des Humus bewirkt als im Norden. Durch den infolge tiefer Temperatur wieder gehemmten Abbau der Pflanzenreste entsteht jedoch schließlich eine starke Humusanreicherung. Die Böden zeigen unwesentliche chemische Reaktionen. JENNY [102] beschreibt den Alpenhumus als klimatisches Endstadium unserer Bodenbildung.

Die Profilstadien in den Alpen führen HARRASSOWITZ [23] zu folgender Einteilung: In der Waldregion, die bis zu einer Höhe von 1800 m hinaufreicht, findet Gelblehmbildung\*) statt mit einer schwachen obern Bleichungszone; in der Gehölzregion (1800—1900 m), entwickelt sich über Bleicherde ein Podsolprofil, während über 1900 m, in der sogenannten Almenregion, diese Podsolverwitterung durch die chemische Wirkung des Humus zurückgeht. Harrassowitz belegt die Zonen mit Profilaufnahmen, wobei er zur Ansicht kommt: „Wenn sich über Gelblehm über 1800 m ein echtes Podsolprofil voll entwickelt, so scheint mir hier damit bewiesen zu sein, daß der Gelblehm von der Podsolierung unabhängig ist und daß zwei verschiedene Prozesse der Bodenbildung übereinander liegen“ — und er nimmt an, daß darin der beste Beweis liege, daß die Gelberde fossil sei. Besonders eingehend hat sich LEININGEN [142, 144] sowohl mit Humusablagerungen auf Kalkstein in den Kalkalpen, wie auf silikatischen Gesteinen der Zentralalpen befaßt. In untenstehender Tabelle 39 sind eine Anzahl Analysen übersichtlich zusammengestellt. Auffällig ist der durchweg hohe Humusgehalt. Unter anderm geht aus der Zusammenstellung hervor, daß der Humusreichtum weitgehend durch die Art der Vegetationsdecke bedingt ist.

**Tabelle 39. Alpenhumusböden** [144, S. 486].

	Moderartiger Alpenhumus In obern Lagen braun, unten schwarz Waldmoose, Heidelbeere	Moderartiger Alpenhumus  Waldmoose, Preiselbeere	Schokoladebrauner Humus im Wurzelfilz wenig mächtig, in Fetzen vom Gestein zu entfernen  Waldmoose, Heidelbeere, Preiselbeere usw.	Moderartiger Alpenhumus  Aus Heidelbeeren, von Buchentorf überlagert	Pflanzenreste vermischt mit feinsandigem Boden  Carex Curvula, schlechter Humusbildner
Untergrund . . . . .	Granitblöcke (Bergsturz)	Vertiefung zwischen Granitfelsen	(Rundhöcker) ausgebleichter Granitgrus	Sandig lehmiger Granitgrus	Trümmerfeld aus verschiedenen Gesteinen (sandiger Boden)
Lokalität . . . . .	Preda (Albulabahn)	Rosanaschlucht (Arlberg)	Weißenstein, Albulapaß	Buchenwald Klosters	Flüelapaß
in HCl löslich . . . . .	1,93	2,93	2,78	2,28	—
in HCl unlöslich . . . . .	6,29	8,83	6,54	10,88	—
{ MgO . . . . .	0,17	0,16	0,15	0,33	0,41
{ CaO . . . . .	1,05	1,19	0,63	0,17	0,29
{ Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,06	0,06	0,16	0,25	0,34
{ K <sub>2</sub> O . . . . .	0,12	0,17	0,13	0,13	0,32
{ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,15	0,22	0,23	0,24	0,26
N . . . . .	1,52	1,88	2,00	1,76	1,37
N auf org. Subst. bezogen .	1,66	2,13	2,20	2,03	3,42
unverbrennliche Stoffe . .	8,22	11,76	9,32	13,16	60,00
verbrennliche Stoffe + CO <sub>2</sub>	91,78	88,24	90,68	86,84	40,00

\*) Gelblehm = kolloidreicher Horizont, farbiger Lehm (nach Harrassowitz).

Daß aber typische Podsolprofile gefunden werden, können die nachstehenden HCl-Auszüge erläutern. Besonders in dem Profil von Pontresina (Tab. 40) ist eine Podsolierung deutlich zu erkennen. Der Glühverlust und der HCl-lösliche Teil sind in dem Anreicherungshorizont bedeutend angestiegen. Tonerde und Eisen sowie auch  $P_2O_5$  sind aus dem Bleicherdehorizont ausgewaschen und reichern sich nun in dem Ortstein an. Der obere Horizont verarmt an unmittelbaren Nährstoffen. Die gleichen Erscheinungen finden wir ebenfalls in den partiellen HCl-Auszügen der Tabelle 41.

**Tabelle 40. Profil bei Pontresina (1800 m), bei Niederschlag 1000 mm (von W. zu Leiningen) [143].**  
Unter Mischbestand von Zirbe, Lärche und Fichte, mit Waldmoosen, Alpenrose, Heidelbeere, Preiselbeere, Torfmoose usw.

	Bleichsand A <sub>2</sub>	Ortstein B <sub>1</sub>	Untergrund C
Tiefe . . . . .	ca. 10 cm (darüber wenige cm Alpen- humus)	ca. 12 cm (darunter 15 cm sehr harter, rotbrauner Ortstein mit Bröckel)	
Farbe . . . . .	grauweiß (Orthoklas oberfläch. stark angegriffen)	kaffeebraun Verwitterungszone	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,12	0,42	0,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,99	4,90	1,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,86	4,80	1,95
MnO . . . . .	—	—	—
MgO . . . . .	0,08	0,28	0,27
CaO . . . . .	0,09	0,36	0,48
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,36	0,50	0,52
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,11	0,23	0,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,01	0,13	0,01
in HCl löslich . . . . .	2,65	11,73	5,82
H <sub>2</sub> O-Verlust 100° . . . . .	1,18	5,77	0,28
Glühverlust . . . . .	6,14	26,61	1,07
Mineralsubstanz . . . . .	93,85	73,39	98,93

**Tabelle 41. Profil des Val Sesvenna (Scarl), 2520 m (von H. Jenny [102]).**  
Unter Curvuletum.

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C
	braunschwarzer Humus 0—3 cm	rötlichweiße Bleicherde 3—13 cm	humusreiche schokolade- braune Schicht 13—18 cm	gesteinsbraun mit Humus (Moräne) unter 18 cm
in HCl löslich . . . . .	—	10,56	21,71	11,8
SiO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	—	1,79	4,56	2,91
MgO . . . . .	—	0,00	0,00	0,00
CaO . . . . .	—	0,22	0,74	0,29
K <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	—	0,00	0,10	0,10
H <sub>2</sub> O (110°) . . . . .	8,40	3,00	4,40	2,72
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	0,00	0,00
Humus . . . . .	27,50	4,61	11,22	6,12
pH . . . . .	5,5	5,4	5,4	6,3

Tabelle 42. Profile aus dem Schweizerischen Nationalpark-Gebiet von (H. Jenny [102]).

	a) Profil Alp Murtèr 2450 m. Unter Elynetum.			b) Profil bei Zernetz 1500 m. Unter Koniferenmischwald.				c) Profil Muraigl (Oberengadin). Unter Magerwiese.			
	A	B	C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C
	Humus 0—10 cm	gelber toniger Boden 10—14 cm	dunkler bitumi- nöser Schiefer unter 14 cm	dunkel- brauner Humus	hellgrau ge- bleichte Schicht	dunkel- gelbe Gerölle	Schutt mit Geröll Berg- sturz- gebiet	dunkel- brauner Humus 0—10 cm	weißer feiner Sand 10—16 cm	ocker- brauner grober Sand 16—30 cm	grauer grob- körniger Sand Alluvion 30 cm
in HCl lösl.:											
SiO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	0,14	0,15	0,69	—	0,06	0,67	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	—	15,16	11,68	—	3,99	17,00	9,70	—	1,35	8,41	6,28
MgO . . . . .	—	0,33	0,58	—	0,34	0,37	3,73	—	0,18	0,33	0,28
CaO . . . . .	—	1,44	3,85	—	0,24	0,50	10,90	—	0,35	0,10	0,27
K <sub>2</sub> O . . . . .	—	0,09	0,03	—	—	—	—	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	—	0,15	0,06	—	0,00	0,07	0,00	—	0,01	0,20	0,05
H <sub>2</sub> O (110°) . .	5,78	4,40	1,10	5,41	1,20	2,00	0,81	7,60	4,11	3,68	2,92
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	3,21	—	—	—	—
Humus . . . . .	25,70	2,05	2,00	28,85	2,87	3,51	2,68	6,80	0,98	2,68	1,94
pH . . . . .	5,8	6,6	6,7	6,0	6,4	6,8	7,2	5,6	5,5	5,7	6,2

#### 4. Rofnaporphyr, südwestlich von Andeer.

Von HARRASSOWITZ [23] wurde südwestlich von Andeer auf einem Rundhöcker in einer Höhe von rund 1150 m ein Profil mit einer oberflächlichen Bleichung aufgenommen. Der Rofnaporphyr, auf dem das Profil gewachsen ist, weist nach RÜETSCHI (Eclogae geol. Helv., Bd. 8, 1902, S. 44) einen Mineralbestand auf von Orthoklas, Mikroklin, Albit, Oligoklas, Quarz, Biotit, Serizit, Epidot, Apatit, Rutil, Magnetit, Titanit, bei holokristallin-porphyrischer Struktur, wobei Feldspat und Quarz als große Einsprenglinge in einer feinkörnigen, graugrünen bis schwarzfleckigen Grundmasse liegen. Daneben findet sich weniger häufig Biotit.

Chemismus. Vom frischen Porphyr zum Gelblehm nehmen bei einer Entkieselung

	Rofnaporphyr	Gelblehm
<i>si/al</i>	8,5	6,2

relativ *f* und *m* zu, sie sind hier wohl sekundär angereichert, während sich die Alkalien sehr stark vermindern (Tab. 43), was auch aus dem  $\frac{c+alk}{al}$ -Verhältnis ohne weiteres hervorgeht. Vom frischen Gelblehm zum schwach gebleichten Gelblehm treten nun andere Verhältnisse auf; während Magnesium stark ausgewaschen wird, reichert sich das zweiwertige Eisen an.

	Gelblehm	Gelblehm gebleicht
<i>f</i> <sub>3</sub>	18,2	16,9
<i>f</i> <sub>2</sub>	6,4	11,1
<i>f</i>	24,6	27,0
<i>m</i>	15,2	9,4

Tabelle 43. Rofnaporphyr, Andeer.

	Gewichtsprozent					Molekularwerte			
	frisch	Gelblehm frisch	Gelblehm schwach gebleicht	Gelblehm stark gebleicht		I	II	III	IV
	I	II	III	IV					
	%	%	%	%					
SiO <sub>2</sub> . . . .	70,25	61,45	61,64	72,20	si . . . .	366	300	333	534
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	14,01	17,07	14,34	11,60	al . . . .	42,8	49,0	45,5	50,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	1,12	4,91	3,17	2,74	fm . . . .	19,1	39,8	36,4	28,0
FeO . . . .	1,59	1,59	2,49		c . . . .	4,7	1,5	1,9	4,0
MnO . . . .	(0,08)	—	—	—	alk . . . .	33,4	9,7	16,2	17,8
MgO . . . .	0,94	2,10	1,06	1,19	k . . . .	0,65	0,54	0,58	0,35
CaO . . . .	0,86	0,28	0,32	0,55	mg . . . .	0,38	0,39	0,26	0,46
Na <sub>2</sub> O . . . .	2,63	0,95	1,32	1,61	c/fm . . . .	0,27	0,04	0,07	0,19
K <sub>2</sub> O . . . .	5,97	1,70	2,72	1,34	h . . . .	23,4	104	142	25,8
H <sub>2</sub> O+ . . . .	1,35	6,38	7,80	1,04	si:al:f . . .	32,5:3,8:1	12,9:1,99:1	12,3:1,69:1	35,1:3,3:1
H <sub>2</sub> O- . . . .	—	2,74	4,36	0,06	si/al . . . .	8,5	6,2	7,3	10,6
CO <sub>2</sub> . . . .	—	—	—	—	m/c . . . .	1,6	10,4	4,33	3,22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	(0,19)	—	—	—	c+alk/al . .	0,89	0,23	0,40	0,42
TiO <sub>2</sub> . . . .	0,43	0,44	0,58	0,50	f <sub>3</sub> . . . .	4,4	18,2	16,9	15,1
Org. Subst. .	—	—	—	—	f <sub>2</sub> . . . .	7,2	6,4	11,1	—
(Glühverl.)	99,15	99,61	99,72	99,96	f . . . .	11,6	24,6	27,0	15,1
					m . . . .	7,5	15,2	9,4	12,9

Die chemische Änderung, die von III zur stark gebleichten Gelberde eintritt, verrät, daß lösliche Stoffe aus diesem Horizont weggeführt wurden. Die si-Zahl steigt von 333 auf 534 und aus dem Vergleich derselben mit al, c und alk geht hervor, daß die Feldspäte nicht völlig zersetzt sind.

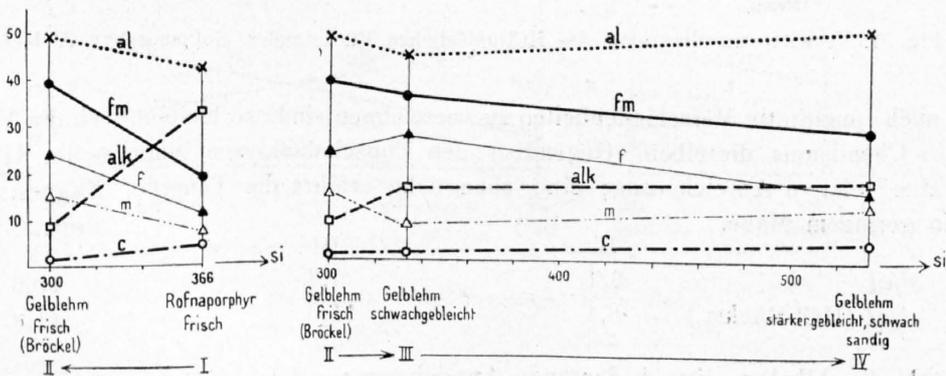


Fig. 36. Verwitterungsdiagramm, Rofnaporphyr, Andeer.

Es kann uns beim Vergleich der Molekularwerte der HCl-unlöslichen Rückstände (Tab. 43 a) erstaunen, daß für sie ein dem Bauschalanalysendiagramm (Fig. 36) ähnliches resultiert (Fig. 37). Der in HCl unlösliche Teil beträgt:

II	III	IV
72,25	70,35	81,40

Tabelle 43a. Molekularwerte des HCl-unlöslichen Rückstandes.

	II	III	IV
<i>si</i> . . . . .	460	525	712
<i>al</i> . . . . .	54,5	48,0	54,8
<i>fm</i> . . . . .	27,5	23,1	14,6
<i>c</i> . . . . .	1,5	2,3	5,1
<i>alk</i> . . . . .	16,5	26,6	25,5
<i>f</i> . . . . .	8,5	14,3	3,8
<i>m</i> . . . . .	19,0	9,8	10,8
<i>k</i> . . . . .	0,54	0,61	0,35
<i>mg</i> . . . . .	0,69	0,42	0,74
<i>c/fm</i> . . . . .	0,55	0,10	0,35
$\frac{c+alk}{al}$ . . . . .	0,33	0,60	0,56
<i>si/al</i> . . . . .	8,4	11,0	11,8

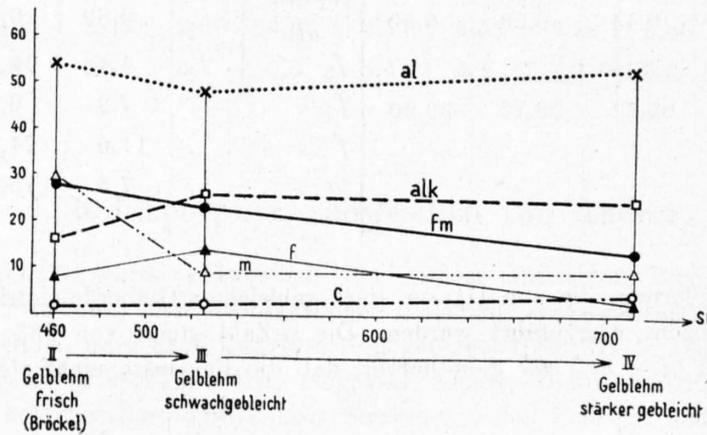


Fig. 37. Verwitterungsdiagramm des HCl-unlöslichen Rückstandes, Rofnaporphyr, Audeer.

Wenn auch quantitativ Verschiedenheiten zu verzeichnen sind, so bleiben doch die Verschiebungstendenzen des Chemismus dieselben. Gegenüber den Bauschalanalysen zeigt *si* im HCl-unlöslichen Rückstände eine relative Anreicherung; eine ebensolche erfährt die Tonerde, Magnesium und Kalk, wenn auch in geringem Maße.

	II	III	IV
<i>si/al</i>	6,2	7,3	10,6
<i>si/al</i> (HCl-Rückst.)	8,4	11,0	11,8

Daß auch die Alkalien eine bedeutende Anreicherung erfahren, liegt wohl im geringen Zeretzungsgrad der Feldspäte begründet. Die dunklen Gemengteile müssen aus der starken Verminderung des Eisengehalts zu folgern, weitgehend zersetzt sein.

	II		III		IV	
	Bausch.	HCl-R.	Bausch.	HCl-R.	Bausch.	HCl-R.
<i>f</i>	24,6	8,5	27,0	14,3	15,1	3,8
<i>m</i>	15,2	19,0	9,4	9,8	12,9	10,8

5. Gneis nördlich von Comano, bei Lugano, 680 m.

Tabelle 44. Gneis, Comano.

	Gewichtsprocente				Molekularwerte		
	Gneis frisch I	Gelberde II	humuoser Oberboden III		I	II	III
	%	%	%				
SiO <sub>2</sub> . . . .	75,50	59,22	53,95	si . . . .	462	260	344
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	14,11	17,66	15,70	al . . . .	50,8	50,0	58,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	1,59	3,51	3,84	fm . . . .	12,4	31,8	22,6
FeO . . . .	0,40	2,16	—	c . . . .	4,8	4,0	3,2
MnO . . . .	—	—	—	alk . . . .	32,0	14,2	15,3
MgO . . . .	0,35	1,44	0,45	k . . . .	0,24	0,55	0,45
CaO . . . .	0,72	0,79	0,47	mg . . . .	0,26	0,33	0,19
Na <sub>2</sub> O . . . .	4,08	1,40	1,35	c/fm . . . .	0,38	0,13	0,15
K <sub>2</sub> O . . . .	1,96	2,57	1,70	h . . . .	21,4	128	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . .	1,04	7,95	—	si:al:f . . .	50,3:5,52:1	11,8:2,24:1	8,7:3,21:1
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . .	0,06	2,99	4,90	si/al . . . .	9,1	5,3	5,8
CO <sub>2</sub> . . . .	—	—	—	m/c . . . .	0,69	2,57	1,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	Sp.	Sp.	0,18	c+alk . . . .	0,73	1,26	0,82
TiO <sub>2</sub> . . . .	0,10	0,73	0,58	al . . . .			
Org. Subst. . .	—	—	—	f <sub>3</sub> . . . .	7,3	12,7	18,4
SO <sub>3</sub> . . . .	—	—	—	f <sub>2</sub> . . . .	1,8	8,7	—
	99,91	100,42	100,27	f . . . .	9,1	21,4	18,4
				m . . . .	3,3	10,4	4,2

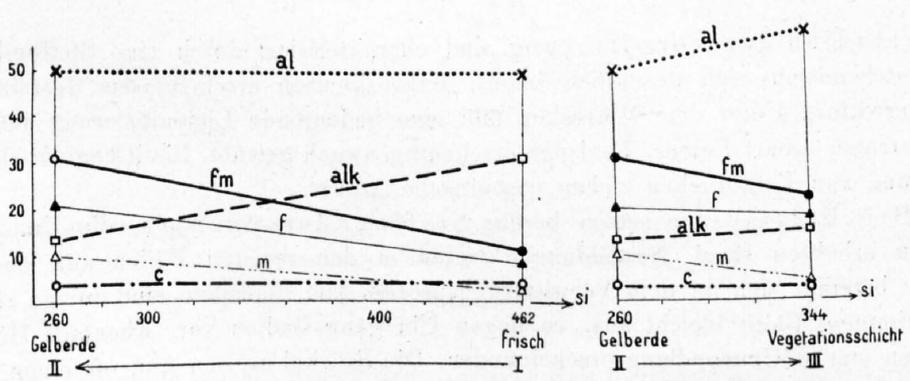


Fig. 38. Verwitterungsdiagramm, Gneis, Comano.

In einem andern von HARRASSOWITZ [23] untersuchten Verwitterungsprofil in Gneis konnte die Verwitterung über die Gelberde bis zur Vegetationsschicht verfolgt werden. Vom frischen Gneis zur Gelberde zeigt sich eine Entkieselung.

	Gneis	Gelberde
si/al	9,1	5,3

Mit der Kieselsäureverminderung reichert sich f stark an, während von den Alkalien besonders Na vermindert wird.

	I	II
<i>alk</i>	32,0	14,2
<i>k</i>	0,24	0,55

Der *c*- und *al*-Gehalt verändert sich trotz der Kieselsäureabnahme unwesentlich. Von der Gelberde zur Vegetationsschicht hingegen steigt das *si/al*-Verhältnis wieder etwas

	II	III
<i>si/al</i>	5,3	5,8

während das Magnesium und in geringerem Maße auch Kalk stärker ausgewaschen werden.  $Fe_2O_3$  dominiert jetzt nicht mehr stark. Das deutet darauf hin, daß die dunklen Gemengteile, besonders Glimmer, schon stark zersetzt vorliegen. Das Anwachsen der Werte *al* und *alk* in der Vegetationsschicht beruht offenbar darauf, daß noch nicht zersetzter Feldspat sich anreichert, während die löslichen Teile ausgewaschen, und *f* und *al* in die Gelberde hineingewaschen werden. Die relative Kalianreicherung in der Gelberde, die wohl mit der Mg-Zunahme adsorptiv zu erklären ist, geht nach der Vegetationsschicht zurück.

	II	III
<i>k</i>	0,55	0,45
<i>alk</i>	14,2	15,3
<i>m</i>	10,4	4,2

Aus all den chemischen Daten über diese Verwitterungsstufe können wir entnehmen, daß im obern Horizont eine Auslaugung stattgefunden hat, wogegen sich einzelne Stoffe in der Gelberde neu angereichert vorfinden.

## E. Zusammenfassung.

Bei den Gesteinen des alpinen Kristallins erweist es sich als vorteilhaft den Verwitterungsverlauf in die Hauptstadien:

- Frisches Gestein,
- Frühstadien oder Vorstadien der Verwitterung,
- Bröckel und
- Feinerde (Boden)

einzuteilen.

Die Vorstadien der Verwitterung sind charakterisiert durch eine Stoffumlagerung, ohne daß der Gesamtchemismus sich wesentlich ändert. Makroskopisch erscheint das Gestein durch Verrostung stark verwittert. Unter dem Mikroskop fällt eine bedeutende Limonitisierung auf. Die Umriss der Mineralien treten scharf hervor. Feldspat erscheint schwach getrübt, Biotit beginnt sich umzusetzen. Von ihm aus und von Erzkörnchen ziehen limonitische Adern.

In dem Bröckelstadium setzen bereits Stoffwanderungen ein, die Umbildungsprozesse erreichen einen erhöhten Grad. Neubildungen treten in den meisten Fällen auf, das Gefüge wird locker; Humus beteiligt sich an dem Verwitterungsprozeß. Die Feldspäte sind infolge starker Trübung schwer zu bestimmen, Biotit bleicht aus, es liegen Übergangsstadien vor. Ebenfalls Hornblende zeigt längs Spaltrissen starke Umwandlungerscheinungen. Die Bröckel weisen nun oft einen höhern Kieselsäuregehalt auf, *si/al* gibt häufig eine Kieselsäureanreicherung an in bezug auf Tonerde, d. h. es wird Tonerde unzweifelhaft teilweise ausgewaschen. *fm* erreicht hier meist nur relativ seine Höchstwerte. In Wirklichkeit hat oft sowohl *f* wie *m* abgenommen. Wie aus dem  $f_3$  zu entnehmen ist, ist auch die Oxydation weiter fortgeschritten als in den Frühstadien. Die Abnahme im  $\frac{c+alk}{al}$ -Verhältnis gibt die zum Teil fortschreitende Feldspatzersetzung an. *c* hat fast stets erheblich abgenommen. Wir erkennen also in diesem Stadium die chemischen Richtlinien des werdenden Bodens.

Die Feinerde kann sowohl als Anreicherungshorizont wie auch als ausgebleichte Schicht vorhanden sein. In ersterem finden wir chemisch gewissermaßen eine Fortsetzung der Bröckelstadien.

In oberflächlichen Bodenproben, um welche es sich meistens handelt, ändert sich mit Ausnahme des Kieselsäuregehalts oft der Richtungssinn der Diagrammkurven. Die hohen Kieselsäurewerte

bewirken trotz einer relativen *al*-Zunahme oft ein Steigen im *si/al*-Verhältnis. Die Verminderung des *fm* ist zum größten Teil auf eine *m*-Abnahme zurückzuführen. *c*, das in den Bröckeln seine niedrigsten Werte aufweist, steigt infolge Karbonatzufuhr im Boden gerne wieder etwas an. Die Feldspat-, Biotit- und Hornblendezerersetzung geht weiter wie  $\frac{c+alk}{al}$  zeigt. Neubildungen spielen in vielen Fällen eine wichtige Rolle.

Die Schwankungen des *f* sind nicht so stark wie es für *fm* scheint. Hingegen zeigt der Mg-Gehalt Änderungen. Magnesium wird zuerst zurückgehalten; nach dem Bröckelstadium wird es meist ausgewaschen und reichert sich im lehmigen Boden adsorptiv wieder an.

Die Feinerdebildung wird aber von so vielen Faktoren beeinflusst, wie durch das Klima, die Vegetation, die Exposition, daß es schwerfällt, für sie ein einziges allgemeingültiges Schema aufzustellen.

Fraktionsdreieck. Im großen und ganzen sind die untersuchten mittelkörnigen Gesteine zu einem Sande verwittert (Fig. 39). Obschon in den meisten Fällen das stark zerfallene Bröckel-

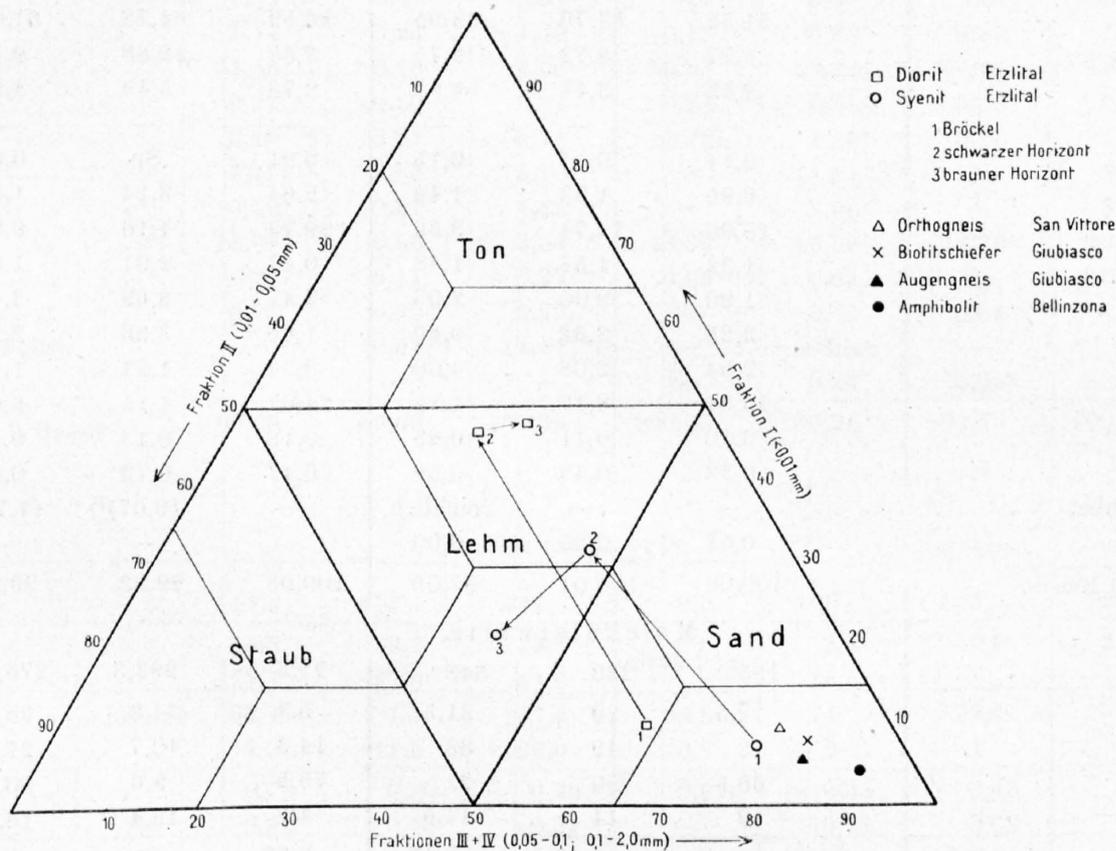


Fig. 39. Fraktionsdreieck.

stadium des Bodens vorliegt, ist die Zerteilung nicht sehr weit fortgeschritten, sofern nicht durch starke Humusbeteiligung (in alpinem Boden zum Beispiel) eine starke relative Korngrößenänderung eintritt. Meist handelte es sich aber bei den untersuchten Proben um nicht sehr humusreiche Böden.

Sowohl die Schlämmanalyse, wie auch die mineralogische Untersuchung bestätigen, daß die Böden in der Schweiz noch nicht reif sind. Der Gesteinscharakter kommt selbst in vielen Böden noch voll zur Geltung; es handelt sich also um junge endodynamomorphe Böden.

Erst in den alpinen Böden gehört nur noch das Bröckelstadium dem Sandgebiet an, während die darüberliegenden Horizonte durch die bedeutende Humusanreicherung eine starke relative Verfeinerung des Kornes aufweisen. Hier fällt außerdem die ursprüngliche Korngröße der Mineralien ins Gewicht, indem z. B. der feinkörnigere Diorit mit der Verwitterung sich dem tonigen Gebiet nähert, während der Boden des Syenits von größerem Korn noch ins Sandgebiet fällt.

## IV. Zusammenstellung der Bauschalanalysen und deren Molekularwerte von Verwitterungsproben aus der Schweiz (nähere Beschreibung Teil I—III).

Tabelle 45. 1. Sedimente.

Name und Fundort . . . . .	1. Sandstein der untern Süßwasser- molasse, Burghalde in Gränichen			2. Mergel der untern Süßwassermolasse Felsenau bei Bern		
	frisch I	Verw.-Sand II	Waldboden Anreicherungs- horizont III	frisch I	Bröckel II	Feinerde III
Verwitterungszustand . . . . .	I	II	III	I	II	III
Analytiker . . . . .	J. Jakob	J. Jakob	J. Jakob	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind
	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	51,52	57,70	63,95	30,59	64,78	61,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,77	8,72	9,75	3,88	12,88	9,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,43	3,44	4,97	2,78	5,49	4,52
FeO . . . . .	—	—	—	—	—	—
MnO . . . . .	0,14	0,14	0,15	0,01	Sp.	0,01
MgO . . . . .	0,95	1,33	1,49	2,64	3,24	1,85
CaO . . . . .	16,96	11,74	3,56	29,79	1,16	6,24
Na <sub>2</sub> O . . . . .	1,32	1,54	1,48	0,47	2,01	1,54
K <sub>2</sub> O . . . . .	1,90	2,00	2,03	2,47	3,69	3,43
H <sub>2</sub> O+ . . . . .	2,25	2,32	3,60	1,86	3,36	2,21
H <sub>2</sub> O- . . . . .	2,54	2,08	4,00	0,27	1,21	1,18
CO <sub>2</sub> . . . . .	13,34	8,17	1,22	24,67	1,15	6,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,10	0,11	0,23	0,18	0,13	0,18
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,32	0,49	0,59	0,47	0,72	0,60
Org. Subst. . . . .	—	—	reichlich	—	(0,07) <sup>1)</sup>	(1,78) <sup>1)</sup>
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,52	0,23	0,00	—	—	—
	100,06	100,01	97,02	100,08	99,82	99,91

<sup>1)</sup> Humus.

### Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	188	230	348	72,3	293,3	276,5
<i>al</i> . . . . .	12,5	20	31,5	5,3	34,2	25,1
<i>fm</i> . . . . .	12	19	33	14,3	40,7	27,9
<i>c</i> . . . . .	66,5	50	21	75,5	5,6	30,3
<i>alk</i> . . . . .	9	11	14,5	4,8	19,4	16,6
<i>k</i> . . . . .	0,49	0,47	0,47	0,77	0,55	0,59
<i>mg</i> . . . . .	0,43	0,43	0,37	0,65	0,54	0,45
<i>c/fm</i> . . . . .	5,4	2,7	0,64	5,27	0,14	1,08
<i>ti</i> . . . . .	0,9	1,4	2,6	0,8	2,5	2,03
<i>p</i> . . . . .	0,15	0,20	0,50	0,1	0,3	0,3
<i>h</i> . . . . .	27,5	31	65,5	14,6	50,8	48,4
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	66,5	44,5	16,5	79,6	9,3	41,0
<i>si : al : f</i> . . . . .	28,4:1,80:1	21,4:1,89:1	16,7:1,49:1	14,5:1,09:1	16,0:1,86:1	18,0:1,63:1
<i>si/al</i> . . . . .	15,2	11,2	11,2	13,4	8,7	11,0
<i>m/c</i> . . . . .	0,07	0,16	0,59	0,13	3,7	0,42
$\frac{(c) + alk}{al}$ . . . . .	0,73	0,82	0,85	0,89	0,57	1,16
<i>f</i> . . . . .	6,8	10,8	20,8	4,9	18,7	15,3
<i>m</i> . . . . .	5,2	8,2	12,2	9,4	22,0	12,6

**Tabelle 45 (Fortsetzung). 1. Sedimente.**

Name und Fundort	3. Mergelschiefer des Flyschs Schwandegg am Niesen			4. Schrättenkalk Bürgenstock		5. Kalkstein Baden	
	frisch I	Bröckel II	Feinerde III	frisch I	Boden II	frisch I	Boden II
Verwitterungs- zustand . . . .							
Analytiker . . . .	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind	L. Hezner	L. Hezner	L. Hezner	L. Hezner
	%	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	40,19	71,35	69,81	0,29	33,80	1,65	40,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	9,33	11,66	9,97	0,29	3,20	0,46	11,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,16	4,50	4,48		5,01	0,38	4,18
FeO . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
MnO . . . . .	0,01	0,01	0,01	Sp.	0,09	Sp.	0,12
MgO . . . . .	1,71	3,22	1,45	0,15	0,62	0,11	1,52
CaO . . . . .	21,48	0,18	1,06	55,57	23,36	54,23	16,87
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,71	0,20	0,91	0,34	0,86	0,28	0,39
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,10	2,81	3,71	0,22	1,16	0,36	1,88
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	3,49	3,66	4,10	—	11,51	—	5,41
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,39	0,81	1,23	—	3,26	—	3,52
CO <sub>2</sub> . . . . .	16,08	0,66	2,64	43,39	16,52	42,76	13,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Sp.	0,11	0,27	0,05	0,63	Sp.	0,21
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,73	0,72	0,72	—	0,42	0,04	0,56
Org. Subst. . . . .	—	(0,21) <sup>1)</sup>	(1,11) <sup>1)</sup>	—	mit Bitumen	—	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	Sp.	0,24	0,06	0,19
<sup>1)</sup> Humus.	100,38	99,90	100,36	100,30	100,26	100,33	100,58

Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	111,3	413	442	0,3	100	3	126
<i>al</i> . . . . .	15,2	39,7	37,2	zirka } 0,5	5,5	0,5	22
<i>fm</i> . . . . .	13,7	47,6	34,9		15,5	1	17
<i>c</i> . . . . .	63,7	1,1	7,2	98,8	74	97,5	56
<i>alk</i> . . . . .	7,3	11,5	20,6	0,7	5	1	5
<i>k</i> . . . . .	0,77	0,90	0,72	0,27	0,48	0,45	0,77
<i>mg</i> . . . . .	0,52	0,59	0,39	—	0,17	0,33	0,42
<i>c/fm</i> . . . . .	4,66	0,02	0,20	—	4,8	97,5	3,3
<i>ti</i> . . . . .	0,15	3,1	3,4	—	0,9	0,1	1,3
<i>p</i> . . . . .	Sp.	0,3	0,7	0,3	0,7	—	0,28
<i>h</i> . . . . .	32,2	70,7	86,6	—	114	—	56,2
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	60,7	5,2	22,8	96,0	66,6	98,2	58
<i>si : al : f</i> . . . . .	16,9 : 2,3 : 1	21,1 : 2,02 : 1	20,1 : 1,75 : 1	—	9,0 : 0,50 : 1	4,5 : 0,7 : 1	12,5 : 2,2 : 1
<i>si/al</i> . . . . .	7,3	10,4	11,9	—	17,9	6,1	5,8
<i>m/c</i> . . . . .	0,11	25,1	1,93	0,004	0,037	0,003	0,13
$\frac{(c) + alk}{al}$ . . . . .	0,68	0,29	0,68	—	0,91	2,0	0,22
<i>f</i> . . . . .	6,6	19,6	21,2	—	12,9	0,67	9,9
<i>m</i> . . . . .	7,1	28,0	13,7	—	2,6	0,33	7,1

Tabelle 45 (Fortsetzung). 1. Sedimente.

Name und Fundort	6. Effingerkalkstein Klus			7. Mergelkalkstein (ob. Dogger) Stanserhorn		8. Liaskalk Ruvigliana bei Lugano		
	frisch I	Bröckel II	Feinerde III	frisch I	Boden II	frisch I	Gelberde II	Humusbod. III
Verwitterungs- zustand . . . . .	I	II	III	I	II	I	II	III
Analytiker . . . . .	M.Gschwind	M.Gschwind	M.Gschwind	L. Hezner	L. Hezner	Mörser	Mörser	Mörser
	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	3,23	15,11	27,77	27,86	71,35	32,21	60,85	75,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,15	1,47	4,51	3,64	9,78	2,96	12,62	9,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,78	1,54	2,77	1,54	3,73	0,92	2,91	2,68
FeO . . . . .	—	—	—	—	—	Sp.	1,20	0,96
MnO . . . . .	Sp.	Sp.	Sp.	0,02	0,03	—	—	—
MgO . . . . .	0,49	0,31	1,10	4,44	0,96	1,46	0,85	0,98
CaO . . . . .	51,56	44,64	31,07	31,39	0,46	32,98	8,31	0,89
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,39	0,48	0,84	0,78	0,94	0,10	0,78	0,54
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,53	1,38	2,46	2,48	4,32	0,16	2,55	0,78
H <sub>2</sub> O+ . . . . .	0,70	1,01	3,14	0,16	5,59	1,25	1,96	3,95
H <sub>2</sub> O- . . . . .	0,12	0,52	1,57	—	1,88	0,25	1,24	3,11
CO <sub>2</sub> . . . . .	42,22	33,52	24,28	27,32	—	27,20	6,38	Sp.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Sp.	0,02	0,12	0,10	0,43	0,04	0,15	0,06
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,07	0,14	0,20	0,55	0,15	0,65	0,58
Org. Subst. . . . .	—	(1,58) <sup>1)</sup>	(1,58) <sup>1)</sup>	0,29	mit Bitumen	—	—	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	Sp.	0,05	0,11	0,09	0,10	—	—	—
<sup>1)</sup> Humus.	100,17	100,12	99,88	100,31	100,12	99,68	100,45	99,33

Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	5,6	29,2	66,1	61	487	80,2	286	648
<i>al</i> . . . . .	0,2	1,6	6,3	5	39,5	4,3	33,9	47,4
<i>fm</i> . . . . .	2,3	3,1	8,9	17	32,5	7,2	20,1	35,6
<i>c</i> . . . . .	96,3	92,6	79,1	73	3	88,0	40,8	8,2
<i>alk</i> . . . . .	1,2	2,7	5,7	5	25	0,5	5,2	8,8
<i>k</i> . . . . .	0,47	0,65	0,66	0,67	0,75	0,67	0,37	0,47
<i>mg</i> . . . . .	0,56	0,29	0,45	0,85	0,30	0,75	0,29	0,35
<i>c/fm</i> . . . . .	42,2	29,70	8,90	4,3	0,09	12,2	2,03	0,23
<i>ti</i> . . . . .	—	0,01	0,25	0,4	2,5	0,3	2,2	3,6
<i>p</i> . . . . .	—	0,1	1,1	0,13	0,12	—	—	—
<i>h</i> . . . . .	4,0	6,5	24,9	1,2	127,0	9,9	30,0	113
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	100,4	88,5	78,9	81,3	0	92,4	39,9	Sp.
<i>si : al : f</i> . . . . .	5,61 : 0,16 : 1	13,2 : 0,75 : 1	13,1 : 1,28 : 1	23,9 : 1,81 : 1	25,5 : 2,06 : 1	47,5 : 2,5 : 1	20,0 : 2,1 : 1	27,9 : 2,05 : 1
<i>si/al</i> . . . . .	35,8	17,5	10,5	13,0	11,7	18,6	8,4	13,7
<i>m/c</i> . . . . .	0,013	0,009	0,05	0,19	1,7	0,06	0,14	0,15
$\frac{(c)+alk}{al}$ . . . . .	6,0	1,7	0,9	1,0	0,64	1,16	0,15	0,18
<i>f</i> . . . . .	1,1	2,2	4,9	2,5	22,7	1,7	14,3	23,2
<i>m</i> . . . . .	1,2	0,9	4,0	14,5	9,8	5,4	5,8	12,4

Tabelle 45 (Fortsetzung). 2. Kristalline Gesteine.

Name und Fundort . . . . .	9. Gneis San Vittore-Lumino, Misox		10. Augengneis Giubiasco, Val Morobbia		11. Biotitgneis Giubiasco	
	frisch I	Bröckel II	frisch I	Bröckel II	frisch I	Bröckel II
Verwitterungszustand . . . . .						
Analytiker . . . . .	J. Jakob	J. Jakob	J. Jakob	J. Jakob	J. Jakob	J. Jakob
	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	70,55	69,90	65,23	63,70	56,87	57,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	14,64	14,40	17,18	16,00	19,34	17,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,52	2,16	1,48	1,61	1,89	3,26
FeO . . . . .	1,71	0,98	2,32	1,74 <sup>1)</sup>	6,09	4,28
MnO . . . . .	0,04	0,04	0,06	0,05	0,17	0,10
MgO . . . . .	0,52	0,52	1,35	0,86	2,49	2,80
CaO . . . . .	2,53	2,42	4,56	3,07	1,74	2,26
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,98	3,76	3,55	3,17	2,65	2,77
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,53	3,83	2,62	3,07	5,47	3,31
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,23	1,01	0,52	3,78	1,66	4,33
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,00	0,17	0,15	0,89	0,11	0,41
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,18	0,19	0,24	0,20	0,16	0,28
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,50	0,46	0,62	0,57	1,14	1,14
Organische Substanz . . . . .	n. b.	n. b.	n. b.	ca. 1,00	n. b.	n. b.
SO <sub>3</sub> . . . . .	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
	99,93	99,84	99,88	99,71	99,78	100,46

<sup>1)</sup> Fraglich, da Humus anwesend.

Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	340	342	258	292	192	206
<i>al</i> . . . . .	41,5	41,5	40	43	38,5	37,5
<i>fm</i> . . . . .	16	15,5	20,5	18,5	34,5	36,5
<i>c</i> . . . . .	13	12,5	19,5	15,5	6,5	8,5
<i>alk</i> . . . . .	29,5	30,5	20	23	20,5	17,5
<i>k</i> . . . . .	0,37	0,39	0,33	0,39	0,57	0,44
<i>mg</i> . . . . .	0,23	0,24	0,40	0,32	0,36	0,41
<i>c/fm</i> . . . . .	0,80	0,81	0,94	0,82	0,15	0,23
<i>ti</i> . . . . .	1,8	1,8	1,6	2,0	2,8	3,1
<i>p</i> . . . . .	0,4	0,4	0,4	0,4	0,25	0,43
<i>h</i> . . . . .	3,7	16,4	6,9	63,0	18,6	56,6
<i>o</i> . . . . .	0,44	0,66	0,37	0,45	0,22	0,41
<i>si : al : f</i> . . . . .	27,3:3,32:1	28,4:3,43:1	21,6:3,36:1	23,2:3,49:1	8,5:1,70:1	9,6:1,75:1
<i>si/al</i> . . . . .	8,2	8,3	6,4	6,8	5,0	5,5
<i>m/c</i> . . . . .	0,29	0,30	0,42	0,38	2,0	1,75
$\frac{(c)+alk}{al}$ . . . . .	1,02	1,04	0,99	0,89	0,71	0,68
<i>f</i> . . . . .	12,4	11,8	12,4	12,6	21,8	21,5
<i>m</i> . . . . .	3,6	3,7	8,1	5,9	12,7	15,0

Tabelle 45 (Fortsetzung). 2. Kristalline Gesteine.

Name und Fundort . . . . .	12. Amphibolit Schloß Unterwalden, Bellinzona		13. Verrucano Allmend in Murg, Wallensee		14. Serizit-Biotitgneis Amsteg	
	frisch I	Bröckel II	frisch I	Boden II	frisch I	Boden II
Verwitterungszustand . . . . .	J. Jakob	J. Jakob	L. Hezner	L. Hezner	L. Hezner	L. Hezner
Analytiker . . . . .	J. Jakob	J. Jakob	L. Hezner	L. Hezner	L. Hezner	L. Hezner
	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	50,53	48,55	66,12	70,30	61,20	66,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	18,74	21,79	14,52	12,63	16,19	13,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,89	5,24	5,82	4,23	0,27	4,47
FeO . . . . .	6,52	4,10	—	—	6,64	—
MnO . . . . .	0,13	0,08	n. b.	Sp.	0,10	0,11
MgO . . . . .	5,70	4,14	1,10	1,06	3,62	1,87
CaO . . . . .	9,86	6,12	1,62	1,85	1,36	1,21
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,50	2,39	2,21	1,63	2,64	2,82
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,56	0,79	4,69	2,87	3,51	3,87
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,51	3,92	3,05	2,77	3,11	4,23
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,00	1,64	0,08	0,67	0,11	0,05
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	n. b.	0,89	0,00	n. b.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,15	0,16	0,31	0,23	0,33	0,46
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,83	0,90	0,81	0,43	1,09	0,54
Organische Substanz . . . . .	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
SO <sub>3</sub> . . . . .	Sp.	Sp.	0,15	0,20	0,28	0,41
	99,92	99,82	100,58	99,76	100,45	99,96

Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	123	135	310	402	227	324
<i>al</i> . . . . .	26,5	36	40	42,5	35	38,5
<i>fm</i> . . . . .	41	38	28	27	41,5	30,5
<i>c</i> . . . . .	25,5	18	8	11	5,5	6
<i>alk</i> . . . . .	7	8	24	19,5	18	25
<i>k</i> . . . . .	0,13	0,18	0,59	0,54	0,46	0,48
<i>mg</i> . . . . .	0,49	0,45	0,27	0,32	0,48	0,46
<i>c/fm</i> . . . . .	0,62	0,47	0,29	0,41	0,13	0,20
<i>ti</i> . . . . .	1,5	1,7	2,8	1,7	3,1	2,0
<i>p</i> . . . . .	0,16	0,17	0,62	0,34	0,45	1,2
<i>h</i> . . . . .	4,1	36,4	47,8	52,7	38,4	69
<i>o</i> . . . . .	0,35	0,54	—	—	—	—
<i>si : al : f</i> . . . . .	6,0:1,31:1	6,5:1,72:1	15,2:1,95:1	22,1:2,34:1	10,7:1,6:1	20,5:2,4:1
<i>si/al</i> . . . . .	4,5	3,8	7,8	9,4	6,6	8,5
<i>m/c</i> . . . . .	0,81	0,94	0,93	0,81	3,7	2,2
$\frac{c+alk}{al}$ . . . . .	1,22	0,74	0,80	0,74	0,67	0,81
<i>f</i> . . . . .	20,4	20,7	20,4	18,4	21,3	16,5
<i>m</i> . . . . .	20,6	17,3	7,6	8,6	19,7	14,0

Tabelle 45 (Fortsetzung). 2. Kristalline Gesteine.

Name und Fundort . . . . .	15. Syenit Nordwestlich der Etlzhütte, Etlzlital, 2100 m				16. Diorit bei Culma, Etlzlital, 1920 m	
	frisch I	Bröckel II	schwarzer Horizont III	brauner Horizont IV	frisch I	Bröckel II
Verwitterungszustand . . . . .	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind
Analytiker . . . . .	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind	M. Gschwind
	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	64,79	63,80	29,40	19,79	60,91	58,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	18,63	15,69	6,73	3,79	16,05	14,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,21	3,01	1,30	0,56	2,49	4,12
FeO . . . . .	2,36	—	—	—	3,33	—
MnO . . . . .	0,08	0,04	0,01	0,01	0,06	0,05
MgO . . . . .	0,91	1,31	0,52	0,47	2,77	1,89
CaO . . . . .	2,07	1,39	1,03	0,74	4,30	5,03
Na <sub>2</sub> O . . . . .	4,21	4,23	1,74	1,13	3,20	3,49
K <sub>2</sub> O . . . . .	4,44	3,51	1,85	1,64	3,27	1,42
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,46	—	—	—	1,38	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,02	0,85	—	—	0,12	1,30
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	0,62	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,15	0,20	0,19	0,17	0,13	0,15
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,61	0,65	0,37	0,36	1,08	1,12
Organische Substanz . . . . .	—	5,74	56,77	70,92	—	8,25
SO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—
	99,94	100,42	99,91	99,58	99,81	99,74

Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	262	301	307	319	217	239
<i>al</i> . . . . .	44,5	43,4	41,2	35,9	33,6	35,5
<i>fm</i> . . . . .	17,8	19,8	18,1	17,5	31,5	24,7
<i>c</i> . . . . .	9,1	7,1	11,2	12,6	16,5	22,2
<i>alk</i> . . . . .	28,6	29,7	29,5	33,9	18,4	17,6
<i>k</i> . . . . .	0,40	0,35	0,40	0,49	0,41	0,21
<i>mg</i> . . . . .	0,31	0,45	0,45	0,67	0,47	0,47
<i>c/fm</i> . . . . .	0,51	0,35	0,62	0,72	0,52	0,90
<i>ti</i> . . . . .	1,7	2,3	2,5	3,9	2,8	3,4
<i>p</i> . . . . .	0,2	0,3	0,6	0,9	0,2	0,2
<i>h</i> . . . . .	6,3	—	—	—	16,5	—
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	—	—	—	—	3,0	—
<i>si : al : f</i> . . . . .	21,8:3,71:1	28,0:4,03:1	30,7:4,1:1	54,9:6,1:1	13,2:2,05:1	18,2:2,7:1
<i>si/al</i> . . . . .	5,9	7,0	7,5	9,0	6,4	6,7
<i>m/c</i> . . . . .	0,62	1,28	0,72	0,92	0,89	0,52
$\frac{c+alk}{al}$ . . . . .	0,84	0,85	0,99	1,29	1,06	1,12
<i>f</i> . . . . .	12,2	10,8	10,0	5,8	16,7	13,1
<i>m</i> . . . . .	5,6	9,0	8,1	11,7	14,8	11,6

Tabelle 45 (Fortsetzung). 2. Kristalline Gesteine.

Name und Fundort	17. Rofnaporphyr Südwestl. von Andeer, nördl. Surettamassiv, 1150 m				18. Gneis Nördl. von Comano bei Lugano, 680 m		
	frisch I	Gelblehm frisch II	Gelblehm schwach gebleicht III	Gelblehm stark gebleicht IV	frisch I	Gelberde II	Humoser Lehmboden III
Analytiker . . .	G. Rüetschi	Mörser	Mörser	Mörser	Mörser	Mörser	Mörser
	%	%	%	%	%	%	%
SiO <sub>2</sub> . . . . .	70,25	61,45	61,64	72,20	75,50	59,22	53,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	14,01	17,07	14,34	11,60	14,11	17,66	15,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,12	4,91	3,17	} 2,74	1,59	3,51	3,84
FeO . . . . .	1,59	1,59	2,49		0,40	2,16	—
MnO . . . . .	(0,08)	—	—	—	—	—	—
MgO . . . . .	0,94	2,10	1,06	1,19	0,35	1,44	0,45
CaO . . . . .	0,86	0,28	0,32	0,55	0,72	0,79	0,47
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,63	0,95	1,32	1,61	4,08	1,40	1,35
K <sub>2</sub> O . . . . .	5,97	1,70	2,72	1,34	1,96	2,57	1,70
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	1,35	6,38	7,80	1,04	1,04	7,95	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	—	2,74	4,36	0,06	0,06	2,99	4,90
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	(0,19)	—	—	—	Sp.	Sp.	0,18
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,43	0,44	0,58	0,50	0,10	0,73	0,58
Org. Substanz . .	—	—	—	—	—	—	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
	99,15	99,61	99,72	99,96	99,91	100,42	100,27

Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	366	300	333	534	462	260	344
<i>al</i> . . . . .	42,8	49,0	45,5	50,2	50,8	50,0	58,9
<i>fm</i> . . . . .	19,1	39,8	36,4	28,0	12,4	31,8	22,6
<i>c</i> . . . . .	4,7	1,5	1,9	4,0	4,8	4,0	3,2
<i>alk</i> . . . . .	33,4	9,7	16,2	17,8	32,0	14,2	15,3
<i>k</i> . . . . .	0,65	0,54	0,58	0,35	0,24	0,55	0,45
<i>mg</i> . . . . .	0,38	0,39	0,26	0,46	0,26	0,33	0,19
<i>c/fm</i> . . . . .	0,27	0,04	0,07	0,19	0,38	0,13	0,15
<i>ti</i> . . . . .	1,6	1,5	1,9	2,7	0,4	2,6	2,7
<i>p</i> . . . . .	—	—	—	—	Sp.	Sp.	0,4
<i>h</i> . . . . .	23,4	104	142	25,8	21,4	128	—
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
<i>si : al : f</i> . . . .	32,5:3,8:1	12,9:1,99:1	12,3:1,69:1	35,4:3,3:1	50,3:5,52:1	11,8:2,21:1	18,7:3,21:1
<i>si/al</i> . . . . .	8,5	6,2	7,3	10,6	9,1	5,3	5,8
<i>m/c</i> . . . . .	1,6	10,4	4,33	3,22	0,69	2,57	1,38
$\frac{c + alk}{al}$ . . . . .	0,89	0,23	0,40	0,42	0,73	1,26	0,82
<i>f</i> . . . . .	11,6	24,6	27,0	15,1	9,1	21,4	18,4
<i>m</i> . . . . .	7,5	15,2	9,4	12,9	3,3	10,4	4,2

## V. Die Gesteinsverwitterung in der Schweiz im Vergleich zu derjenigen anderer Gebiete.

Die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung ist unzweifelhaft derjenige Teil der Gesteinslehre, der einer systematischen Behandlung die größten Widerstände entgegengesetzt. Groß ist die Zahl der Klassifikationsversuche, mannigfaltig sind die Ausgangspunkte der verschiedenen Darstellungsweisen, nur in wenigen Fällen gelten Probleme prinzipiell als abgeklärt.

Hauptursache dieser Erscheinung ist der Umstand, daß außerordentlich spärlich Einzelprozesse und Anfangsstadien einer Reaktionsserie genau untersucht worden sind. Als Entschuldigung mag gelten, daß in der Natur selbst die Kombination und Koppelung vieler solcher Vorgänge die Regel ist. Die wissenschaftliche Forschung muß jedoch versuchen, zunächst von dieser verwirrenden Fülle zu abstrahieren, um wirklich die Grundlinien herauschälen zu können.

Betrachtet man die Ergebnisse der vorliegenden Studien über die gesamtchemische Änderung vom frischen Gestein zum Verwitterungsprodukt, Daten, die in der vorstehenden Tabelle nochmals übersichtlich zusammengestellt sind, so fällt auf, wie verschieden sich ein und dieselbe Komponente verhalten kann. Es gilt nun, zusammenfassend zu untersuchen, worauf dies beruht. Drei Fragen müssen insbesondere ins Auge gefaßt werden:

1. Welchen Einfluß hat der Mineralbestand auf die bauschalchemischen Änderungen?
2. Ist der Zersetzungsprozeß als solcher von den klimatischen Bedingungen, besonders der Temperatur, stark abhängig?
3. Sind es in bezug auf die Verwitterung wesentlich sekundäre Prozesse der Umlagerung, der Art der Ausfällung, Adsorption, Auslaugung, die zusammen mit den biologischen Faktoren die verschiedenen Bodenbildungstendenzen ergeben?

### 1. Die Mineralverwitterung.

Man hat früher zwischen den in fast jedem Dünnschliff erkennbaren Umwandlungserscheinungen an Mineralien, die man heute unter dem Namen Tiefenverwitterung oder säkuläre Verwitterung zusammenfaßt, und der Zersetzung unter dem Einfluß der Hydrosphäre und Atmosphäre (Oberflächenverwitterung), nicht scharf unterschieden. Durch die Arbeiten von F. CORNU ist hierin gründlich, nur zu gründlich Wandel geschaffen worden. Durch den Ausspruch, die Oberflächenverwitterung sei immer Gelbildung im Gegensatz zur Tiefenverwitterung, die neue Kristalloide schaffe, wurde der Anschein erweckt, daß zwischen beiden Vorgängen nur geringe Beziehungen vorhanden seien. Ganz abgesehen davon, daß wir heute den kolloiden Zustand der Materie, seiner ersten Anlage nach, nicht als etwas vom kristallinen völlig Verschiedenes ansehen, müssen wir uns hüten, hinter dem Gegensatz mehr sehen zu wollen als nötig ist. Einmal ist durch neuere Untersuchungen und auch durch die vorangegangenen Darlegungen unzweifelhaft erwiesen worden, daß Prozesse der säkulären Verwitterung (z. B. Chloritisierung, Baueritisierung, Saussuritisierung, Zeolithbildung usw.) bei der Oberflächenverwitterung weitergeführt werden können. Zweitens ist durchaus möglich, ja vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus wahrscheinlich, daß in beiden Fällen nicht die Zersetzungs Vorgänge als solche verschieden sind, sondern nur die Art der Ausfällungen und die durch verschiedene Wanderungsmöglichkeiten bedingte Art der Stoffverbindungen. Besteht letzteres zu Recht (und die vorangehenden und nachfolgenden Untersuchungen müssen uns in dieser Ansicht bestärken), so wird die mikroskopische und chemische Untersuchung säkularer Verwitterungsprozesse die Grundlage jeder Gesamtverwitterungslehre sein, denn hier gelingt es der relativ geringen Stoffwanderungen wegen die Einzelprozesse zu studieren. Allerdings werden infolge der Heterogenität der Gesteine auch bei der säkulären Verwitterung im festen Gesteinsverband sich mannig-

fache Prozesse überlagern (komplexe Verwitterung), selten jedoch ist man im Zweifel, welches sekundäre Mineral das Hauptprodukt eines bestimmten Ausgangskörpers ist. Wir müssen daher von einigen Hauptprozessen säkulärer Verwitterung wichtiger gesteinsbildender Mineralien ausgehen. Verglichen werden muß die Zusammensetzung des Eduktes mit der Zusammensetzung des hauptsächlichsten Produktes. Der Vergleich ergibt, welche Stoffe aufgenommen, welche abgespalten werden. Um den Anschluß an die Betrachtungen über Gesteinsverwitterung zu erhalten, empfehlen sich zwei Darstellungsweisen:

a) der Vergleich der Molekularwerte beider Substanzen, eventuell unter gleichzeitiger diagrammatischer Veranschaulichung;

b) die prozentuale Verlustrechnung für die einzelnen Oxyde;

Vergleichen wir die gewichtsprozentischen oder molekularen Analysenzahlen von Edukt und Produkt, so ist leicht feststellbar, welches Oxyd des Eduktes im Endprodukt noch am reichlichsten vertreten ist. Indem wir es auf den Wert bringen, der ihm in der Ausgangssubstanz zukommt und indem wir alle andern Analysenwerte des Endstadiums mit dem gleichen Faktor multiplizieren, erhalten wir Zahlen, die angeben, wieviel von ihnen übriggeblieben ist unter der Annahme, der Gehalt des am reichlichsten vertretenen Oxyds hätte sich nicht geändert. Daraus ergibt sich für jedes einzelne Oxyd durch einfache Rechnung der Prozentgehalt des Verlustes. Da jedes Oxyd für sich betrachtet wird, sind die Prozentzahlen sowohl Gewichts- wie Molekularzahlen. Man braucht daher nur von den einfachen gewichtsprozentischen Analysenzahlen auszugehen. Selbstverständlich werden  $H_2O$ ,  $CO_2$ , Veränderung des Oxydationsgrades, usw. bei der Wahl des konstanten Bestandteiles unberücksichtigt gelassen, da für sie eine Zufuhr von vorneherein in Frage kommt. Man berechnet daher in beiden Analysen den Eisengehalt von Anfang an nur als  $FeO$ - oder nur als  $Fe_2O_3$ -Gehalt.

a) Vergleich der Molekularwerte.

Leider ist die Zahl der analytisch-chemischen Untersuchungen bestimmter Umwandlungen keine große, so daß es für unsern Zweck vorteilhafter ist, statt von Einzelbeispielen, von der idealen oder mittleren Zusammensetzung der Mineralarten auszugehen. Natürlich können wir dann nur in großen Zügen und nicht im Detail die Prozesse beurteilen. Die nachstehende Tabelle enthält die Molekularwerte einiger wichtiger gesteinsbildender Mineralien und ihrer Hauptprodukte hydrothermaler bis säkulärer Verwitterung.

**Tabelle 46. Molekularwerte gesteinsbildender Mineralien und ihrer hauptsächlichsten säkulären Verwitterungsprodukte.**

	<i>si</i>	<i>al</i>	<i>fm</i>	<i>c</i>	<i>alk</i>	<i>k</i>	<i>mg</i>	<i>h</i>	<i>co<sub>2</sub></i>
Kalifeldspat . . . . .	<b>300</b>	<b>50</b>	—	—	<b>50</b>	<b>1</b>	—	—	—
Serizit { (theoretisch) . . . . .	150	75	—	—	25	1	—	50	—
	(oft um) . . . . .	140	60	17	—	23	0,8	0,3-0,6	40
Kaolin (theoretisch) . . . . .	200	100	—	—	—	—	—	200	—
Anorthit bzw. Anorthitmolekul in Plagioklas . . . . .	<b>100</b>	<b>50</b>	—	<b>50</b>	—	—	—	—	—
Zoisit { (theoretisch) . . . . .	86	43	—	57	—	—	—	14	—
	(Klinozoisit oft um) . . .	80	36	11	53	—	—	0,06	15
Kaolin (theoretisch) oder entspre- chender Allophan (theoretisch)	200	100	—	—	—	—	—	200	—
Kalzit (theoretisch) . . . . .	—	—	—	100	—	—	—	—	100
Leuzit . . . . .	<b>200</b>	<b>50</b>	—	—	<b>50</b>	0,9	—	—	—
Kaolin . . . . .	200	100	—	—	—	—	—	200	—
Analzim . . . . .	200	50	—	—	50	0,0	—	100	—

Tabelle 46 (Fortsetzung).

	<i>si</i>	<i>al</i>	<i>fm</i>	<i>c</i>	<i>alk</i>	<i>k</i>	<i>mg</i>	<i>h</i>	<i>co<sub>2</sub></i>	
Nephelin (theoretisch) . . . . .	<b>100</b>	<b>50</b>	—	—	<b>50</b>	<b>0-0,3</b>	—	—	—	
Hydronephelin (theoretisch) . . . . .	120	60	—	—	40	0	—	140	—	
Kaolin . . . . .	200	100	—	—	—	—	—	200	—	
Gew. Biotit um: . . . . .	<b>72</b>	<b>17,5</b>	<b>70</b>	—	<b>12,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>13</b>	—	
Chlorit (penninartig) . . . . .	52	10	90	—	—	—	0,9	um 60	—	
Muskovit (als gebleichter Biotit) . . . . .	150	75	—	—	25	1	—	50	—	
Wasserhaltiges Kieselsäureskelett (Bauerit) . . . . .	∞	—	—	—	—	—	—	∞	—	
Limonit . . . . .	—	—	100	—	—	—	—	variabel	—	Sauerstoffaufnahme
Enstatit (theoretisches Endglied)	<b>100</b>	—	<b>100</b>	—	—	—	<b>1</b>	—	—	
Serpentin um: . . . . .	67	—	100	—	—	—	1	67	—	
Talk um: . . . . .	133	—	100	—	—	—	1	33	—	
Diopsid (theoretisch) . . . . .	<b>100</b>	—	<b>50</b>	<b>50</b>	—	—	<b>1</b>	—	—	
Chlorit (penninartig) . . . . .	52	10	90	—	—	—	0,9-1	um 60	—	
Kalzit . . . . .	—	—	—	100	—	—	—	—	100	
Gewöhnlicher Augit um: . . . . .	<b>90</b>	<b>6</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,7</b>	—	—	
Chlorit (penninartig) . . . . .	52	10	90	—	—	—	0,9	um 60	—	
Epidot bis Klinozoisit . . . . .	80	35	12,5	52,5	—	—	0,06	um 15	—	
Kalzit + Quarz . . . . .	vorh.	—	—	100	—	—	—	—	100	Sauerstoffaufnahme
Gew. Hornblende um: . . . . .	<b>77</b>	<b>13</b>	<b>59</b>	<b>24,5</b>	<b>3,5</b>	<b>0,20</b>	<b>0,57</b>	<b>gering</b>	—	
Chlorit (penninartig) . . . . .	52	10	90	—	—	—	0,9	um 60	—	
Epidot bis Klinozoisit . . . . .	80	35	12,5	52,5	—	—	0,06	um 15	—	Sauerstoffaufnahme
Kaolin oder entspr. Allophan . . . . .	200	100	—	—	—	—	—	200	—	
Kalzit + Quarz . . . . .	vorh.	—	—	100	—	—	—	—	100	
Ägirin (theoretisch) . . . . .	<b>133</b>	—	<b>67</b>	—	<b>33</b>	<b>0,0</b>	—	—	—	
Hämatit . . . . .	—	—	100	—	—	—	0,0	—	—	Sauerstoffaufnahme
Quarz . . . . .	∞	—	—	—	—	—	—	—	—	
Forsterit (theoretisch) . . . . .	<b>50</b>	—	<b>100</b>	—	—	—	<b>1</b>	—	—	
Serpentin (theoretisch) . . . . .	67	—	100	—	—	—	1	67	—	
Talk (theoretisch) . . . . .	133	—	100	—	—	—	1	33	—	
Magnesit (theoretisch) . . . . .	—	—	100	—	—	—	—	—	100	
Gew. Olivin um: . . . . .	<b>50</b>	—	<b>100</b>	—	—	—	<b>0,8-0,9</b>	—	—	
Serpentin . . . . .	67	—	100	—	—	—	1	67	—	
Magnetit oder Hämatit . . . . .	—	—	100	—	—	—	0,0	—	—	Sauerstoffaufnahme
Magnesit . . . . .	—	—	100	—	—	—	1	—	100	
Granat (beispielsweise) . . . . .	<b>74</b>	<b>24</b>	<b>9</b>	<b>67</b>	—	—	<b>0,11</b>	—	—	
Klinozoisit bis Epidot . . . . .	80	36	11	53	—	—	0,06	15	—	
Chlorit (penninartig) . . . . .	52	10	90	—	—	—	0,9	60	—	
Kalzit . . . . .	—	—	—	100	—	—	—	—	100	
Cordierit um: . . . . .	<b>120</b>	<b>46</b>	<b>53</b>	—	<b>1</b>	—	<b>0,75</b>	<b>15</b>	—	
Chlorit (penninartig) . . . . .	52	10	90	—	—	—	0,9	60	—	
Serizit um: . . . . .	150	75	—	—	25	1	—	50	—	
Hämatit . . . . .	—	—	100	—	—	—	0,0	—	—	Sauerstoffaufnahme

Zunächst geht aus der Zusammenstellung hervor, daß sich die wesentlichen mineralischen Neuprodukte ihren molekularen Verhältnissen nach oft sehr stark von den Edukten unterscheiden. Es handelt sich somit im allgemeinen nicht um einfache pseudomorphosenartige Vorgänge mit geringer Stoffaufnahme oder geringem Stoffverlust, sondern um tiefgreifende Zersetzungen und Abbaureaktionen mit

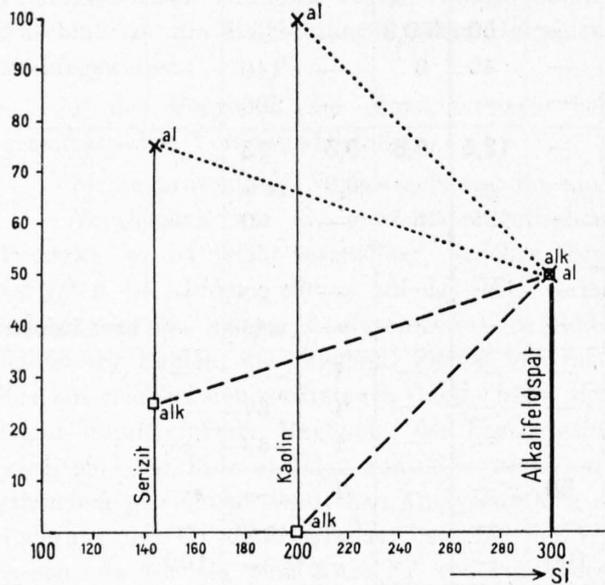


Fig. 40.

Neuausfällungen besonderer Art. In dieser Hinsicht unterscheidet sich prinzipiell die säkuläre Verwitterung von der Oberflächenverwitterung in keiner Weise; es ist einem sekundären Umstand zuzuschreiben, daß bei ihr als Ganzes Stoffverschiebungen, infolge geringer Zirkulationsmöglichkeit der Lösungen, weniger zur Geltung kommen als im Lockerprodukt der atmosphärischen Verwitterung. Deutlich ist zu erkennen, daß Hydrolyse, Umwandlungen in wasserhaltige Mineralien, CO<sub>2</sub>-Aufnahmen, Oxydation des Ferro- in Ferrieisen bei der säkulären Verwitterung ebenso wirksam sind, wie bei der Bodenbildung. Die aus Alkalifeldspat normalerweise entstehenden Silikate sind *si*- und *alk*-ärmer und *al*-reicher. *fm* kann wie bei der Zoisit-Epidotbildung aus Anorthit in geringen Beträgen aufgenommen werden. Letztere Umbildung macht *si* und *al* frei; beide zusammen können Kaolin oder bei Gegenwart von Alkalien Serizit bilden. Deshalb ist die Saussuritisierung der Plagioklase so oft mit Serizitisierung verknüpft. Diagrammatisch lassen sich solche, einander ergänzenden Reaktionen sehr schön veranschaulichen (Fig. 40—42). Die Molekularwerte des Eduktes stehen dann zwischen den entsprechenden Molekularwerten des Produktes (Fig. 41). Auch Kaolin und Kalzitbildung wären für

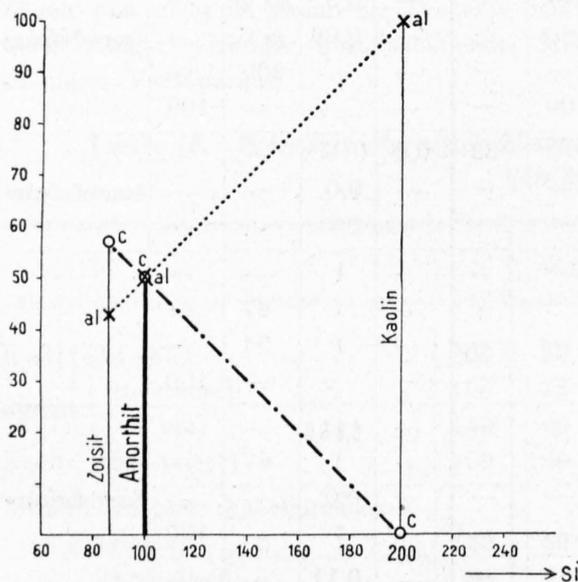


Fig. 41.

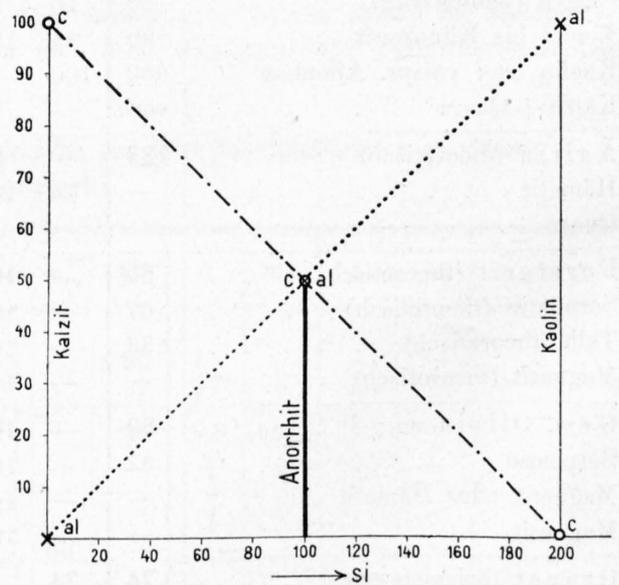


Fig. 42.

Anorthit gekoppelte Vorgänge (Fig. 42). Bei den üblichen Umsetzungen der Feldspatvertreter kann das Verhältnis  $\frac{si}{al}$  gleichbleiben, wesentlich ist eine Alkaliabgabe oder ein Alkaliumtausch verbunden mit Wasseraufnahme.

Während Chlorit eine kleinere *si*-Zahl hat als Biotit, ist sie für Muskovit und gebleichten Biotit größer. Da jedoch die Chlorite meist eisenärmer sind als die gewöhnlichen Biotite, ist die Chloriti-

sierung oft mit Eisenausscheidung bzw. Limonitbildung verknüpft. (Über die Beziehungen siehe Figur 43.) Wie sich bei der Umwandlung von Orthaugiten und Olivinen, Talk- und Serpentinbildung (eventuell mit Magnesit- und Erzausscheidung) ergänzen können zeigt Figur 44.

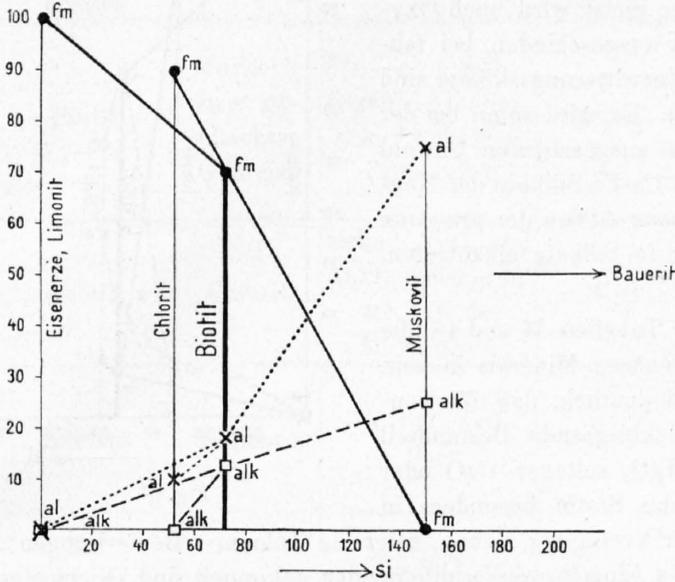


Fig. 43.

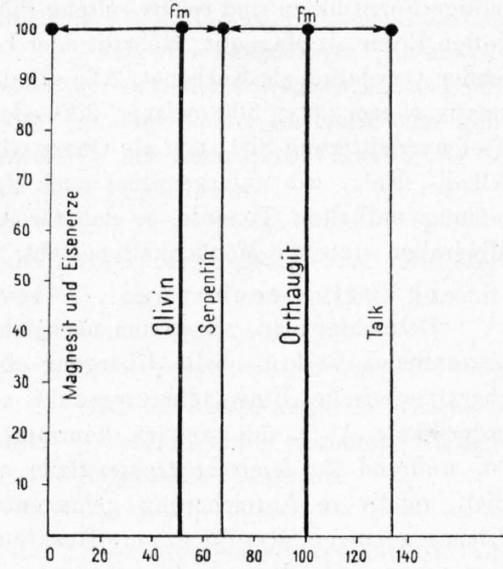


Fig. 44.

Kalzit und Epidot haben größeres *c* als gewöhnlicher Augit, Chlorit und Quarz sind *c*-frei. Kalzit und Epidot besitzen kleineres, Chlorit größeres *fm* als Augit, während *al* zum Epidot und oft

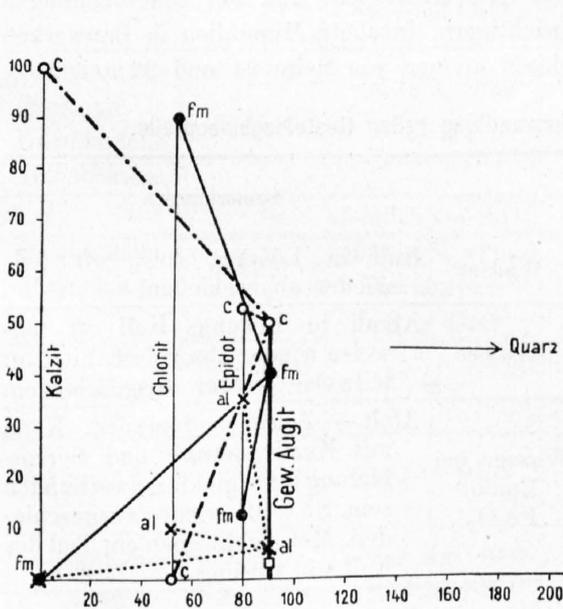


Fig. 45.

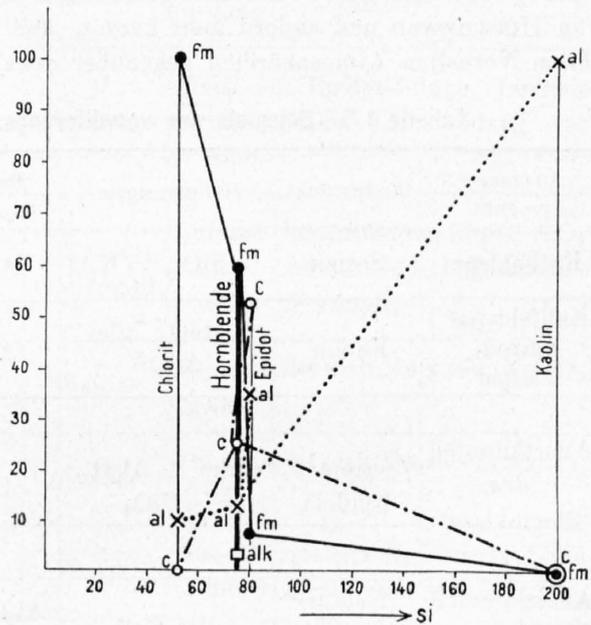


Fig. 46.

auch zum Chlorit ansteigt (siehe Fig. 45). Diagramm Figur 46 zeigt sehr schön die Mittelstellung der gewöhnlichen Hornblende zwischen Chlorit und Epidot (+ eventuell Kaolin). Figur 47 gibt im wesentlichen eine im Gotthardgebiet beobachtete hydrothermale Umsetzung von Grossular in Epidot + Chlorit + Kalzit wieder.

Insgesamt gilt für die erwähnten Umwandlungsreaktionen folgendes: In Lösung gegangener Magnesiumanteil wird als Karbonat oder als  $Al_2O_3$ -freies bzw.  $Al_2O_3$ -armes, wasserhaltiges Magnesiumsilikat (Serpentin, Talk, Chlorit) wieder ausgefällt. Im Gegensatz dazu bildet Kalk neben Kalzit und den nur

unter speziellen Bedingungen entstehenden Zeolithen bloß das wasserhaltige Aluminiumsilikat der Zoisit-Epidotgruppe. Die Alkalien (insbesondere Kali) geben mit H<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serizitähnliche Glimmer. Neue wasserhaltige Ferrisilikate sind relativ seltene Bildungen, meist wird nach Oxydation Eisen als Magnetit, Hämatit oder Limonit ausgeschieden, bei fehlender Oxydation als Karbonat. Alle säkulären Verwitterungssilikate sind relativ *si*-arm (*si* < 300 meist < 200 oder 100). Es wird somit bei der Tiefenverwitterung SiO<sub>2</sub> neu als Quarz oder Opal ausgeschieden. Sowohl Alkali-, Kalk- wie untergeordnet auch Mg- und Ca-Fe-Silikate der Neubildung enthalten Tonerde, so daß für Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> beim Abbau der primären Mineralien stets die Möglichkeit besteht, wieder in Silikate einzutreten.

b) Verlustrechnung.

Betrachtet man, wie in den nachstehenden Tabellen 47 und 48, die prozentualen Verluste beim Übergang eines primären Minerals in sein charakteristisches Umwandlungsprodukt, so wird deutlich, daß für Tonerdesilikate Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> der weitaus konstanteste rückbleibende Bestandteil ist, während für femische Gemengteile auch MgO, seltener CaO oder SiO<sub>2</sub>, relativ in Anreicherung gelangen. Welche Stoffe besonders in

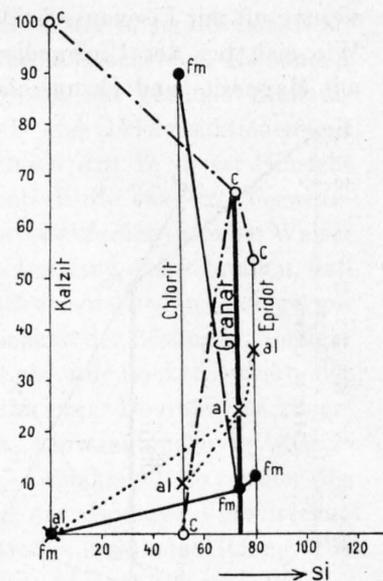


Fig. 47.

Lösung gelangen, also für weitere Reaktionen zur Verfügung stehen, zeigt die Kolonne „Bemerkungen“. Von neuem wird dadurch dargetan, wie sehr die Einzelprozesse miteinander gekoppelt sind. Nicht eine an und für sich geringere chemische Umsetzung als bei der Oberflächenverwitterung ist der Grund für die schwache Änderung des Bauschalchemismus, sondern diese gegenseitige Bedingtheit der verschiedenen Prozesse und der Mangel an Auslaugung.

Vergleicht man mit diesen Befunden die Oberflächenverwitterung der Mineralien, sei es an Bauwerken oder bei der Bodenbildung, so ergeben sich noch viele Analogien. Aus den Untersuchungen von HIRSCHWALD und andern geht hervor, daß wir die wichtigsten, frischen Mineralien in Bauwerken ihrem Verhalten Atmosphärien gegenüber etwa klassifizieren können wie Seite 91 und 92 zeigt.

Tabelle 47. Beispiele der verwitterungsartigen Umwandlung heller Gesteinsgemengteile.

Ausgangsprodukt	Endprodukt	Hauptverluste	Relativ konstant	Aufnahme	Bemerkungen
Kalifeldspat	Serizit	$\frac{2}{3}$ SiO <sub>2</sub> , $\frac{2}{3}$ K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Wasser	Kali in Lösung, SiO <sub>2</sub> oft teils wieder abgeschieden.
Kalifeldspat Natronfeldspat	Kaolin	$\frac{2}{3}$ SiO <sub>2</sub> , alles Alkali	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Wasser	Alkali in Lösung, Kali oft teilweise wieder absorbiert. SiO <sub>2</sub> oft teilweise wieder ausgeschieden.
Anorthitanteil des Plagioklases	Zoisit (evtl. Epidot)	zirka $\frac{1}{4}$ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , $\frac{1}{4}$ SiO <sub>2</sub>	CaO	Wasser, bei Epidot Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Albit + Zoisit = Saussurit. Kann mit Kaolinisierung und Serizitbildung in Plagioklasen verbunden sein. SiO <sub>2</sub> oft wieder ausgeschieden. Meist geht auch ein Teil des Kalks in Lösung.
Anorthitanteil des Plagioklases	Kaolinartiger Tonkomplex	aller Kalk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> und SiO <sub>2</sub>	Wasser	Oft Ausscheidung von CaCO <sub>3</sub> , sonst als Bikarbonat weggeführt.
Leuzit	Kaolin	$\frac{1}{2}$ SiO <sub>2</sub> , alles K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Wasser	Bei Umwandlung in Serizit nur teilweise Kaliverlust.
Leuzit	Analzim	K <sub>2</sub> O gegen Na <sub>2</sub> O ausgetauscht	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	Wasser Na <sub>2</sub> O	Alkali austausch.
Nephelin	Hydro-nephelin	zirka $\frac{1}{3}$ Alkalien	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	Wasser	Oft etwas Alkali austausch mit Lösung verbunden.
Nephelin	Kaolin	alles Alkali	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	Wasser	Oft wieder etwas Alkali absorbiert.

Tabelle 48. Beispiele der verwitterungsartigen Umwandlung dunkler Gesteinsgemengteile.

Ausgangsprodukt	Endprodukt	Hauptverluste	Relativ konstant	Aufnahme	Bemerkungen
Biotit	Muskovit bzw. gebleichter Glimmer	$\frac{4}{10} - \frac{5}{10}$ SiO <sub>2</sub> , gegen $\frac{1}{2}$ Alkalien, zirka $\frac{3}{4}$ MgO + Eisenoxyde	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	meist etwas Wasser	SiO <sub>2</sub> oft ausgeschieden, Eisenoxyde zu Limonit oxydiert (Katzengold). MgO liefert Karbonat oder geht bei komplexer Verwitterung in Chlorit ein.
Biotit	Chlorit	zirka $\frac{1}{2}$ SiO <sub>2</sub> und Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , meist größter Teil der Eisenoxyde	MgO	meist etwas Wasser	SiO <sub>2</sub> oft ausgeschieden. Mit Bleichung oft verbunden. Limonitbildung.
Enstatit	Serpentin	$\frac{1}{3}$ SiO <sub>2</sub> evtl. FeO	MgO	Wasser	SiO <sub>2</sub> oft wieder ausgefällt. Eisenerzausscheidung (Limonit), Hämatit eventuell Magnetit.
Diopsid	Serpentin	$\frac{2}{3}$ SiO <sub>2</sub> , alles CaO	MgO	Wasser	SiO <sub>2</sub> oft wieder ausgefällt, CaO oft als Kalzit teilweise wieder ausgeschieden.
Gewöhnlicher Augit	Epidot	zirka $\frac{3}{4}$ SiO <sub>2</sub> , fast alles MgO, variabel CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Wasser Sauerstoff	Meist kombiniert mit Chloritbildung (MgO, SiO <sub>2</sub> ) und Kalzitausscheidung.
Gewöhnlicher Augit Gewöhnliche Hornblende	Chlorit	viel SiO <sub>2</sub> , aller Kalk, etwas Eisenoxyde	MgO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Wasser	Meist mit Epidotbildung, Limonitbildung und Kalzitbildung verknüpft.
Gewöhnliche Hornblende	Epidot	ziemlich viel SiO <sub>2</sub> , sehr viel MgO und Eisenoxyde, wenig CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Wasser Sauerstoff	Oft mit Chloritbildung (MgO, SiO <sub>2</sub> ) und Limonit- oder Hämatitbildung verknüpft.
Mg-Olivin	Serpentin	$\frac{1}{4}$ MgO	SiO <sub>2</sub>	Wasser	Oft scheidet sich Magnesit (MgCO <sub>3</sub> ) aus.
Mg-Olivin	Talk	zirka $\frac{3}{8}$ MgO	SiO <sub>2</sub>	Wasser	Oft scheidet sich Magnesit (MgCO <sub>3</sub> ) aus.
Gewöhnlicher Olivin	Serpentin oder Talk	etwas MgO und Eisenoxyde	SiO <sub>2</sub>	Wasser	Neben Magnesiaausscheidung, Limonit, Hämatit oder Magnetit.
Eisenreicher Olivin	Limonit	SiO <sub>2</sub> und MgO	FeO → Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Wasser Sauerstoff	Daneben Serpentin- oder Magnesitbildung und Kieselsäureausscheidung.

Sehr wetterbeständig:

Serizit, Muskovit und viele Gemengteile metamorpher Gesteine. Aus den hellen Glimmern wird meist nur oberflächlich etwas Alkali herausgeholt. Eisenerze können etwas limonitisieren.

Im allgemeinen nur zersetzt bei Einwirkung von Schwefelsäure (Pyrit! als Lieferant derselben): Talk, Chlorit, Epidot, Granat, frischer, nicht aufgeblätterter Biotit.

Noch sehr wetterbeständig, jedoch von alkalischen und kohlenensäurehaltigen Lösungen oft etwas angegriffen:

Augite, Hornblenden (letztere wegen besserer Spaltbarkeit oft rascher zersetzt als Augite).

Feldspäte (kalkreicher Plagioklas etwas leichter zersetzt als Alkalifeldspäte).

Quarz ist in Lösungen von kohlen-sauren Alkalien etwas löslich.

Im allgemeinen weniger wetterbeständig:

Aufgeblätterter Biotit.

Feldspatvertreter (z. B. von Schwefelsäure vollständig zersetzt unter Abscheidung von Kieselsäure; oft zuerst Wasseraufnahme, dann raschere Weiterzersetzung).

Olivin (Eisenanteil oxydiert, durch Schwefelsäure zersetzbar unter Bildung von Magnesiumsulfat und Abscheidung von Kieselsäure).

Serpentin (durch kohlen-säurehaltige Wässer unter Bildung von Magnesit und Abscheidung von Kieselsäure oft weiter zersetzt).

Kaolin (bildet mit Schwefelsäure Aluminiumsulfat, wird von Lösungen mit kohlen-sauren Alkalien oft weiter zersetzt).

Basische Vulkangläser (leicht zersetzt oft unter Ausscheidung von Limonit).

Relativ lösliche Substanzen:

Kalzit (in kohlen-säurehaltigen Wässern ziemlich löslich unter Bildung von Kalziumbikarbonat; durch Schwefelsäure und schweflige Säure zersetzt unter Gipsbildung; von Humussäure, Salpetersäure und Chloridlösungen gleichfalls zersetzt).

Dolomit (ähnlich Kalzit).

Gips und Anhydrit (bereits in gewöhnlichem Wasser ziemlich löslich; Löslichkeit durch Kohlensäure und Chloride erhöht).

Im großen und ganzen entspricht somit die Wetterbeständigkeit der Resistenzfähigkeit gegenüber der säkulären Verwitterung. Die bei der Tiefenverwitterung neugebildeten Substanzen sind mit Ausnahme etwa von Serpentin und Kaolin, sowie natürlich der löslichen Karbonate, wetterbeständig. Bereits säkular in Umwandlung begriffene Mineralien zerfallen infolge Fortsetzung der bereits begonnenen Abbaureaktionen rascher als frische.

Im Verlauf vorliegender Studien über die Anfangsstadien der Bodenbildung in der Schweiz konnten folgende hauptsächlichste Beobachtungen gesammelt werden.

Feldspäte. Verstärkung der schon im frischen Material vorhandenen, auf Zersetzung beruhenden Trübung (Schottersand, Murgenthal; Sandstein, Gränichen). Stark getrübt oder in dunkelgraugrünes (Sandstein, Wangen) bzw. graubräunliches (Mergelsandstein, Bern) Zersetzungsprodukt umgewandelt. Plagioklas stärker getrübt als Kalifeldspat (Syenit, Etlzlital), Saussuritisierungsprozeß bei Oberflächenverwitterung fortgesetzt (Diorit, Etlzlital), Neubildung eines fraglichen zeolithischen Minerals aderartig und wurmförmig in Feldspat (basische Plagioklase der Amphibolite von Bellinzona, Na-reichere Plagioklase von Giubiasco und San Vittore). Nichts spricht gegen die Annahme, daß die eine Trübung verursachenden Zersetzungsprodukte Kaolin, Serizit oder Zoisit sein können.

Biotit. Verrostet unter Limonitabscheidung (Schottersand, Murgenthal; Sandstein, Wangen; Mergelsandstein, Bern; Augengneis, Giubiasco; Biotitgneis, San Vittore; Amphibolit, Bellinzona; Diorit, Etlzlital; fleckig, verändert im Syenit, Etlzlital); gebleicht und verrostet (besonders Sandstein, Wangen; Augengneis, Giubiasco; Biotitgneis, San Vittore). Fortsetzung der Chloritisierung (mergeliger Sandstein, Bern; Augengneis, Giubiasco; Biotitgneis, San Vittore. Diorit, Etlzlital). Durchwegs relativ stark verändert.

Hornblende. Im Innern bräunlich verfärbt (z. B. Schottersand, Murgenthal); grünlichgrau zersetzt oder gebleicht und ausgefasert (z. B. Amphibolit, Bellinzona); hauptsächlich längs Spaltrissen stark limonitisiert (Sandstein, Gränichen; Mergelsandstein, Bern; Gneis, Giubiasco; Amphibolit, Bellinzona). Eventuelle Chloritbildung (Mergelsandstein, Bern; Amphibolit).

Magnetit. Limonitisiert (Schottersandstein, Murgenthal; Sandstein, Gränichen; Kalkstein, Klus, usw.).

Glaukonit. Limonitisiert (Sandstein, Gränichen; Mergelsandstein, Bern).

Titanit. Zersetzt unter Erzausscheidung (Amphibolit, Bellinzona; Diorit, Etlzlital).

Relativ frisch Augit, Epidot (letzterer nur etwa randlich getrübt).

In der Arbeit „Über Verwitterungsvorgänge an Melaphyren des Waldenburger Berglandes (Schlesien)“<sup>1)</sup> haben L. MILCH und G. ALASCHEWSKI folgende Beobachtungen mitgeteilt:

Plagioklase. Serizit-(Paragonit)-blättchen oft bei sonst klarem Restfeldspat. Wolkige Trübung, streifenweise Kalzitausscheidung, chloritische Neubildungen unter Mitwirkung der Mg-Lösungen aus Augiten, Ablagerung von Limonit auf Rissen, fleckenartig schwache lichtbrechende (? zeolithische) Partien, Einlagerung schwach lichtbrechender Blättchen, Vererzung durch feinste Körnchen.

Augite. Bräunliche Verfärbung, fragliche Serpentinbildung (höhere Lichtbrechung!), Iddingsitbildung, Bildung von Titanmineralien, reine Karbonatpseudomorphosen, Umwandlung in Erzanhäufungen und Serpentin.

Olivin. Ähnlich wie Augit. Bildung von Serpentin und Iddingsit, Vererzung und Verrostung.

Diese Angaben zeigen deutlich, daß bei der Oberflächenverwitterung die Prozesse der säkulären Verwitterung in ähnlichem Sinne fortschreiten. Neben  $\text{CaCO}_3$  und Alkalien wandern besonders die magnesiumreichen Lösungen (chloritische Bildungen in Feldspäten) und das Eisenhydroxyd (durchgehende Verrostung), unter Umständen auch  $\text{SiO}_2$  (reine Karbonatpseudomorphose nach Silikaten).

Prinzipiell unterscheiden sich die chemischen Vorgänge der Tiefen- und Oberflächenverwitterung nicht wesentlich voneinander.

Es sind bei letzterer die physikalische Verwitterung (die ein Lockerprodukt schafft) und die biologischen Faktoren (Humusbildung z. B.), die den Neubildungen und Stoffwanderungen ein anderes Gepräge geben können; die Anfangsprozesse der chemischen Verwitterung und die Abbaureaktionen brauchen deshalb nicht verschieden zu sein. Das Überhandnehmen kolloider Bildungen ist im weitesten Sinne des Wortes durch eine Schutzwirkung zu erklären, die eine Bildung einheitlicher Kristalle verhindert. Daran schuld sind die Übersättigungsverhältnisse, die Auslaugungsmöglichkeiten, die Abwanderungsmöglichkeit der Lösungen (die nicht an Ort und Stelle völlig miteinander reagieren müssen), die Wirkung der organischen Schutzkolloide, usw.

Einzig für diese, auf die Verwitterung bezogen, sekundären Prozesse spielen die Klimawerte eine entscheidende Rolle. Der Verwitterungsvorgang als solcher wird durch die, geologisch gesprochen, geringe Variabilität der klimatischen Größen relativ wenig beeinflußt, ist er doch den in der Temperatur variablen säkulären Verwitterungsvorgängen analog. Es können dadurch die Reaktionsgeschwindigkeiten etwas geändert werden, außerdem wird durch die Niederschlags-Abfluß- und Verdunstungsverhältnisse die Konzentration der im spätern Verwitterungsstadium zur Geltung kommenden, agierenden Lösungen bedingt.

## 2. Die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung.

Bestehen die Überlegungen des vorangehenden Abschnittes zu Recht, so folgen daraus wichtige Erkenntnisse für die Beurteilung der Analysen der Verwitterungsprodukte und für die Lehre von den Bodentypen. Versteht man unter Verwitterung nur die Zersetzungs- und Abbauprozesse, so ist der Begriff mit Bodenbildung keineswegs identisch, denn das was den Zustand eines Bodens in einem gegebenen Moment bedingt sind ebenso sehr die Vorgänge der Wiederausfällungen und Wanderungen der Abbauprodukte. Für jede bodenkundliche Forschung wird die Kenntnis des Mineralbestandes und der Verwitterungsprozesse der Einzelmineralien Grundlage sein müssen. Sobald jedoch als Folge sowohl der physikalischen als der chemischen Verwitterung ein Lockerprodukt entstanden ist, bildet dieses eine neue Einheit, innerhalb deren sich wiederum Prozesse abspielen, die zustandsverändernd wirken. Dadurch gerade, daß der Boden nicht ein durch einen einzigen Prozeß gebildetes und nun mehr oder weniger unveränderlich bleibendes Gestein ist, sondern eine in ständiger Umbildung begriffene Masse, wird die Klassifikation erschwert. Man kann nur Prozeßabfolgen, Zustände (unter denen gewisse als

<sup>1)</sup> Tschermaks Min. Petr. Mitt., 1925, Band 38.

vorläufige Endstadien hervortreten), Komplexe von in gewisser Korrelation stehenden Einzelphänomenen zur systematischen Darstellung benutzen.

Wenn wir die Analyse eines Gesteins mit derjenigen des aus ihm entstandenen Bodens vergleichen, so erhalten wir in erster Linie Auskunft über die Auslaugungsvorgänge, den Grad der Wasseraufnahme, der Oxydation, der Humusanreicherung. Wie weitgehend die Mineralien abgebaut und zersetzt sind, ist nicht immer direkt aus einem Vergleich der Bauschalanalysen ersichtlich, da ein relatives Zurückbleiben eines Stoffes sowohl auf geringer Zersetzung der diesen Stoff enthaltenden Mineralien, wie auf der Neubildung von diesen Stoff enthaltenden Substanzen beruhen kann. Man hat versucht durch Säureauszüge, das heißt durch Untersuchung des verschiedenen Verhaltens des Materials Lösungen von Salzsäure oder Schwefelsäure gegenüber, ein Urteil zu gewinnen, in welchem Zustand ein Stoff vorliegt. Aber auch dieses Verfahren ist sehr wenig zufriedenstellend. Diese Angreifbarkeit hängt so sehr von der Oberflächenbeschaffenheit der kristallinen Mineralien, dem vielleicht nur vorübergehenden Zustand der Neuausfällungen (insbesondere auch der kolloiden Bildungen), der Art der schon primär vorhanden gewesenen Mineralien (siehe Tabelle auf Seite 92) ab, daß von irgendwelcher exakten Erfassung des Verwitterungsgrades nicht die Rede sein kann. Im allgemeinen ist die Zahl wenig veränderter Kristallbruchstücke oder neugebildeter kristalliner Körper in Böden viel größer, als der vorwiegend kolloidchemisch eingestellte Bodenkundler häufig vermutet. Hier scheint zur Zeit nur eine mikroskopische, eventuell auch röntgenometrische Untersuchung, gemeinsam mit der chemisch-analytischen, Erfolg zu versprechen. Dabei darf nicht verschwiegen werden, daß auch die vorliegenden Untersuchungen dargetan haben, daß es notwendig sein wird, diese mineralogischen Methoden der Bodenuntersuchung auszubauen. In der gegenwärtigen Form genügen sie kaum den Ansprüchen, die man an sie zu stellen hat.

So fehlt noch vieles bis nur einmal die Grundgröße für die Beurteilung eines Bodenprofils richtig dargestellt werden kann, nämlich die Charakterisierung des Zustandes, in dem sich alle Einzelbestandteile befinden. Erst nachdem dies ermöglicht ist, wird man mit Erfolg die Abhängigkeit dieser Zustände vom Klima und den so wichtigen biologischen Faktoren feststellen können.

Was heute einigermaßen möglich ist, jedoch mit einer Bodentypenlehre nicht verwechselt werden darf, ist die Untersuchung, wie sich die Auslaugungsprozesse abspielen, welche Stoffe relativ zurückgehalten werden, welche besonders leicht wandern. Zur Beurteilung dieser Fragen ist die Ausführung vollständiger Bauschalanalysen des Muttergesteins und des unmittelbar dazugehörigen Bodens absolut notwendig und es ist sehr zu bedauern, daß erst in letzter Zeit derartige Untersuchungen häufiger geworden sind. Knüpft sich doch daran eine Reihe wichtiger Fragen, z. B. ob mindestens in den Anfangsstadien die Art dieser Auslaugung vom Mineralbestand abhängig ist, ob die Temperatur oder nur die Niederschlags-Abfluß-Verdunstungsverhältnisse, die Zeitdauer oder die Art der Besiedelung mit Pflanzen und die Humusbildung eine ausschlaggebende Rolle spielen, usw. Es soll im folgenden versucht werden, einige Daten zusammenzustellen und mit den aus der Schweiz gewonnenen zu vergleichen.

Für den Vergleich braucht man eine Darstellung, die sich in allen Fällen gleichmäßig anwenden läßt. Trotz mancher Bedenken läßt sich keine bessere Methode finden, als die Gewinn- und Verlustrechnung, die wohl in größerem Maßstabe zuerst G. P. MERRILL<sup>1)</sup> für Verwitterungsprobleme fruchtbar gemacht hat. Voraussetzung für eine derartige Behandlung ist, daß unzweifelhaft das Verwitterungsprodukt aus dem gleichen Material hervorgegangen ist, das der Analyse des frischen Gesteins zugrunde lag. Das ist leider ein Punkt, über den selten vollkommene Gewißheit besteht.

Indessen ist es möglich, durch eingehendes Studium der geologischen Verhältnisse, sorgfältige Auswahl der Proben, die Unsicherheit auf ein Mindestmaß zurückzudrängen. Aber auch dann dürfen wir nicht außer acht lassen, daß selbst in einem möglichst gleichartig ausgebildeten Gestein die chemische Zusammensetzung innerhalb gewisser Grenzen schwankt. Es ist daher sinnlos, prozentuale Verluste an Bestandteilen, die im Gestein selbst nur in wenigen Gewichtsprozenten vorhanden sind, auf  $\frac{1}{10}$  oder gar  $\frac{1}{100}$  % genau angeben zu wollen.

Im folgenden sind diese Verluste nur in ganzen Prozentzahlen ausgedrückt, und es ist auch in einwandfreiesten Fällen auf die letzte Ziffer kein Verlaß. Um das Urteil zu erleichtern, sollte außer-

<sup>1)</sup> G. P. Merrill. A Treatise on rocks, rock-weathering and soils. New York, Macmillan Company, 1906.

dem derjenige, der die Untersuchung ausführt, stets angeben, ob für den einen oder andern Bestandteil eine für die Verwitterung ansich belanglose Stoffzufuhr (Staubansammlung, Ausscheidung weiterherkommender Quellwässer usw.) oder ein gegenüber dem Muttergestein abweichendes Mengenverhältnis besonders in Frage kommen.

In den Analysendaten des Gesteins und Verwitterungsproduktes liegen uns nur relative Zahlenwerte vor, die den Gehalt eines Stoffes auf 100 Gewichtseinheiten Gesamtsubstanz angeben. Die Berechnung der Nigglichschen Molekularwerte zeigt uns, wie sich molekular das Verhältnis der Basenanteile ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) gegenüber  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  verschiebt, wie sich innerhalb der Basengruppe neu das Verhältnis von *al*, *fm*, *c* und *alk* gestaltet, ob sich *c/fm*,  $\text{FeO} : \text{MgO}$  (*f*-, *m*-Werte, *mg*-Zahl),  $\text{K}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}$  (*k*-Zahl) verschieben.

Sie ergibt somit im Verein mit der Bildung der Verhältnisse *si : al : f* schon wichtige direkte Vergleichsgrößen. Jetzt aber möchten wir jeden wesentlichen chemischen Bestandteil für sich betrachten um neben dem relativen ein gewisses absolutes Maß der Veränderung besitzen. Das ist nur ausgehend von einer Basis möglich und hier beginnt bereits die nicht leichte Wahl. Man könnte ein für allemal den gleichen chemischen Bestandteil als relativ unveränderlich ansehen und darauf bezogen die Verschiebungen der übrigen Komponenten berechnen. In Wirklichkeit gibt es keine Komponente, die im Boden der Wanderung nicht unterworfen ist. Jede kann durch Auslaugung entfernt, durch lokale Wiederausfällung angereichert werden. Allerdings zeigt die Untersuchung, daß  $\text{Al}_2\text{O}_3$  im allgemeinen wohl das am wenigsten bewegliche Oxyd ist, doch darf durch Vorwegnahme dieser Erkenntnis nicht von Anfang an das Bild einseitig zugunsten dieser Substanz beeinflusst werden. Sicherlich ungünstig wäre es, wenn man  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , den Oxydationsgrad des Eisens oder einen Bestandteil, der in allen Gesteinen nur in sehr kleinen Mengen auftritt, zur Basis wählen würde,  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{O}$  werden unzweifelhaft von außen bei der Verwitterung zugeführt, auch  $\text{CO}_2$  kann durch lokale Ausfällung neu gebildeter Karbonate relativ vergrößert werden. Es verbleiben somit als wichtigste Oxyde der Gesteine  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (alles Eisen als  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berechnet)  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$   $\text{K}_2\text{O}$  (eventuell  $\text{TiO}_2$ ).

Im folgenden wurde, um die Einführung von Hypothesen zu vermeiden, so vorgegangen, daß von den genannten sieben Hauptoxyden dasjenige zur Basis gewählt wurde, das im Verhältnis zum Muttergestein den größten Betrag besitzt. Die Veränderungen der übrigen Hauptbestandteile treten dann stets als Verluste in Erscheinung. Die Hauptsache ist, daß Klarheit herrscht, wie die so gewonnenen Zahlen zu bewerten sind. Wenn tatsächlich die in Betracht gezogenen Bestandteile nicht durch Stoffzufuhr aus andern Teilen des Verwitterungsprofils vermehrt wurden, stellen die prozentualen Verluste ein Mindestmaß dar, da ja auch der als konstant angesehene Teil Auslaugung erfahren konnte. Hat jedoch das die Basis liefernde Oxyd durch Zuwanderung aus andern Teilen des Verwitterungsprofils eine Anreicherung erfahren, so fallen die berechneten Verluste zu hoch aus. In Wirklichkeit ist somit auch die so gewonnene Bilanz nur relativ zu bewerten, immerhin wird die Größe der Zahlen im allgemeinen ein Maß für die Wanderungen als Ganzes sein (Auslaugung und „Einschwemmung“). Hauptgewicht ist jedoch auf die Reihenfolge der Zahlenwerte zu legen und diese prägt sich am besten durch diagrammatische Veranschaulichung ein. Man trägt auf der rechten Seite eines Quadrates die prozentualen Verluste von unten nach oben ab und verbindet die Punkte mit dem Eckpunkt links unten durch Strahlen. Die Aufeinanderfolge der Strahlen gibt die Reihenfolge des prozentualen Verlustes an, die Neigung der Strahlen die absolute Größe. Will man daher von der letztern als einer unsichern Bestimmung absehen, so hat man nur die Reihenfolge der Strahlen zu beachten, die uns über das verschiedene Verhalten der Oxyde deutlich Auskunft gibt. Andere Wahl der Basis würde nur die Neigungen, nicht aber die Aufeinanderfolge ändern.

Um die Diagramme und die Vergleichsdaten übersichtlich gruppieren zu können, seien einige Ergebnisse einer hier nicht veröffentlichten statistischen Behandlung des Problems vorweggenommen. Bei einem generellen Vergleich der Analysen frischer Gesteine, verwitterter Gesteine und Bodenderivate zeigt sich, daß die Hauptkomponenten  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (inkl.  $\text{FeO}$ ),  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$  scharf in zwei Gruppen zerfallen. Der ersten Gruppe gehören an:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Es sind das Bestandteile, die nur in verhältnismäßig seltenen Fällen fast völlig ausgelaugt sind (Verlust 80—100%), während sie sich sehr oft relativ angereichert haben, also den eigentlichen Rückstand charakterisieren. Weitaus am stabilsten verhält sich  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Bereits beweglicher müssen die

kolloiden wasserhaltigen Neubildungen von  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sein, da sie statistisch gegenüber  $\text{Al}_2\text{O}_3$  öfters zurücktreten, ja in gewissen Fällen starke Verminderung erfahren haben. Sie werden als Sole, Eisen auch als Karbonat, in Lösung gegangen sein. Nicht selten tritt jedoch eine Nahfällung auf, so daß diese Stoffe in gewissen Zonen des Verwitterungsprofils angereichert werden und dann scheinbar zum Widerstandsfähigsten (Basis der Berechnung) gehören.

Die zweite Gruppe umfaßt  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Es sind Bestandteile, welche bei der hydrolytischen Zersetzung der Silikate und der Auflösung der Karbonate, Sulfate usw. einen echten Lösungsanteil liefern, der infolge der Hydroxylionenbildung meist alkalisch reagiert. In den Endverwitterungsstadien sind sie sehr häufig fast völlig ausgelaugt.

Auch diese Komponentengruppe zerfällt in zwei Untergruppen. Zur ersten gehören  $\text{CaO}$  und  $\text{Na}_2\text{O}$ . Beide Bestandteile werden im Verwitterungsprofil nur selten zurückbehalten und zeigen oft vom Anfang der Zersetzung an deutliche Abnahme.  $\text{CaO}$  verhält sich in dieser Hinsicht noch ausgesprochener als  $\text{Na}_2\text{O}$ , so daß Entkalkung in der großen Mehrzahl der Fälle ein richtungsgebender Prozeß ist. Natürlich können bei anderm Klima durch Verdunstung des Lösungsmittels an der Oberfläche Wiederausfällungen entstehen, ebenso bei deszendierenden Lösungen, besonders in Spalten, Klüften, usw. (Karbonate, Na-Salze). Zeolithische Bildungen scheinen jedoch nur vorübergehenden Bestand zu haben.

Etwas anders verhalten sich im Mittel  $\text{MgO}$  und besonders  $\text{K}_2\text{O}$ . Nicht selten werden sie anfänglich von den tonigen Verwitterungssilikaten adsorptiv zurückbehalten und nur schwer ausgetauscht, oder sie bilden neue schwerlösliche Verbindungen von ungefähr chloritischer bis serizitischer Zusammensetzung. So ist der Fall nicht selten, daß beim Vergleich der Analysen frischer und zersetzter Gesteine  $\text{K}_2\text{O}$  oder  $\text{MgO}$  relativ die geringsten Verluste besitzen, also zur Basis der Berechnungen gewählt werden müssen. Im Durchschnitt wird  $\text{K}_2\text{O}$  häufiger und länger zurückbehalten als  $\text{MgO}$ , das in Endstadien fast durchweg wie  $\text{CaO}$  zur Bedeutungslosigkeit herabgesunken ist.

Will man nur diese mit der Verwitterung und Bodenbildung im Zusammenhang stehenden Stoffverschiebungen und daraus resultierenden bauschalchemischen Zustände charakterisieren, so muß die erste Klassifikation von dem Verhalten der Stoffgruppe  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ausgehen; Unterteilungen können dann das Verhalten der übrigen Bestandteile berücksichtigen. Eine solche Gliederung ist, um das nochmals zu betonen, keine Klassifikation der Verwitterungsprozesse als Ganzes oder der Bodenbildungen. Ein und derselbe Typus der Stoffverschiebungen kann verschiedene Ursachen haben. Es kann z. B. das analysierte Verwitterungsprodukt<sup>1)</sup> nur Verwitterungsrückstand oder Verwitterungsrückstand + Nahfällungen aus den Verwitterungslösungen (Frachtwert als Ganzes) oder schließlich Verwitterungsrückstand + Fernfällungen ± Nahfällungen sein. Der Zustand in dem sich bei gleichem Bauschalchemismus die Stoffe befinden, ist sehr variabel. Bei gleichem  $\text{SiO}_2$ — $\text{Al}_2\text{O}_3$ , — $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt können z. B. ausgelaugte Abbauprodukte von Alumosilikaten, eigentlicher mikrokristalliner oder gar kryptokristalliner Kaolin, neu gefällte (z. B. noch salzsäurelösliche) Kieselsäure-Tonerdegelkomplexe (zum Teil sogenannte Allophane), Quarz und Tonerdehydrate oder Quarz, Tonerdehydrate und komplexe Gele oder Kaolin usw. vorliegen. Wollte man von einer bauschalchemischen Einteilung der durch Verwitterung entstandenen Massen ausgehen, so müßte man diese verschiedenen Zustandsmöglichkeiten als verschiedene Fazies bezeichnen und innerhalb der Bodenkunde eine ähnliche Klassifikation durchführen wie in der Lehre von der Gesteinsmetamorphose (dort entsprechend den Fazies oder „Zonen“).

Aber ganz abgesehen von dieser Möglichkeit, scheint es aus folgendem Grunde notwendig zu sein, die bauschalchemischen Verschiebungstendenzen für sich zu betrachten und begrifflich festzulegen. Man findet nämlich in den Arbeiten vieler Forscher, die sich der oben vermerkten Vieldeutigkeit als Ganzes wohl bewußt sind, plötzlich wieder Schlußfolgerungen, gegründet auf den Vergleich von Bauschalanalysen, die weit über das Zulässige hinausgehen. Eine relative Anreicherung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  gegenüber, wird sofort wieder als Anzeichen einer Lateritbildung bewertet, ohne daß eine Nachprüfung auf Anwesenheit kristallinen Hydrargillites erfolgt. Man spricht von toniger Verwitterung, Kaolinbildung, Bleichung auf Grund von beobachteten Stoffverschiebungen, auch dann, wenn diesen Begriffen vorher gewisse Zustände zugeordnet worden sind.

<sup>1)</sup> Bezeichnungen nach *H. Harrassowitz*: Laterit. Fortschritte der Geologie und Paläontologie, Bd. IV, Heft 14. Gebrüder Bornträger, 1926.

Man denkt sich Podsolierung<sup>1)</sup> an eine bestimmte Veränderung des Verhältnisses  $\frac{si}{al}$  gebunden usw. Alles das kann am ehesten vermieden werden, wenn die bauschalchemische Stoffverschiebung für sich klassifiziert wird, ohne Verwendung der andern, weitere Kennzeichen benutzenden, übrigens selten genau fixierten Begriffe.

Unter den möglichen relativen Verschiebungen im Verhältnis der drei Stoffe  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  im frischen Gestein zum Zersatz oder Bodenteil sind besonders vier als Hauptfälle zu bezeichnen.

I. Das Verhältnis  $Al_2O_3 : SiO_2 : Fe_2O_3$  hat sich gegenüber demjenigen im Muttergestein wenig verschoben. **Undifferenzierter Typus.**

II. Das Verhältnis  $Al_2O_3 : SiO_2$  hat sich wenig geändert, indessen ist relativ dazu eine deutliche Verarmung an Eisen erkennbar. **Typus der relativen Enteisenung.**

III. Tonerde und  $Fe_2O_3$  (auch im Muttergestein alles Eisen als  $Fe_2O_3$  berechnet) sind in wenig geändertem Verhältnis geblieben, ihnen gegenüber hat  $SiO_2$  im Vergleich zum Ursprungsmaterial stark abgenommen. **Typus der relativen Entkieselung.**

IV. Dem Tonerdegehalt gegenüber haben sowohl  $Fe_2O_3$  wie  $SiO_2$  stark abgenommen.

**Typus der relativen Entkieselung und Enteisenung.**

Gegenüber diesen vier Fällen besitzen die übrigen, leicht ableitbaren, soweit wenigstens die Erfahrungen reichen, eine geringere Bedeutung. Eine deutliche Verarmung an beiden Sesquioxiden, das heißt relative Anreicherung von  $SiO_2$ , tritt z. B. vorzugsweise nur in sehr quarzreichen Gesteinen (durch Zurückbleiben der Quarzkörner) in Erscheinung oder als ausgesprochene, auf Fernfällungen beruhende Verkieselung.

Doch sind auch einige andere Beispiele bekannt, die dann in Typus V:

**Relative Verarmung an Sesquioxiden,**

zusammengefaßt werden können.

Als Typus VI verdient schließlich noch der Fall Erwähnung:

**Relative Anreicherung an Fe und Verarmung sowohl an Si wie Al.**

Meist wird hier eine Neuausfällung limonitischer Substanz, nicht ein an sich stärkeres Auslaugen von  $SiO_2$  und  $Al_2O_3$  die Ursache sein. Die Bezeichnungen beziehen sich immer auf den Vergleich zweier genetisch miteinander verbundener Zusammensetzungen. Normalerweise wird die Grundzusammensetzung diejenige des frischen Gesteins sein, doch lassen sich auch verschiedene Stadien der Verwitterung bzw. verschiedene Zonen des Verwitterungsprofils in dieser Weise vergleichen. Dabei ist durchaus möglich, daß sich im Verlauf der Verwitterung gegenüber dem Muttergestein der Typus ändert, beispielsweise auf eine Enteisenung eine ausgesprochene Entkieselung folgt.

Ein schönes Beispiel dafür bietet ein neuerdings<sup>2)</sup> untersuchtes Kalksteinbodenprofil von Süd-Limburg (Holland). Neben dem frischen Gestein wurden drei Verwitterungsstufen untersucht. Es ergeben sich für die wesentlichen Komponenten die folgenden Werte:

	Kalkstein	I. Stadium	II. Stadium	III. Stadium
$SiO_2$ . . . . .	5,16	25,58	65,73	73,38
$Al_2O_3$ . . . . .	0,15	3,56	8,57	5,59
$Fe_2O_3$ . . . . .	0,87	2,57	6,37	2,63
FeO . . . . .	0,14	0,13	0,28	0,82
MgO . . . . .	0,58	1,10	1,12	0,38
CaO . . . . .	51,74	35,37	3,39	1,01
$Na_2O$ . . . . .	0,06	0,12	0,42	0,55
$K_2O$ . . . . .	0,20	0,33	1,43	1,38

<sup>1)</sup> In dieser Arbeit stets nicht in dieser speziellen Begriffsbestimmung verwendet.

<sup>2)</sup> J. van Baren. Mitt. geol. Inst. der Landbouwhoogeschool in Wageningen (Holland), Nr. 16, 1930.

Daraus lassen sich die nachstehenden Verlustprocente berechnen.

	Kalkstein — I. Stadium	I. Stadium — II. Stadium	II. Stadium — III. Stadium
SiO <sub>2</sub> . . . . .	79	41	15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0	45	32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	89	43	59
MgO . . . . .	92	76	74
CaO . . . . .	97	98	77
Na <sub>2</sub> O . . . . .	92	18	0
K <sub>2</sub> O . . . . .	93	0	26
Typus . . . . .	IV.	I.	II.

Auch werden wir sehen, daß der gleiche Gesteinskörper örtlich verschiedene Typen der chemischen Veränderung aufweisen kann. Dadurch wird offensichtlich, daß nicht ohne weiteres verschiedene Großklimawerte für den einen oder andern Stoffverschiebungsprozeß verantwortlich gemacht werden dürfen.

### I. Typus (undifferenziert).

(Zusammenstellung der Analysen und Figuren Seiten 101 bis 105.)

Dieser Typus ohne starke Verschiebung des Verhältnisses SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist besonders beim Vergleich der Zusammensetzung des Muttergesteins mit dem Anfangsstadium einer Verwitterung bemerkbar. Es kann sein, daß dann die differentielle Wanderung noch nicht begonnen hat. Allerdings findet man in manchen hierhergehörigen Fällen bereits relativ starke Verschiebungen im Gehalt an CaO, MgO und Alkalien, wobei nicht selten K<sub>2</sub>O oder MgO relativ stark angereichert sind, so daß auf diese Komponenten, als Basis bezogen, sich größere Verluste an SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berechnen lassen. Wenn auch wahrscheinlich ist, daß diese nicht im vollen Ausmaße reell sind, sondern Zuwanderung verbunden mit Adsorption bzw. kristalline Fällung den Gehalt an K<sub>2</sub>O oder MgO wirklich vergrößert haben, deutet dies doch auf ganz beträchtliche Stoffwanderungen hin: Unter den schweizerischen Gesteinen dürfen wir die grusartigen Zersetzungsprodukte des Augengneises von San Vittore und des Biotitschiefers von Giubiasco hierherrechnen. Die Stoffverschiebung des ersten ist als Ganzes sehr gering, doch hat sich K<sub>2</sub>O deutlich angereichert. Im Gegensatz dazu ist durch Zersetzung des Biotits im Biotitschiefer bis Biotitgneis von Giubiasco K<sub>2</sub>O stark ausgelaugt, während offenbar durch Neufällung sich etwas Kalk angereichert hat. Vergleichsweise zeigt bei relativ geringer Verschiebung des Verhältnisses *si : al : f* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etwas angereichert) der Grus des Hornblendegranits von Großsachsen (Odenwald) eine außerordentlich starke Kalivermehrung, während MgO, Na<sub>2</sub>O, CaO schon beträchtlich ausgelaugt sind. Der Amphibolperidotit von Schriesheim (Odenwald) mit bereits etwas stärker differentiellem Verhalten von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeigt wieder deutlich, daß MgO und K<sub>2</sub>O sich weniger rasch verschieben als Na<sub>2</sub>O und CaO.

Besonders interessante Beispiele lassen sich aus der Arbeit von L. MILCH und G. ALASCHEWSKI über die Verwitterung an Melaphyren des schlesischen Waldenberger Berglandes entnehmen.

Es handelt sich beispielsweise um Vergleiche eines relativ wenig zersetzten schwarzen Melaphyrs aus dem Wagnerbruch bei Königswalde mit einem bereits durch Zersetzung grün gewordenen Gestein und mit dessen rostbrauner Verwitterungsschale. Interessant ist, daß auch in diesen ziemlich kaliarmen Gesteinen K<sub>2</sub>O sich relativ angereichert hat, während vor allem CaO, in der Schale außerdem Na<sub>2</sub>O, mehr oder weniger MgO gewandert sind. Auch ein erstes Stadium des Gabbros von Roßwein (Sachsen) zeigt bei verhältnismäßig starker Kalivermehrung wenig unterschiedliches Verhalten von SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; in spätern Stadien ist Entkieselung und Enteisenung jedoch deutlich. Eine Analyse des verwitterten Phonoliths von Marienfels bei Außig (Böhmen), macht bereits mit schwacher Entkieselung bekannt. Interessant ist hier der ausgeprägte Verlust an Na<sub>2</sub>O, wohl bedingt durch die

Nephelinzersetzung. Der Mergelkalkstein des Stanserhorns zeigt im Gegensatz dazu eine schwache Tendenz der Enteisung bei ziemlich kräftigem Verlust an Alkalien und starkem Verlust an MgO und CaO. Daß unzweifelhaft große Auslaugung mit geringer Verschiebung *si:al:f* verknüpft sein kann, möge zum Schluß noch der Vergleich des Lößes von Groß-Niedersheim (Rheinpfalz) mit seinem Verwitterungslehm dartun. Auch hier haben sich übrigens die Alkalien verhältnismäßig angereichert.

## II. Typus der relativen Enteisung.

(Zusammenstellung der Analysen und Figuren Seiten 106 bis 109.)

Wir fassen unter diesem Titel Fälle zusammen, bei denen innerhalb der Stoffgruppe  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  der relative Verlust an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  das hervorstechende Merkmal ist, eine leichtere Entkieselung ist indessen nicht selten damit verbunden. Unter den untersuchten schweizerischen Gesteinen würde der Berechnung nach die Erde des Kalksteins der Lägern hierherfallen, doch sind bei diesem relativ reinen Karbonatgestein die ursprünglichen Mengen an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  so klein, daß es günstig ist, daß die Verwitterung des Kalksteins von Arkansas ähnliche Verhältnisse zeigt und somit bestätigt, daß unter Umständen die bei Kalkstein sonst übliche markante Entkieselung unterbleiben kann. Daß in beiden Fällen  $\text{CaCO}_3$  am meisten ausgelaugt wird, ist selbstverständlich, schon MgO kann sich verschieden verhalten.

Typische Enteisung und dadurch hervorgerufene Bleichung hat man auch gerne kurzweg als Kaolinbildung beschrieben. Daß dies nicht eine notwendige Verknüpfung zu sein braucht, im Gegenteil bei der Kaolinbildung aus Alkalifeldspäten gleichzeitige Entkieselung auftreten sollte, ist aus dem Vorhergehenden ersichtlich (Seite 88). Sehr deutlich ist die Enteisung bei fast gleich bleibendem Verhältnis *si:al* in einzelnen Verwitterungsstadien des von BLANCK und PETERSEN eingehend untersuchten Wurmberggranites (Harz). Vor allem die stark humose graue Erde verglichen mit dem frischen Gestein zeigt dies deutlich. Dabei ist der verhältnismäßig kleine Magnesiumgehalt wenig verändert, was dartut, daß sich Eisen und Magnesium gegensätzlich verhalten können. Die gleiche Erscheinung zeigen stark fortgeschrittene Verwitterungsstadien bis zum Ackerboden des früher schon erwähnten Melaphyrs des Waldenberger Berglandes. MgO ist relativ weniger zurückgegangen, als die Eisenoxyde. Zum Teil sind die Alkalien, besonders Kali, angereichert, während neben Eisen CaO sehr erheblichen Rückgang aufweist.

Zwei Beispiele der Basaltzersetzung sowohl unter Torf wie unter benachbarter Wiese sind gleichfalls basischen Eruptivgesteinen zuzhörig. Unter Torf ist die Enteisung weiter fortgeschritten als im Wiesland, was auf die Mitwirkung der Humussäure schließen läßt. Zum Schlusse ist noch das durch Kalianreicherung ausgezeichnete Verwitterungsschema des Augengneises von Morobbia angeführt mit der gut erkennbaren Wegfuhr von MgO und CaO.

## III. Typus der relativen Entkieselung.

(Zusammenstellung der Analysen und Figuren Seiten 110 bis 113.)

Es handelt sich um eine starke Verschiebung des Verhältnisses *si:al:f* vom Ursprungsgestein zum Verwitterungsprodukt zuungunsten von *si*. Betrachten wir beispielsweise die Zusammensetzung der Molasse von Gränichen, des losen Verwitterungssandes und des Bodens. Während im losen Verwitterungssand wohl etwas Eisen ausgelaugt ist, das sich vielleicht im Boden durch Ausfällung wieder etwas angereichert hat, ist in beiden Fällen gegenüber dem Muttergestein der  $\text{SiO}_2$ -Gehalt prozentual erheblich stärker zurückgegangen. Die Verluste sind von gleicher Größenordnung wie die der Alkalien, während MgO wenig und CaO sehr große Auslaugung erfahren haben. Ähnliches Verhalten weist der Argillit von Harford auf.

Nicht selten ist eine deutliche Entkieselung bei der Verwitterung der an Hornblende reichen Gesteine bemerkbar. Einen typischen Fall zeigt die Analysenserie des Hornblendegabbros von La Grange (Georgia). Im ersten Stadium der Zersetzung lassen sich mit der Basis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Verluste von  $\text{SiO}_2$  berechnen, die verhältnismäßig denen von MgO, CaO und Alkalien entsprechen. Auch der zersetzte Biotitgranit von Washington (Columbia-Distrikt U.S.A.) zeigt gegenüber  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  relativ kräftige Entkieselung. Wie die Verluste an Alkalien und CaO dartun, wird der Vorgang mit

der Verwitterung der Feldspäte im Zusammenhang stehen. Ähnlich verhält sich ein Granit von Mazaruni (Guayana). Feldspäte und Feldspatvertreter (inklusive Melilith) kommen für die Bildung als Sol wandernder Kieselsäure in Frage beim Alnöit aus dem Staate Neuyork.

#### IV. Typus der relativen Entkieselung und Enteisung.

(Zusammenstellung der Analysen und Figuren Seiten 114 bis 120.)

Bei fortgeschrittener Verwitterung ist im Auswaschungshorizont dieser Fall recht häufig. Daß er, wie übrigens auch Nr. III, schließlich zu bauxit- bis lateritartigen Produkten führen kann, ist selbverständlich. Es ist eigentümlich, daß bereits unter unsern klimatischen Bedingungen, karbonatreiche Gesteine nicht selten Produkte ergeben, die  $Al_2O_3$  relativ kräftig angereichert haben. Die Mergelmasse von Bern ist ein gutes Beispiel hierfür, obschon der an sich sehr geringe  $Na_2O$ -Gehalt relativ angereichert erscheint. Die Analysen des Lias *a* von Ellwangen, des Kalksteins der Klus und des Dolomits von Staunton (Virginia) machen uns mit gleichen Auslaugerscheinungen bekannt. Beim Amphibolit vom Schloß Unterwalden (Bellinzona) ist Kali die Basis, aber auch hier hat sich das Verhältnis *si:al:f* im Sinne der Entkieselung und Enteisung verschoben. Unter ganz andern klimatischen Bildungen geschah dies bei der Verwitterung eines Amphibols aus einem Monchiquit von Namib (Südwestafrika). Die spätern Stadien der Umbildung des Gabbros von Roßwein (Sachsen) zur Walkererde ergeben bei Kalianreicherung das gleiche Bild der Stoffverschiebungen und von Basalten (z. B. Bramburg, Solling) ist es gleichfalls bekannt. Ganz andere ursprüngliche Zusammensetzung hatte der Nephelinsyenit von Arkansas und der Talkschiefer von Albemarle Co (Virginia), beim ersten sind (Nephelin!) am stärksten die Alkalien, beim letztern (Talk!) MgO weggeführt worden.

Eigentliche Lateritbildungen veranschaulichen die Analysendaten, die vom Hornblendegranit von Guayana und dem Gneis von Kolombo bekannt sind. Im Anreicherungs-horizont des letztern hat sich Eisenhydrogel wieder niedergeschlagen.

#### V. Typus der relativen Verarmung an Sesquioxyden.

(Zusammenstellung der Analysen und Figuren Seiten 121 bis 124.)

Unter den schweizerischen Verwitterungsproben gehört hierher der Verrucano von Murg, wobei jedoch CaO-Vermehrung etwas fraglich erscheinen läßt, ob Gestein und Boden sehr enge zusammengehören.

Beim Flyschmergel des Niesens zeigen beide untersuchten Stadien dem Muttergestein gegenüber Verluste an  $Al_2O_3$  und  $Fe_2O_3$ . Wegschlammung tonigen Materials ist indessen nicht ganz ausgeschlossen.

Der Syenit vom Etlital ist in seiner Zusammensetzung etwas variabel, doch scheint hier die Verschiebung des Verhältnisses *si:al:fm* zugunsten von *si* nur auf stärkerer Wanderung der Sesquioxyde beruhen zu können. Auch Melaphyrböden vom Waldenburger Bergland zeigen zum Teil relative *si*-Anreicherung, wie zwei Analysen dartun, ebenso ein Frühstadium des Granits von Wurmberg. Im ganzen ist jedoch, abgesehen von Abschlammungen oder nachträglicher Verkieselung, der Fall selten, daß bei der Verwitterung das Verhältnis *si:al:f* stark zugunsten von *si* verändert wird.

#### VI. Typus der relativen Eisenanreicherung.

(Zusammenstellung der Analysen und Figuren Seiten 125 bis 127.)

Sehr viele Stufen der Verwitterungsprofile weisen derartige Verhältnisse auf, doch handelt es sich dabei meist um deutliche Anreicherungs-horizonte (Ortssteine usw.), in die an andern Stellen des Profils freigewordenes Eisenhydroxyd gewandert ist und sich wieder ausgeschieden hat. Die Gneisverwitterung von Comano zeigt im ersten Stadium auch MgO-Anreicherung, im zweiten Stadium muß  $Fe_2O_3$  zur Basis genommen werden. Sehr deutlich ist die relative Eisenanreicherung für die Verwitterung des Biotitgranits von Georgia und die bereits mehr lateritähnlichen Bildungen aus Hornblendegranit von Mahdia (Guayana), Diabas von Omai (Guayana) und Olivindiabas von Chatham (Virginia). Aber auch gewisse Stadien der Melaphyrzersetzung vom Waldenburger Bergland zeigen bei Chloritbildung Eisenanreicherung, so daß *fm* als Ganzes hoch wird.

## Zusammenstellung der Analysen.

I. Typus. Undifferenziert (zu Seiten 98 bis 99).

**Tabelle A. Gewichtsprozent** (Legende siehe Seite 105).

Nr. . . . .	1 a	1 b	2 a	2 b	3 a	3 b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	70,55	69,90	56,87	57,68	63,57	63,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	14,64	14,40	19,34	17,84	14,69	16,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,52	2,16	1,89	3,26	1,79	4,45
FeO . . . . .	1,71	0,98	6,09	4,28	3,11	0,40
MnO . . . . .	0,04	0,04	0,17	0,10	—	—
MgO . . . . .	0,52	0,52	2,49	2,80	2,82	1,50
CaO . . . . .	2,53	2,42	1,74	2,26	3,84	0,90
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,98	3,76	2,65	2,77	4,26	1,72
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,53	3,83	5,47	3,31	4,07	7,73
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,50	0,46	1,14	1,14	0,55	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,18	0,19	0,16	0,28	0,24	0,30
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,23	1,01	1,66	4,33	0,95	3,24
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,00	0,17	0,11	0,41	—	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,28
Org. . . . .	—	—	—	—	—	—
	99,93	99,84	99,78	100,46	99,89	100,39

**Tabelle B. Molekularwerte.**

<i>si</i> . . . . .	340	342	192	206	230	268
<i>al</i> . . . . .	41,5	41,5	38,5	37,5	31,5	42
<i>fm</i> . . . . .	16	15,5	34,5	36,5	29	25,5
<i>c</i> . . . . .	13	12,5	6,5	8,5	15	4
<i>alk</i> . . . . .	29,5	30,5	20,5	17,5	24,5	28,5
<i>k</i> . . . . .	0,37	0,39	0,57	0,44	0,38	0,75
<i>mg</i> . . . . .	0,23	0,24	0,36	0,41	0,52	0,38
<i>f</i> . . . . .	12,4	11,8	21,8	21,5	14	16
<i>m</i> . . . . .	3,6	3,7	12,7	15,0	15	9,5
<i>si/al</i> . . . . .	<b>8,2</b>	<b>8,3</b>	<b>5,0</b>	<b>5,5</b>	<b>7,4</b>	<b>6,5</b>
<i>m/c</i> . . . . .	0,29	0,30	2,0	1,7	1,0	2,3
<i>c/fm</i> . . . . .	0,80	0,81	0,15	0,23	0,51	0,16
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>27:3,3:1</b>	<b>28:3,4:1</b>	<b>8,5:1,7:1</b>	<b>9,6:1,7:1</b>	<b>16,4:2,2:1</b>	<b>16,5:2,6:1</b>
<i>li</i> . . . . .	1,8	1,8	2,8	3,1	1,5	—
<i>p</i> . . . . .	0,4	0,4	0,25	0,43	0,37	0,55
<i>h</i> . . . . .	3,5	16,5	18,5	56,5	11,5	46,5
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	—	—	—	—	—	1,6

Tabelle A (Fortsetzung).

Nr. . . . .	4 a	4 b	5 a	5 b	5 c	6 a	6 b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	43,17	47,10	55,52	55,57	56,27	48,22	57,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,79	7,38	16,02	15,92	16,08	9,76	12,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	6,82	11,28	2,38	2,55	6,48	2,95	10,34
FeO . . . . .	4,90	1,14	4,34	4,30	1,98	5,46	—
MnO . . . . .	0,15	0,17	0,18	0,26	0,26	—	—
MgO . . . . .	23,15	19,64	2,92	2,71	2,75	17,32	9,99
CaO . . . . .	8,53	3,39	6,51	6,03	3,60	11,85	1,60
Na <sub>2</sub> O . . . . .	1,20	0,39	3,36	3,44	3,35	2,56	1,10
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,96	0,70	2,55	3,05	3,26	0,42	2,02
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,38	0,38	1,68	1,58	1,52	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Sp.	Sp.	0,41	0,40	0,45	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	5,12*	8,50*	2,08	1,93	1,86	2,15	5,89
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	—	—	0,44	0,83	1,83	—	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	1,83	1,49	0,56	—	—
Org. . . . .	—	—	—	—	—	—	—
	100,17	100,13	100,22	100,06	100,25	100,69	101,18

\* Glühverlust.

Tabelle B (Fortsetzung).

<i>si</i> . . . . .	74	98	178	180	192	90	170
<i>al</i> . . . . .	6	9	30	30	31	10,5	21,5
<i>fm</i> . . . . .	75,5	81,5	32	32	37	61,5	66,5
<i>c</i> . . . . .	15,5	8	22,5	21	13	23,5	5
<i>alk</i> . . . . .	3	1,5	15,5	17	19	5,5	7,5
<i>k</i> . . . . .	0,37	0,54	0,33	0,37	0,41	0,10	0,55
<i>mg</i> . . . . .	0,79	0,75	0,44	0,42	0,38	0,78	0,66
<i>f</i> . . . . .	16	21,5	18	18,5	23	13	22,5
<i>m</i> . . . . .	59,5	61	14	13,5	14	48	44
<i>si/al</i> . . . . .	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>5,9</b>	<b>6,0</b>	<b>6,2</b>	<b>8,4</b>	<b>7,9</b>
<i>m/c</i> . . . . .	3,8	7,6	0,62	0,64	1,1	2,0	8,6
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>4,6:0,37:1</b>	<b>4,5:0,42:1</b>	<b>9,9:1,7:1</b>	<b>9,7:1,6:1</b>	<b>8,4:1,3:1</b>	<b>7,1:0,85:1</b>	<b>7,5:0,95:1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	0,21	0,10	0,69	0,66	0,36	0,39	0,075
<i>ti</i> . . . . .	0,51	0,60	4,0	3,9	3,9	—	—
<i>p</i> . . . . .	—	—	0,55	0,55	0,65	—	—
<i>h</i> . . . . .	29	59,5	27	30	42	13	57
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	—	—	8	6,5	2,5	—	—

Tabelle A (Fortsetzung).

Nr. . . . .	7 a	7 b	8 a	8 b	9 a	9 b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	55,67	55,72	27,86	71,35	49,58	70,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	20,64	22,19	3,64	9,78	6,30	8,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,14	3,44	1,54	3,73	2,55	3,31
FeO . . . . .	—	—	—	—	—	—
MnO . . . . .	—	—	0,02	0,03	0,02	0,06
MgO . . . . .	0,42	0,44	4,44	0,96	2,86	1,53
CaO . . . . .	1,40	1,28	31,39	0,46	18,38	3,93
Na <sub>2</sub> O . . . . .	7,12	2,65	0,78	0,94	0,02	0,09
K <sub>2</sub> O . . . . .	5,56	6,26	2,48	4,32	0,15	0,33
TiO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	0,20	0,55	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	—	—	0,10	0,43	0,09	0,14
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	4,33*	7,79*	0,16	5,59	3,11	5,85
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	—	—	—	1,88	0,98	1,86
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	27,32	—	15,38	2,68
Org. . . . .	—	—	0,29	m. Bitumen	0,36	0,65
SO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	0,09	0,10	0,05	0,06
					N 0,04	0,14
	98,28	99,77	100,31	100,12	99,87	100,24

\* Glühverlust.

Tabelle B (Fortsetzung).

<i>si</i> . . . . .	205	230	61	487	168	487
<i>al</i> . . . . .	45	54	5	39,5	12,5	36
<i>fm</i> . . . . .	11	13,5	17	32,5	21	33
<i>c</i> . . . . .	5,5	5,5	73	3	66	29
<i>alk</i> . . . . .	38,5	27	5	25	0,5	2
<i>k</i> . . . . .	0,34	0,61	0,67	0,75	0,84	0,71
<i>mg</i> . . . . .	0,27	0,20	0,85	0,30	0,69	0,47
<i>f</i> . . . . .	8,7	10,5	2,5	22,5	6,5	17,5
<i>m</i> . . . . .	2,3	2,7	14,5	10	14,5	15,5
<i>si/al</i> . . . . .	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>13,5</b>	<b>13,5</b>
<i>m/c</i> . . . . .	0,42	0,48	0,19	3,3	0,22	0,54
<i>si : al : f</i> . . . . .	<b>24 : 5,2 : 1</b>	<b>21,5 : 5,1 : 1</b>	<b>24 : 1,8 : 1</b>	<b>25,5 : 2,0 : 1</b>	<b>26 : 1,9 : 1</b>	<b>28 : 2,1 : 1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	0,51	0,41	4,3	0,09	3,2	0,88
<i>ti</i> . . . . .	—	—	0,4	2,5	—	—
<i>p</i> . . . . .	—	—	0,13	0,12	0,13	0,41
<i>h</i> . . . . .	53	107	1,2	127	46	177
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	—	—	81	—	71	25

Tabelle C. Verlustprozent.

Nr. . . .	1	2	3	4	5 ab	5 ac	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub> . . .	9	22	48	14	14	21	75	11	5	35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	9	29	40	0	17	22	73	4	0	36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	8	29	51	20	15	6	76	2	10	41
MgO . . .	8	14	72	33	22	26	88	7	92	76
CaO . . .	12	0	88	69	23	57	97	19	100	90
Na <sub>2</sub> O . . .	13	20	79	74	14	22	91	67	55	0
K <sub>2</sub> O . . .	0	53	0	43	0	0	0	0	35	0

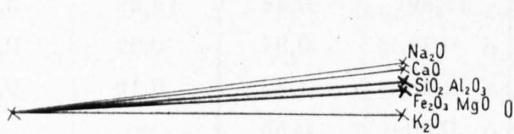


Fig. 1.

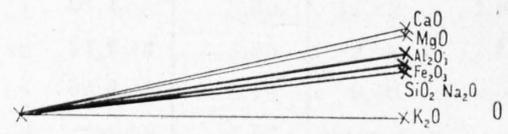


Fig. 5 ab.

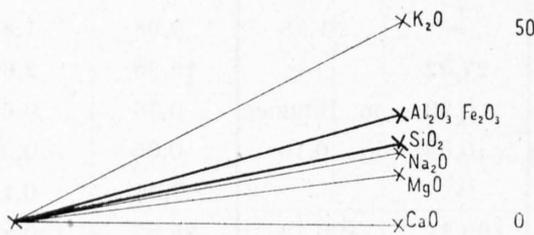


Fig. 2.

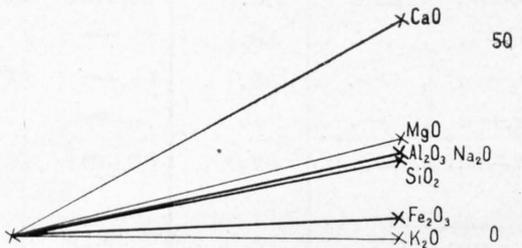


Fig. 5 ac.

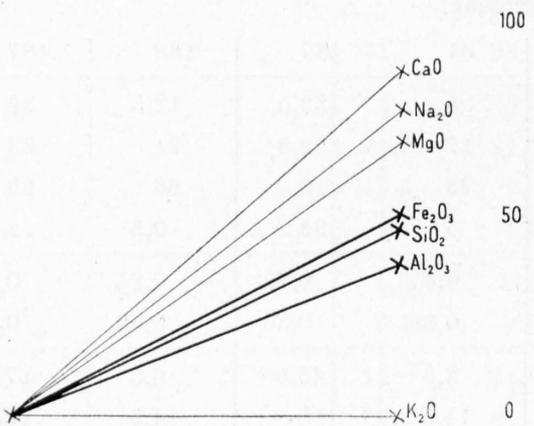


Fig. 3.

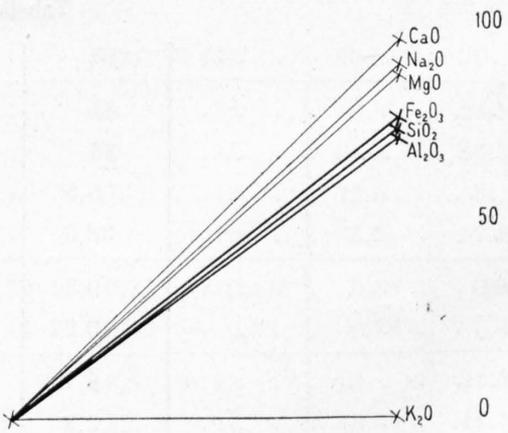


Fig. 6.

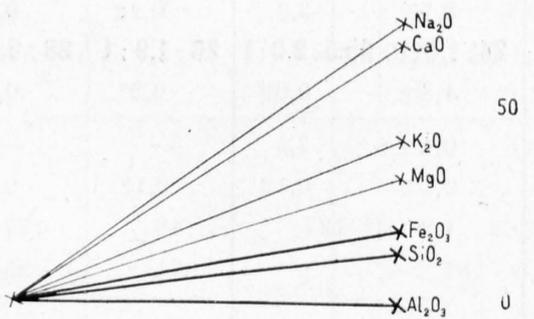


Fig. 4.

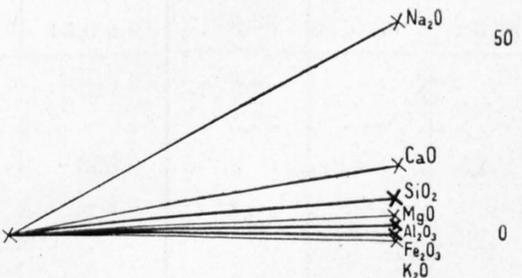


Fig. 7.

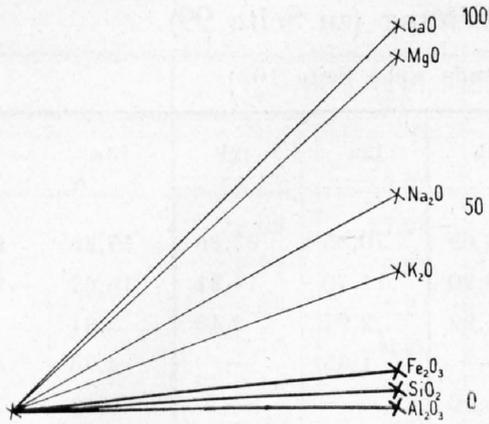


Fig. 8.

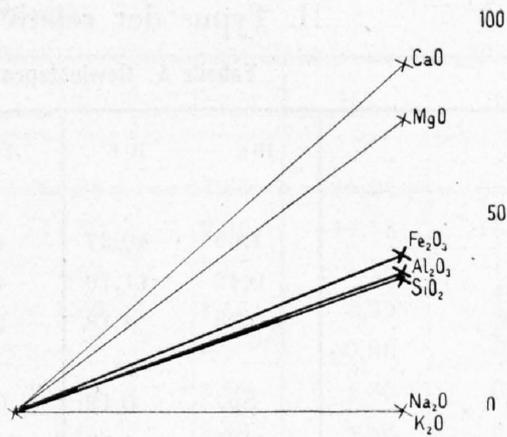


Fig. 9.

Legende.

1. Gneis, San Vittore-Lumino, Misox (Fig. 1).
  - a) frisch,
  - b) stark zersetzt.
2. Biotitschiefer bis Biotitgneis, Giubiasco, Tessin (Fig. 2).
  - a) frisch,
  - b) Grus.
3. Hornblendegranit, Großsachsen, Odenwald (Fig. 3). (M. Dittrich, Zeitschr. anorg. Ch., Bd. 47, 1905.)
  - a) frisch,
  - b) verwittert.
4. Amphibolperidotit, Schriesheim (Fig. 4). (Lit. wie 3.)
  - a) frisch (zum Teil serpentiniert),
  - b) zersetzt (verlehmt).
5. Melaphyr, Königswalde, Waldenburger Bergland, Schlesien (Fig. 5). (L. Milch u. H. Alaschewski, Tschermaks mineral.-petr. Mitt., Bd. 38, 1925.)
  - a) schwarz, mit schwach grünlichem Ton, frisch aussehend (III),
  - b) grün, diabasähnlich (VI),
  - c) rostbraune Schale (X).
6. Gabbro, Roßwein, Sachsen (Fig. 6). (R. Sachse u. A. Becker, Landw. Versuchs-St., Bd. 40, 1892.)
  - a) frisch (III),
  - b) verwittert (IV).
7. Phonolith, Marienfels bei Außig, Böhmen (Fig. 7). (Lemberg, Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 35, 1883.)
  - a) frisch,
  - b) zersetzt.
8. Mergelkalkstein, oberer Dogger, Stanserhorn (Fig. 8).
  - a) frisch,
  - b) Boden.
9. Löß, Groß-Niedersheim, Rheinpfalz (Fig. 9). (E. Blank, Handbuch der Bodenlehre, Bd. 3, 1930.)
  - a) aus 90 bis 100 cm Tiefe,
  - b) aus 0 bis 15 cm Tiefe.

Die Nummern der Figuren entsprechen den Nummern der Legenden.

II. Typus der relativen Enteisung (zu Seite 99).

Tabelle A. Gewichtsprozente (Legende siehe Seite 109).

Nr. . . . .	10a	10b	11a	11b	12a	12b	13a	13b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	1,65	40,27	4,13	33,69	70,85	67,85	57,35	62,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,46	11,79	4,19	30,30	11,70	11,21	15,67	13,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,38	4,18	2,35	1,99	2,97	2,40	3,31	3,98
FeO . . . . .	—	—	—	—	1,65	—	4,76	—
MnO . . . . .	Sp.	0,12	0,30	0,26	—	—	0,18	—
MgO . . . . .	0,11	1,52	4,33	14,98	0,71	0,63	2,88	1,82
CaO . . . . .	54,23	16,87	44,79	3,91	1,78	0,45	5,77	0,77
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,28	0,39	0,16	0,61	3,37	1,50	3,17	1,84
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,36	1,88	0,35	0,96	5,15	2,56	2,64	2,72
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,04	0,56	—	—	0,26	0,54	1,64	0,98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Sp.	0,21	3,04	2,54	0,10	0,17	0,31	0,07
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	—	5,41	2,26	10,76	1,10*	14,10*	0,66*	11,17*
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	—	3,52	—	—	—	—	1,58	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	42,76	13,67	34,10	0,00	—	—	0,47	—
Org. . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,06	0,19	—	—	—	0,10	—	—
	100,33	100,58	100,00	100,00	99,64	101,11	100,39	100,00

\* Glühverlust.

Tabelle B. Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	3	126	7	89	321	516	184	346
<i>al</i> . . . . .	0,5	22	4,5	47	34	49,5	30	44,5
<i>fm</i> . . . . .	1	17	10,5	38,5	23	22	35	31,5
<i>c</i> . . . . .	97,5	56	84,5	11	9	3,5	20	4,5
<i>alk</i> . . . . .	1	5	0,5	3,5	33	25	15	19,5
<i>k</i> . . . . .	0,45	0,77	0,59	0,50	0,49	0,50	0,35	0,49
<i>mg</i> . . . . .	0,33	0,42	0,08	0,03	0,23	0,33	0,39	0,47
<i>f</i> . . . . .	0,67	10	3,1	4,0	17,7	15	21	16,5
<i>m</i> . . . . .	0,33	7	0,8	1,0	5,3	7	14	15
<i>si/al</i> . . . . .	6,1	5,8	1,7	1,9	9,5	10,5	6,2	7,8
<i>m/c</i> . . . . .	0,003	0,13	0,01	0,09	6,0	2,0	0,70	3,2
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>4,5:0,7:1</b>	<b>12,5:2,2:1</b>	<b>2,3:1,4:1</b>	<b>22,5:12:1</b>	<b>18:1,9:1</b>	<b>34:3,3:1</b>	<b>8,8:1,4:1</b>	<b>21:2,7:1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	97,5	3,3	8,2	0,29	0,41	0,17	0,56	0,15
<i>ti</i> . . . . .	—	1,3	—	—	0,97	3,1	4,0	4,0
<i>p</i> . . . . .	—	0,28	2,3	2,9	0,66	0,55	0,42	0,16
<i>h</i> . . . . .	—	56	13,5	95	18	358	24	—
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	98	58	82	—	—	—	2,0	—

**Tabelle A** (Fortsetzung).

Nr. . . . .	14 a	14 b	15 a	15 b	15 c	16 a	16 b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	55,03	55,83	45,21	59,98	53,36	65,23	63,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	16,08	17,24	7,82	11,50	9,86	17,18	16,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,95	5,07	3,41	2,42	9,05	1,48	1,61
FeO . . . . .	5,36	1,21	8,08	1,86	1,55	2,32	1,74
MnO . . . . .	0,18	0,20	—	—	—	0,06	0,05
MgO . . . . .	3,08	3,88	8,43	0,75	1,53	1,35	0,86
CaO . . . . .	6,29	2,50	12,31	2,80	2,46	4,56	3,07
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,58	3,80	6,64	1,18	2,07	3,55	3,17
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,52	3,58	2,94	1,48	2,61	2,62	3,07
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,48	1,47	1,69	1,92	1,27	0,62	0,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,40	0,35	0,52	Sp.	0,40	0,24	0,20
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,89	2,27	1,82*	16,53*	16,22*	0,52	3,78
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	1,97	2,54	—	—	—	0,15	0,89
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,42	0,44	—	—	—	0,00	0,00
Org. . . . .	—	—	—	—	—	—	ca. 1%
SO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	0,56	0,21	0,37	—	—
	100,23	100,38	99,43	100,63	100,75	99,88	99,71

\* Glühverlust.

**Tabelle B** (Fortsetzung).

<i>si</i> . . . . .	168	189	94	366	238	258	292
<i>al</i> . . . . .	29	34	9,5	41,5	26	40	43
<i>fm</i> . . . . .	35	37	45,5	27,5	46	20,5	18,5
<i>c</i> . . . . .	21	9	27,5	18,5	12	19,5	15,5
<i>alk</i> . . . . .	15	20	17,5	12,5	16	20	23
<i>k</i> . . . . .	0,32	0,38	0,22	0,45	0,45	0,33	0,39
<i>mg</i> . . . . .	0,40	0,54	0,58	0,25	0,22	0,40	0,32
<i>f</i> . . . . .	21	17,5	19	20	36	12,5	12,5
<i>m</i> . . . . .	14	19,5	26,5	7	10	8	6
<i>si/al</i> . . . . .	5,8	5,5	9,8	8,8	9,2	6,4	6,8
<i>m/c</i> . . . . .	0,69	2,2	0,95	0,38	0,86	0,42	0,38
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>8,0:1,4:1</b>	<b>11:1,9:1</b>	<b>5,0:0,5:1</b>	<b>18,5:2,1:1</b>	<b>6,6:0,72:1</b>	<b>21,5:3,4:1</b>	<b>23,5:3,5:1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	0,49	0,25	0,60	0,66	0,25	0,94	0,82
<i>li</i> . . . . .	3,4	3,7	2,6	8,8	4,2	1,6	2,0
<i>p</i> . . . . .	0,52	0,50	0,46	—	0,75	0,4	0,4
<i>h</i> . . . . .	27	54	12,5	337	240	7	63
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	1,8	2,0	—	—	—	—	—

**Tabelle C. Verlustprozte.**

Nr. . . . .	10	11	12	13	14	15 ab	15 ac	16
SiO <sub>2</sub> . . . . .	5	0	0	0	28	10	6	17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0	11	0	20	25	0	0	20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	60	90	48	58	49	75	31	26
MgO . . . . .	46	89	8	42	11	94	86	46
CaO . . . . .	99	99	74	88	72	85	84	43
Na <sub>2</sub> O . . . . .	95	53	54	47	25	88	75	24
K <sub>2</sub> O . . . . .	80	66	48	6	0	66	30	0

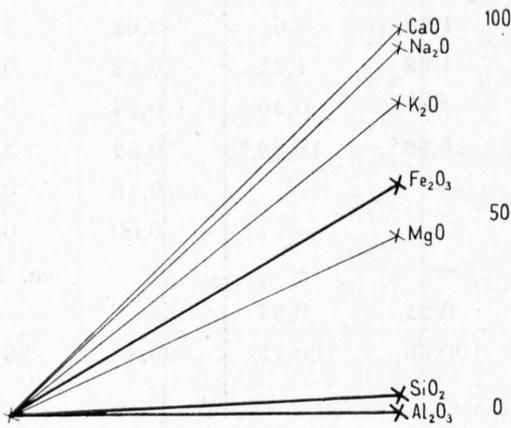


Fig. 10.

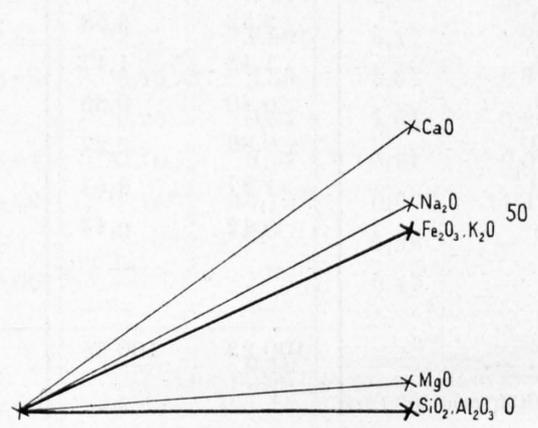


Fig. 12.

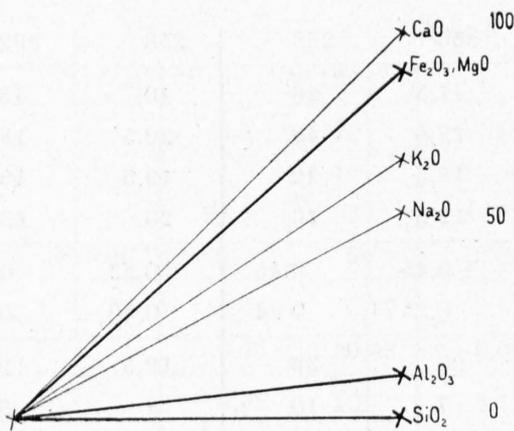


Fig. 11.

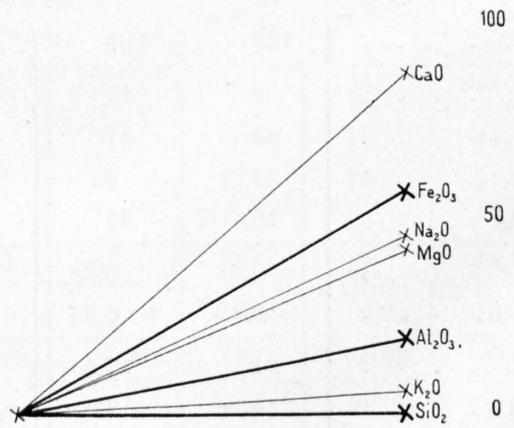


Fig. 13.

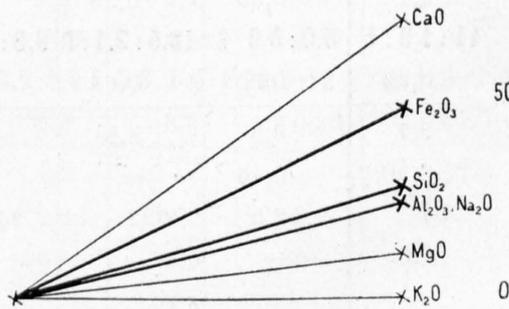


Fig. 14.

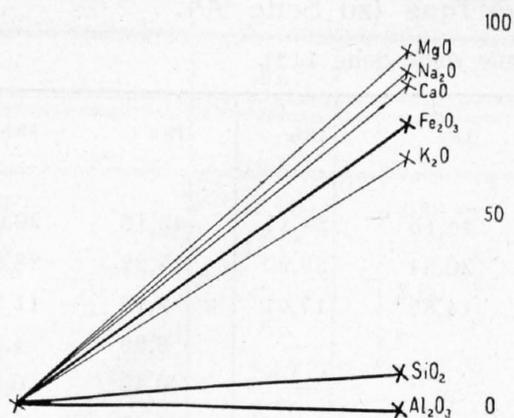


Fig. 15 ab.

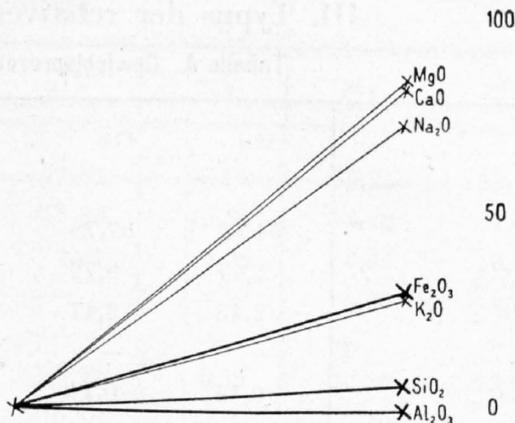


Fig. 15 ac.

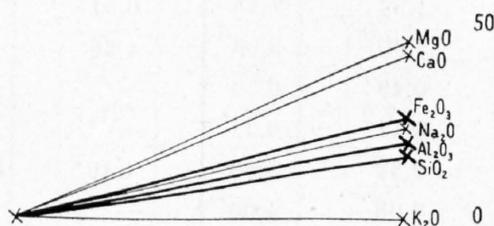


Fig. 16.

Legende.

10. Kalkstein, Hundsbusck bei Baden (Aargau) (Fig. 10).
  - a) frisch,
  - b) Boden.
11. Kalkstein, Arkansas (Fig. 11). (G. P. Merrill, Rocks, Rock-Weathering and Soils, New York 1906.)
  - a) frisch,
  - b) Rückstand.
12. Granit, Wurmberg, Harz (Fig. 12).
  - a) frisch (I),
  - b) humoser Boden.
13. Melaphyr, Waldenburger Bergland, Schlesien (Fig. 13). (L. Milch u. G. Alaschewski, Tschermaks mineral-petr. Mitt., Bd. 38, 1925.)
  - a) frisch, schwarz (II),
  - b) Feinerde aus einem krümeligen, an Bröckchen reichen violetten Ackerboden (XVIII).
14. Melaphyr, Waldenburger Bergland, Königswalde, Schlesien (Fig. 14). (Lit. wie 13.)
  - a) frisch, schwarz (I),
  - b) stark zersetzt, schmutziggelb und dunkelbraun getupft (XI).
15. Basalt, Gersfeld, Rhön (Fig. 15). (K. Endell, Neues Jahrb. Mineral. Geol., Beil.-Bd. 31, 1911.)
  - a) frisch,
  - b) unter 1,25 m Torf zu grünlichem Ton zersetzt,
  - c) unter 30 cm Wiese zu gelbbraunem Ton zersetzt.
16. Augengneis, Val Morobbia, Tessin (Fig. 16).
  - a) frisch,
  - b) Grus.

### III. Typus der relativen Entkieselung (zu Seite 99).

Tabelle A. Gewichtsprozente (Legende siehe Seite 113).

Nr. . . . .	17 a	17 b	17 c	18 a	18 b	19 a	19 b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	51,52	57,70	63,95	44,15	24,17	45,16	26,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,77	8,72	9,75	30,84	39,90	17,22	28,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,43	3,44	4,97	14,87	17,61	3,12	11,38
FeO . . . . .	—	—	—	—	—	6,99	4,00
MnO . . . . .	0,14	0,14	0,15	—	—	0,47	0,51
MgO . . . . .	0,95	1,33	1,49	0,27	0,25	4,67	3,03
CaO . . . . .	16,96	11,74	3,56	0,48	0,00	17,50	7,96
Na <sub>2</sub> O . . . . .	1,32	1,54	1,48	0,51	0,23	2,39	1,54
K <sub>2</sub> O . . . . .	1,90	2,00	2,03	4,36	1,24	1,37	0,81
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,32	0,49	0,59	—	—	0,31	0,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,10	0,11	0,23	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	2,25	2,32	3,60	4,49*	16,62*	0,46	15,17
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	2,54	2,08	4,00	—	—	0,04	0,87
CO <sub>2</sub> . . . . .	13,34	8,17	1,22	—	—	—	0,12
Org. . . . .	—	—	reichl.	—	—	—	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,52	0,23	0,00	—	—	S 0,10	0,04
	100,06	100,01	97,02	99,97	100,02	100,10	100,23

\* Glühverlust.

Tabelle B. Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	188	230	348	132	64	94	59
<i>al</i> . . . . .	12,5	20	31,5	54	61,5	21,5	38
<i>fm</i> . . . . .	12	19	33	34,5	36	32,5	38
<i>c</i> . . . . .	66,5	50	21	1,5	0	39	19,5
<i>alk</i> . . . . .	9	11	14,5	10	2,5	7	4,5
<i>k</i> . . . . .	0,49	0,47	0,47	0,85	0,75	0,28	0,27
<i>mg</i> . . . . .	0,43	0,43	0,37	0,035	0,03	0,45	0,27
<i>f</i> . . . . .	6,8	11	21	33,5	35	18	27,5
<i>m</i> . . . . .	5,2	8	12	1,3	1,0	14,5	10,5
<i>si/al</i> . . . . .	<b>15,2</b>	<b>11,2</b>	<b>11,2</b>	<b>2,4</b>	<b>1,04</b>	<b>4,4</b>	<b>1,5</b>
<i>m/c</i> . . . . .	0,07	0,16	0,59	0,82	—	0,37	0,54
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>28,5:1,8:1</b>	<b>21:1,9:1</b>	<b>16,5:1,5:1</b>	<b>4,0:1,6:1</b>	<b>1,8:1,8:1</b>	<b>5,2:1,2:1</b>	<b>2,1:1,4:1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	5,4	2,7	0,64	0,045	0	1,21	0,51
<i>ti</i> . . . . .	0,9	1,4	2,6	—	—	0,5	0,4
<i>p</i> . . . . .	0,15	0,2	0,5	—	—	—	—
<i>h</i> . . . . .	27,5	31	65,5	45	146	3	114
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	66,5	44,5	16,5	—	—	—	2,5

**Tabelle A (Fortsetzung).**

Nr. . . . .	19 c	20 a	20 b	21 a	21 b	22 a	22 b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	23,34	69,33	65,69	73,81	67,98	35,25	33,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	32,70	14,33	15,23	13,93	19,82	6,10	7,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	21,77	—	4,39	1,41	2,05	8,53	16,71
FeO . . . . .	—	3,60	—	—	—	5,60	1,48
MnO . . . . .	Sp.	—	—	—	—	—	—
MgO . . . . .	0,57	2,44	2,64	0,72	0,11	20,40	13,42
CaO . . . . .	0,75	3,21	2,63	0,88	—	7,40	5,25
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,39	2,70	2,12	2,80	0,39	0,70	0,23
K <sub>2</sub> O . . . . .	1,19	2,67	2,00	4,81	0,50	2,88	0,29
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,15	—	0,31	0,62	0,85	2,25	2,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	—	0,10	0,06	0,06	0,01	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	15,05	1,22*	4,70*	0,74	8,52	10,15*	17,85*
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	3,77	—	—	—	—	—	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,52	—	—	—	—	—	—
Org. . . . .	—	—	—	—	—	—	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
	100,20	99,60	99,77	100,02	100,23	99,26	99,11

\* Glühverlust.

**Tabelle B. (Fortsetzung.)**

<i>si</i> . . . . .	61	303	293	433	487	62	74
<i>al</i> . . . . .	50	37	40	48	83	6,5	10,5
<i>fm</i> . . . . .	45	29	33	12	12	75	76
<i>c</i> . . . . .	2	15	12,5	5,5	0	14	12,5
<i>alk</i> . . . . .	3	19	14,5	33,5	5	4,5	1
<i>k</i> . . . . .	0,68	0,38	0,38	0,53	0,46	0,73	0,45
<i>mg</i> . . . . .	0,05	0,55	0,54	0,50	0,10	0,73	0,59
<i>f</i> . . . . .	42,5	13	15	6	10,9	20	31
<i>m</i> . . . . .	2,5	16	18	6	1,1	55	45
<i>si/al</i> . . . . .	<b>1,2</b>	<b>8,2</b>	<b>7,3</b>	<b>9,0</b>	<b>5,9</b>	<b>9,8</b>	<b>7,2</b>
<i>m/c</i> . . . . .	1,2	1,06	1,4	1,1	—	3,9	3,5
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>1,4 : 1,2 : 1</b>	<b>23 : 2,8 : 1</b>	<b>19,5 : 2,7 : 1</b>	<b>72 : 8 : 1</b>	<b>44,5 : 7,6 : 1</b>	<b>3,2 : 0,32 : 1</b>	<b>2,4 : 0,34 : 1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	0,045	0,52	0,36	0,45	0	0,19	0,17
<i>ti</i> . . . . .	0,3	—	—	2,7	4,5	3,0	4,9
<i>p</i> . . . . .	—	0,2	0,1	0,15	—	—	—
<i>h</i> . . . . .	131	18	70	14,5	212	61	134
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	13	—	—	—	—	—	—

Tabelle C. Verlustprozente.

Nr. . . . .	17 ab	17 ac	18	19 ab	19 ac	20	21	22
SiO <sub>2</sub> . . . . .	26	39	58	65	74	15	36	27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0	17	0	0	5	3	2	0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	6	0	9	12	0	0	0	4
MgO . . . . .	7	23	28	61	92	1	91	49
CaO . . . . .	54	90	100	73	99	25	100	45
Na <sub>2</sub> O . . . . .	23	45	62	61	92	29	90	75
K <sub>2</sub> O . . . . .	30	54	78	64	56	32	93	92

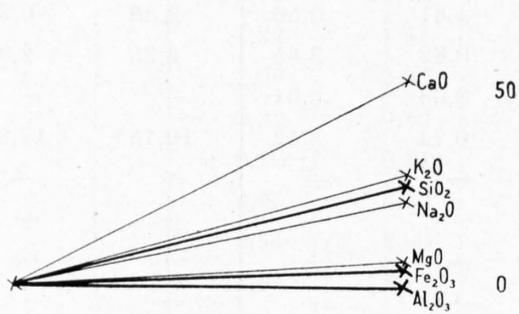


Fig. 17 ab.

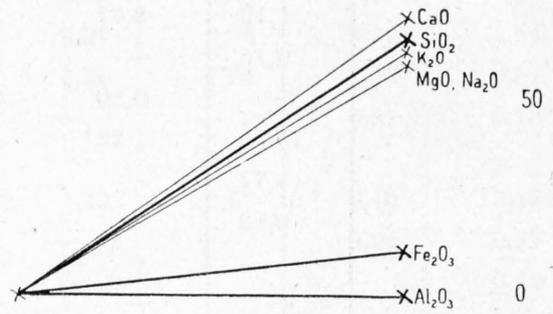


Fig. 19 ab.

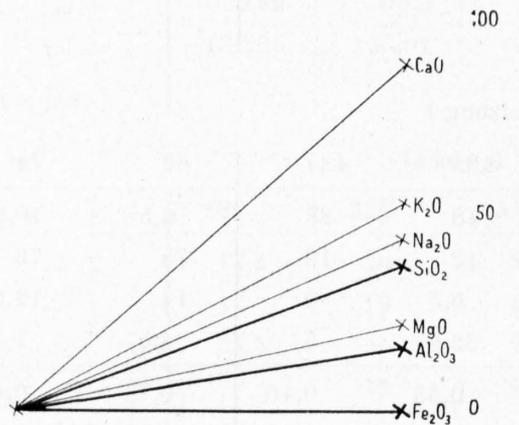


Fig. 17 ac.

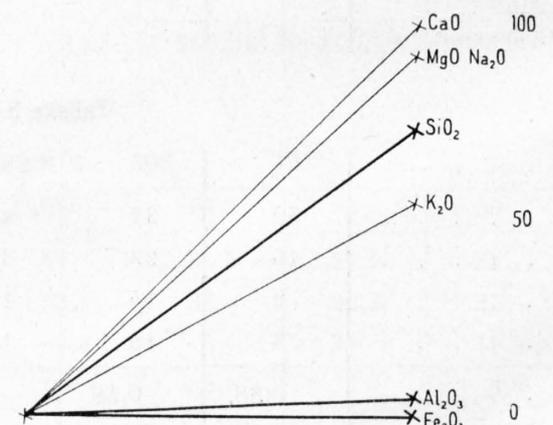


Fig. 19 ac.

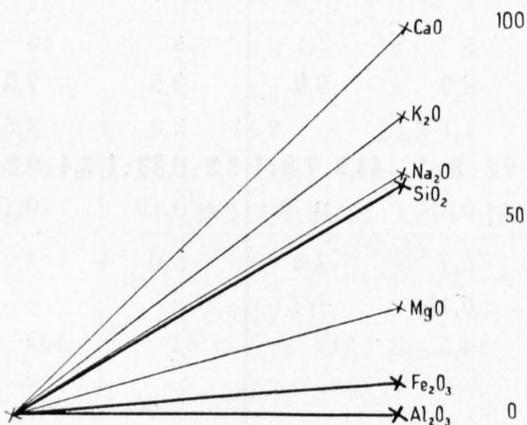


Fig. 18.

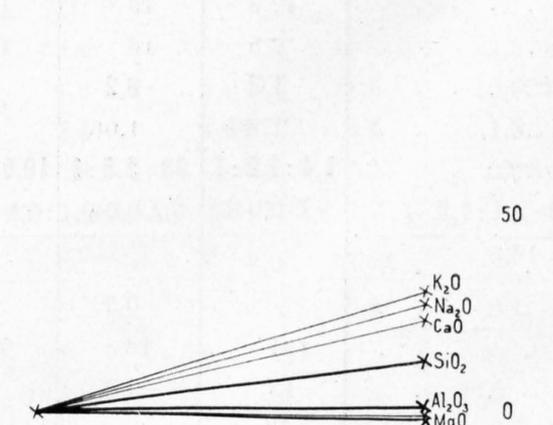


Fig. 20.

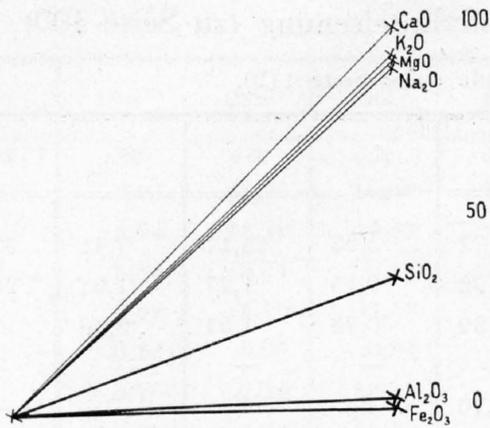


Fig. 21.

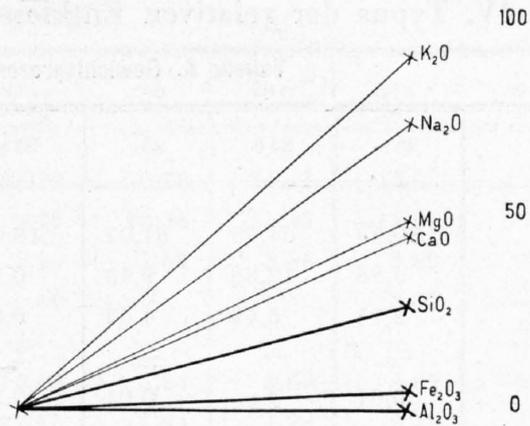


Fig. 22.

Legende.

17. Molassesandstein, untere Süßwassermolasse, Burghalde, Gränichen (Aargau) (Fig. 17).
  - a) frischer Sandstein,
  - b) loser Verwitterungssand,
  - c) Waldboden.
18. Argillit, Harford County, Maryland (Fig. 18). (G. P. Merrill, wie 11.)
  - a) frisch,
  - b) toniger Rückstand.
19. Hornblendegabbro, La Grange, Georgia (Fig. 19). (A. D. Brokaw, L. P. Smith, Journ. of Geology, Bd. 24, 19:6.)
  - a) frisch,
  - b) zersetzt,
  - c) erdig.
20. Granit, Columbia, Nordamerika (Fig. 20). (G. P. Merrill, wie 11.)
  - a) frisch,
  - b) Boden.
21. Granit, Mazaruni, Britisch Guayana (Fig. 21). (J. B. Harrison, Geol. Mag., Bd. VII, 1910.)
  - a) frisch,
  - b) zersetzt (Pipe clay).
22. Alnöit, Herkinner County, New York (Fig. 22). (G. P. Merrill, wie 11.)
  - a) frisch,
  - b) verwittert.

IV. Typus der relativen Entkieselung und Enteisung (zu Seite 100).

Tabelle A. Gewichtsprozente (Legende siehe Seite 119).

Nr.	23 a	23 b	23 c	24 a	24 b	25 a	25 b	26 a	26 b
SiO <sub>2</sub>	30,59	64,78	61,07	16,04	65,77	3,23	15,11	7,41	57,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,88	12,88	9,43	0,75	8,06	0,15	1,47	1,91	20,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,78	5,49	4,52	0,09	9,39	0,78	1,54	0,98	7,93
FeO	—	—	—	1,77	—	—	—	—	—
MnO	0,01	Sp.	0,01	0,31	0,70	Sp.	Sp.	—	—
MgO	2,64	3,24	1,85	0,51	0,57	0,49	0,31	18,17	1,21
CaO	29,79	1,16	6,24	43,22	3,59	51,56	44,64	28,29	0,51
Na <sub>2</sub> O	0,47	2,01	1,54	0,06	0,24	0,39	0,48	0,09	0,23
K <sub>2</sub> O	2,47	3,69	3,43	0,15	1,22	0,53	1,38	1,08	4,91
TiO <sub>2</sub>	0,47	0,72	0,60	—	—	0,00	0,07	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,13	0,18	0,20	0,48	Sp.	0,02	0,03	0,10
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,86	3,36	3,21	1,20	7,70	0,70	1,01	0,57	6,69
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,27	1,21	1,18	—	—	0,12	0,52	—	—
CO <sub>2</sub>	24,67	1,15	6,65	35,57	2,94	42,22	33,52	41,57	0,38
Org.	—	0,07	1,78	—	—	—	1,58	—	—
SO <sub>3</sub>	—	—	—	0,02	0,05	Sp.	0,05	—	—
	100,08	99,82	99,91	99,89	100,71	100,17	100,12	100,00	100,00

Tabelle B. Molekularwerte.

<i>si</i>	72	293	276	32	363	5,5	29	12	242
<i>al</i>	5,5	34,5	25	0,5	26	0,2	1,5	2	51
<i>fm</i>	14,5	40,5	28	5	47	2,5	3	46,5	32,5
<i>c</i>	75,5	5,5	30,5	94	21,5	96,5	92,5	50	2,5
<i>alk</i>	4,5	19,5	16,5	0,5	5,5	1,2	2,5	1,5	14
<i>k</i>	0,77	0,55	0,59	0,60	0,76	0,47	0,65	0,88	0,93
<i>mg</i>	0,65	0,54	0,45	0,31	0,10	0,56	0,29	0,97	0,23
<i>f</i>	5	18,5	15,5	3,0	39	1,1	2,2	1,2	25
<i>m</i>	9,5	22	12,5	1,6	4,5	1,2	0,9	45,5	7,5
<i>si/al</i>	<b>13,5</b>	<b>8,7</b>	<b>11,0</b>	<b>38</b>	<b>14</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>6,5</b>	<b>4,8</b>
<i>m/c</i>	0,13	3,7	0,42	0,02	0,22	0,013	0,009	0,90	3,3
<i>si:al:f</i>	<b>14,5:1,1:1</b>	<b>16:1,9:1</b>	<b>18:1,6:1</b>	<b>10,6:0,28:1</b>	<b>9,3:0,66:1</b>	<b>5:0,2:1</b>	<b>13:0,7:1</b>	<b>10:1,6:1</b>	<b>9,7:2,0:1</b>
<i>c/fm</i>	5,3	0,14	1,08	18,4	0,45	42	30	1,08	0,08
<i>ti</i>	0,82	2,5	2,0	—	—	—	—	—	—
<i>p</i>	0,18	0,25	0,34	0,17	1,1	—	—	—	—
<i>h</i>	14,5	51	48	8	140	4	6,5	3	94
<i>co<sub>2</sub></i>	79,5	9,5	41	98	22	100	88,5	94	2,2





Tabelle C. Verlustprozent.

Nr. . . . .	23 ab	23 ac	24	25	26	27	28	29 ab	29 ac	30	31	32	33	34
SiO <sub>2</sub> . . . .	50	39	62	52	27	32	57	84	64	60	62	44	40	50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	22	26	0	0	0	18	0	65	50	0	0	0	0	0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	54	50	57	80	25	38	96	87	69	90	86	41	50	37
MgO . . . . .	71	79	90	94	99	49	99	95	84	99	82	76	88	100
CaO . . . . .	99	94	99	91	100	56	99	98	95	94	88	44	98	100
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0	0	62	87	76	32	87	86	58	93	97	0	100	99
K <sub>2</sub> O . . . . .	65	58	24	73	57	0	89	0	0	67	82	47	91	97

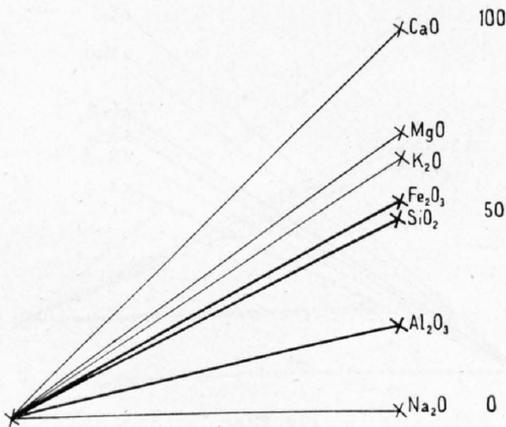


Fig. 23 ab.

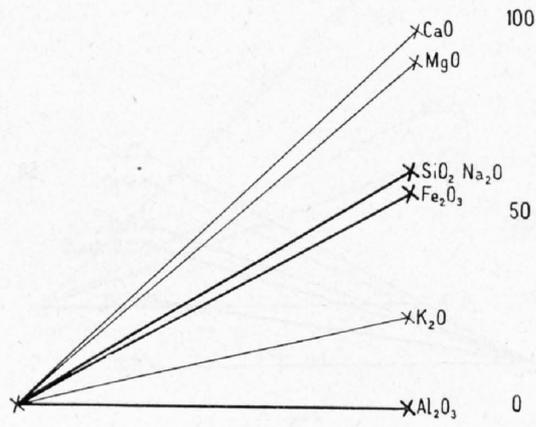


Fig. 24.

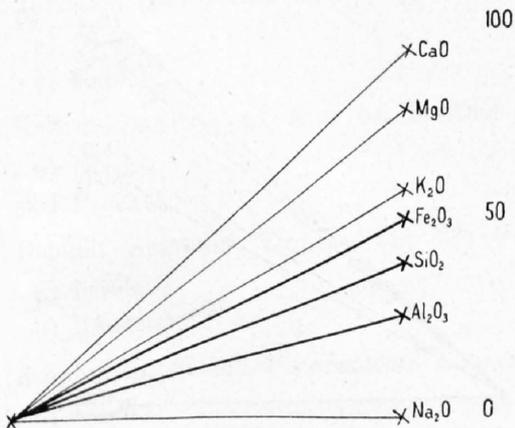


Fig. 23 ac.

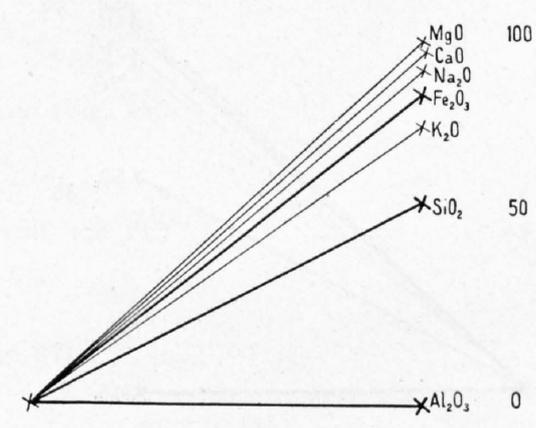
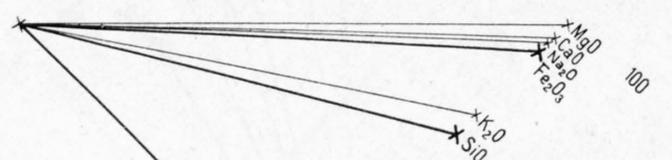
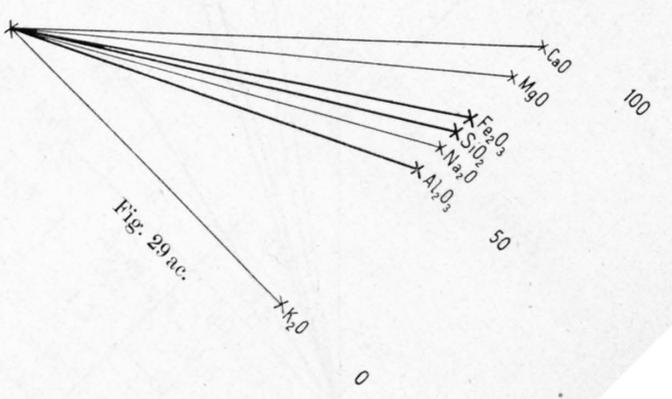
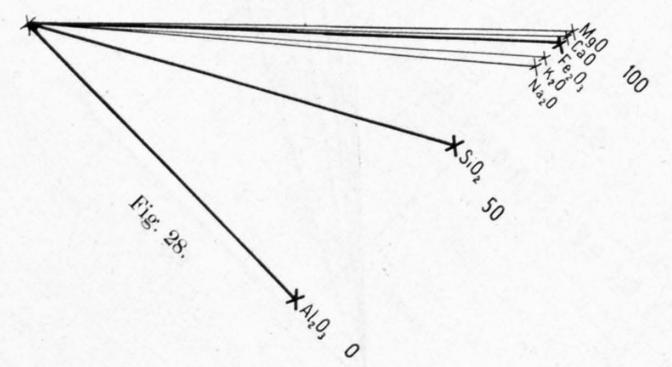
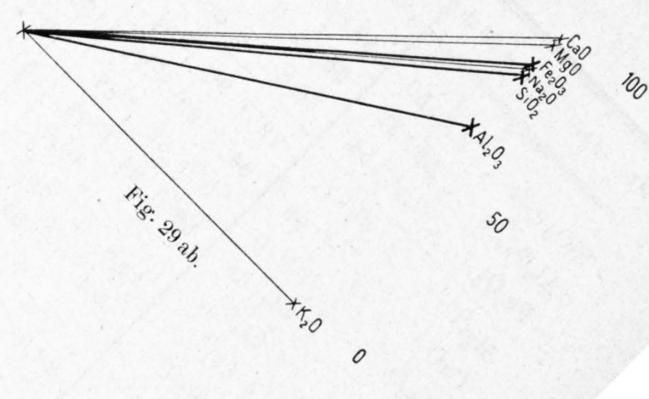
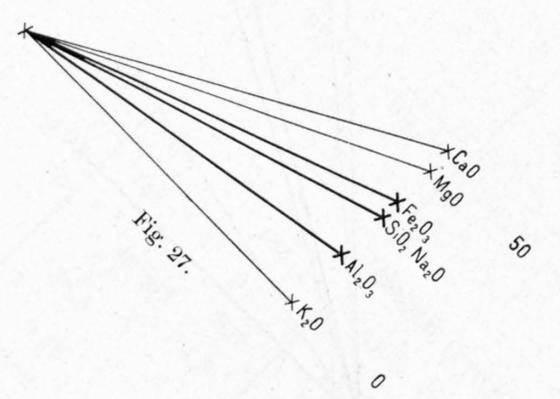
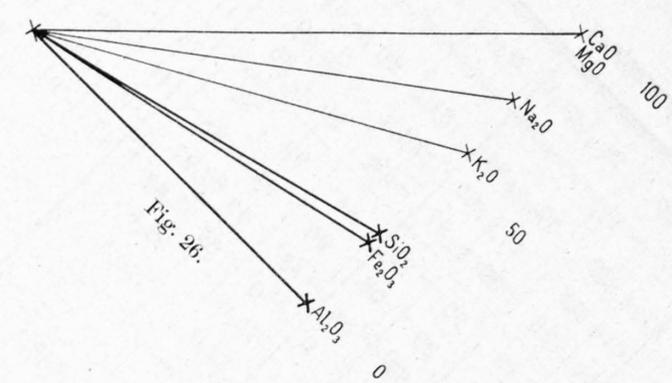


Fig. 25.



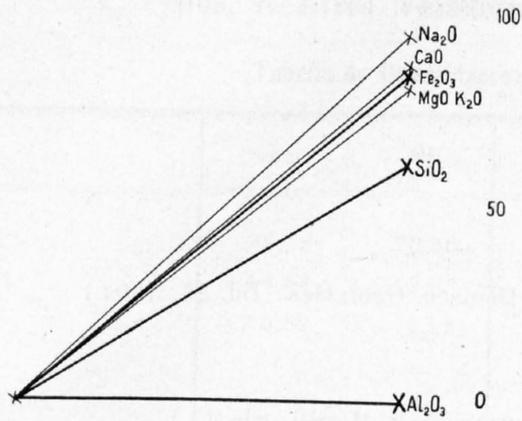


Fig. 31.

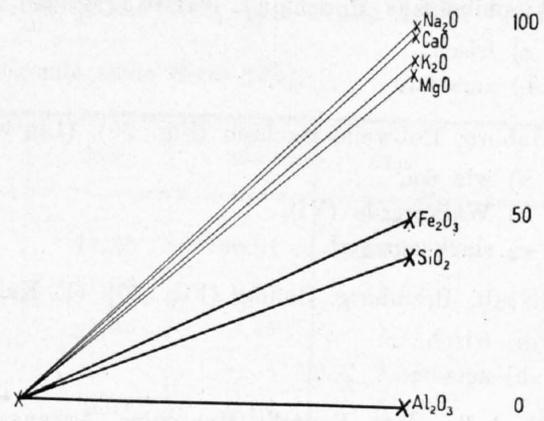


Fig. 33.

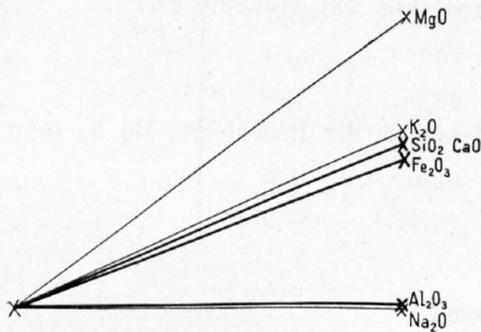


Fig. 32.

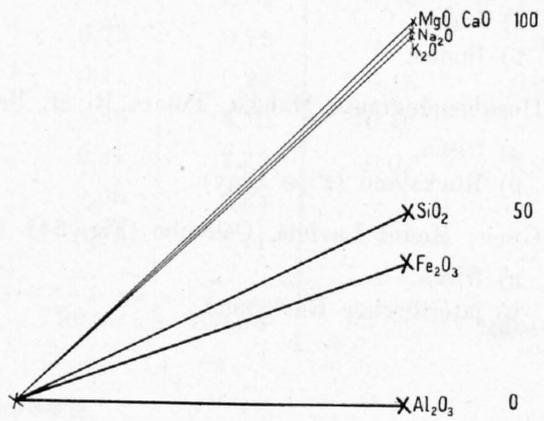


Fig. 34.

Legende.

23. Mergelmasse, Felsenau bei Bern (Fig. 23).

- a) frisch,
- b) Bröckel,
- c) Feinerde.

24. Kalkstein (Lias), Ellwangen (Fig. 24). (R. Lang, Fortschritte, 1922.)

- a) frisch,
- b) Gelberde.

25. Kalkstein (Argovien), Klus bei Balsthal (Solothurn) (Fig. 25).

- a) frisch,
- b) Bröckel.

26. Dolomit, Staunton, Virginia (Fig. 26). (G. P. Merrill, wie 11.)

- a) frisch,
- b) Rückstand.

27. Amphibolit, Schloß Unterwalden, Bellinzona (Fig. 27).

- a) frisch,
- b) Sandboden.

28. Amphibol aus Monchiquit, Namib (Fig. 28). (Z. Krist., Bd. 59, 1923.)
    - a) frisch,
    - b) zersetzt.
  29. Gabbro, Roßwein, Sachsen (Fig. 29). (Lit. wie 6.)
    - a) wie 6 a,
    - b) Walkererde (VI),
    - c) stark zersetzt.
  30. Basalt, Bramburg, Solling (Fig. 30). (E. Kaiser, Z. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 56, 1904.)
    - a) frisch,
    - b) zersetzt.
  31. Nephelinsyenit, Fourche Mountains, Arkansas (Fig. 31). (G. P. Merrill, wie 11.)
    - a) frisch,
    - b) kaolinartiger Rückstand.
  32. Talkschiefer, Albemarle County, Virginia (Fig. 32). (G. P. Merrill, wie 11.)
    - a) frisch,
    - b) Boden.
  33. Hornblendegranit, Mahdia, Potaro River, Britisch Guayana (Fig. 33). (Lit. wie 21.)
    - a) frisch,
    - b) Rückstand (Pipe Clay).
  34. Gneis, Mount Lavinia, Colombo (Fig. 34). (E. Blank, Handbuch der Bodenlehre, Bd. 3, 1930.)
    - a) frisch,
    - b) lateritischer Rückstand.
-

V. Typus. Relative Verarmung an Sesquioxyden (zu Seite 100).

Tabelle A. Gewichtsprozente (Legende siehe Seite 124).

Nr. . . . .	35a	35b	36a	36b	36c	37a	37b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	66,12	70,30	40,19	71,35	69,81	64,79	63,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	14,52	12,63	9,33	11,66	9,97	18,63	15,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,82	4,23	3,16	4,50	4,48	1,21	3,01
FeO . . . . .	—	—	—	—	—	2,36	—
MnO . . . . .	—	Sp.	0,01	0,01	0,01	0,08	0,04
MgO . . . . .	1,10	1,06	1,71	3,22	1,45	0,91	1,31
CaO . . . . .	1,62	1,85	21,48	0,18	1,06	2,07	1,39
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,21	1,63	0,71	0,20	0,91	4,21	4,23
K <sub>2</sub> O . . . . .	4,69	2,87	3,10	2,81	3,71	4,44	3,51
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,81	0,43	0,73	0,72	0,72	0,61	0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,31	0,23	Sp.	0,11	0,27	0,15	0,20
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	3,05	2,77	3,49	3,66	4,10	0,46	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,08	0,67	0,39	0,81	1,23	0,02	0,85
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	0,89	16,08	0,66	2,64	—	—
Org. . . . .	—	—	—	0,21	1,11	—	5,74
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,15	0,20	—	—	—	—	—
	100,58	99,76	100,38	99,90	100,36	99,94	100,42

Tabelle B. Molekularwerte.

<i>si</i> . . . . .	310	402	111	413	442	262	301
<i>al</i> . . . . .	40	42,5	15,5	40	37,5	44,5	43,5
<i>fm</i> . . . . .	28	27	13,5	47,5	35	18	20
<i>c</i> . . . . .	8	11	63,5	1	7	9	7
<i>alk</i> . . . . .	24	19,5	7,5	11,5	20,5	28,5	29,5
<i>k</i> . . . . .	0,59	0,54	0,77	0,90	0,72	0,40	0,35
<i>mg</i> . . . . .	0,27	0,32	0,52	0,59	0,39	0,31	0,45
<i>f</i> . . . . .	21,5	18,5	6,5	19,5	21	12,5	11
<i>m</i> . . . . .	7,5	8,5	7	28	14	5,5	9
<i>si/al</i> . . . . .	<b>7,8</b>	<b>9,5</b>	<b>7,2</b>	<b>10,4</b>	<b>11,9</b>	<b>5,9</b>	<b>7,0</b>
<i>m/c</i> . . . . .	0,93	0,81	0,11	25	1,9	0,62	1,3
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>15:1,9:1</b>	<b>22:2,3:1</b>	<b>17:2,3:1</b>	<b>21:2,0:1</b>	<b>21:1,8:1</b>	<b>22:3,7:1</b>	<b>28:4,0:1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	0,29	0,41	4,7	0,02	0,20	0,51	0,35
<i>ti</i> . . . . .	2,8	1,7	1,5	3,1	3,4	1,7	2,3
<i>p</i> . . . . .	0,62	0,34	—	0,27	0,72	0,2	0,3
<i>h</i> . . . . .	48	53	32	70,5	86,5	6,5	—
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	—	7	61	—	—	—	—

**Tabelle A (Fortsetzung).**

Nr. . . . .	38 a	38 b	39 a	39 b
SiO <sub>2</sub> . . . . .	57,35	62,86	70,85	77,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,67	11,96	11,70	8,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,31	5,24	2,97	3,34
FeO . . . . .	4,76	—	1,65	0,93
MnO . . . . .	0,18	—	—	—
MgO . . . . .	2,88	2,06	0,71	1,15
CaO . . . . .	5,77	0,88	1,78	1,13
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,17	1,58	3,37	1,48
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,64	2,66	5,15	3,15
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,64	1,08	0,26	0,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,31	0,08	0,10	0,11
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	0,66	11,60*	1,10*	2,20*
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	1,58	—	—	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,47	—	—	—
Org. . . . .	—	—	—	SO <sub>3</sub> 0,26
	100,39	100,00	99,64	99,75

\* Glühverlust.

**Tabelle B (Fortsetzung).**

<i>si</i> . . . . .	184	347	321	535
<i>al</i> . . . . .	30	38,5	34	33
<i>fm</i> . . . . .	35	38,5	23	35
<i>c</i> . . . . .	20	5	9	8,5
<i>alk</i> . . . . .	15	18	33	23,5
<i>k</i> . . . . .	0,35	0,53	0,49	0,59
<i>mg</i> . . . . .	0,39	0,44	0,23	0,35
<i>f</i> . . . . .	21	21,5	17,7	23
<i>m</i> . . . . .	14	17	5,3	12
<i>si/al</i> . . . . .	<b>6,2</b>	<b>9,0</b>	<b>9,5</b>	<b>16,1</b>
<i>m/c</i> . . . . .	0,70	3,2	6,0	1,4
<i>si:al:f</i> . . . . .	<b>8,8:1,4:1</b>	<b>16:1,8:1</b>	<b>18:1,9:1</b>	<b>23,5:1,5:1</b>
<i>c/fm</i> . . . . .	0,56	0,14	0,41	0,31
<i>ti</i> . . . . .	4,0	4,5	0,97	2,9
<i>p</i> . . . . .	0,42	0,19	0,66	0,32
<i>h</i> . . . . .	24	—	18	—
<i>co<sub>2</sub></i> . . . . .	2,0	—	—	—

Tabelle C. Verlustprocente.

Nr. . . . .	35	36 ab	36 ac	37	38	39
SiO <sub>2</sub> . . . . .	7	9	0	32	0	32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	24	34	39	42	30	57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	36	25	19	45	45	44
MgO . . . . .	15	0	51	0	35	0
CaO . . . . .	0	99	97	53	86	61
Na <sub>2</sub> O . . . . .	35	85	26	30	54	73
K <sub>2</sub> O . . . . .	46	52	31	45	8	62

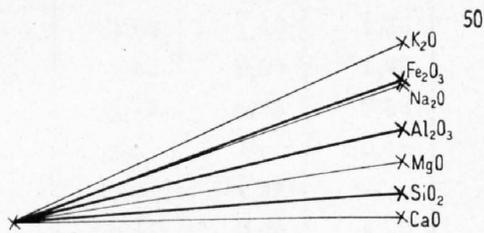


Fig. 35.

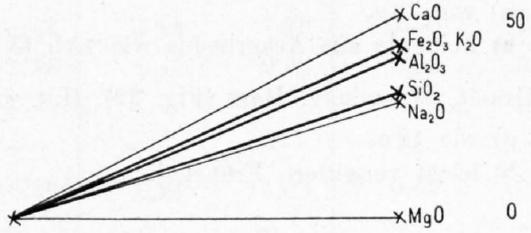


Fig. 37.

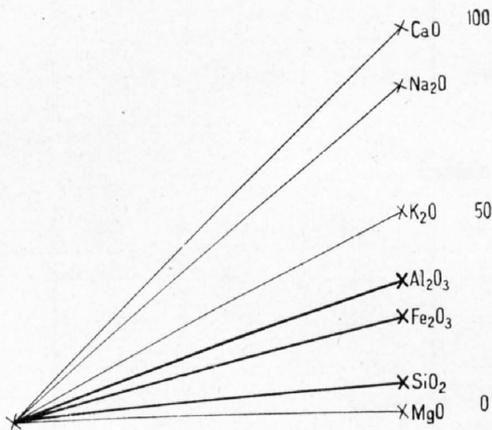


Fig. 36 ab.

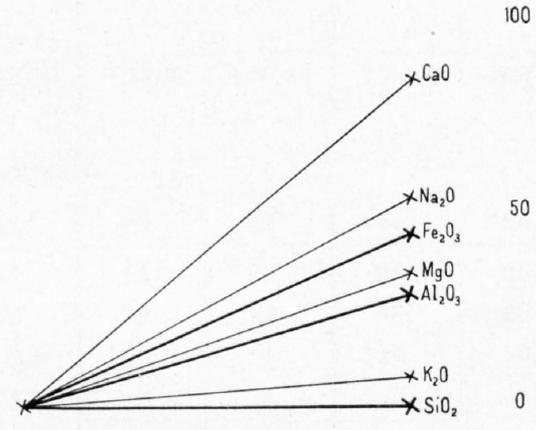


Fig. 38.

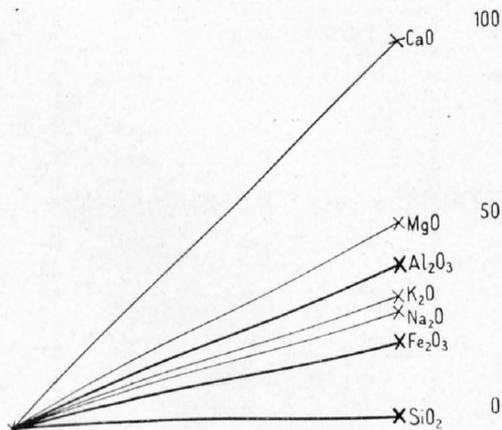


Fig. 36 ac.

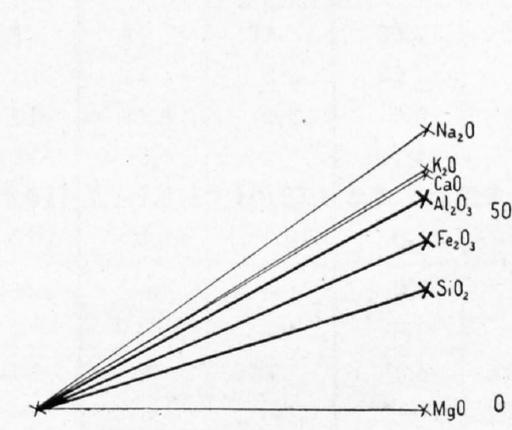


Fig. 39.

Legende.

35. Verrucano, Murg, Wallensee (Fig. 35).  
a) frisch,  
b) Boden.
36. Flyschmergel, Schwandegg, Niesen (Fig. 36).  
a) frisch,  
b) Bröckel,  
c) Feinerde.
37. Syenit, quarzführend, oberhalb Etzlihütte, Etlital (Fig. 37).  
a) frisch,  
b) stark zersetzt.
38. Melaphyr, Waldenburger Bergland, Schlesien (Fig. 38). (Lit. wie 5.)  
a) wie 13 a,  
b) Feinerde aus Ackerboden wie 13 b (XVII).
39. Granit, Wurmberg, Harz (Fig. 39). (Lit. wie 12.)  
a) wie 12 a,  
b) leicht verwittert, Frühstadium.
-



Tabelle C. Verlustprozepte.

Nr. . . . .	40 ab	40 ac	41	42	43
SiO <sub>2</sub> . . . . .	81	62	77	74	47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	70	41	44	68	36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	29	0	0	0	0
MgO . . . . .	0	31	87	99	99
CaO . . . . .	73	65	99	99	99
Na <sub>2</sub> O . . . . .	92	83	92	82	97
K <sub>2</sub> O . . . . .	68	54	92	77	59

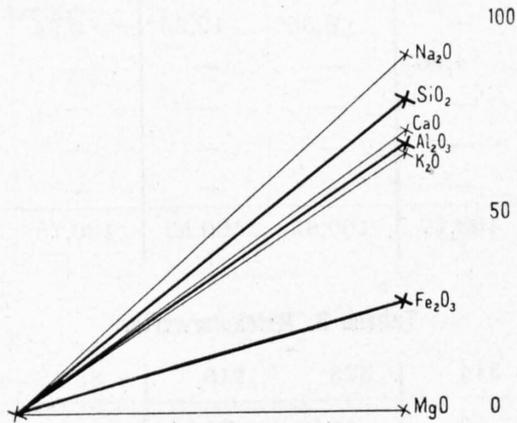


Fig. 40 ab.

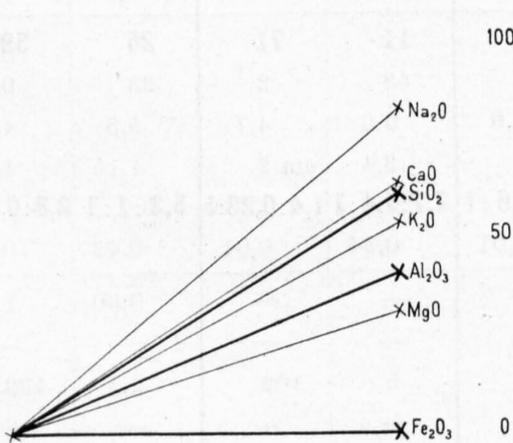


Fig. 40 ac.

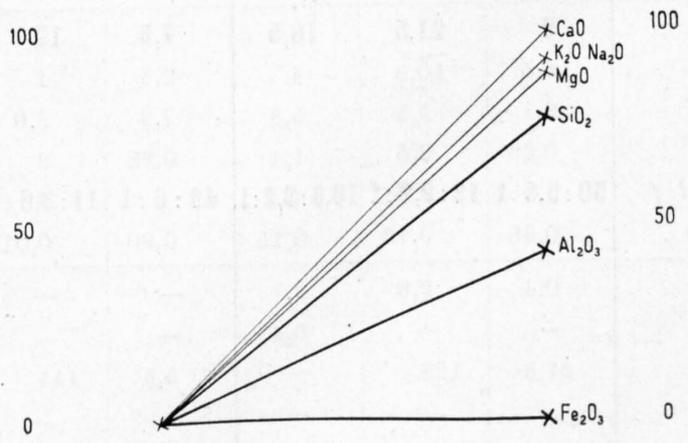


Fig. 41.

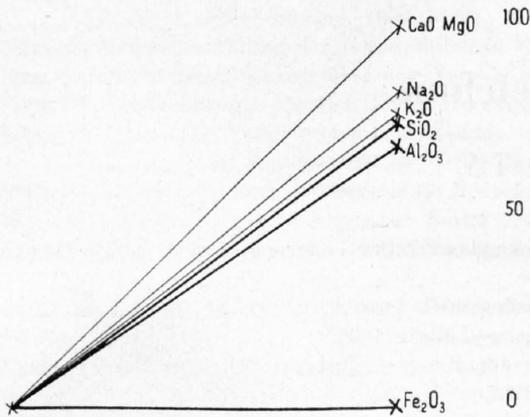


Fig. 42.

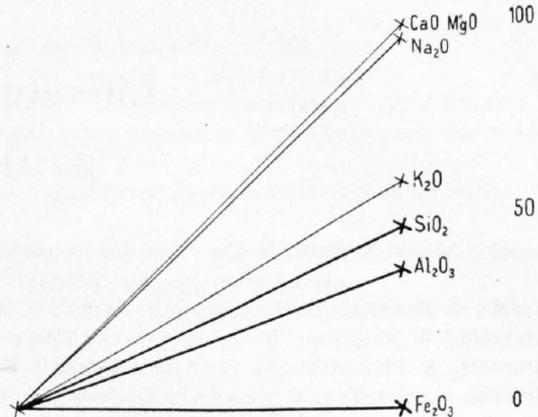


Fig. 43.

Legende.

- 40. Gneis, Comano bei Lugano (Fig. 40).
  - a) frisch,
  - b) Gelberde,
  - c) humoser Boden.
- 41. Granit, Greenville, Georgia (Fig. 41). (G. P. Merrill, wie 11.)
  - a) frisch,
  - b) zersetzt.
- 42. Olivindiabas, Chatham, Virginia (Fig. 42). (G. P. Merrill, wie 11.)
  - a) frisch
  - b) zersetzt.
- 43. Diabas, Omai Falls, Britisch Guayana (Fig. 43). (Lit. wie 21.)
  - a) frisch,
  - b) Laterit.

## Zusammenfassung.

Überblickt man die angeführten Analysenvergleiche, die nur Beispiele aus einer größeren Sammlung von analogen Daten darstellen, so wird deutlich, daß unter nahezu allen klimatischen Bedingungen alle möglichen Stoffverschiebungen auftreten können. Auch vom Ursprungsgestein ist der Charakter der Wanderungen wenig abhängig; vielleicht nur, daß typische Entkieselungen bei Karbonatgesteinen und basischen Eruptivgesteinen häufiger sind als bei Gneisen, Graniten, usw. Es ist daher höchst gefährlich, auf Grund eines Analysenvergleichs auf klimatische Sonderverhältnisse rückschließen zu wollen oder die Art des Verwitterungsproduktes (Ton, Allophan, Laterit, usw.) daraus abzuleiten. Der Zersetz und der Boden sind Lockerprodukte, in denen viele Wanderungen auftreten können, die in örtlicher Nachbarschaft verschieden verlaufen. Um wirklich die Verwitterung und Bodenbildung verstehen und ihrer Bedingtheit nach erklären zu können, müssen die Anfangsstadien und Einzelprozesse eingehender untersucht werden. Erst auf dieser einmal geschaffenen Grundlage wird der gewissermaßen interne Haushalt innerhalb des Zersatzes und Bodens mit all den möglichen Stoffwanderungen genauer beurteilt werden können. So ist auch die vorliegende Studie nur ein allererster Anfang zur Bereicherung der Kenntnisse über die Gesteinsverwitterung in der Schweiz.

## Literaturverzeichnis.

### Zu Abschnitt I A.

1. **Aarnio, B.**, und **Stremme, H.** Zur Frage der Bodenbildg. und Bodenklassifikation. — Mémoires sur la nomenclature et la classification des sols. Helsingfors 1924.
2. **Aarnio, B.** Braunerde in Fennoskandia. — Mitt. d. internat. Bodenkundl. Gesellsch. 1925, NF. Band I, S. 77.
3. **Arrhenius, O.** Kalkfrage, Bodenreaktion und Pflanzenwachstum. — Leipzig 1926.
4. **Atterberg, A.** Plastizität und Bindigkeit liefernde Bestandteile der Tone. — Internat. Mitt. für Bodenkunde, 1913.
5. **Behrend, F.**, und **Berg, G.** Chemische Geologie. — Stuttgart 1927.
6. **Blanck, E.** Die neue kolloidchemische Forschungsrichtung in der Bodenkunde in ihrer Beziehung zur Geologie. — Geol. Rundschau 1915, S. 405—414.
7. **Blanck, E.** Wie unsere Ackererde geworden. — Leipzig 1913.
8. **Blanck, E.**, und **Geilmann.** Chemische Untersuchungen über Verwitterungserscheinungen im Buntsandstein. — Tharand. Forstl. Jahrb. 1924.
9. **Blanck, E.** Handbuch der Bodenlehre. — Berlin 1929.
10. **Björlykke, K. O.** Typische Bodenprofile in Norwegen. — Act. de la IV<sup>e</sup> Conf. intern. d. Pedologie, 1924, S. 213—228.
11. **Brockmann-Jerosch, H.** Die Vegetation der Schweiz. — Beiträge zur geobotan. Landesaufnahme 12, 1925, „Der Boden“
12. **Burger, H.** Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. — Mitt. der schweiz. Zentralanstalt für das forstl. Versuchswesen, 1922, Bd. 8.
13. **Burger, H.** Podsolböden im Schweizerwald. — Schweiz. Zeitschr. für Forstwesen, 1926.
14. **Cornu, F.** Die heutige Verwitterungslehre im Lichte der Kolloidchemie. — Comptes Rend. de la prem. Conf. internat. agrégol., 1909.
15. **Dittrich, M.** Chemisch-geologische Untersuchungen über „Adsorptionserscheinungen“ bei zersetzten Gesteinen. — Mitt. d. großh. Bad. Geol. Landesanstalt, I.—IV. Bd., 3. H., 1901, II.—V. Bd., 1. H., 1905.
16. **Dittrich, Th.** Versuche über die Verwitterung von Gesteinen durch Einfluß der Atmosphäre. — Jahrb. deutsch. geol. Ges., 1899.
17. **Frosterus, B.** Beitrag zur Kenntnis der Bodenbildung in Tonen der humiden Gegenden. — Internat. Mitt. für Bodenk., 1913.
18. **Frosterus, B.** Zur Frage nach der Einteilung der Böden in Nordwest-Europas Moränenböden. — Geotechniska Meddelanden, Finnland, 1914.
19. **Gans, R.** Die Charakterisierung des Bodens nach der molekularen Zusammensetzung des durch Salzsäure zersetzlichen silikatischen Anteils des Bodens. — Internat. Mitt. für Bodenkunde, 1913, Bd. 3.
20. **Geßner, H.** Die Bedeutung der pH-Bestimmung in der Bodenkunde (Referat). — Kolloidzeitschr., 1926, H. 3, S. 209.
21. **Glinka, K. D.** Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geographische Vorbereitung. — Berlin 1917.
22. **Harrassowitz, H.** Laterit. — Fortschr. der Geol. und Paläont., 1926, Bd. IV, H. 14, S. 253.
23. **Harrassowitz, H.** Studien über mittel- und südeuropäische Verwitterung. — Geol. Rundschau, Beilageband 1926, S. 122—210.
24. **Hazard, J.** Chemisch-physikal. Untersuchungen über die Bildung der Ackererde durch Verwitterung. — Landwirt. Vers.-Stat. 1879/80.
25. **Heim, Alb.** Über die Verwitterung im Hochgebirge. — Basel 1879.
26. **Hilgard, E. W.** Die Böden der ariden und humiden Länder. — Int. Mitt. für Bodenk., 1912, S. 240.
27. **Hornberger.** Ein Beitrag zur Kenntnis der Zusammensetzung der Buntsandsteinböden. — Zeitschr. für Forst- und Jagdwesen, 1908.
28. **Jenny, H.** Reaktionsstudien an schweizerischen Böden. — Landw. Jahrb. der Schweiz, 1925.
29. **Jenny, H.** Bemerkungen zur Bodentypenkarte der Schweiz. — Landw. Jahrb. der Schweiz, 1928, S. 379.
30. **Jenny, H.** Relation of climatic factors of the amount of nitrogen in soil. — Journ. of the American Society of Agronomy, 1928, vol. 20, No. 9.
31. **Jenny, H.** Relation of temperature to the amount of nitrogen in soil. — Soil science, 1929, vol. XXVII, No. 3.
32. **Kappen, H.** Bodenazidiät. — Berlin 1929.
33. **Klander, F.** Über die im Buntsandstein wandernden Verwitterungslösungen. — Chemie der Erde, 1925.
34. **Lang, R.** Versuch einer exakten Klassifikation von Böden. — Internat. Mitt. für Bodenk., 1915.
35. **Lang, R.** Über Bildung von Bodentypen. — Geol. Rundschau, 1920, S. 242—263.
36. **Lang, R.** Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde. — Stuttgart 1920.
37. **Lang, R.** Die Verwitterung. — Fortschr. der Min., Krist. und Petr., 1922, 7. Bd., S. 175—244.
38. **Meyer, A.** Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. — Chemie der Erde, 1926, S. 208—347.
39. **Merrill, G. P.** A Treatise on Rocks, Rock-Weathering and Soil. — London 1904.

40. **Milch, L.** Über die Beziehungen der Böden zu ihren Muttergesteinen. — Mitt. der Landw. Institute der königl. Univ. Breslau, 1906, 3. Bd., H. 5.
41. **Milch, L.** Zusammensetzung der festen Erdrinde als Grundlage der Bodenkunde. — 1926.
42. **Nies, F.** Aphoristische Studien über den Verwitterungsprozeß der Gesteine. — Stuttgart 1875.
43. **Niklas, H.** Untersuchungen über den Einfluß von Humusstoffen auf die Verwitterung der Silikate. — Diss. München 1912.
44. **Niklas, H.** Chemische Verwitterung der Silikate und der Gesteine mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Humusstoffe. — Berlin 1912.
45. **Niklas, H.** Bedeutung der Kolloidchemie für Bodenkunde, Geologie und Mineralogie. — Internat. Mitt. für Bodenk., 1913.
46. **Niggli, P.** Lehrbuch der Mineralogie. — Berlin 1920.
47. **Niggli, P.** Die chemische Gesteinsverwitterung in der Schweiz. — Schweiz. min. petr. Mitt., 1925, Bd. V, H. 2, S. 322—347.
48. **Ohly, Chr.** Die klimatischen Bodenzonen und ihre charakteristischen Bodenbildungen. — Internat. Mitt. für Bodenk., 1912.
49. **Ramann, E.** Bodenkunde. — Berlin 1911 (3. Auflage).
50. **Ramann, E.** Bodenbildung und Bodeneinteilung. — Berlin 1918.
51. **Ramann, E.** Kohlensäure und Hydrolyse bei der Verwitterung. — Centralbl. für Min., 1921, S. 233—241 u. S. 266—272.
52. **Rohland, P.** Kolloidstoffe in den Tonen und Böden. — Intern. Mitt. für Bodenk., 1913.
53. **Rother, G.** Über die Bewegung des Kalkes, des Eisens, der Tonerde und der Phosphorsäure und die Bildung des Toneisenortsteins im Sandboden. — Diss. Berlin 1912.
54. **Stocklasa, J., und Doerell, E.** Handbuch der biophysikalischen und biochem. Durchforschung des Bodens. — Berlin 1926.
55. **Stocklasa, J.** Ein Beitrag zur Kenntnis der Fruchtbarkeit des Bodens. — Agrikulturchem. Rundschau, 1926.
56. **Stremme, H.** Zur Kenntnis der Bodentypen. — Geol. Rundschau, 1916, S. 330—344.
57. **Stremme, H.** Über einige Systeme der natürl. Bodeneinteilung usw. — Act. de la VI<sup>ème</sup> Conf. internat. d. Ped., 1924.
58. **Stremme, H.** Die Verbreitung der Bodentypen in Deutschld. — Mémoires sur la nomenclature et la classification des sols. S. 1. Helsingfors 1924.
59. **Stremme, H.** Grundzüge der praktischen Bodenkunde. — Berlin 1926.
60. **Stremme, H.** Arbeiten des Min.-geol. Institutes der Techn. Hochschule Danzig auf dem Gebiete der Bodenkartierung. Rektoratsrede 1928.
61. **Treitz, P.** Was ist Verwitterung? — Comptes Rend. de la première Conf. intern. agrogéol., 1909.
62. **Wiegner, G.** Kolloidchemie und Agrikulturchemie. — Fühlings Landwirtschaftl. Ztg., 1913.
63. **Wiegner, G.** Wasserbindung im Boden. — Kolloidzeitschr., 1924, Bd. XXXV.
64. **Wiegner, G.** Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung. — Dresden und Leipzig 1924.
65. **Wiegner, G.** Neuere Bodenuntersuchungen in der Schweiz. — Schweiz. Landw. Monatshefte, 1927, H. 8 u. f.
66. **Wiegner, G.** Dispersität und Basenaustausch. — Zsygmond-Festschr. 1925. Kolloidzeitschr., XXXVI, S. 342—369.
67. **Zapi, L.** Über Tiefenverwitterungserscheinungen im mittlern Buntsandstein des Rheinhardswaldes. — Diss. Göttingen 1926.

### Zu Abschnitt IB.

68. **Behrens-Kley.** Mikrochemische Analyse, II. Teil. Tabellen zur systemat. Bestimmung der Mineralien mittels Mikrochemie und physikal. Konstanten. — Leipzig 1915.
69. **Burt, F.** Soil Mineralogy. — New York 1927.
70. **Cayeux, L.** Introduction à l'étude petrogr. d. roches sédimentaires. Atlas und Text. — Paris 1916.
71. **Holmes, A.** Petrographic Methods and Calculations. — London 1920.
72. **Jakob, J.** Anleitung zur chem. Gesteinsanalyse — Sammlg. naturw. Praktika, 1928, Bd. 15.
73. **Kopecky, J.** Die Bodenuntersuchung zum Zwecke der Drainagearbeiten, mit besonderer Berücksichtigung der Ausführung mechan. Analysen. — Prag 1901.
74. **Kreutz, S., Jureck, M.** Der Staubfall in Süd-Polen von Ende April 1928. — Poln. Geol. Ges., 1928, V. Folge.
75. **Larsen, E. S.** The Microscopic Determination of the nonopaque Minerals. — U. S. Geol. Surv. Bull. 679. Washington D. C. 1921.
76. **Linck, G.** Über den Chemismus der tonigen Sedimente. — Geol. Rundschau, 1913, IV. Bd.
77. **Maurer, Billwiler, Heß.** Das Klima der Schweiz, 2 Bde. — Frauenfeld 1909.
78. **Milner, H. B.** Supplement to an Introduction to Sedimentary Petrography. — London, Murby, 1926, I and II.
79. **Milner, H. B.** Sedimentary Petrography. — London, Murby, 1929.
80. **Niggli, P.** Tabellen zur allg. und speziellen Mineralogie. — Berlin 1927.
81. **Niggli, P.** Gesteins- und Mineralprovinzen. — Berlin 1923. (S. 51.)
82. **Rosenbusch, H.** Mikroskopische Physiographie der petrogr. wichtigen Mineralien. 1. und 2. Teil von O. Mügge. — V. Aufl., Stuttgart 1927.
83. **Stremme, H.** Verwendung der Bauschalanalysen klastischer Gesteine zu geolog. Vergleichen. — Abhandlung der Naturf. Ges. zu Danzig, 1924.
84. **Wahnschaffe, F., Schucht, F.,** Anleitung zur wissenschaftl. Bodenuntersuchung. — Berlin 1924.
85. **Wiegner, G.** Anleitung zum quantitativen agrikulturchem. Praktikum. — Sammlg. naturwissenschaftl. Praktika 1926, Bd. 12.

86. **Wiegner, G.** Über eine neue Methode der Schlämmanalyse. — Landw. Vers.-Stat. 91, 1918.  
87. **Wiegner, G.** Über den Einfluß der verschiedenen Vorbehandlungsmethoden auf den mit Hilfe des Schlämmapparates von Wiegner und Geßner ermittelten Dispersitätsgrad von Bodensuspensionen. — Internat. Konf. für Bodenkunde, 1925.

## Zu Abschnitt II.

89. **Ange!, F.** Dolomitsandsteine des Grazer Paläozoikums. — Mitt. des Natw.-Vereins für Steiermark, 1929, Bd. 64/65.  
90. **Blanck, E.** Über die petrograph. Verhältnisse der Buntsandsteinformation Deutschlands. — Jahreshefte des Vereins für Naturkunde in Württ., 1910.  
91. **Blanck, E.** Über die chem. Zusammensetzung des nach der Schlämmethode von Atterberg erhaltenen Tons. — Mitt. Landw. Vers.-Stat., 91.  
92. **Bräuhäuser, M.** Über Vorkommen von Phosphorsäure im Buntsandstein und Wellengebirge des östl. Schwarzwaldes. — Mitt. des Württ. statist. Landesamtes, 1907.  
93. **Burri, C. R.** Sedimentpetrograph. Untersuchungen an alpinen Flußsanden. I. Die Sande des Tessins. — Schweiz. mineral. petr. Mitt., 1929, Bd. IX.  
94. **Erni, A.** In „Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz.“ — Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie, 1915, Lief. V.  
95. **Fajans, K.** Zeitschrift für praktische Chemie, 1921, 97.  
96. **Geßner, H., und Siegrist, R.** Bodenbildung und Besiedelung der Pflanzengesellschaften auf den Aareterrassen. — Mitt. der Aarg. Naturf. Ges. 1925, H. 17.  
97. **Geßner, H., und Siegrist, R.** Über die Auen des Tessinflusses. — Studie über die Zusammenhänge der Bodenbildung und Sukzession der Pflanzenges., S. 127. — Schröter-Festschr. 1925.  
98. **Gotting, A.** Versuch einer Gliederung der wichtigsten bayrischen Böden auf Grund der petrograph.-geol. Beschaffenheit des Bodenskelettes. — Diss. München 1923.  
99. **Häntzschel, W.** Pyritkonkretionen in Turon-Quader des Elbsandsteingebirges und ihre Bedeutung für die chem. Verwitterung. — Mitt. aus dem Museum für min.-geol. Vorgeschichte zu Dresden, 1929, N. F. Nr. 10.  
100. **Heim, Alb.** Geologie der Schweiz. — Leipzig 1919.  
101. **Heim, Arnold.** Monographie der Churfürsten. — Beiträge zur geol. Karte der Schweiz., 1910—17, N. F. XX. Lieferung.  
102. **Jenny, H.** Die alpinen Böden, Vegetationsentwicklung und Bodenbildung. — Denkschr. der Schweiz. Nat. Ges., 1926, Bd. XIII, Abt. 2.  
103. **Jenny, H.** Kationen- und Anionenumtausch an Permutitgrenzflächen. — Kolloidchem. Beihefte, 1926, Bd. XXIII, H. 11—12, S. 462.  
104. **Klemm, G.** Mikroskopische Untersuchungen psammitischer Gesteine. — Zeitschr. der Deutsch. Geol. Ges., 1882, Bd. XXXIV.  
105. **Linck, G.** Petrochemie der Sedimente. — Handwörterb. d. Naturw. VII, S. 666.  
106. **Linck, G.** Über den Chemismus der tonigen Sedimente. — Geol. Rundschau, 1913, IV. Bd., S. 289—310.  
107. **Mühlberg, F., Niggli, P.** Erläuterungen zur geol. Karte des Gebietes Roggen-Born-Boowald 1:25,000. — 1913.  
108. **Niggli, P.** Auszüge. — Zeitschr. f. Krist., Bd. LVII, S. 434.  
109. **Niklas, H., Goetting, A.** Beurteilung der wichtigsten Bodenarten auf Grund mehrerer Untersuchungen hinsichtlich ihrer petrogr. geol. Beschaffenheit. — Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Düngung, 1926, S. 265.  
110. **Niklas, H., Goetting, A.** Beiträge zu Studien über Lößlehme und zur Bodendiagnostik. — Landw. Jahrbücher, 1926, Bd. 63, S. 477.  
111. **Salomon, W.** Die Definition von Grauwacke, Arkose und Ton. — Geol. Rundschau, 1915.  
112. **Schaffer, F. X.** Begriff und Einteilung der Absatzgesteine. — Geol. Rundschau, 1915.  
113. **Schillbach, H.** Mikroskopische Untersuchungen des Schaumkalkes bei Jena. — Diss. Jena 1890.  
114. **Stremme, H.** Eisenoxydbildung in Sedimentgesteinen. — Zeitschr. f. prakt. Geol., 1910.  
115. **Stremme, H.** Die roten und grünen Farben einiger toniger und tonartiger Sedimente. — Neues Jahrb. für Min., Beil. Bd. LVII, Abt. A, 1928, S. 895—920.  
116. **Stöckli, Al.** Studien über den Einfluß des Regenwurms auf die Beschaffenheit des Bodens. — Landw. Jahrb. d. Schweiz, 1928, S. 5—121.  
117. **Terlikowsky, F., Kwinichidze, W., und Michniewski, St.** Die Einwirkung der einzelnen podsoligen auf dem Geschiebelehm sich bildenden Bodenhorizonte auf die Pflanzenentwicklung. — Ref. Biedermanns Zentrabl., 1917, S. 500.  
118. **Vilensky, D.** Die Einteilung der Böden auf Grund analoger Reihen in der Bodenbildung. — Mitt. d. Int. Bodenkundl. Ges., 1925, N. F. Bd. I, S. 242.  
119. **Walther, K.** Petrographische Untersuchungen einiger kataklastischer Gesteine aus dem Paläozoikum d. rhein. Schiefergebirges. — Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., 1907.  
120. **Walther, K.** Zur Definition der Begriffe Grauwacke, Arkose, Ton und Tonschiefer. — Geol. Rundschau, 1917.  
121. **Wetzel, W.** Sedimentpetrographische Studien. — Neues Jahrb., 1923.  
122. **Wolff und Wagner, R.** Grobsandiger Liaskalk von Ellwangen und seine Verwitterungsprodukte. — Jahresh. f. Vaterl. Naturk., 1871.

### Zu Abschnitt III.

123. **Alaschewsky, G.** Über Verwitterungserscheinungen d. Waldenburger Berglandes. — Schles. Jahrb. f. Geistes- u. Naturwissenschaft, 1923.
124. **Van Bemmelen, J. M.** Beitrag zur Kenntnis der Verwitterungsprodukte der Silikate in Ton-, vulkanischen und Lateritböden. — Z. f. anorgan. Chem., 1904, S. 265.
125. **Bissing, L.** Über Verwitterungsvorgänge bei krist. und Sedimentgesteinen. — Diss. Erlangen 1894.
126. **Blanck, E., u. Petersen, H.** Über Verwitterung des Granits am Wurmberge bei Braunlage im Harz. — Journ. f. Landw. Berlin 1924.
127. **Doelter, C.** Handbuch der Mineralchemie (Bd. II, 3. Teil, 1919).
128. **Dreibrodt, O.** Beitrag zur Kenntnis des diopsidführenden Brockengranits und zur Baueritisierung. — Diss. Leipzig 1912.
129. **Fouqué, F. M.** Sur un mica foncé à axes écartés du Mont-Dore: Modifications qu'il éprouve sous l'action de l'acide, chlorhydrique bouillant — Bull. Soc. Min. Fr. 1892, 15, S. 196.
130. **Friedlaender, C.** Erzvorkommnisse im Bündner Oberland und ihre Begleitgesteine. — Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie, Lief. XVI, Heft 1.
131. **Gans, R.** Kann man die Düngbedürftigkeit des Ackerbodens auf Grund des HCl-Auszuges erkennen? — Mitt. aus d. Labor. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, 1920, Nr. 1.
132. **Gans, R.** Die klimatischen Bodenbildungen der Tonerdesilikatgesteine. — Mitt. a. d. Labor. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, 1922, Heft 4.
133. **Glinka, K. D.** Untersuchungen im Gebiete der Verwitterungsprozesse. — Travaux de la Soc. des Nat. de Pétersbourg. 1906, S. 24. Ref. Z. f. Krist., 1909, S. 283.
134. **Grandjean, F.** Zweite Mittlg. über den neugebildeten Feldspat nicht metamorpher Sedimente. — Z. f. Krist., 1913, Bd. 52, S. 188.
135. **Grandjean, F.** Der neugebildete Feldspat in sedimentären, nicht metamorph. Gesteinen. — Bull. soc. franç. Min. 1909, 32, S. 103.
136. **Grandjean, F.** Opt. Eigenschaft und Entstehung des neugebildeten Feldspats der Sedimente im Pariserbecken. — Compte Rend. Paris, 1909, S. 148.
137. **Grubenmann, U., und Niggli, P.** Die Gesteinsmetamorphose, I. — Berlin 1924.
138. **Van Hise, R. Ch.** Enlargements of Hornblende Fragments — Americ. Journ. of Sc. (3), 1885, XXX, S. 231.
139. **Van Hise, R. Ch.** Treatise on Metamorphisme. — Monogr. of the U. S. Geol. Surv. 47, S. 1286. Washington 1904.
140. **Johnstone, H.** Die Einwirkung von reinem und von kohlenstoffhaltigem Wasser auf Glimmerminerale. — Quart. Journ. Geol. Soc., 1889, 45, S. 363.
141. **Van der Leeden, R.** Über das Verhalten einiger durch Verwitterung entstandener Tonerde-Kieselsäure-Mineralien. — Centralbl. f. Min. usw., 1911, S. 139—173.
142. **Zu Leiningen, W.** Über Humusablagerungen in den Kalkalpen. — Natw. Ztschr. f. Forst- u. Landw., 1909, S. 8, 160, 249.
143. **Zu Leiningen, W.** Über das Vorkommen von Bleichsand und Ortstein in den Zentralalpen. — Centralbl. f. d. ges. Forstwesen, 1911, S. 168.
144. **Zu Leiningen, W.** Humusablagerungen im Gebiete der Zentralalpen. — Natw. Ztschr. f. Forst- u. Landw., 1912, Bd. 10, S. 465, 483, 513, 589.
145. **Lotz, H.** Die Verwitterung einiger gesteinsbildender Mineralien unter dem Einfluß von schwefliger Säure. — Ber. d. oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilkunde 1910/11, N. F. Natw. Abt. 4 (Diss. Gießen 1912), S. 70—108.
146. **Milch, L., Alaschewsky, G.** Über Verwitterungsvorgänge an Melaphyren des Waldenburger Berglandes (Schlesien). — Tscherm. Min. u. petr. Mitt., 1925.
147. **Milch, L.** Die Umwandlung der Gesteine. — Aus Salomon: Grundzüge d. Geol., S. 267—327.
148. **Mügge, O.** Weiterwachsen von Orthoklos in den Ackerböden. — Centralbl. f. Min. usw., 1917, S. 121.
149. **Niklas H., und Götting, A.** Beitrag zu Urgesteinsverwitterungsböden usw. — Landw. Jahrb. f. Bayern, 1925.
150. **de Quervain, F.** Zur Petrographie und Geologie der Taveyannazgesteine. — Schweiz. mineral. petr. Mitt., 1928, Bd. VIII.
151. **Rinne, F.** Baueritisierung, ein kristallographischer Abbau dunkler Glimmer. — Ber. math.-phys. Kl. Ges. d. Wiss. Leipzig, 1911, 63, S. 441—445.
152. **Rinne, F.** Kristallograph.-chemischer Ab- und Umbau, insbesondere von Zeolithen. — Fortschr. d. Min., Krist. u. Petr., 1913, S. 159—183.
153. **Schmidt, W. B.** Untersuchungen über die Einwirkung der schwefl. Säure auf Mineralien und Gesteine. — Tscherm. Min. u. petr. Mitt., 1881, S. 1—42.
154. **Stremme, H.** Über Fällungen der gemengten Gele von Tonerde und Kieselsäure und deren Beziehungen zu Allophan, Hallolysit und Montmorillonit. — Centralbl. f. Min. usw., 1908, S. 622, 661.
155. **Stremme, H.** Über Feldspatrestite u. Allophanone. — Ztschr. d. Deutsch. geol. Ges., 1910, Monatsberichte Nr. 2, S. 122.
156. **Tschermak, L.** Alpenhumus. Das Gesetz seiner Bildung. — Zentralbl. für das gesamte Forstwesen, 1921, H. 3/4, S. 66.
157. **Wache, Rob.** Beitrag zur Bestimmung und Bewertung der Kolloide im Boden. — Mitt. aus dem Lab. der Preuß. geol. Landesanstalt, 1921, Heft 2.
158. **Weber, Fr.** Über den Kalisyenit des Piz Giuf und Umgebung (östl. Aarmassiv) und seine Ganggefolgschaft. — Beiträge zur geol. Karte der Schweiz, 1904, N. F. Lief. XIV.
159. **Zschimmer, E.** Die Verwitterungsprodukte des Magnesiaglimmers und deren Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung und opt. Axenwinkel der Glimmer. — Diss. Jena 1898

### Zu Abschnitt V.

160. **van Baren, J.** Vergleichende mikroskopische, physikalische und chemische Untersuchungen von einem Kalkstein- und einem Lößbodenprofil aus den Niederlanden. — Mitt. Geol. Inst. d. Landbouwhoogeschool Wageningen (Holland), 1930, Nr. 16.
  161. **Blanck E.,** und **Petersen.** Über Verwitterung des Granits am Wurmberge (Harz). — Journ. f. Landw., 1924/25.
  162. **Brokaw, A. D.,** und **Smith, P. L.** Zonal Weathering of a Hornblende Gabbro. — Journ. of Geology, 1916, Bd. 24.
  163. **Dittrich, M.** Chemisch-geologische Untersuchungen über Absorptionserscheinungen bei zersetzten Gesteinen. — Zeitschr. anorg. Ch., 1915, Bd. 47.
  164. **Endell, K.** Über die chemische und mineralogische Veränderung basischer Eruptivgesteine bei der Zersetzung unter Mooren. — Neues Jahrb. Min. Geol., 1911, Beil.-Bd. 31.
  165. **Kaiser, E.** Der Basalt vom Bramberg am Solling. — Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., 1904, Bd. 56.
  166. **Kaiser, E.** Kaolinisierung und Verkieselung als Verwitterungsvorgänge in der Namibwüste Südafrikas. — Zeitschr. Krist., 1923, Bd. 59.
  167. **Harrassowitz, H.** Böden der tropischen Regionen, in E. Blanck: Handbuch der Bodenlehre.
  168. **Harrison, J. B.** Geol. Mag., 1910, Bd. VII.
  169. **Lemberg.** Zur Kenntnis der Bildung und Umwandlung von Silikaten. — Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., 1883, Bd. 35.
  170. **Merill, G. P.** Rocks, Rock-Weathering and Soil. — New-York 1906.
  171. **Rühle, G.** Über Verwitterung von Gneis. — Diss. Freiburg 1911.
  172. **Sachse, R.,** und **Becker A.** Die Walkerde von Roßwein in Sachsen. — Landw. Versuchsstation, 1892, Bd. 40.
  173. **Stremme, H.** Die Steppenschwarzerde, in E. Blanck: Handbuch der Bodenlehre, 1930, Bd. 3.
-

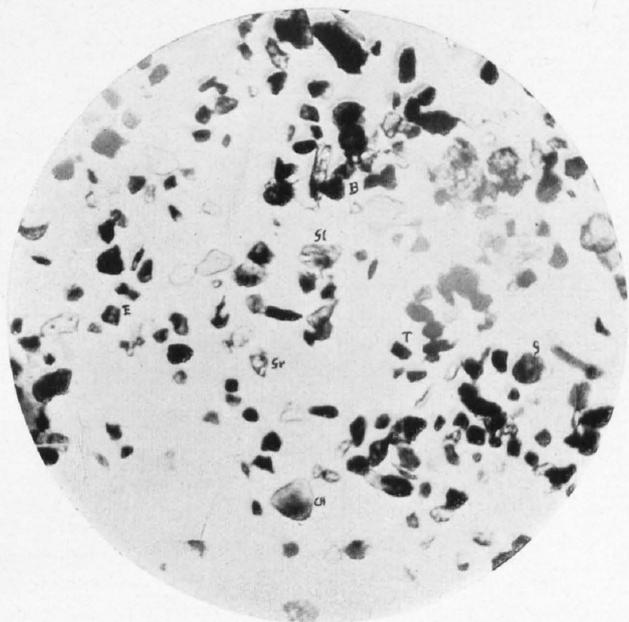


Fig. 1. Hochterrassenschotter Murgental. Lockerpräparat des magnetischen Anteils der III. Fraktion des verwitterten Sandes. Erkennbar sind vorwiegend Epidot (E), Chlorit (CH), Glaukonit (G), Glaukophan (Gl), Biotit (B), Granat (Gr), Turmalin (T) und Muskovit. Vergr. 40fach.

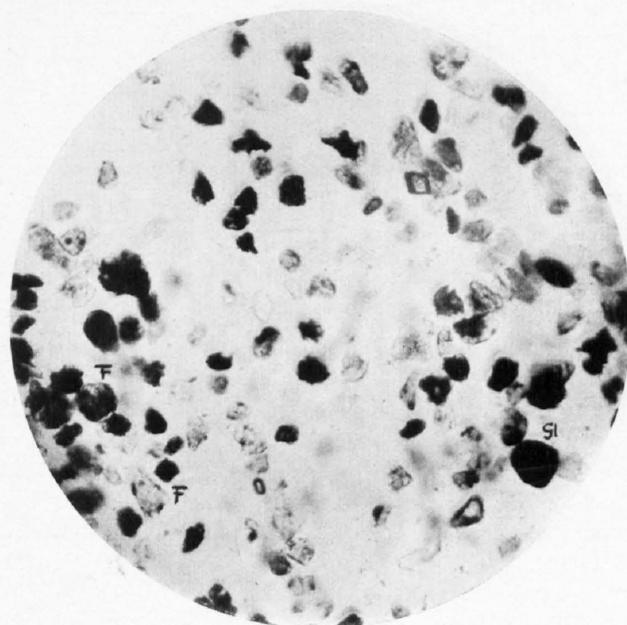


Fig. 2. Molassesandstein, Wangen a./A. Lockerpräparat der III. Fraktion des Bodens in welchem von nur schwach getrübttem Feldspat (F) bis zum vollkommen getrübtten alle Übergänge zu finden sind. Teilweise sind aber die dunkelbraunschwarzen Zersetzungsprodukte aus Glimmer (Gl) und andern dunkeln Mineralien hervorgegangen. Vergr. 40fach.

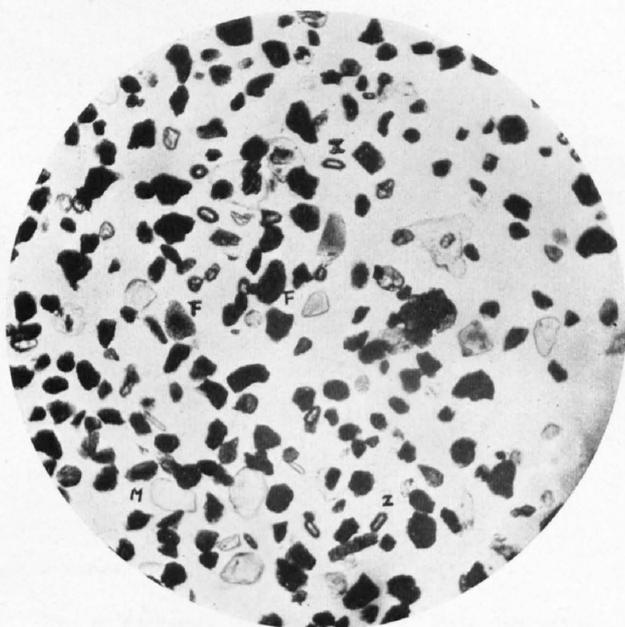


Fig. 3. Molassesandstein, Wangen a./A. Lockerpräparat der III. Fraktion (unmagnetischer Anteil) des Bodens mit reichlich Zirkon (Z) zersetztem Feldspat (F) und Muskovit (M). Vergr. 40fach.

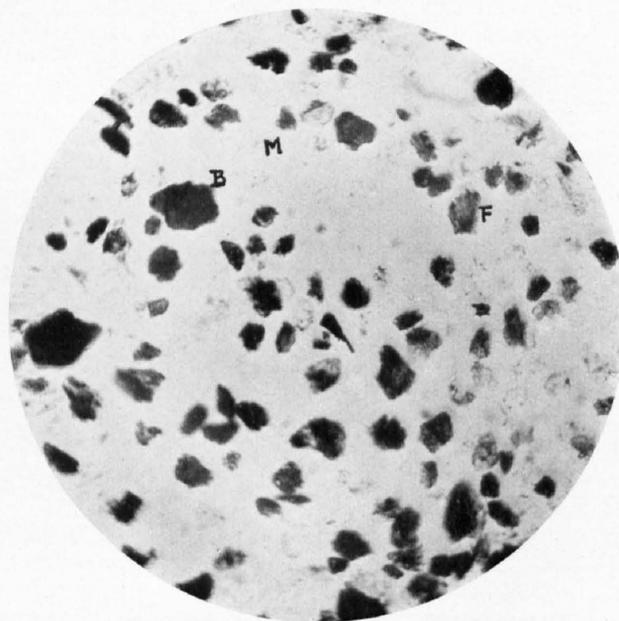


Fig. 4. Diorit, Etlital. Lockerpräparat der III. Fraktion der Bröckelprobe. Die Mineralien sind mit Ausnahme von Quarz und Muskovit stark zersetzt. Der Feldspat (F) ist grau getrübt, der Biotit (B) vollkommen gebräunt. Vergr. 40fach.

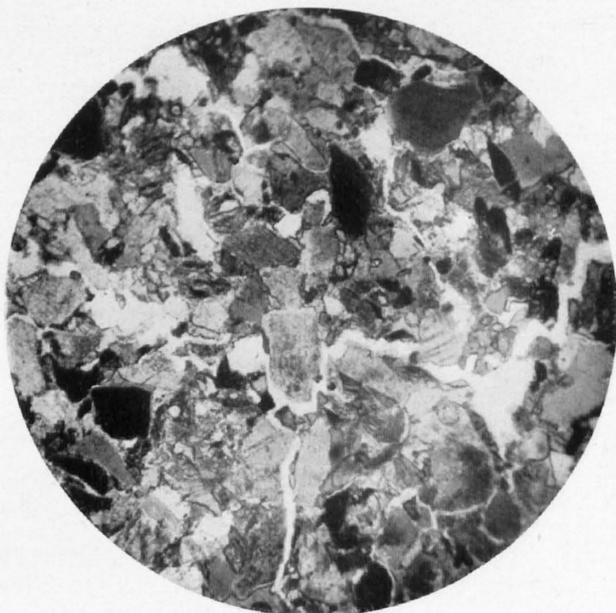


Fig. 1. Molassesandstein, Gränichen. Brauner, etwas verwitterter Sandstein mit schon stark gelockertem Gefüge. Kalzit ist zum Teil ausgewaschen, Feldspat stark getrübt. Vergr. 60fach.

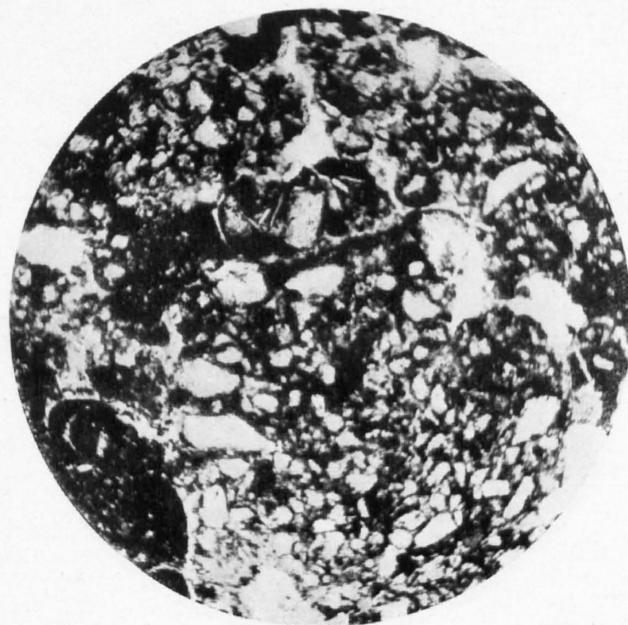


Fig. 2. Molassesandstein Gränichen. Dünnschliff einer Bodenprobe aus dem Anreicherungshorizont. Quarz und Feldspat sind in limonitischer bis toniger Substanz eingebettet. Vergr. 60fach.

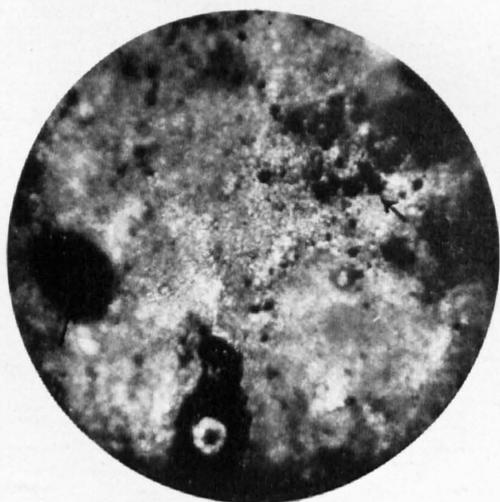


Fig. 3. Kalkstein, Effingerschichten, Klus. Die etwas verwitterte Probe zeigt starke Limonitisierung. Die Erze besitzen meist verwaschene Umrisse. Vergr. 200fach.

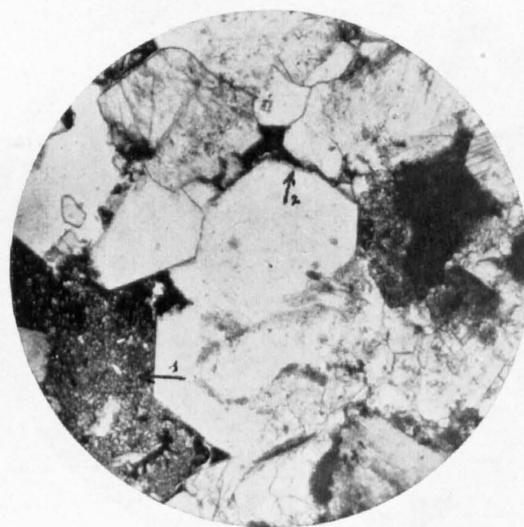


Fig. 4. Kalkstein, Dogger, Balmberg (Solithurn). Durch Limonitisierung treten in dem etwas verwitterten Rogenstein die Einzelindividuen stark hervor (besonders in feinkörnigen Partien, z. B. 1). Dieselbe ist faserförmig an der Umgrenzung der großen Individuen (2) und längs Spaltrissen sichtbar.



Fig. 1. Augengneis, Giubiasco. Adern von zeolithartigen Neubildungen im Feldspat des verwitterten Gneises. Vergr. 200fach.

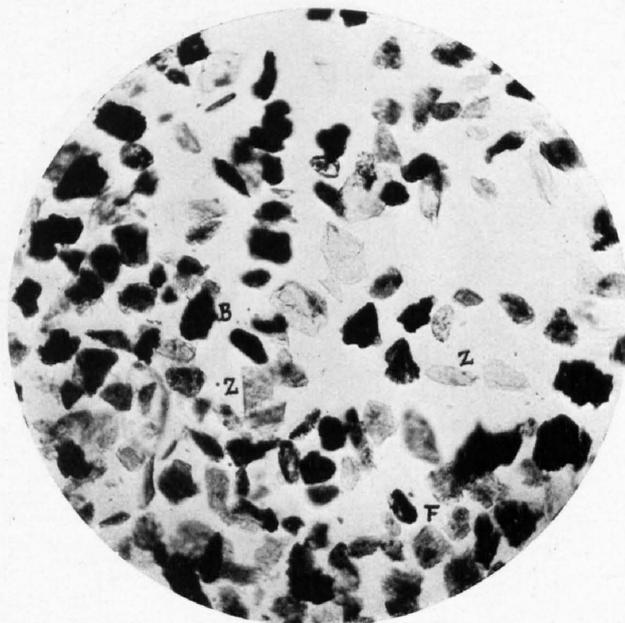


Fig. 2. Augengneis, Giubiasco. Lockerpräparat der III. Fraktion der geschlammten Bröckelprobe. Von Interesse ist besonders neben etwas getrübten Feldspäten (F) und verrostetem Biotit (B) das häufige Auftreten von zeolithischen Neubildungen. Vergr. 40fach.

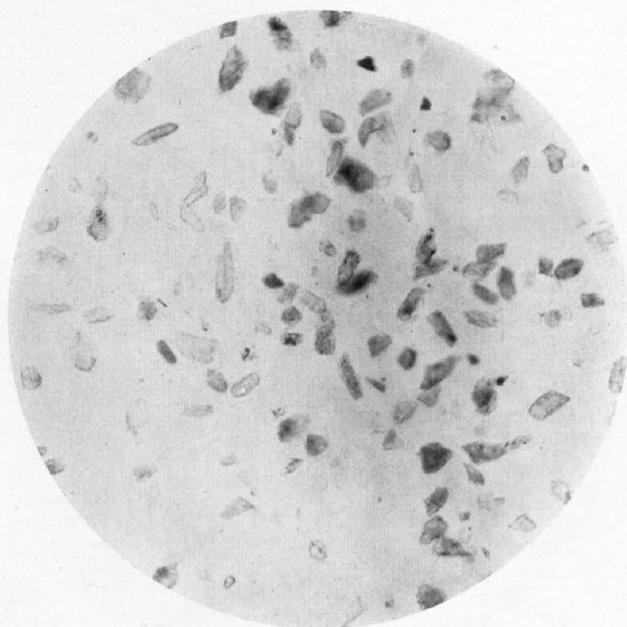


Fig. 3. Augengneis, Giubiasco. Neubildungen des zeolithartigen Minerals aus der III. Fraktion der Bröckelprobe isoliert. Vergr. 40fach.

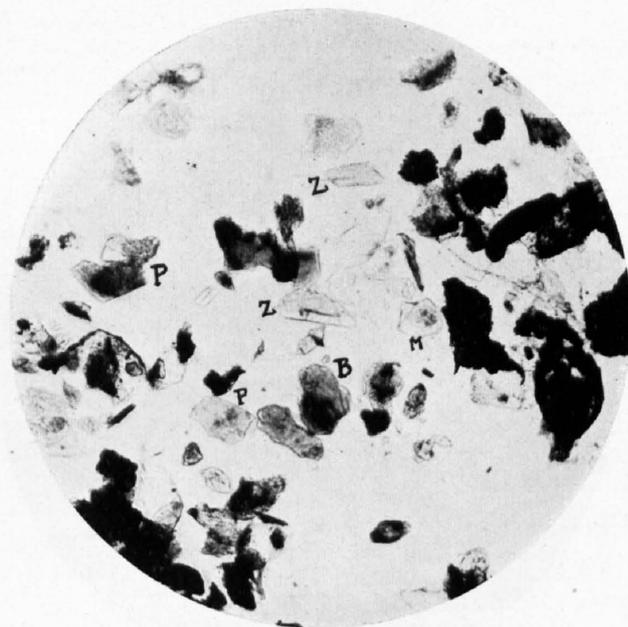


Fig. 4. Biotitgneis, Giubiasco. Lockerpräparat der III. Fraktion der Bröckelprobe, bestehend aus Plagioklas (P), mehr oder weniger stark verrostetem Biotit (B), Muskovit (M) und zeolithischen Neubildungen. Vergr. 70fach.

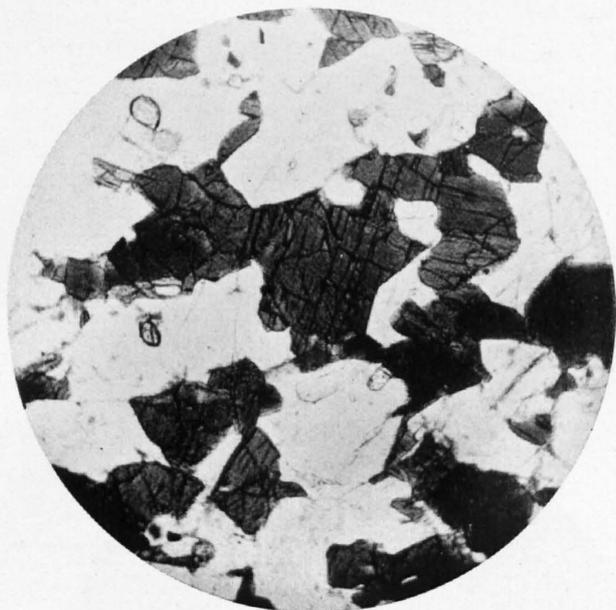


Fig. 1. Amphibolit, Bellinzona. Frischer Amphibolit.  
Vergr. 60fach.

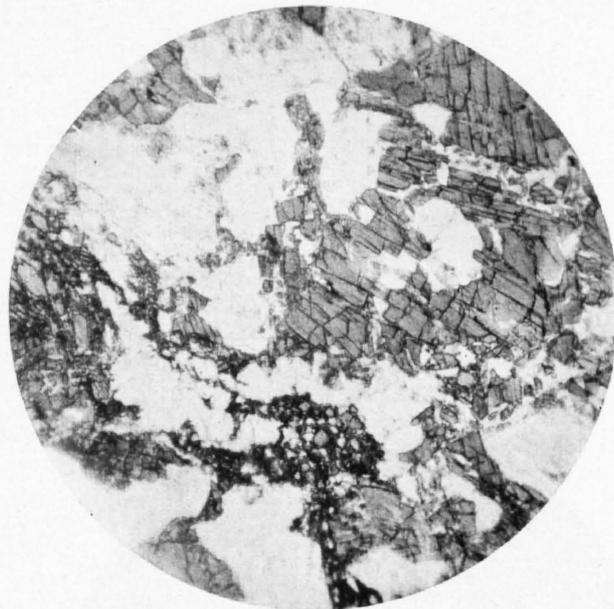


Fig. 2. Amphibolit, Bellinzona. Verwitterte Probe mit  
deutlicher Gefügelockerung. Feldspat und Hornblende  
sind partienweise zertrümmert. Der Feldspat zeigt  
Zersetzungserscheinungen, die an Entmischungs-  
strukturen erinnern. Vergr. 60fach.

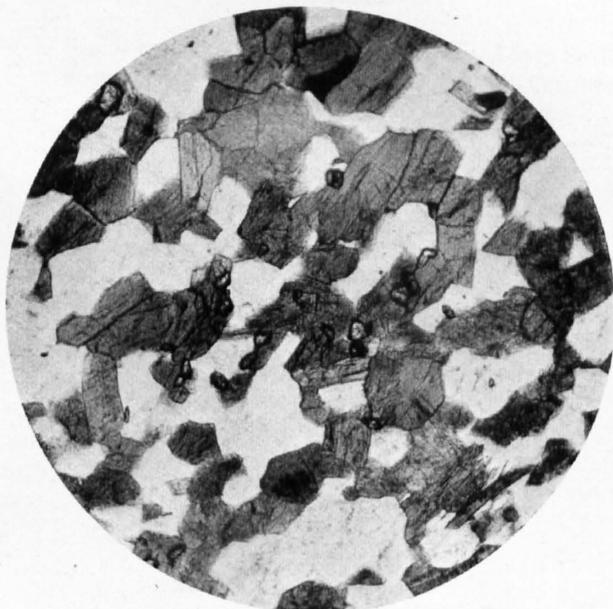


Fig. 3. Amphibolit, Roveredo. Frischer Amphibolit mit  
Titanit. Vergr. 60fach.

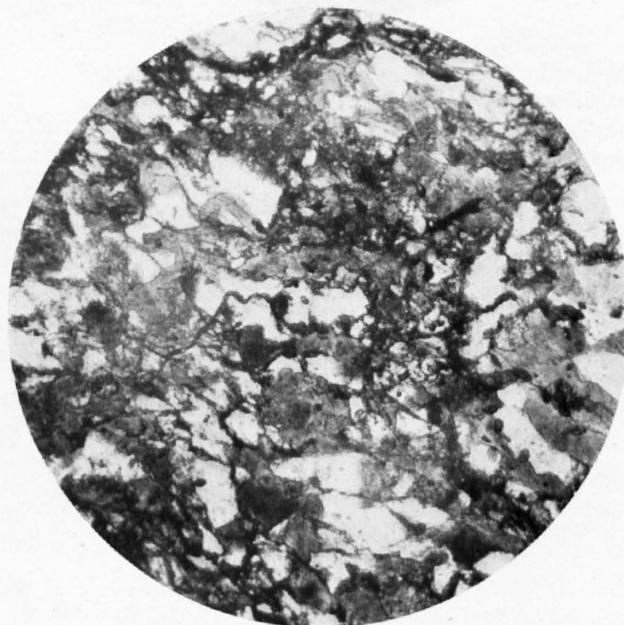


Fig. 4. Amphibolit, Roveredo. Verwitterte Probe mit  
grünlichgrauem bis schwärzlichem, verschleiertem  
Maschengewebe, von Titanit ausgehend. Vergr. 60fach.

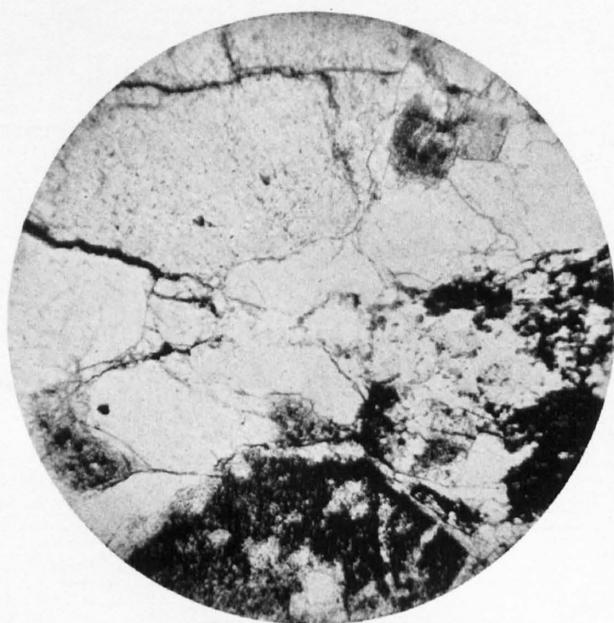


Fig. 1. Syenit, Etlital, etwas verwittert. Längs Spalt-  
rissen und Mineralgrenzen sind limonitische Verwite-  
rungsprodukte erkenntlich. Vergr. 50fach.

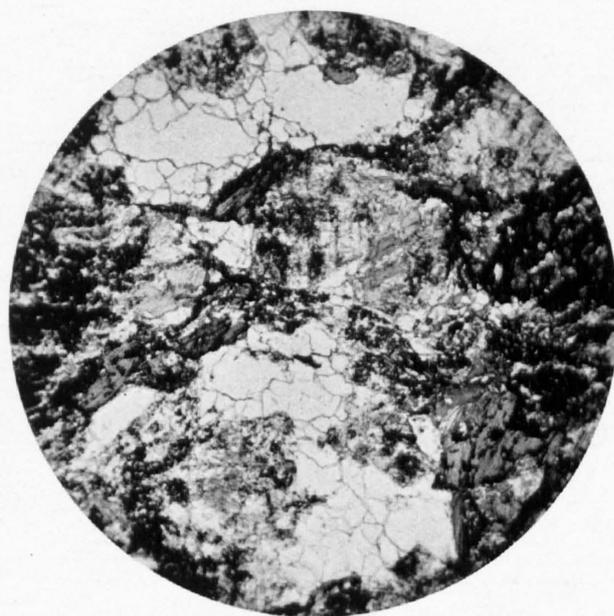


Fig. 2. Diorit, Etlital, etwas verwittert. Die Feld-  
späte, die im frischen Gestein schon saussurisiert  
vorliegen, sind stark getrübt. Von Biotit und von Erzen  
aus erkennt man eine starke limonitische Verwaschung.  
Vergr. 50fach.