

Die Bodentypen der Schweiz

Autor(en): **Pallmann, H. / Wiegner, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène**

Band (Jahr): **24 (1933)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-983816>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Bodentypen der Schweiz.

Von H. PALLMANN.

(Agrikulturchemisches Laboratorium der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich.

Vorstand: Prof. Dr. G. Wiegner).

Vortrag, gehalten am 17. Juni 1932 auf der 44. Jahresversammlung des schweizerischen Vereins analytischer Chemiker.

Jedes physikalisch-chemische Gleichgewicht ist irgendwie funktionell abhängig von verschiedenen Zustandsgrössen: von Druck, Temperatur etc. Viele Beispiele aus dem praktischen Leben bestätigen diesen Erfahrungssatz: mit ungestümem Drang versucht die Kohlensäure dem unter Druck gesättigten Mineralwasser zu entströmen, der bei tiefen Temperaturen stabile Kalk dissoziiert beim Erhitzen in CaO und CO₂ oder löst sich bei Gegenwart von Wasser und strebt als maximaldisperse Phase einem Lösungsgleichgewichte zu. Alle diese bekannten Aeusserungen sind die Folge neuer Gleichgewichtseinstellungen unter dem Zwange veränderter Aussenbedingungen.

Das *zwangsläufige Anstreben* eines *neuen Gleichgewichtszustandes* unter veränderten Umweltsbedingungen und damit veränderten Zustandsgrössen bildet auch die tiefere *Ursache für die Gesteinsverwitterung und die Bodenbildung*. Das durch aktiven Aufstieg oder durch Abtragung früher überlagernder Schichten aus dem Erdinnern an die Erdoberfläche gedrungene Gestein, man denke an Granit, kommt aus einem durch hohen Druck und hohe Temperaturen beherrschten Reaktionsmilieu unter neue abweichende Aussenbedingungen. Die Verhältnisse an der Erdoberfläche (also die Oberflächenbedingungen) sind bekanntlich gekennzeichnet durch tiefere Temperaturen, mässigen Druck und die Gegenwart von Lösungsmitteln anorganischen und organischen Ursprungs.

Das im Erdinnern unter den natürlichen Bildungsbedingungen noch stabile Gestein wird an der *Erdoberfläche instabil*, es sucht den von der Natur am meisten *begünstigten* und bevorzugten *stabilsten* Zustand durch geeignete Veränderungen wieder anzustreben. *Das Gestein verwittert*.

Diese Stabilisierungsvorgänge können prinzipiell auf verschiedenem Wege erreicht werden:

Eine durch veränderte Aussenbedingungen instabil gewordene chemische Verbindung kann sich erstens durch eine Aenderung ihrer *Struktur*, ohne Veränderung ihres speziellen Chemismus den neuen Umweltsverhältnissen anpassen. Der Kristallograph kennt diese strukturelle Stabilisierung beispielsweise beim *Quarz*, der unter tiefen Temperaturen und niederem Druck stabil ist und sich erst beim Erhitzen unbehaglich fühlt, unbeständig wird und die *Tridymit-* bzw. die *Cristobalit-*struktur annimmt. Man kennt diese Strukturstabilisierung beim *Eis*, das bei erhöhter Temperatur flüssig wird,

Bei der Gesteinsverwitterung kommt aber einer zweiten Stabilisierungsart womöglich noch die grössere Bedeutung zu. Bei dieser wird das neue Gleichgewicht, des unter veränderte Umweltsbedingungen gelangten Systems, durch eine *chemische Umwandlung* des betreffenden instabil gewordenen Stoffes erreicht.

In kontaktmetamorphen Gesteinen, z. B. im Marmor kennt man das Mineral *Wollastonit*. Dieses Kalziummetasilikat ist unter den katazonischen Metamorphosebedingungen, hohe Temperatur und hoher Druck, stabil gewesen, bzw. als stabilste Kalzium-Kieselsäurekombination gebildet worden. Gelangt dieser Marmor mit dem Wollastonit unter Oberflächenbedingungen, also niedern Druck und tiefe Temperatur, so wird das Wollastonitmolekül instabil, unbeständig und trachtet unter Veränderung seines Chemismus und seiner Struktur sich den neuen Oberflächenverhältnissen anzupassen. CaSiO_3 ist also an der Erdoberfläche nicht mehr stabil und spaltet sich bei Gegenwart atmosphärischer Kohlensäure in SiO_2 und CaCO_3 auf.

Ist es möglich, rein theoretisch die Richtung dieser Stabilisierungsprozesse an der Erdoberfläche vorauszusagen? Für eine solche Wahrscheinlichkeitsaussage möge das *le Chateliersche Prinzip* herangezogen werden. Dessen Fassung lautet: Uebt man auf ein irgendwie veränderliches System einen äussern Zwang aus, so verändert sich dieses System in *der* Richtung, dass diesem Zwang möglichst wirksam entgegengewirkt werden kann.

Nur wenige Beispiele sollen dies verdeutlichen! Vermindertem Atmosphärendruck grosser Höhen sucht der gasförmige Balloninhalt durch eine Vergrösserung seines Volumens zu begegnen. Gepresstes Eis ist bestrebt, sich dem aufgezwungenen Drucke durch eine Verminderung seines Volumens zu entziehen: es ändert den Aggregatzustand und verwandelt sich in das kleinemolekulare Wasser. Auch bei Temperaturänderungen befolgen die Stabilisierungsprozesse die *le Chateliersche Forderung*. Gelangt eine bei hoher Temperatur stabile chemische Verbindung, wie z. B. die meisten Mineralien der Tiefengesteine, unter tiefere Temperaturen, so werden bei der Stabilisierung mit grosser Wahrscheinlichkeit jene Verbindungen gebildet, die der aufgezwungenen Temperaturerniedrigung entgegenwirken können, es bilden sich mit Vorliebe exotherme, wärmeabgebende Verbindungen. Die Reaktionswärme des Umwandlungsprozesses soll die äussere Temperatursenkung ausgleichen. Als Beispiel wäre das folgende zu nennen: bei tieferer Temperatur (an der Erdoberfläche) wird die hitzebeständige Kombination *Andalusit* ($\text{SiO}_5 \text{ Al}_2$) neben *Quarz* (SiO_2) instabil, bei Gegenwart von Wasser bildet sich unter Wärmeabgabe der *Kaolin* ($\text{SiO}_6 \cdot \text{SiO}_2 \text{ Al}_2 \text{ H}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Es ist wohl überflüssig, speziell zu erwähnen, dass diese Umwandlungs- bzw. Stabilisierungsreaktionen eine Frage der Zeit sind, die der Natur ja in ausgedehntem Masse zur Verfügung steht.

Rein *bodenkundlich betrachtet*, ist an dieser Stelle eine wichtige Tatsache hervorzuheben: *Die verwitterungsartigen Stabilisierungsreaktionen der unter niedern Druck und niedere Temperatur gelangenden Gesteinsminerale tendieren gegen eine Erweiterung und Auflockerung der Kristallgerüste.* Darin liegt der wesentliche Kern des Verwitterungsproblems.

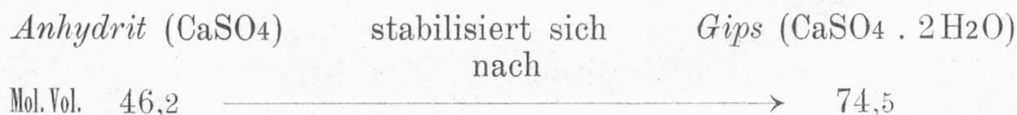
In der nachfolgenden Tabelle sind einige Beispiele verwitterungsartiger Umwandlungen von Mineralien gegeben. Verglichen werden dabei die Molekularvolumina der Verwitterungs*edukte* mit denen der Verwitterungs*produkte*. Als Vergleichsbasis wählen wir das reduzierte Molekularvolumen. Das absolute Molekularvolumen, auf je eine Kieselsäuregruppe reduziert, schafft dabei für viele Silikate eine in erster Annäherung brauchbare Vergleichsbasis.

*Beispiele verwitterungsartiger Umwandlung der Mineralien.
Vergleich der reduzierten Molekularvolumina.*

Verwitterungs-Edukt	red. Mol. vol.		Verwitterungs-Produkt	red. Mol. vol.
Orthoklas . . .	36,5	—————>	Sericit . . .	46,1
Orthoklas . . .	36,5	—————>	Kaolin . . .	49,1
Leuzit . . .	44,2	—————>	Kaolin . . .	49,1
Enstatit . . .	32,5	—————>	Serpentin . . .	41,4
Diopsid . . .	33,3	—————>	Serpentin . . .	51,4
Augit . . .	34,0	—————>	Epidot . . .	44,5
Hornblende . . .	34,0	—————>	Epidot . . .	44,5
Mg-Olivin . . .	43,9	—————>	Serpentin . . .	51,4
Leuzit . . .	44,2	—————>	Analcim . . .	50,0

Die bei diesen Silikaten deutlich angetönte *Erweiterung des Moleküls* bei der verwitterungsartigen Stabilisierung, die dann bei der weitem Bodenbildung noch extrem weitergeführt werden kann, wird noch viel augenscheinlicher bei Verbindungen, die bei niedern Drucken und niederer Temperatur *Hydratwasser* in ihre Gitter einlagern können. Als Beispiel führe ich die bekannte Gips-Anhydritumwandlung an.

Das Anhydritmolekül (CaSO_4) wird bei Gegenwart von Wasser und einer Temperatur unter 60 Grad C. instabil und lagert sich unter Aufnahme zweier Wassermoleküle in das stabilere Dihydrat, den Gips, um.



In der Natur zeigt sich diese Volumenvergrößerung in der intensiven Stauchung und Fältelung der aus Anhydrit hervorgegangenen Gipsfelsen.

So viel über die theoretische Prognose der verwitterungsartigen Prozesse! Betrachten wir ein frisches und hartes Gneishandstück zum Vergleich mit einer Braunerde!

Worin liegt nun der prinzipielle Unterschied zwischen diesen beiden schon makroskopisch deutlich voneinander verschiedenen und in ihren Eigenschaften grundlegend differenten Materialien? Der Bauschalchemismus der beiden demonstrierten Proben vom Gneis einerseits und dem Boden andererseits ist möglicherweise weitgehend übereinstimmend. Auf der folgenden Tabelle wird man diese Aussage bestätigt finden:

Vergleich der Bauschalchemismen von Gneis und Braunerde.

Mineralstoffe	Braunerde %	frischer Gneis %
SiO ₂	72,52	67,40
Sesquioxyde	17,22	17,55
CaO	2,76	3,45
MgO	1,08	0,76
K ₂ O	3,39	2,88
Na ₂ O	2,49	4,00
P ₂ O ₅	0,47	1,72

Der prinzipielle Unterschied zwischen dem harten, unverwitterten Fels und der fruchtbaren Braunerde liegt also *nicht zwangsläufig* im Bauschalchemismus begründet. Beide Substanzen können analytisch die gleichen Mengen pflanzlicher Nährstoffe und physiologisch unwichtiger Füllstoffe enthalten. Der *Unterschied* liegt vorerst rein makroskopisch im *äussern Dispersitätszustand*. Durch die Verwitterung chemischer und physikalischer Art entsteht zunächst aus dem harten Fels ein lockereres Gebilde. Ein Vegetationsversuch mit feingepulvertem *unverwittertem Gneismehl* und der vorliegenden *durchverwitterten Braunerde* zeigt einen weitem grundlegenden Unterschied. Während die Pflanzenwurzeln aus der Braunerde die erforderlichen Nährstoffe leicht entnehmen können, sind die Wurzelorgane der gleichen Pflanzen nicht mehr imstande, die fürs Leben notwendigen Nährstoffe den Gneispartikeln zu entwinden. Daraus folgt unmittelbar die Erkenntnis, dass die *chemische Bindung der Kristallkonstituenten*, der mineralischen Nährstoffe beispielsweise, im *unverwitterten Gneis viel fester und inniger als beim verwitterten Bodenteilchen ist*.

Ganz kurz sollen hier die verschiedenen Vorgänge bei der Verwitterung bzw. bei der Bodenbildung skizziert werden. Einfachheitshalber beschränken wir uns vorerst auf die Betrachtung eines sogenannten *abgeschlossenen Systems*. Aus dem ideell gedachten abgeschlossenen System könne weder Zufuhr, noch Wegfuhr der Verwitterungsprodukte beobachtet werden. Rein didaktisch ist es dabei notwendig, die verschiedenen in der Natur meistens zusammenwirkenden Verwitterungsreaktionen getrennt zu betrachten.

Die **physikalische Verwitterung** schafft erstens einmal die für die chemischen Reaktionen benötigten Angriffsflächen. Erst wenn diese physi-

kalische Verwitterung durch Aufspalten der früher zusammenhängenden Gesteinspartikel die für eine intensive Verwitterung notwendigen Oberflächen geschaffen hat, können die folgenden Verwitterungspotenzen ihre Arbeit erfolgreich und in nützlicher Frist vollbringen. Die physikalische Verwitterung (Spaltenfrost, Temperatur-, Erosiv- und Glazialverwitterung, Wurzeldruck etc.), *dispergiert* die zusammenhängenden Massen bis zu einem praktischen Endpunkt, an dem sich die einzelnen gebildeten Bruchstücke den Zugs- und Druckkräften der physikalischen Verwitterung, dank ihrer gegenseitigen Verschiebbarkeit entziehen können. Mit grösster Wahrscheinlichkeit ist dieser praktische Endzustand dann erreicht, wenn die einzelnen Bruchstücke einen Korndurchmesser von ca. 20—100 $\mu\mu$ haben. Es ist hier nicht der Ort, um die Gründe dieser Aussage näher zu diskutieren. *Die physikalische Verwitterung schafft Oberflächen.* An diesen freigelegten Oberflächen setzen nun die verschiedenen chemischen Verwitterungspotenzen ein. Während diese physikalische Verwitterung lediglich den Dispersitätsgrad des angegriffenen Materials verändert, greifen die *chemischen Reaktionen* mit feinem Werkzeugen in *das Innere der Mineralien* ein und schälen mit feinem Stifte die Gitterkonstituenten aus ihrem Zusammenhang, lockern sie, bringen sie in das Dispersionsmittel und lassen sie dort unter Umständen unter Bildung stabilerer Verbindungen wieder miteinander reagieren.

Die **einfache Lösung** stellt den primitivsten chemischen Verwitterungsprozess dar. Es bilden sich Lösungsgleichgewichte aus, deren Lage durch die Löslichkeit der Mineralien, die Lösungstemperatur und die Gegenwart von Lösungsgenossen bedingt ist. Diese Lösung spielt die hervorragende Rolle bei der Verwitterung der Karbonatgesteine. Die Mitwirkung der Mikroorganismen hat *M. Düggeli* mit seinen Schülern in vielen Arbeiten klargelegt.

Das Wasser, das wir als A und O eines jeden Verwitterungsprozesses betrachten müssen, spielt aber auch bei der Verwitterung der schwerlöslichen Silikatmineralien die ausschlaggebende Rolle.

In den *Gitterpunkten der Kristallgerüste* sitzen die nur teilweise energetisch abgesättigten Ionen und Radikale. Trotz ihrer Einordnung in einen gewissen Kristalltypus verfügen sie immer noch über eine gewisse *Ueberschussenergie*, Restvalenzenergie, die sie zu weiteren Reaktionen befähigt. Diese Ionen und Radikale der Kristallgitter umhüllen sich zufolge ihrer Restenergie mit *Kraftfeldern*. Unter der Einwirkung dieser Kraftfelder werden auf rein elektrostatischem Wege *Wassermoleküle als Dipole* an diese Kraftzentren angelagert, diese *Zentren hydratisieren sich*. Durch die gut isolierenden Wasserhüllen (Dielektrizitätskonstante = 81) werden die hydratisierten Ionen der Kristallgerüste gegen die Kraftwirkungen der entgegengesetzt geladenen Gitterreste abgeschirmt. Die zusammenhaltenden Kräfte innerhalb des Kri-

stalles werden abgeschwächt. Auf Kosten der **Hydratation** wird die Zusammenhaltenergie der Gitter vermindert. Die Ionen und Radikale werden lockerer gebunden. Die *Gitterebenen weichen leicht auseinander*. Dieses verwitterungsartige Auflockern der Kristallgerüste schafft als Novum die *permutoiden Oberflächen*. Permutoide Oberflächen sind gekennzeichnet durch ihre allseitige Zugänglichkeit. Auch im Innern der nunmehr aufgeweiteten Kristalle haben sich für die weitem Verwitterungsreaktionen zugängliche Angriffsflächen geöffnet. *Die hydratisierten Kristalle sind weiter geworden, sie zeigen permutoide Oberflächen und halten ihre Gitterkonstituenten in lockerer Bindung zurück.*

*Im ersten Verwitterungsstadium werden die Mineralien hydratisiert.
Wassereinlagerung.*

Auf 100 Moleküle der Basen (Al_2O_3 , CaO , K_2O , etc.) entfallen X-Wassermolekel.

Probe	Wassermoleküle im Muttergestein X	Wassermoleküle im 1. Verwitterungsprodukt X
<i>Gneis</i> , Tessin	3,7	16,4
<i>Augengneis</i> , Tessin .	6,9	63,0
<i>Biotitgneis</i> , Tessin . .	18,6	56,6
<i>Rofnaporphyr</i> , Andeer	23,4	104,0
<i>Amphibolit</i> , Tessin .	4,1	36,4

Analysen: J. Jakob und P. Niggli.

Mit der hydratationsartigen Aufweitung der Gitter und der Abschwächung der Ionenbindungen setzt auch die **Oxydation** der niedrigoxydierten Eisenkomplexe ein. Durch die infolge der Einlagerung von Sauerstoff bewirkten Volumvergrößerung werden die Gitter noch weiter zertrümmert.

Durch diese Schaffung innerer zugänglicher Oberflächen sind alle Vorbedingungen für eine intensive **Hydrolyse**, die wohl wichtigste Verwitterungsart der schwerlöslichen Silikate, gegeben. Die in jeder wässrigen Lösung vorhandenen Wasserstoffionen treten in Wechselwirkung mit den gelockerten Kristallkationen. Wählen wir als Beispiel den Orthoklastypus, der der hydrolytischen Zerstörung anheimfällt:



Der vierwertige, elektronegative Kieselsäurerest attrahiert je ein Aluminium- und ein Kaliumjon. Die Attraktivbindung an den elektrisch negativ geladenen Kieselsäurerest ist umso stärker, je mehr entgegengesetzte Ladungen dem angezogenen Kation zugehören. Das dreiwertige Aluminium wird deshalb fester und untrennbarer mit der Kieselsäure verbunden sein, als das einwertige Kalium. Aus diesem Grunde richtet sich auch der *erste hydrolytische Angriff auf das Kalium*. Dieses unterliegt

leicht dem Bombardement der Wasserstoffionen und wird vom Kieselsäurerest abgetrennt. *Anstelle des ausgetauschten Kaliumions tritt ein Wasserstoffion.* Durch diesen Wasserstoff-Kaliumumtausch bildet sich ein Wasserstoffalumosilikat. Nur fortgesetztem Bemühen der Wasserstoffionen gelingt es, noch das dreiwertige Aluminiumion vom Gitterverbande loszulösen. Anstelle des dreiwertigen Aluminiumions tauschen drei einwertige Wasserstoffionen ein, das ausgetauschte Aluminium wird mit den im Dispersionsmittel verbliebenen Hydroxyionen gekoppelt und als $\text{Al}(\text{OH})_3$ in dieses abgestossen.

Mit dem Austausch des Aluminium bricht das ganze versauerte und entbaste Gerüst auseinander. Es fehlt dem erzeugten Wasserstoffkieselsäurekomplex die umspannende und zusammenhaltende Valenzzange des dreiwertigen Aluminiums; das instabil gewordene Gebilde fällt auseinander. Von Hause aus wohnt der feindispersen Kieselsäure eine gewisse Affinität zum $\text{Al}(\text{OH})_3$ inne. Die im Dispersionsmittel zerteilten Phasen fällen sich daher unter Umständen wieder gegenseitig aus. Bei dieser Koagulation werden die ebenfalls anwesenden Hydroxyde der Alkali- und Erdalkalimetalle adsorbiert. Das mit Basen und Wasserstoff beladene Gelgemenssel bildet den *Ton* im engsten Sinne des Wortes, der als *stark hydratisiertes Gebilde die Ionen in lockerer, austauschfähiger und für die Pflanzen aufnehmbarer Bindung adsorptiv zurückhält.*

Soviel über einige kennzeichnende Phasen der Verwitterung! Der *Einfluss des Klimas* auf die Verwitterung im *abgeschlossen* gedachten System, in dem also weder Zufuhr, noch Wegfuhr der Verwitterungsprodukte stattfinden soll, macht sich lediglich auf die *Intensität des Verwitterungsvorganges* geltend. Je höher die Niederschläge bei gleichbleibender, optimaler Temperatur oder umgekehrt, je höher die Temperatur bei gleichbleibenden, aber genügenden Niederschlägen ist, umso intensiver verläuft die chemische Verwitterung. Nach Abstraktion aller komplizierenden Nebenerscheinungen kann man formulieren: Die Verwitterungsintensität ist irgend eine positive Funktion des Produktes Niederschlag mal Temperatur. Sie sinkt auf den Nullwert bei fehlenden Niederschlägen und bei Temperaturen von Null und weniger Wärme-graden. Während sich also im abgeschlossen verwitternden System der Klimaeinfluss lediglich in der Intensität der Reaktionen kundgibt, verhält sich das offene System, wie die Natur es bietet, viel empfindlicher. Der Einfluss des Klimas spiegelt sich in den vielfältigen *Wanderungen der Verwitterungsprodukte im Bodenprofil* wieder. Die *Richtung dieser Stoffwanderung*, die *Lage* der dadurch erzeugten Auslaug- (A) und Anreicherungs- (B) *Horizonte* und der *spezielle Chemismus* dieser distinkten Schichten bilden die wichtigste Grundlage für die *Klassifikation der Böden*. So unterscheidet man *humide Bodenbildungen* mit den Auslaugschichten im Obergrund und der Anreicherung der Verwitterungs-

produkte in tieferen Erdschichten. Das *aride Profil* ist charakterisiert durch die inversen Verhältnisse. Mit dem aufsteigenden Verdunstungsstrom werden die tiefern Horizonte ausgelaugt und die Verwitterungsprodukte in den obern Bodenschichten als Verdunstungsrückstände angereichert.

Die meisten schweizerischen Bodentypen gehören dem humiden Verwitterungszyklus an.

Als **Bodentypus** bezeichnen wird das zunächst ideale Verwitterungsprofil, dessen sämtliche chemischen und strukturellen Eigenschaften im *Gleichgewicht* mit den petrographischen, klimatischen und biotischen Umweltfaktoren stehen.

Die schweizerischen Bodenverhältnisse sind in einer in Gemeinschaft mit *H. Gessner* konstruierten Bodenkarte niedergelegt.*) (Siehe auch *H. Pallmann*, Sondernummer des «Schweizer Bauer», 6. April 1932.)

Das **schweizerische Mittelland** ist zufolge der mässig humiden Verwitterungsbedingungen gekennzeichnet durch die *Braunerde*. Diese Braunerde bildet den mittelländischen *Bodenklimax*, der dem phytosoziologischen Klimax des *Laubmischwaldes* zugeordnet ist. Die Braunerde zeigt als humider Bodentypus *vollständige Auslaugung der leichtlöslichen Chloride und Sulfate*. Die etwas schwerer löslichen *Erdalkalikonarbonate fehlen den obersten Bodenhorizonten* oder finden sich nur in untergeordneten Mengen. Erst in der tiefern Bodenschicht erscheinen diese Karbonate wieder, je nach dem Muttergestein in kleinern oder grösseren Quantitäten. Die schwerer mobilisierbaren *Sesquioxide* sind nicht, oder nur *sehr wenig im Profil gewandert*. Zufolge der *neutralen oder leicht alkalischen Reaktion* des Bodens sind die Eisen- und Aluminiumhydroxyde an Ort und Stelle ihrer Bildung koaguliert und niedergeschlagen worden. Der *Humus* liegt in *mullartiger Ausbildung* vor und ist gut mit dem *mineralischen Untergrund vermengt*.

Die günstigen neutralen Reaktionsverhältnisse gewähren den *Mikroorganismen optimale Bedingungen*, dadurch wird eine grössere Ansammlung der Humusstoffe verhütet. Die Braunerde ist ein tätiger Pflanzenstandort. Die Nitratbildung ist gut. Die Bodenstruktur zeigt Krümelung, wobei oft polyedrische Körnerkrümel für diese Profile charakteristisch sind.

Je nach der topographischen Lage, dem Lokalklima und der petrographischen Unterlage scharen sich um diesen Braunerdetypus die *Rohböden*, die *unreifen Braunerden* oder als humidestes Glied, das eigentlich über das klimagesteckte Ziel hinausgeschossen ist, die *leicht podsolierte Braunerde*. Alle diese um den eigentlichen Typus versammelten

*) Anmerkung: Der erste Versuch einer schweizerischen Bodentypenkarte stammt von *H. Jenny*. Die *Jenny'sche Karte* konnte durch spätere, umfassende Kartierungsarbeiten in ihren grossen Zügen bestätigt werden.

Glieder sind bei der kartographischen Darstellung zu einer *Serie* zusammengezogen worden. Sie bilden genetisch eine *Sukzessionsserie*, deren Glieder gegen den natürlichen Typus, die Braunerde, tendieren. Die Rohböden, an rutschigen, in ständiger Bewegung begriffenen Steilhängen oder im Alluvialgebiet der Flüsse und Seen, bilden das Anfangsglied dieser Sukzessionsreihe. Die unreife Braunerde, oft stark kalkhaltig und skelettreich, findet sich in weiter Verbreitung unter den Aeckern und Wiesen des landwirtschaftlichen Kulturlandes. Die landwirtschaftlichen Kulturmassnahmen: Umbrechen und Pflügen der obersten Bodenschicht sind wohl die Ursache für dieses Stadium der Unreife. Die typische Braunerde ist dem Laubmischwalde eigen, findet sich aber selbstredend auch unter den landwirtschaftlich genutzten Böden. Das humideste Glied der Braunerdeserie des schweizerischen Mittellandes ist eigentlich nur an die aus der subalpinen Stufe der Alpen importierten Nadelwälder der Piceten gebunden. Hier finden sich ziemlich häufig die *leicht podsolierten Braunerden*. Die flachwurzelnden Fichten vermögen nur ungenügende Mengen säurebindender Mineralstoffe aus dem Untergrund empor zu fördern. Das humusbildende Nadelmaterial *neigt* daher zur Bildung von Rohhumus. Die aromatischen Oele der Nadeln verhindern ihrerseits eine erspriessliche Tätigkeit der abbauenden Mikroorganismen. Es sammelt sich im Laufe kurzer Zeiten eine Humusschicht an, die, *abrupt dem Mineralgrunde aufgelegt*, dem leicht podsolierten Profil ihr Gepräge gibt. Die *Reaktion* dieser Profile ist *sauer*. Die *Erdtiere scheuen die saure Reaktion* und stellen ihre Wühlarbeit ein. Das basische Material des schwächer zersetzten Untergrundes wird nicht mehr durch die Wühltätigkeit mit dem Obergrund vermischt, eine Unterlassung die der Versauerung weitem Vorschub leistet. Der Kalk ist aus den obern Horizonten völlig ausgelaugt und findet sich erst wieder in grösseren Tiefen. Dadurch fehlen in den obern Bodenhorizonten die koagulierenden Elektrolyte, die feindispersen Phasen der Sesquioxyde flocken nicht aus und werden, durch den hochdispersen Wasserstoffhumus noch weitgehend geschützt, zur Wanderung gezwungen. In tiefern, elektrolytreichern Bodenschichten werden diese gewanderten Phasen wieder geflockt und angereichert. Diese Verschiebung der Sesquioxyde lässt sich im leicht podsolierten Profil noch *nicht von Auge* feststellen, sondern kann nur analytisch ermittelt werden. Allerdings gestatten verschiedene makroskopisch beobachtbare Tatsachen, typische Rohhumusschicht und rostig und erdig verwitternde Gesteine im Profil, dem Kundigen, Rückschlüsse auf beginnende Podsolierung zu ziehen.

Auch die **Alpen** kennen die *Braunerdeserie*. Wo die Flysch- und Bündnerschiefer ihre mässigkalkhaltigen Sedimente der Verwitterung preisgeben, bilden sich braunerdeähnliche Böden aus. Die montane Stufe zeigt, wenigstens in den subozeanischen Gegenden der Nordabdachung

der Alpen, die *typische Braunerde*. Diese ist auch dort dem *Laubmischwald*, als pflanzlichem Klimax zugeordnet. In den trockeneren subkontinentalen Zentraltälern hat die *unreife Braunerde* ihr Hauptverbreitungsgebiet und gehört als natürliche Bildung dem dortigen Schlussverein des *Föhrenmischwaldes* an. Mit dem Aufsteigen in die subalpine Stufe steigt auch die Verwitterungshumidität. Steigende Niederschläge und abnehmende Temperatur bilden dafür die Erklärung. In der *subalpinen Fichtenstufe* stellen sich auf diesen kalkhaltigen Muttergesteinen die *leicht podsolierten Braunerden* ein. Steigt man im Gebiete des Flysches oder der Bündnerschiefer noch weiter gipfelwärts gegen die alpine Stufe der Urwiesen hinauf, so begegnet man auf Schritt und Tritt Bodenbildungen die ein weniger humides Gepräge als die der subalpinen Stufe haben. Die Waldgrenze stellt sich demgemäss als wichtige Trennungslinie nicht nur für die Vegetation, sondern auch für die Bodenbildung heraus. Xeromorphe Anpassungen der Vegetation deuten auf erschwerten Kampf ums Wasser. Ungebremst braust der Windsturm über die baumlosen Hänge und fördert an diesen sonnenexponierten Orten die Verdunstung. Eingeblassener Flugstaub aus den benachbarten vegetationslosen Rohböden bringt ständig unzersetztes Material herbei. Es zeigen sich in der *alpinen Stufe* humose Profile, die bis zur obersten Erdschicht Kalkkarbonat enthalten. Das Vorkommen schwach zersetzter Gesteinspartikel im Profil erklärt sich durch die in diesen Höhen stark reduzierte Verwitterungsintensität. Diese humosen Kalkböden zeigen grosse Aehnlichkeit mit den Böden des Jura und der Kalkalpen, wir bezeichnen sie deshalb als *juvenile Humuskarbonatböden*, bzw. als *juvenile Rendzinen*. An lokalklimatisch humideren Orten ist wohl auch hier der Kalk etwas ausgelaugt. Sauer reagierende Humusböden bilden sich als Standorte vereinzelter azidiphiler Curvuleten. Die juvenile Rendzina aber ist den Cariceten firmae und den Elyneten eigen. In der *nivalen Stufe* überwiegen die nur physikalisch zerfallenen Rohböden und felsigen Standorte.

Die **Podsolserie** beschränkt sich auf die Alpen und bildet sich nur auf *kalkarmen Sedimenten, sauren, intermediären und basischen Urgesteinen*. Die gesteigerte Humidität erhöhter Lagen erzeugt auf diesen Muttergesteinen saure und ausgelaugte Verwitterungsprofile. Das typische *Eisenpodsol* ist gekennzeichnet durch *dicke Rohhumusdecken* (A_1), die *ausgebleichten Schichten* in scharfer Grenze überlagert sind. Unter den homogen ausgebleichten Bleicherdeschichten erscheinen, gewissermassen zur Bestätigung der beobachteten Auswaschung, die *rostrotfarbenen Anreicherungshorizonte*. Sowohl Bleichschichten (A_2), wie auch die mehr oder weniger mächtigen Anreicherungshorizonte (B) zeugen von starken Verschiebungen der Verwitterungsprodukte im perhumiden Podsolprofil. Aus der Bleichschicht sind selbstredend ausser den Kalk- und Magnesiumkarbonaten auch die Eisen- und Aluminiumverbindungen in die Tiefe ge-

wandert. In der etwas elektrolytreicheren Anreicherungsschicht werden die durch Humus geschützten feindispersen Sesquioxyde wieder niedergeschlagen.

Die *Podsolserie der Alpen* enthält naturgemäss: *Rohböden*, *podsolige Braunerden*, die eben definierten *Eisenpodsole*, weiter die *Humuspodsole* und die sogen. *Humussilikatböden*.

Die Rohböden bilden sich wiederum an rutschigen Talhängen, im Gebiete des ständigen Steinschlages in Lawinenzügen und auf Alluvionen. Die podsoligen Braunerden finden sich mit den leicht podsolierten Braunerden in den Talsenken und bilden grösstenteils die landwirtschaftlich genutzten Böden. Die typischen Eisenpodsole sind dem Nadelwald, dem *Picetum excelsae*, wie auch dem *Rhodoretum cembretosum* eigen.

Auch hier zeigt sich mit dem Aufstieg am Berghang die Zunahme der Humidität bis zur obern aktuellen Waldgrenze. Wo sich der subalpine Nadelwald zu lichten beginnt und seine sturmzerzausten Kämpen in die Kampfzone entsendet, beobachtet man auf der ganzen Linie ein eigentümlich *humoses Entarten der Eisenpodsole*. Die Bleichschicht beginnt ihre helle rein graue Farbe einzubüssen, und schmutzigbraungraue Farbtöne berichten von eingespülten Humusstoffen. Auch die Anreicherungsschicht verliert die reine rostfarbene Tönung und beginnt humusfarbig zu werden. Diese humose Entartung zeigt sich besonders schön in den Zwergstrauchgesellschaften der Kampfzone, dem Uebergangsbereich zwischen oberer subalpiner und alpiner Stufe. Es bilden sich immer mehr die *Humuspodsole* heraus, die sich durch ihren hohen Humusgehalt in der Anreicherungsschicht (über 10%) von den reinen Eisenpodsolen unterscheiden. Mit dem Eindringen in die kalte, aber starke Verdunstung zeigende alpine Stufe der Curvuleten, den Krummseggenvereinen, stellen sich die *Humussilikatböden* ein. Es sind dies Böden vorwiegend vegetabilischer Bildung mit wenig verwitterten Mineralanteilen.

Die humose Entartung der Podsole und die Bildung sämtlicher Uebergangsglieder bis zum typischen Humussilikatboden sind m. E. die Folge verminderter Verwitterungshumidität. Ueber dem Walde ist, wie schon oben bemerkt, die Verdunstung stark begünstigt. Die Flugstaubdüngung erreicht in dieser windexponierten Gegend eine grosse Bedeutung. Der Humus zersetzt sich unter diesen Bedingungen nicht mehr zu einem maximalschützenden, feinstdispersen Schutzkolloid, sondern ist gröber dispers. Mit dem gröbern Dispersitätsgrad sinken die schützenden Eigenschaften. Damit ein Podsolierungseffekt überhaupt auftreten kann, benötigt ein zum Wandern gebrachtes Sesquioxydteilchen eine viel grössere Menge an schlechter schützendem Schutzkolloid. Mindestens 7 bis 8 mal grössere Humusmengen werden in dieser Zone benötigt um die Sesquioxyde zum Wandern zu bringen. Diese Schutzkolloide werden dann in der Anreicherungsschicht gemeinsam mit den geschützten Phasen ausgefällt.

Die nivale Stufe der Thallophytenvereine zeigt wieder ein Ueberwiegen der Rohböden und felsigen Standorte.

Grundsätzlich verschiedene Bodenbildungen finden sich in den **Kalkalpen** und **im Jura**. Wo massige Kalke ihre Gesteinsmassen zu schroffen Gipfeln auftürmen oder in welligem Verlaufe die Waldhöhen des Jura bilden, zeigen sich die sogen. *Humuskarbonatböden*, die *Rendzinen*. Die Bildung dieser Typen ist streng an die Gegenwart sehr kalkreicher Kalksedimente gebunden. (Flysch- und Bündnerschiefer sind die Muttergesteine der schon früher erwähnten Braunerden, ihr Chemismus, der übrigens mit dem der Molassen des Mittellandes sehr grosse Aehnlichkeit aufweist, zeigt einen für die Bildung der Humuskarbonatböden ungenügenden Kalkgehalt.)

Humuskarbonatprofile zeichnen sich, wie dies schon aus der Benennung hervorgeht, durch ziemlich hohen Kalkgehalt und die Gegenwart des alkalischen Kalkkarbonates bis zur obersten Bodenschicht aus. Aus verständlichen Gründen sind die Sesquioxide nicht wanderungsfähig. Eine Rückstandsanreicherung an Kieselsäure und Sesquioxiden kann durch Kalkwegfuhr leicht erklärt werden. Diese Humuskarbonatböden zeigen selbstverständlich wieder eine gleitende Reihe abweichender Böden, die sich alle um den *Typus* scharen und je nach dem Verwitterungsorte mehr oder minder in den Vordergrund treten. An lokal-humideren Lagen ist der Kalk aus dem Profil ausgewaschen, eine leicht saure Reaktion der obersten Bodenschichten wird durch die schwach azidiphile Vegetation augenfällig. Diese degenerierten Humuskarbonatböden können noch weiter entarten und in *leicht podsolierte Profile* übergehen. Die Humuskarbonatbodenserie mit leichtem Dominieren der degenerierten und entkalkten Profile findet sich im Jura, von den regenreichsten Erhebungen des S. W.-lichen Teils bis zu den trockeneren Gebieten des Randens. In den Alpen begegnet man der *Rendzina in typischer Ausbildung in der montanen Stufe*. *Degenerierte Vertreter*, ausnahmsweise mit angedeutetem Bleicherdehorizont, bilden das Hauptkontingent der Böden der *subalpinen Nadelwaldstufe*. In der baumlosen, windexponierten *alpinen Urwiesenregion* sind entsprechend den vorgängigen Ausführungen etwas weniger humide Typen zu beobachten, die wir geringerer Verwitterungsintensität und starker Humusanhäufung wegen als *juvenile Rendzina* bezeichneten. Auf diesen Böden der alpinen Stufe siedelten sich die zugehörigen Klimaxvereine des *Caricetum firmae*, des *Elynetums* und ausnahmsweise des *Curvuletums* an.

Das trockene und heisse Klima des **Wallis** spiegelt sich auch in den Böden wieder. Die im trockenen Talwinde des subkontinentalen Trockenbezirkes von Martigny bis Brig wehenden, glänzenden Aehren der Stipaarten zeugen inmitten der xeromorphen, graugrünen Artemisia-steppe von den *extrem trockenen Klimaverhältnissen des wallisischen*

Föhrengbietes. Die chemischen Analysen zeigen bei diesen Böden in vielen Fällen ein *leichtes kapillares Ansteigen des Kalkes* gegen die obersten Bodenhorizonte. In der Gegend um Siders sind diese kapillaren Kalkaufstiege schon makroskopisch durch weisse Zonen feststellbar. Sowohl der Chemismus der Böden, wie auch die eigentliche Steppenflora dieser schweizerischen Trockenklave zeigen deutliche Anklänge an die russischen Schwarzerden. Von diesen unterscheiden sich allerdings die Walliserböden durch den vielfach fehlenden Humus. Wir bezeichnen diese arideren Bodenbildungen auf der neuen Bodentypenkarte als *steppenartige Walliserböden*. Wo die Bewässerung einsetzt, formen sich dann diese Profile bald in Braunerden um. Oberhalb Mörel oder in den entsprechenden Lagen der Seitentäler beginnen die Bodenverhältnisse wieder normal zu werden. In der subalpinen Stufe erscheinen auf den kalkarmen Muttergesteinen die podsoligen Typen der Talsenken oder die Eisenpodsole der Nadelwälder, auf massigen Kalken die Rendzinaserien, die weiter oben behandelt wurden.

Auch das **Tessin** hat klimabedingte Abweichungen der Bodenbildung zur Folge. Das *insubrische Klima*, hohe Niederschlagsmengen bis über 2000 mm und hohe mittlere Jahrestemperaturen um 11—12 Grad, muss sich in etwas abweichenden Verwitterungs- und Bodenbildungsprozessen äussern. Die Nähe der Mittelmeergestade beginnt sich in einer ausgesprochenen *Kieselsäureauswaschung* aus den obern Horizonten bemerkbar zu machen. Die schönen Spezialuntersuchungen von *H. Gessner* konnten den Beweis erbringen, dass neben der Kieselsäureabwanderung eine *Rückstandsanreicherung an Sesquioxiden* parallel geht. Damit stellt sich eine deutliche Verwandtschaft dieser Tessinerböden mit den eigentlichen Roterden der Mittelmeergebiete heraus. Von diesen unterscheiden sie sich allerdings durch eine weniger starke Entkieselung und durch eine geringere Sesquoxydanreicherung, sowie in vielen Fällen durch ihren ausgesprochenen Humusreichtum. Die Reaktion der vorwiegend auf saurer Gneisunterlage gebildeten Böden ist *sauer*, das pH bewegt sich zwischen 5 und 6. Die makroskopische Aehnlichkeit dieser Tessinerböden mit den Braunerden veranlasste uns zur Bezeichnung *insubrische Böden*: *Insubrische Braunerden* auf kalkarmem, *insubrische Humuskarbonatböden* auf kalkreichem Untergrund. Diese insubrischen Varianten der Braunerde und der Humuskarbonatböden gehen besonders in den dichten und schattigen Kastanienhainen leicht in podsolige Profile über.

In grössern Höhen werden auch im Tessin die Bodenbildungen wieder normal. Die Podsolserie reisst dort auf den *sauren* Muttergesteinen, die Humuskarbonatserie auf den Kalksedimenten, und die Braunerdeserie auf den kalkhaltigen Schiefen des Bedrettotales und des Val Piora die Herrschaft an sich.