

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	80 (1929)
Heft:	7-8
Artikel:	Neue pedologische Untersuchungen und ihre Anwendbarkeit auf forstliche Probleme
Autor:	Hess, E.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-767833

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

geschränkt werden und wahrscheinlich würde dazu für einzelne Konstruktionsteile auch dauerhafteres Material verwendet (Mauerpfiler und Eisenbalken).

J. Guidon.

Neue pedologische Untersuchungen und ihre Anwendbarkeit auf forstliche Probleme.

Von Dr. E. Heß, eidgen. Forstinspektor, Bern.

Vortrag, gehalten am 3. Juli 1929, anlässlich der Studienreise für Gebirgsforstbeamte in Chur.

1. Einleitung.

Die Erhaltung der guten Eigenschaften des Bodens durch geeignete waldbauliche Maßnahmen bildet eine der vornehmsten Aufgaben des Forstmannes. Dazu gehört eine genaue Kenntnis der Wechselbeziehungen zwischen Grundgestein, Verwitterungsprodukten, Humus und Waldbestand, denn die Vegetation ist von der Beschaffenheit des Bodens abhängig und sie wiederum ist nichts anderes als die durch das Klima bedingte Verwitterung des geologischen Untergrundes, die auch in hohem Maße von der Vegetation beeinflußt wird. Diese vier Faktoren: Klima, Untergrund, Boden und Vegetation stehen in engem Abhängigkeitsverhältnis und können nicht voneinander getrennt werden. Die verschiedene Zusammensetzung des Grundgesteins, die früher als Basis für die Bodenbildung angenommen wurde, bestimmt nur bis zu einem gewissen Grade die Eigenschaften des für uns in Betracht kommenden Bodens. Es können beispielsweise auf mineralreichem Untergrund durch den Einfluß des Klimas mineralarme Böden entstehen, indem die Mineralien aus den oberen Bodenschichten in tiefere entführt werden, wo sie für die Wurzeln nicht mehr erreichbar sind.

An mineralischen Stoffen enthalten die Gesteine besonders Kalium, Calcium, Natrium, Magnesium, Eisen, Aluminium. Im weiteren finden wir an Nichtmetallen: Schwefel, Silizium, Phosphor und Stickstoff, die in sehr verschiedenen Verbindungen in den Verwitterungsprodukten enthalten sind. Während man sich früher mit der Feststellung der in einem Boden vorhandenen Mineralstoffe begnügte und daraus Schlüsse auf gewisse Fähigkeiten zog, befaßt sich die moderne Pedologie hauptsächlich mit der Entstehung und Umwandlung, die ein Boden von der Verwitterung des Grundgesteins bis heute und noch weiterhin durchmacht. Die gegenseitige Beeinflussung der Mineralien unter sich und ihre Umlagerungen im Boden bei gewissen äußeren Einflüssen durch Klima und Vegetation ist in den letzten Jahren zum Gegenstand eingehender Studien geworden. Die früher statische Bodenkunde ist zu einer dynamischen geworden.

Diese Entwicklung der Bodenkunde ist für die Forstwirtschaft von großer Bedeutung, indem sie uns eine Einsicht in die verschiedenen Stadien der Degeneration unserer Böden gestattet, durch welche wir Anhaltspunkte für die Lösung gewisser, bisher schwer erklärlicher, forstlicher Probleme erhalten. Eine genaue Kenntnis der Bodenbedingungen unserer Wälder ist zur Hebung der Produktion absolut nötig. Wir wollen in der nachfolgenden Abhandlung den Versuch machen, einen Überblick über die hauptsächlichsten Resultate der modernen Bodenforschung zu geben und ihre Anwendungen auf die Forstwirtschaft prüfen.

2. Klima und Boden.

Ramann¹ war der erste, der die Bodenbildung auf die Klimaeinwirkungen zurückführte.

Die neuere Bodenkunde und besonders die Anwendung der Kolloidchemie auf das Studium der Verwitterungsprozesse, wurde von Wiegner² begründet und ist heute allgemein anerkannt.

Die Verwitterungsscheinungen stehen in engem Zusammenhange mit dem Klima, und es werden zwei Hauptgruppen von Böden unterschieden, je nachdem sie unter dem Einfluß von trockenem oder feuchtem Klima entstanden sind. Im ariden (trockenen) Klima übersteigt die Menge der Verdunstung die fallenden Niederschläge, so daß sich im Boden ein kapillar aufsteigender Wasserstrom bildet, der beim Verdunsten an der Oberfläche die gelösten Salze in den oberen Bodenhorizonten zurückläßt. Es findet eine Unreicherung von Nährstoffen und besonders von Kalk statt. Solche Böden können dreimal bis viermal mehr mineralische Salze enthalten als solche von feuchten Klimaten, so daß eine Düngung für den landwirtschaftlichen Betrieb nicht nötig ist. Im humiden (feuchten) Klima sind die Niederschläge größer als die Verdunstung, das Regenwasser sickert in tiefere Bodenschichten und nimmt die löslichen Stoffe aus den oberen Horizonten mit. Die Vorgänge in den Böden der beiden Hauptklimata werden durch die schematischen Darstellungen von Wiegner³ (Fig. 2) veranschaulicht. Mit A werden nach Glinka⁴ die Auspülhorizonte, mit B die Einspülhorizonte und endlich mit C die Muttergesteinsart bezeichnet.

In der Natur sind die Grenzen zwischen den beiden Hauptklimaten

¹ Ramann: Bodenkunde (Berlin 1911). — Boden und Bodenbildung (Berlin 1918).

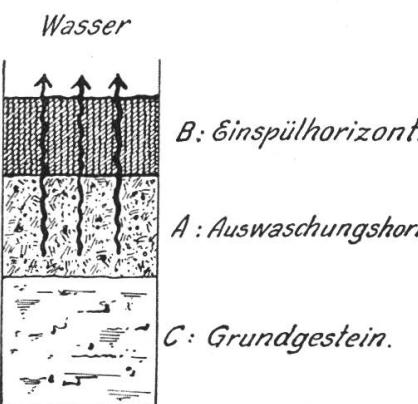
² Wiegner: Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung (4. Auflage. Leipzig 1926).

³ Wiegner: Neuere Bodenuntersuchungen in der Schweiz. (Schweizer. Landw. Monatshefte, 1927.)

⁴ Glinka: Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geographische Verbreitung. (Berlin 1914.)

nicht scharf getrennt, und es bilden sich Übergangszonen, die nach Wiegner wie folgt abgegrenzt werden können: Das extrem aride Gebiet, mit Niederschlägen unter 200 mm ist gekennzeichnet durch sehr geringe Verwitterung infolge Fehlens von Wasser. Es bilden sich Wüstenböden. Bei Niederschlagsmengen von zirka 200 mm beginnt die Gesteinshydrolyse einzusetzen und es werden Salze angehäuft, es entstehen die ariden Salzböden. Steigern sich die Niederschläge noch mehr, so daß sie 200—400 mm betragen, so erhalten wir semiaride Steppenböden. Wegen der Stockung des Wachstums in der heißen Jahreszeit kann nur eine Grasvegetation bestehen. Übersteigt die Niederschlagsmenge (400—500 mm) die Verdunstung, so entstehen Böden semihumiden Charakters, die Schwarzerden. Sie zeichnen sich durch hohen Ton- und Humusgehalt aus. Eine

Arid.



Humid.

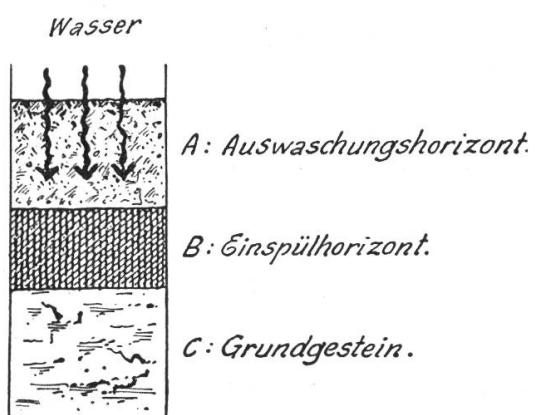


Fig. 2

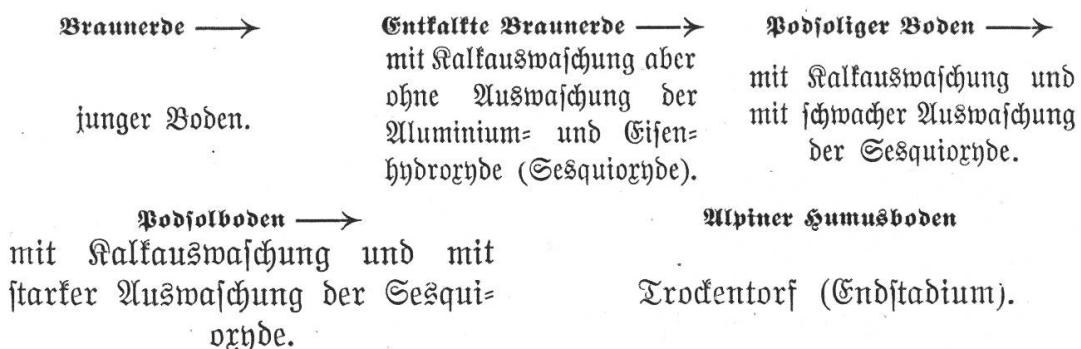
weitere Zunahme der Niederschläge auf 500—600 mm führt uns zu humiden Bodenbildungen. Der Bodentypus, der diesen Klimabedingungen entspricht, ist die Braunerde von Ramann. Bei mehr als 600 mm Niederschlag oder auch bei Sinken der Temperatur erhalten wir den extrem humiden Bodentypus, die Bleicherde, oder Podsol.

Mit Zunahme der Höhe über Meer und Sinken der Temperatur, oder Abnahme der Verdunstung durch Änderung der relativen Feuchtigkeit werden humide Klimabedingungen geschaffen. Im weiteren spielt die Durchlässigkeit der Böden eine Rolle. Leicht durchlässige Alluvionböden sind der Auswaschung stärker ausgesetzt als kalk- und tonreiche Moränen- und Molassenböden. Die Mengen Wasser, die in den Boden einfließen, nicht die Größe der Niederschläge, sind maßgebend für die Umlagerung der Mineralien. Auch die Vegetation kann Einfluß haben, indem z. B. der Wald humidere Bedingungen schafft als Ackerkultur.

Die extremsten Werte erreicht die Auslaugung im Norden und im Gebirge bei hohen Niederschlägen und geringer Temperatur. Es werden

dann nicht nur die leichtlöslichen Mineralien (K, Na, Ca, Mg) ausgewaschen, sondern auch das Eisen, das Aluminium und die Sieselsäure. Bei dieser höchsten Stufe der Auslaugung nimmt die Azidität in den oberen Bodenschichten in dem Maße zu, daß nur noch bestimmte Pflanzengesellschaften gedeihen können.

In der Schweiz, die zu den humiden bis extrem humiden (perhumiden) Gebieten gehört, sind die sogenannten Braunerden *R a m a n n s* die vorherrschenden Bodenformationen, welche bei hohen Niederschlägen zu podsoligen und Podsolböden¹ mit mehr oder weniger ausgebildeten Auswaschungshorizonten degenerieren. Der Vorgang, der bei der Auswaschung der Braunerde auftritt, kann nach *W i e g n e r* und *J e n n y*² wie folgt schematisch dargestellt werden:



Wir haben gesehen, daß *W i e g n e r* die Böden nach der Niederschlagsmenge einteilt. *L a n g*³ dagegen benützt für seine Klassifikation das Verhältnis: $\frac{\text{Niederschlag in mm}}{\text{Temperatur in } {}^\circ\text{C}} = \text{Regenfaktor}$. Da die Verdunstung mit der Temperatur ändert, so wird sie in dem Regenfaktor von *L a n g* berücksichtigt.

Noch weiter geht *M e y e r*,⁴ indem er an Stelle der Temperatur das sogenannte Sättigungsdefizit einführte. Es ist dies die Differenz zwischen der Feuchtigkeit bei Niederschlagsbildung und der mittlern beobachteten Feuchtigkeit des betreffenden Ortes. Werden die Feuchtigkeitsgrade in Millimetern angegeben, so erhält man das absolute Sätt-

¹ Podsol bedeutet Ascheboden und röhrt von der aschgrauen Farbe des ausgeblichenen Horizontes her. Der Name ist allgemein gebräuchlich für Böden, die in den oberen Schichten eine Eisenauswaschung zeigen. Ist sie nur schwach ausgebildet, so spricht man von podsoligen Böden.

² *B r a u n - B l a n q u e t* und *J e n n y*: Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. (Denkschriften der Schweizer. Naturforschenden Gesellschaft, 1926.)

³ *L a n g*: Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. (Internat. Mitteilungen für Bodenkunde, 1915.)

⁴ *M e y e r* A.: Ueber einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. (Chemie der Erde, Bd. 2, 1926.)

tigungsdefizit; werden dagegen die relativen Feuchtigkeiten benutzt, wobei diejenige der vollständig mit Wasser gesättigten Luft gleich 100 % ist, so spricht man vom relativen Sättigungsdefizit. Je größer das Sättigungsdefizit, um so größer ist die Verdunstung. Meher benutzt also für die Klassifikation des Klimas den Niederschlags-Sättigungsquotienten = Niederschlag

Sättigungsdefizit Diese N.-S.-Werte entsprechen den klimatischen und pedologischen Verhältnissen besser als die Regenfaktoren von Lang. Zur Veranschaulichung unseres Klimas geben wir im nachfolgenden einige N.-S.-quotienten von Stationen der Schweiz:

N.-S.-quotienten unter 350, semi-humide Gebiete:

Station	Höhe über Meer	N.-S.-quotient
Siders	552 m	217
Sitten	540 m	284
Marligny	498 m	340

N.-S.-quotient 350—500, humide Gebiete:

Station	Höhe über Meer	N.-S.-quotient
Genf	405 m	405
Chur	610 m	427
Montreux	380 m	440
Basel	277 m	464
Lausanne	553 m	490
Neuenburg	487 m	498

N.-S.-quotient 500 bis über 1000, per humide Gebiete:

Station	Höhe über Meer	N.-S.-quotient
Bern	572 m	524
Bellinzona	235 m	535
Zürich	470 m	595
Luzern	451 m	640
Bruntrut	430 m	635
Aarau	397 m	690
Lugano	275 m	700
Olten	395 m	798
St. Gallen	703 m	832
Meiringen	605 m	975
Glarus	477 m	1056
Reckingen	1332 m	920
Leukerbad	1405 m	516
Großer St. Bernhard	2476 m	1140
Sargans	507 m	758
Altstätten	471 m	697
Trogen	900 m	1146

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß der größte Teil der Schweiz perhumides Klima besitzt und nur wenige Orte ins humide und semi-humide eingereiht werden können.

Tenn¹ hat auf Grund der N.-S.-quotienten eine klimatische Bodenkarte der Schweiz gezeichnet, in welcher er die Böden in drei großen Gruppen darstellt, nämlich:

1. Böden mit geringer Umlagerung der Karbonate und Sesquioxide.
2. Böden mit starker Umlagerung der Karbonate.
3. Böden mit starker Umlagerung der Sesquioxide.

Die erste Gruppe umfaßt die Böden des schweizerischen Mittellandes und die angrenzenden Alpentäler. Da die klimatischen Verhältnisse gemäßigte sind, spielt die geologische Unterlage eine bedeutende Rolle und das Bodenprofil wird verschieden ausfallen auf Moräne, Molasse, Magel-
fluh, Flysch usw. Der vorherrschende Bodentyp ist die Braunerde, von dunkelbrauner, durch Eisenoxyd und Humusstoffe verursachten Farbe.

In die zweite Gruppe gehören die Böden des Jura und der kalkreichen Voralpen und Alpen. Charakteristisch für dieses Bodenprofil ist die starke Auswaschung des Kalkes. Dieser Bodentyp wird Humuskalkboden oder Rendzina² genannt. Die Auswaschung der Karbonate geht unter dem Einfluß des schweizerischen Klimas sehr rasch vor sich und der neutrale, fruchtbare Boden geht dann in den sauren über.

In die dritte Gruppe gehören, mit wenigen Ausnahmen, alle Böden der höheren Lagen, speziell im Wallis, Berner Oberland, Tessin und Graubünden.

Zur Veranschaulichung der fortschreitenden Bodendegeneration, durch Umlagerung der Mineralstoffe, geben wir nachfolgend einige charakteristische Profile von verschiedenen Stadien.

Als Boden ohne Auswaschung der Karbonate mit alkalischer Reaktion fanden wir ein Profil in einem gemischten Wald von Fichte, Esche, Eiche, am rechten Ufer der Rotachen bei Kiesen (Bern). Untergrund Kiesbänke der Aare, mit Schotter der Rotachen:

Mächtigkeit, Schicht, Tiefe, Farbe	pH	Ca CO ₃	Humus	Sesquioxide Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃
A ₁ 5 cm schwarzer Humus . . .	7,8	11,6	nicht bestimmt	nicht bestimmt
B 40 cm schwarzer Sand . . .	8,3	15,2	"	"
B 100 cm brauner Sand mit Kies	8,3	17,0	"	"
C in 3 m Kiesbank	8,3	31,5	"	"

¹ Tenn: Bemerkungen zur Bodentypenkarte der Schweiz. (Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz, Heft 3, 1928.)

² Rendzina bedeutet nach Glinka: zäher, toniger Boden. Er ist der Braunerde von Ramanan nahe verwandt, bildet sich aber nur auf Kalkunterlage.

Geringe Umlagerung der Karbonate zeigt ein relativ junger Waldboden von Les Arses bei Rougemont, bei 1300 m Meereshöhe, der folgendes Profil hat:

A ₁ 15 cm schwarzer Humus mit Mineralerde vermischt . . .	6,8—7,1	0 — 8,6	nicht bestimmt	nicht bestimmt
B ca. 100 cm braune, eisenhaltige Schicht	6,8—7,1	1,5—98,0	"	"
C Kalkbreccie der Hornfels mit Moräne	—	—	"	"

Ein Rendzinaprofil mit schwacher Auswaschung des Kalkes gibt J en n y von der Alp Murtér im Nationalpark, bei 2250 m Meereshöhe:

A ₁ 25 cm Humus	6,0	0	35,3	0
B 40 cm dunkelgrauer, schwerer Ton	6,9	0,38	17,8	13,03
C Kalkfels	7,6	82,0	0	1,94

Als fortgeschritteneres Stadium mit vollständiger Auswaschung des Kalkes und beginnender Umlagerung der Sesquioxide erwähnen wir das Bodenprofil der Niederterrassen der Aare von Geßner:

A ₁ 3 cm schwarzer Humus	7,2	0,4	21,6	0
A ₂ 5 cm leicht ausgebleichte Schicht	6,3	0	9,5	4,72
B 140 cm Verwitterungszone	6,6—6,8	0	2,5	6,37
C Unverwitterter Untergrund, Molasse	7,2	23,0	4,1	2,89

Der Kalk ist bis in eine Tiefe von 1,5 m vollständig verschwunden, ein Teil der Sesquioxide ist aus der oberen Schicht ausgewaschen und im B-horizont angereichert.

Noch deutlicher lässt sich die Auswaschung auf den Hochterrassen erkennen. Diese Böden gehören schon zu den podsoligen Typen.

Als weiteres Stadium folgen die Podsolböden. Ausgesprochene Podsole, mit vollständig eisenfreien Horizonten sind in der Schweiz selten; auch im Hochgebirge entsprechen die meisten Böden noch dem Stadium der podsoligen Typen. Immerhin erwähnt R a m a n n Podsolböden am Gotthard und an der Furka, J en n y in Bernez, im Staizerwald und in der Nähe des Hotels Maloja.

Als Beispiel einer fortgeschrittenen Podsolierung geben wir ein Profil von Bernez, bei 1500 m Meereshöhe, aufgenommen von J en n y:

A ₁ 15 cm dunkelbrauner Humus . . .	6,0	0	28,8	0
A ₂ 15 cm hellgraue, gebleichte Schicht	6,4	0,24	2,9	3,99
B 20 cm dunkelgelbes Gerölle	6,8	0,50	3,5	17,00
C Schutt und Geröll	7,2	14,1	2,7	9,70

Die Eisenanreicherung im B-horizont ist sehr ausgesprochen, aber die Böden sind noch nicht stark sauer. Bedeutend tiefere Reaktionszahlen

treffen wir auf Urgestein, was folgendes Profil vom Oberwallis, bei 2050 m Meereshöhe, beweist, daß sich dem Endstadium, dem alpinen Humusboden mit der Ausbildung des Trockentorfs nähert:

A ₁ 10-20 cm torfartiger Humus . . .	4,2	0	nicht bestimmt	nicht bestimmt
A ₂ 20-40 cm harte, graue Bleicherdeschicht	4,3	0	"	"
B 100 cm gelbbraune, eisenhaltige Schicht	5,1	0	"	"
C Gneis	7,4	0	"	"

Je nach Alter und Lage finden wir in der Schweiz alle Übergänge, vom kalkhaltigen Rendzinaboden bis zum ausgeprägten Podsol. Die Grenzen der Bodentypen sind nicht scharf ausgebildet, sie können durch Transporte verwischt werden, so daß große örtliche Wechsel im Profil möglich sind. Durch Abtrag und Auftrag entsteht eine fortwährende Umwandlung der Böden, indem neues und altes Material miteinander vermengt werden.

Die klimatische Bodentypenkarte berücksichtigt weniger die geologische Unterlage als vielmehr die Entwicklungstendenz der Böden. Sie ist eine dynamische Karte mit den wirkenden Kräften: Niederschlag und Temperatur.

Die Karte gibt uns nur einen Gesamtüberblick über die Böden der Schweiz und erst Detailarbeiten von einzelnen Gebieten werden uns Klarheit verschaffen über den Grad der Auswaschung der Schweizerböden. Meyer hat in seiner oben zitierten Arbeit Bodenprofile des Wallis veröffentlicht. Da die N.-S.-quotienten der Talsohle von Martigny bis Siders zwischen 217—340 liegen, sollten in diesen Gebieten keine Auswaschungen auftreten. Meyer fand aber nur am Lötschberg, unterhalb 800 m Meereshöhe, Böden, die keine deutliche Verschiebung in drei Horizonte A, B, C zeigten. Aber schon über 800 m und noch deutlicher in der Zone von 1400 m bis zur Waldgrenze treten auch im Wallis podsolige Böden auf, mit deutlichen Auswaschungshorizonten. Eine weitere Arbeit liegt vor über die Böden des Nationalparks in Graubünden von Braun-Blanquet und Jeanny. Auch hier wurden hauptsächlich podsolige Böden festgestellt. Eine Eigentümlichkeit des Hochgebirges sind die von Jeanny im Nationalpark untersuchten alpinen Humusböden, die sich dadurch kennzeichnen, daß der A-horizont, der aus mehr oder weniger zerlegten Pflanzenteilen und Flugstaub besteht, stellenweise große Mächtigkeit annimmt und stark sauer reagiert. Es ist ein Trockentorf mit pH-reaktionen von 4—5.

Gute Anhaltspunkte über die Bodenbildung auf den Alaretassen und im Tessin geben die Arbeiten von Geßner und Siegrist.¹

¹ Geßner und Siegrist: Bodenbildung, Besiedelung und Sukzession der Pflanzengesellschaften auf den Alaretassen. (Mitteilungen der Marg. Naturforschende Gesellschaft, 1925.)

— Die Auen des Tessinflusses. (Schröter-Festschrift, Zürich 1925.)

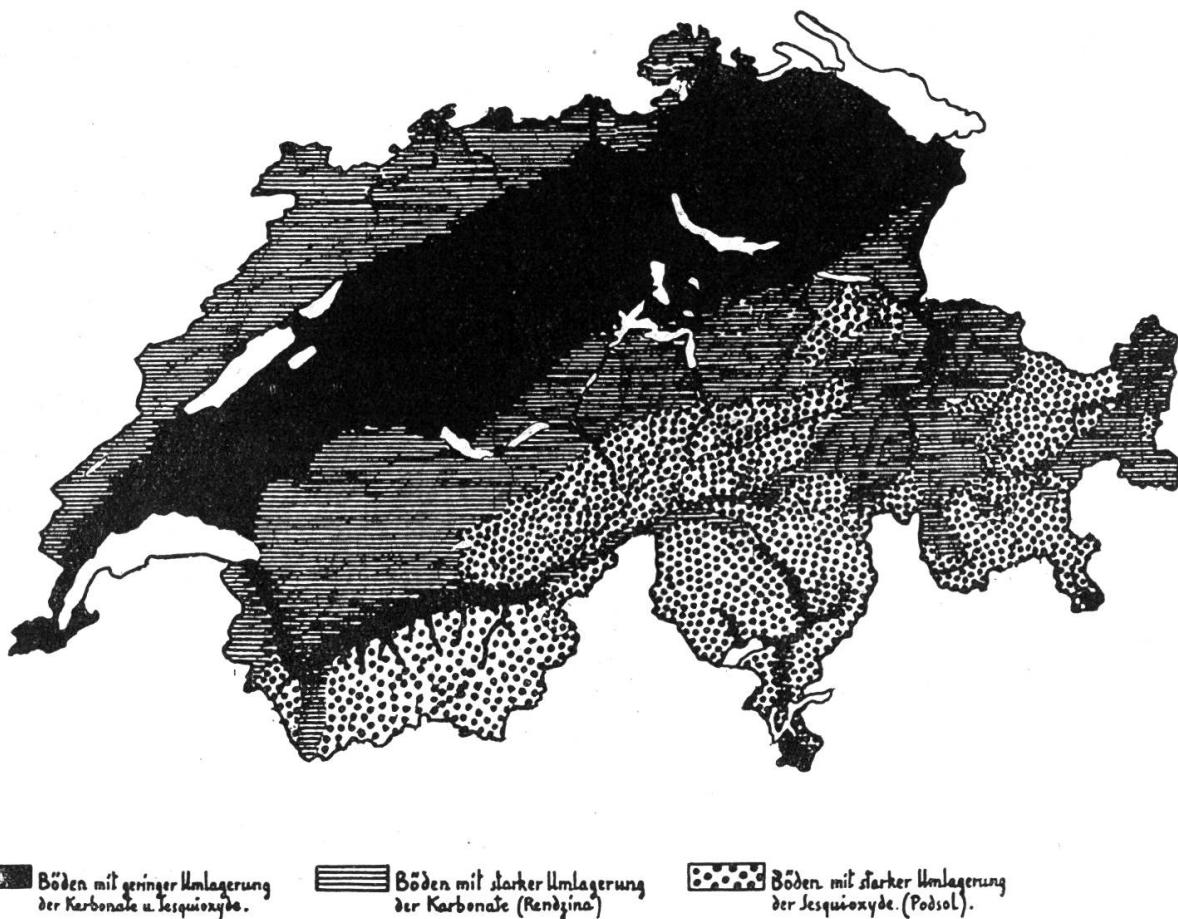


Fig. 3.¹ Bodentypenkarte der Schweiz von Jenny

Erwähnen wollen wir ferner die Bodenuntersuchungen von Lüdi² im Berner Oberland.

Charakteristisch für diese Böden ist der außerordentlich hohe Humusgehalt und der geringe Gehalt an Kalkkarbonaten, was inmitten des großen Kalkgebietes erstaunlich ist. Nebrigens fand Jenny auch im Nationalpark auf kalkreichen Sedimenten 80 % saure und nur 7 % neutrale und 13 % alkalische Böden. In der Schweiz sind also auch die Böden auf Kalkunterlage in hohem Maße der Auswaschung ausgesetzt, so daß sie arm an Kalkkarbonat sind.

¹ Das Kästchen der Figur 3 wurde mir vom Verlag des landwirtschaftlichen Jahrbuches der Schweiz, dem Eidgen. Volkswirtschaftsdepartement, Abteilung für Landwirtschaft, diejenigen der Figuren 1, 8, 9 von der Schweizer. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellt.

² Lüdi: Beitrag zu den Beziehungen zwischen Vegetation und Zustand des Bodens im westlichen Berner Oberland. (Bericht der Schweizer. botanischen Gesellschaft 1928.)

— Der Assoziationsbegriff in der Pflanzensoziologie. («Bibliotheca Botanica», 1928.)

3. Die Wasserstoffionenkonzentration und die Pufferwirkung der Böden.

Der Säuregrad einer Lösung hängt von ihrem Gehalt an positiv geladenen Wasserstoffionen H^+ ab.¹ Bei den Säuren überwiegen die H^+ -ionen, während bei den Basen die elektrisch negativ geladenen OH^- -ionen vorherrschen. Die Dissoziation des chemisch reinen Wassers in seine elektrisch geladenen positiven H^+ -ionen und negativen OH^- -ionen bildet die Grundlage zur Feststellung des Aziditätsgrades. In reinem Wasser sind 0,0000001 Atomgramme H^+ -ionen und ebensoviel, also auch 0,0000001 Atomgramme OH^- -ionen enthalten; die Lösung reagiert neutral.

Fügen wir dieser neutralen Lösung eine Säure zu, so dissoziert sie in ihre positiven H^+ -ionen und die negativen X^- -ionen (z. B. Salzsäure, HCl , in H^+ und Cl^-). Es wiegen in der Lösung die H^+ -ionen vor, welche variieren können von

$$0,1 \text{ bis } 0,0000001 = \frac{1}{10} \text{ bis } \frac{1}{10\,000\,000} = 10^{-1} \text{ bis } 10^{-7} \text{ Atomgramme.}$$

Der analoge Fall tritt ein bei Zusatz einer Base. Die OH^- -ionen nehmen zu, die H^+ -ionen ab, dann wird $H^+ = 10^{-7} - 10^{-14}$.

Die Menge der H^+ -ionen im Liter Lösung bildet die Grundlage zur Bestimmung der Azidität, Neutralität und Alkalinität. Um die umständliche Schreibweise zu vereinfachen, hat Sörensen² vorgeschlagen, den negativen Logarithmus der H^+ -ionenkonzentration und das Zeichen pH (Wasserstoffzahl) zu benutzen. Eine neutrale Lösung hat also die Wasserstoffzahl von 7 pH oder $pH = 7$. Es entsprechen tiefe Wasserstoffzahlen, 1—7 pH, einer hohen Wasserstoffionenkonzentration (große Azidität) und hohe, 7—14 pH, einer geringen Azidität. Heute wird der Säuregrad der Böden allgemein durch die Wasserstoffionenkonzentration angegeben und die schweizerischen agrarwissenschaftlichen Versuchsanstalten haben folgende Skala für die Schweizerböden aufgestellt:

pH:	4,6	5,2	5,8	6,4	7,0	7,3	7,6	7,9
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Bezeichnung der Reaktion:	sehr stark sauer	stark sauer	schwach sauer	neutral	schwach alkalisch	stark alkalisch		
---------------------------	------------------	-------------	---------------	---------	-------------------	-----------------	--	--

Die Säurewerte der schweizerischen Böden liegen zwischen 3,5—8,8, in Schweden fand man 4,0—8,4, in Finnland 4,0—7,4, in Dänemark 4,6—8,4, in Ungarn 4,8—9,0.³

Viele Böden haben die Fähigkeit, die Wasserstoffionenkonzentration bis zu einem gewissen Grade konstant zu erhalten; ihre charakteristische

¹ Als Zonen bezeichnet man die Zersetzungspprodukte der Elektrolyse; es sind elektrisch geladene Atome oder Atomgruppen, die in einer Lösung voneinander getrennt herumschwimmen.

² Sörensen: Ueber die Messung und Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration bei biologischen Prozessen. (Ergebnisse der Physiologie 1912.)

³ Wiegner und Geßner: Die Bedeutung der pH-bestimmung in der Bodenkunde. (Kolloidschrift 1926.)

pH-eigenreaktion wird also durch Zusatz von Säuren oder Basen nicht wesentlich verändert. Diese Eigenschaft nennt man **Pufferung**. Im Boden wirken als Pufferstoffe: die Kohlensäure, Bicarbonate, Phosphate usw.

Ramann¹ hat beispielsweise nachgewiesen, daß Kohlensäure die Silikate stark angreift und zerstört. Bei Gegenwart saurer kohlensaurer Salze dagegen wird der Angriff der Kohlensäure vermindert und die Silikatzersetzung ist gehemmt. Die sauren Karbonate wirken also als Puffer auf die Kohlensäure. Setzt man daher einem calciumkarbonathaltigen Boden eine Säure zu, so entsteht Kohlensäure, die sich mit dem noch vorhandenen Calciumkarbonat in Calciumbikarbonat umsetzt. Solange überschüssiges Calciumkarbonat vorhanden ist, wird bei Säurezusatz die Eigenreaktion des Bodens nicht ändern.

Die Braunerdeböden sind im allgemeinen gut gepuffert, die podsoligen Böden dagegen haben ein schwaches Pufferungsvermögen. Mit der Abnahme des Kalkgehaltes wird die Pufferung gegen Säuren kleiner, mit der Zunahme von Humus wird sie gegen Basen größer.

Braun-Blanquet und Jenning haben das Pufferungsvermögen einiger alpiner Böden in Graubünden bestimmt. Einen guten Begriff von der Festigkeit der Eigenreaktion von Humusböden und der Nachgiebigkeit, d. h. der geringen Pufferung der Podsolböden, gibt die nachfolgende Tabelle:

Pufferungsvermögen einiger alpiner Böden.

(Nach Braun-Blanquet & Jenning, 1926.)²

Bodenart	pH	Pufferung gegen Säure		Pufferung gegen Basen		
		pH	Nachgiebigkeit	pH	Nachgiebigkeit	
1. Humusböden						
im Curvuletum	5,3	4,8	0,5	5,6	0,3	Gutes Puffervermögen, pH-werte relativ konstant.
im Elynetum	5,5	5,3	0,2	5,7	0,2	
im Firmetum (mit Kalk)	7,2	7,2	0,0	7,3	0,1	
2. Podsolböden						
im Curvuletum	5,5	4,1	1,4	6,0	1,1	Schlechtes Puffervermögen, pH-werte wenig beständig
im Oberengadin	6,0	4,0	1,0	7,0	1,0	
im Föhrenwald in Cluozia	6,4	4,8	1,6	6,9	0,5	

¹ Ramann: Pufferwirkung der sauren, kohlensauren Salze und ihre Bedeutung für Waldböden. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1922.)

² Die Pufferwirkung der Böden wird experimentell festgestellt, indem man die pH-werte vor und nach Zusatz einer bestimmten Menge Säure oder Lauge bestimmt.

Bergleiche auch Braun-Blanquet: Pflanzensoziologie (Berlin, Springer, 1928) und Jenning: Reaktionsstudien an schweizerischen Böden (Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz, 1925).

Auf Grund ihrer Untersuchungen teilen sie die Böden des Nationalparks nach ihrem Pufferungsvermögen wie folgt ein:

Bodenart	Pufferung gegen Säuren	Pufferung gegen Basen
Sandböden und Podsol	sehr gering	sehr gering
Tonböden	gut	gut
Kaliböden	sehr stark	gut
Humusböden	gut	sehr stark

Je größer das Pufferungsvermögen eines Bodens ist, um so weniger Änderungen wird die Vegetation erfahren. In schlecht gepufferten Böden muß die Vegetation dagegen auf große pH-Schwankungen eingestellt sein.

4. Beziehungen zwischen Wasserstoffionenkonzentration des Bodens und Vegetation.

Die Eigenreaktion eines Bodens spielt eine große Rolle auf die Verteilung der Pflanzengesellschaften, indem die einzelnen Arten verschieden auf die Acidität reagieren. Die Wasserstoffionenkonzentration des Zellsaftes der Pflanzen steht in einem gewissen Verhältnis zur Reaktion des Bodens, und wenn dieses gestört wird, so treten Wachstumsschädigungen auf, die das Verschwinden gewisser Arten auf dem betreffenden Boden zur Folge haben können.

Jede Art und jede Pflanzengesellschaft besitzt also eine mehr oder weniger große pH-Amplitude mit einem ausgesprochenen Optimum. Wichtig sind die Grenzwerte, welche das Gedeihen der Pflanze gerade noch gestatten. Es bedarf nur einer geringen Änderung in der Reaktion, um das Wachstum entweder zu befördern oder aber unmöglich zu machen. Handelt es sich um landwirtschaftlichen Betrieb, so müssen bei solchen Reaktionsänderungen andere Pflanzen angebaut, oder der Boden muß zur Wiederherstellung der alten Eigenschaften gedüngt werden. Für die vielen Kulturpflanzen sind die pH-Bereiche bekannt,¹ und der Landwirt kann durch zweckmäßige Düngung die Bodenreaktion für eine bestimmte Pflanze günstig gestalten.

Die pH-Bereiche verschiedener Pflanzengesellschaften wurden besonders durch Braun-Blanquet und Jeannin im Nationalpark bestimmt. Sie haben die pH-Kurven der Pflanzenassoziationen:² Firmen-

¹ Z. B. Roggen pH = 5,0—6,0, Zuckerrübe pH = 7,0—7,5, Kartoffel pH = 4,7—5,6 usw., nach Arrhenius, zitiert in Wiegner und Geßner (Kolloidzeitschrift 1926).

² Assoziation ist eine Verbindung von Pflanzenarten zu einer Pflanzengesellschaft. Jede hat ihre Charakterarten. Am besten läßt sich die Assoziation mit dem waldbaulichen Begriff: Bestandestyp vergleichen.

tum, Elynetum und Curvuletum, gestützt auf zahlreiche Bodenproben, bestimmt und die zugehörigen Bodenprofile angegeben. (Fig. 4.)

Der Kalkrohboden mit alkalisch bis neutraler Reaktion ($\text{pH} = 7,6-6,8$) wird von Pioniergesellschaften besiedelt, die die anfangs basische oder neutrale Humusschicht A_1 schaffen. Später tritt bei vermehrter Humusproduktion im perhumiden Klima der Alpen starke Auswaschung der Karbonate ein und es entstehen die fruchtbaren Böden der Kalkalpen. Das streng kalkophile Firmetum (mit *Carex firma* [fette Segge] als bestandbildender Art), dessen Optimum der Verbreitung bei $\text{pH} = 7,2$ liegt, wird durch das Elynetum (mit *Elyna myosuroides* [Märt-

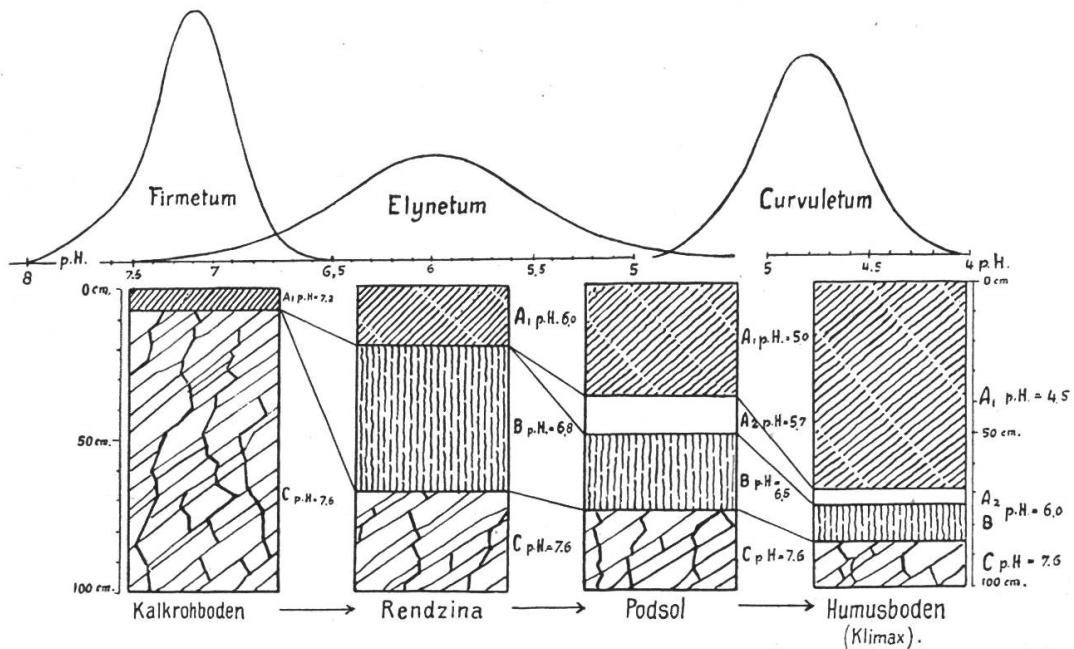


Fig. 4. Schematische Darstellung der Bodenbildung und Vegetationsentwicklung auf Kalk im Hochgebirge (nach Braun-Blanquet und Jenyn)

riedgras] als Charakterart) ersetzt. Auf Braunerden, mit rasch wechselnder chemischer Zusammensetzung sind nur solche Pflanzenassoziationen beständig, die eine große pH-Variabilität vertragen. Das kräftige Wachstum dieser Gesellschaften erhöht den humosen A_1 -horizont unter gleichzeitiger Zunahme der Azidität. Ist aller Kalk ausgewaschen, die Humustoffe sauer geworden, so gehen die Braunerdeböden in podsolige Böden über. Sämtliche Horizonte werden H^+ -ionenreicher und es bildet sich in den oberen Teilen des B-horizontes ein schmaler Bleicherdestreifen A_2 aus, der die Degeneration der Braunerden kennzeichnet. Die herrschenden Pflanzenassoziationen machen extrem säureliebenden Gesellschaften, dem Curvuletum (mit *Carvex curvula* [krumme Segge] als Hauptvertreter) Platz. Der anfangs unscheinbare, neutrale A_1 -horizont ist nun zum stark sauren (bis $\text{pH} = 4$) Hauptbestandteil des Bodenprofils geworden; das Endstadium der alpinen Humusböden (Klimax) ist erreicht. In nie-

deren Lagen, z. B. im Mittelland, bildet das Podsolprofil das Endstadium.

Die gleiche Entwicklung zeigt sich bei der Verwitterung von kristallinen Gesteinen, wo die saure Humusanreicherung wegen Mangel an Kalk noch rascher vor sich geht.

Von Bedeutung sind die Schnittpunkte der Kurven, weil bei den entsprechenden pH-reaktionen der Daseinskampf zweier Gesellschaften stattfindet, wobei die eine verdrängt wird. Dieser Übergang vom Firmetum in Elynetum findet z. B. nach obiger Kurve in Böden von $\text{pH} = 7 - 6,5$ statt und das Elynetum muß dem Curvuletum bei $\text{pH} = 5,5 - 5,1$ weichen. (Figur 4.)

Mit der fortschreitenden Auslaugung und Versauerung der Böden treten also eine Reihe von Veränderungen in der Vegetation auf. Die Anfangsgesellschaften der neutralen oder basischen Böden machen den Übergangsgesellschaften Platz, welche die Böden mit günstiger Zusammensetzung besiedeln, und auf den vermögerten ausgewaschenen Böden mit wenig Nährstoffen gedeihen die Schlußgesellschaften (Klimax). So sehen wir, daß Vegetationsentwicklung und Bodenbildung das Resultat langandauernder Veränderungen darstellen, die durch vielfache Wechselbeziehungen miteinander verbunden sind. Boden und Vegetation streben einem Endzustand zu, dem Boden- oder Vegetationsklimax.

Die Bedeutung, welche die pH-reaktion in der Pflanzensoziologie erlangt hat, bewog Amann¹ und Braun die Arten und Pflanzen-gesellschaften je nach ihrem Verhalten zur Reaktion des Bodens einzuteilen in :

1. Azidiphile, mit Bodenreaktion $\text{pH} = 6,7 - 4,0$
2. Neutrophile, " " $\text{pH} = 7,0 - 6,7$
3. Basiphile, " " $\text{pH} = 7,5 - 7,0$
4. Indifferente, " " pH sehr variabel von sauer zu basisch.

Nach den bisher durchgeführten Untersuchungen scheinen die Waldbäume große pH-bereiche zu besitzen. Sie vertragen also erhebliche pH-Schwankungen und gehören mit wenigen Ausnahmen in die Klasse der azidiphilen Arten, wobei die Nadelhölzer als extrem ($\text{pH} = 3,8 - 5$), die Laubhölzer dagegen als mäßig bis schwach azidophil ($\text{pH} = 5 - 6,7$) bezeichnet werden können. Es liegen noch zu wenig pH-kurven von Bäumen und Beständen vor, um eine einwandfreie Klassierung vorzunehmen.

Nach Frank², der viele Waldböden in Deutschland untersucht hat, nimmt die Fähigkeit, saure Böden zu ertragen bei den Hauptholzarten

¹ Amann: Contribution à l'étude de l'édaphisme physico-chimique. (Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles, 1919.)

² Frank: Ueber Bodenazidität im Walde. (Freiburg i. Br., 1927.)

in folgender Reihenfolge ab: Föhre — Fichte — Weißtanne — Buche — Lärche. Nach seinen Untersuchungen sind Böden, deren pH-reaktion sich zwischen 4,4—7,4 bewegt, für die Waldvegetation günstig. Schädigungen treten erst auf, wenn diese Grenzen überschritten werden. Immer unter der Voraussetzung, daß die physikalischen Verhältnisse günstig sind.

Hesselman und Heinwald¹ haben die Bodenreaktionen verschiedener Waldtypen bestimmt, ohne jedoch für die Praxis brauchbare Gesetzmäßigkeiten herauszufinden.

5. Der Einfluß der Pflanzendecke, insbesondere des Waldes auf Boden und Bodenbildung.

Während das Klima durch Temperatur und Niederschläge direkt auf den Boden wirkt, übt die Vegetation durch die Bildung von Humus einen oft nicht geringen indirekten Einfluß aus. Der Wald als großer Humuserzeuger muß dabei eine besondere Stellung einnehmen. Er wirkt in mannigfacher Weise auf den Boden, einmal durch die Holzarten selbst, dann durch ihre Vereinigungen zu Beständen, im weiteren durch die lebende Bodendecke in Verbindung mit den atmosphärischen Bedingungen, die unter dem Kronendach entstehen. Die Beschirmung hat einen Einfluß auf die Niederschläge, die Bestrahlung, die Luftbewegung und somit auf die Verdunstungsbedingungen des Bodens. Die größte Einwirkung aber hat die Streue, indem sie ihrerseits nochmals ähnliche Bedingungen schafft wie die Beschirmung. Der Wald kann also, wie wir schon eingangs erwähnt haben, humidere Bedingungen schaffen.

Bei der vollständigen Zersetzung der organischen Stoffe wie es im tropischen und subtropischen Klima der Fall ist, bildet sich Kohlensäure und Wasser, es bleiben keine oder nur geringe Reste organischer Stoffe zurück, die Böden sind humusarm. Bei nicht vollständigem Abbau der organischen Substanzen entsteht der eigentliche Humus. Der Verlauf der Zersetzung hängt von der Arbeit der Kleinlebewesen ab, deren Entwicklung durch Wärme, mäßige Feuchtigkeit, neutrale oder basische Reaktion der Verwesungsstoffe in hohem Maße begünstigt wird. Bei saurer Reaktion und tiefen Temperaturen wird die Oxidation verzögert.

Nach Ramanan sind die Humusstoffe Kolloidkomplexe sehr verschiedener Zusammensetzung, die sich infolge ihrer feinen Zerteilung durch große Absorptionsfähigkeit auszeichnen. Es werden zwei Gruppen von Humus unterschieden, nämlich der neutrale, milde oder gesättigte Humus und der saure oder ungesättigte Humus. Der erstere entsteht auf karbonathaltigen Böden. Die bei der Zersetzung der organischen Substanzen entstehenden Säuren werden durch die Karbonate neutralisiert. Er ist

¹ Heinwald: Untersuchungen über die Reaktion württembergischer Waldböden. (Forstwissenschaftliches Centralblatt, 1928.)

neutral und hat viele gute Eigenschaften, vor allem fördert er die Entwicklung der Kleinelebewelt und damit den Abbau organischer Stoffe, im weiteren bildet er die Krummelstruktur des Waldbodens und schützt diesen vor Auswaschung.

Der ungesättigte oder saure Humus entsteht, wenn Karbonate fehlen und eine Neutralisation der Säuren nicht stattfindet. Infolge der hohen Azidität wirkt er ungünstig auf die Lebewesen, die Oxydation ist ungenügend und die organischen Stoffe häufen sich an. Der Vorgang der Entstehung der beiden Humusarten ist nach Wiegner ein Austausch zwischen den H-IONEN an der Oberfläche der Humusteilchen und den Ca-Ionen der Bodenlösung. Der gesättigte oder milde Humus kann dargestellt werden als $\boxed{\text{Humus}} \text{ Ca}$, der ungesättigte oder Rohhumus als $\boxed{\text{Humus}} \text{ H}_2$.

Durch fortschreitende Auswaschung oder durch Aenderung der Zersetzungsbedingungen, Mangel an Luft, Versumpfung oder durch unzweckmäßige, menschliche Eingriffe, kann neutraler Humus in sauren übergehen, indem das Calcium durch Wasserstoff ersetzt wird, nach der Formel (Wiegner) :



Die H-Ionen des sauren Humus dringen in den mineralischen Boden ein und zerteilen die Bodensalze, so daß sie löslich und abgeschwemmt werden. Selbst die schwer löslichen Aluminium-, Eisen- und Kiesel säureverbindungen werden durch ungesättigten Humus in Lösung gebracht. Böden unter Rohhumus sind daher in hohem Maße der Auslaugung ausgesetzt. Durch die Ablagerung der Bodensalze in tiefen Schichten kann Orthstein entstehen, der ein Gemenge von ausgesäumtem Eisen- und Aluminiumhydroxyd mit Kiesel säure und Humus darstellt. Diese Umlagerung der Mineralstoffe hat zugleich eine Umbildung der physikalischen Struktur des Bodens zur Folge.

Gesner hat die Rolle des Humus in den Auen des Tessin und der Aare verfolgt und dort vier Verwitterungsstadien festgestellt. Die frisch angeschwemmten Böden enthalten sehr viel Calciumkarbonat, aber noch keine organischen Stoffe. Die älteren Böden, mit Erlenwald bestockt, zeigen 2 % Humus bei gleichgebliebenem Kalkgehalt. Die drittältesten Böden, das jüngere Kulturland, enthalten 3—5 % Humus und zeigen schon eine deutliche Kalkauswaschung in den oberen Schichten. Die ältesten Böden, das ältere Kulturland, sind sehr humusreich, über 5 %, reagieren schwach sauer ($\text{pH} = 6,2$) und zeigen nicht nur Kalk-, sondern auch schon deutliche Eisenauswaschungen (Profil Seite 7).

Um den Einfluß der verschiedenen Holzarten auf die Humusbildung

festzustellen, hat Hesselmann¹ Untersuchungen über die Eigenschaften des Ausgangsmaterials der Humusbildung angestellt. Das Untersuchungsobjekt bestand aus herbstlich vergilbten Blättern, im Begriff abzufallen. Sie hatten also die natürlichen am Baume stattfindenden Veränderungen erfahren, waren aber noch keinem im Boden stattfindenden Zersetzungssprozeß unterworfen. Untersucht wurde hauptsächlich der Gehalt an sauren und alkalischen Pufferstoffen und die pH-reaktion.

Die Eigenreaktion der Blätter der wichtigsten Holzarten, ihr Gehalt an assimilierbarem und Totalgehalt an Kalk und der Gesamtgehalt an Stickstoff sind in der nachstehenden Tabelle nach Hesselmann zusammengestellt.

Aus der Tabelle lassen sich folgende Gesetzmäßigkeiten herauslesen: Die Nadeln der Nadelhölzer und die Blätter der Zwergsträucher reagieren ausgesprochen sauer, die Moose weniger sauer, die Blätter der Laubhölzer und der Kräuter liegen bedeutend näher dem Neutralpunkt. Hesselmann fand, daß das pH derselben Holzart nach dem Standort variiert, indem Blätter aus kalkreichen Gegenden weniger sauer als die entsprechenden aus kalkärmerer Gegend reagieren. Der Aziditätsgrad einer Holzart scheint aber doch ziemlich konstant zu sein, also einen Artcharakter darzustellen.

Aus der Schweiz besitzen wir Nadeluntersuchungen von Wille.² Die Bäume, die das Material für die Untersuchungen lieferten, stehen an der Simplonstraße bei Siders im Wallis, auf einer Meereshöhe von 550 m. Der Boden besteht aus Valangienbergsturzmaterial, teilweise mit Moränenresten überdeckt, mit einer Eigenreaktion von pH = 6,8—7,4, und Kalkgehalt (Ca CO₃) von 0—49 %. Bei den Untersuchungen von Wille zeigt sich eine deutliche Abnahme der Azidität mit dem Alter der Nadeln. Ähnlich verhalten sich die Nadeln der einzelnen Jahrgänge im Laufe einer Vegetationszeit.

Seite 261 geben wir die von Wille erhaltenen Befunde und fügen zum Vergleich diejenigen von Hesselmann bei.

Die Werte von Wille sind etwas höher als diejenigen von Hesselmann, was wohl auf die neutralen, kalkhaltigen Böden des Wallis zurückzuführen ist. Große Abweichungen sind aber nicht vorhanden, so daß die Untersuchungen von Hesselmann auf schweizerische Verhältnisse anwendbar sind.

¹ Hesselmann: Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und deren Abhängigkeit vom Waldbau. (Meddelanden Fran statens Skogsförsköfkanstalt, Stockholm 1926.)

² Wille: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Immunität und Reaktion des Zellsaftes. (Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Jahrgang 37, 1927.)

Holzart	pH	Kal ^f Ca O assimilier- bar	Kal ^f Ca O Total	Stid- stoff- gehalt	Aschen- gehalt Total
%					
Nadelhölzer:					
Föhre (Pinus silvestris)	4,0-4,2	0,30-0,53	0,64-0,96	0,5-0,8	1,83-2,74
Fichte (Picea excelsa)	3,8-4,2	0,25-0,36	2,00-2,17	0,9-1,5	6,20-8,43
Lärche (Larix decidua)	3,9	0,83	—	0,8	8,86
Lärche (Larix leptolepis)	4,5	0,86	—	0,6	8,43
Lärche (Larix sibirica)	3,8	1,13	—	0,5	—
Wacholder (Juniperus communis)	4,3	0,62	1,71	—	5,23
Laubhölzer:					
Buche (Fagus silvatica)	5,3-6,6	0,48-0,73	1,59-1,97	0,7-1,0	6,70-6,76
Eiche (Fraxinus excelsior)	6,4	1,48	3,40	1,1	15,29
Eiche (Quercus robur)	4,8-4,9	0,33-0,70	2,47-2,49	1,1-1,2	7,8-7,45
Ulme (Ulmus scabra)	7,3	2,64	5,22	1,5	21,82
Ahorn (Acer platanoides)	3,7	0,96	2,67	0,6	11,30
Birke (Betula pubescens, verru- cosa)	5,0-6,1	0,57-0,99	1,52-2,13	0,7-1,3	3,88-5,49
Äste (Populus tremula)	5,3-6,1	1,16-2,35	2,29-3,36	1,2	5,39-10,53
Weiße Erle (Alnus incana)	6,1-6,3	0,67-1,31	1,33-3,34	2,3	5,28-9,34
Schwarzerle (Alnus glutinosa) . .	4,6	1,27	—	2,1	—
Eberesche (Sorbus aucuparia) . .	4,8	1,37	—	0,6	—
Hasselnuß (Corylus avellana) . .	6,6	1,47	3,79	1,5	11,43
Weide (Salix caprea)	5,6-6,1	1,46-3,70	2,59-5,17	0,7	6,12-11,74
Kleinsträucher:					
Preiselbeere (Vaccinium vitis idaea)	3,7-3,8	0,61-0,64	0,64-0,74	1,0	2,26-2,40
Heidelbeere (Vaccinium myrtillus)	4,0-4,5	0,67-0,81	1,57	0,9	4,98
Moorbeere (Vaccinium uliginosum)	4,7	1,04	1,58	—	4,74
Heidekraut (Calluna vulgaris) . .	4,4	0,47	0,51	—	3,05
Kräuter:					
Drahtschmiele (Deschampsia flexu- osa)	5,5	0,15	0,16	—	2,53
Waldstorfschnabel (Geranium sil- vaticum)	4,1	2,89	3,44	—	9,48
Der Alpenmilchlattich (Mulgodium alpinum)	6,9	2,40	4,41	—	15,39
Der Waldziegel (Stachys silvaticus)	6,8	1,31	2,44	2,4	11,83
Moose:					
Hylocomium	4,6	0,46-0,70	—	—	2,44-2,63

Holzart	pH	
	Wille	Hesselman
Fichte (<i>Picea excelsa</i>)	3,52—4,56	3,8—4,2
Föhre (<i>Pinus silvestris</i>)	3,88—4,98	4,0—4,2
Lärche (<i>Larix decidua</i>)	3,8—4,82	3,9
Weißtanne (<i>Abies alba</i>)	3,99—5,05	—
Wacholder (<i>Juniperus communis</i>)	4,6—5,6	4,3
Sevibaum (<i>Juniperus sabina</i>)	5,0—5,4	—
Eibe (<i>Taxus baccata</i>)	5,2—5,82	—

Auf Grund der untersuchten Pufferwirkungen der Nadeln und Blätter der häufigsten Holzarten, unterscheidet Hesselman fünf verschiedene Streuetyphen je nach ihrem Gehalt an sauren und basischen Pufferstoffen:

1. Streue mit hohem Gehalt an sauren und geringem Gehalt an basischen Pufferstoffen liefern die Nadelhölzer, die Zwergsträucher und die Waldmooße (*Hylocomia*).
2. Streue mit mäßigem Gehalt an sauren, ziemlich hohem Gehalt an basischen Pufferstoffen geben die meisten Laubhölzer: Birke, Erle, Ulpe, Saalweide, Buche, Esche.
3. Streue mit geringem Gehalt an sauren, großem Gehalt an basischen Pufferstoffen. Hierher gehört der Haselstrauch und vor allem die Ulme, sowie der Alpenmilchblattich (*Mulgedium alpinum*) und der Waldzieft (*Stachys sylvaticus*).
4. Streue mit hohem Gehalt an sauren, gleichzeitig aber auch hohem Gehalt an basischen Pufferstoffen stammen von Ahorn, Eiche und Lärche und Waldstorchschnabel (*Geranium sylvaticum*).
5. Überhaupt geringen Gehalt an Pufferstoffen enthält die Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*).

Das Ausgangsprodukt der Humusbildung zeigt also große Verschiedenheiten, und aus den obigen Untersuchungen geht einwandfrei hervor, daß Nadelwald und Zwergsträucher, deren Blätter viel saure, aber wenig basische Pufferstoffe enthalten, sauren Humus erzeugen müssen, wenn ihnen nicht Blätter von Laubhölzern, die reich an basischen Pufferstoffen sind, beigemischt werden. Am günstigsten wirkt die Streue von Ulme und Haselstrauch, mit geringer Wasserstoffionenkonzentration, viel assimiliertbarem Kalk und hohem Stickstoffgehalt. Sehr günstig stellen sich ebenfalls viele Kräuter, die wir gewöhnlich als Unkraut ansehen, die aber für die günstige Zersetzung der Streue und die Nitrifikation im Boden einen großen Einfluß haben können. Eine Bodenbedeckung von Mul-

gedium und Stachys hat also einen günstigen Einfluß auf den Boden, sie sind Zeiger für gute Humuszersetzung.

Die Humusdecke spielt auch eine große Rolle als Stickstoffquelle der Waldbäume, indem gewisse Organismen den Stickstoff der Pflanzenreste in assimilierbare Form überführen.¹

Die neuesten Untersuchungen von Hesselman² haben gezeigt, daß die Verjüngung und die Entwicklung der jungen Pflanzen in hohem Maße von der Nitrifikation in der Humusdecke abhängig sind. Der Rohhumus muß also durch geeignete Maßnahmen in nitrifizierende Form übergeführt werden. In der Rohhumusdecke des Nadelwaldes geht die Zersetzung der stickstoffhaltigen Verbindungen im allgemeinen nur bis zur Bildung von Ammoniak, es sei denn, daß die pH-reaktion höhere Werte als 5 hat. In Mischböden, besonders wenn Streue von Laubhölzern beigemischt ist, findet eine Umwandlung des Ammoniaks zu Salpeter statt.

Aus der Tabelle ersehen wir, daß die Streue der Erlen am stickstoffreichsten ist, was wohl mit der Fähigkeit, Stickstoff aus der Luft zu fixieren, in Zusammenhang steht.

Als weitere Pflanzen, welche auf die Nitrifikation in Waldböden einen guten Einfluß ausüben, nennt Nemec³ die Himbeere, Brombeere, das Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*), den Hohlzahn (*Galeopsis spinosa*), das Bündelfraut (*Mercurialis perennis*).

Der Ahorn, der bei uns sehr oft zur Bodenverbesserung in Aufforstungen angewendet wird, stellt sich mit Eiche und Lärche wohl günstiger als die Nadelhölzer, leistet aber nicht was die andern Laubhölzer. Empfehlenswert für Anpflanzungen ist immer wieder die Weißerle wegen ihrer großen Produktion an Stickstoff in der Streue. Auf die günstige Einwirkung der Weißerle auf den Boden hat schon Fankhauser⁴ hingewiesen.

Auch der Haselstrauch verdient besondere Beachtung bei Aufforstungen, da er geringe Ansprüche stellt und durch seine dichte Belaubung und reichlichen Blattabfall den Boden günstig beeinflußt. (Fig. 1.)

Die Beschaffenheit des Humus der Waldböden hängt also in hohem

¹ Henry: L'azote et la végétation forestière. (Revue des Eaux et Forêts, 1897.)

² Hesselman: Die Bedeutung der Stickstoffmobilisierung für die erste Entwicklung der Kiefern- und Fichtenpflanze. (Meddelanden statens Skogsförstanstalt 23, 1927.)

³ Nemec und Kwapil: Ueber den Einfluß verschiedener Waldbestände auf den Gehalt und die Bildung von Nitraten in Waldböden. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1927.)

⁴ Fankhauser: Zur Kenntnis des forstlichen Verhaltens der Weißerle. (Schweizer. Zeitschrift für Forstwesen, 1902.)

Maße von den Eigenschaften der Streue und ihren Verwesungsbedingungen ab, die einerseits durch das Klima, anderseits durch den Waldbestand selbst gegeben sind.

(Schluß folgt.)

Mitteilungen.

Zurück zur Holzschwelle.¹

Dem Vernehmen nach hat die Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft angeordnet, daß bei Geleiseerneuerungen der wichtigsten Schnellzugsstrecken, auf denen die beschleunigten Fern-D-Züge verkehren, von nun ab die eisernen Querschwellen beseitigt und durch hölzerne ersetzt werden sollen. Es kommt daher bei dem Geleiseumbau mit Neustoffen auf diesen Strecken, der beschleunigt durchgeführt werden soll, künftig durchweg der Reichsoberbau K auf Holzschwellen zur Verwendung. Diese Maßnahme soll durch die schlechten Erfahrungen veranlaßt worden sein, die man bei den D-Zügen mit erhöhter Fahrgeschwindigkeit, sowie bei Probefahrten mit solchen auf diesen Strecken mit dem Eisenschwellegeleise gemacht hat. Es soll hierbei ein auffallend unruhiger Lauf der Fahrzeuge und insbesondere ein so lästiges Geräusch während der Fahrt wahrgenommen worden sein, die geeignet sind, die Unnehmlichkeit der Reise empfindlich zu beeinträchtigen und berechtigte Beschwerden der Reisenden herbeizuführen. Bei dieser Gelegenheit soll aus dem gleichen Anlaß der in die Umbaustrecken fallende und erst in den letzten Jahren verlegte Reichsoberbau B auf Eisenschwellen bereits wieder ausgebaut werden, da er sich infolge der unter den Klemmplatten lose in den Löchungen sitzenden Spurplättchen durch ein auffallendes klirrendes Geräusch in besonderem Maße unangenehm bemerkbar macht.

Die sich als notwendig erwiesene Anordnung liefert den schlagenden Beweis dafür, daß sich die Holzschwelle für die wichtigsten Schnellzugsstrecken in bezug auf die zu fordernde Unnehmlichkeit der Fahrt besser eignet als die Eisenschwelle, da die erstere durch ihre größere Elastizität, ihr Gewicht und ihren Querschnitt, sowie durch ihre tiefere Lage in der Bettung bei glatter Auflagerung eine weit ruhigere Lage des Geleises gewährleistet als die letztere. Diese Tatsache ist nichts Neues, sie ist jedem Eisenbahnfachmann wohlbekannt, der sich mit der Unterhaltung der Geleise beschäftigt und ausreichende Gelegenheit nahm, das Verhalten des Geleises beider Unterschwellungsarten unter dem rollenden Rade namentlich der schnellfahrenden Züge zu beobachten.

¹ Aus einem Aufsatz von Oberbaurat Leonhard, Abteilungsvorstand i. R. in Breslau in der „Continentalen Holzzeitung“, Nr. 26.