

Pflanzenwelt und Bodensäure

Von Dr. Josef Egger (Graz)

Mit 5 Abbildungen und 8 Tabellen.

Stoffgliederung

- A. Bodensäure im allgemeinen.
 1. Einleitung: Standortsfaktoren, Bodenfaktoren, Bodensäure.
 2. Wasserstoff-Ionenkonzentration: Ionendissoziation, pH-Zahl, pH-Skala, wirkliche oder spezifische Azidität, Arten der Azidität (aktuelle, Austausch-, hydrolytische, potentielle und Gesamt-Azidität).
 3. Pufferung der Böden (Goy - Roos - Verfahren).
 4. Bodendämpfung.
 5. Methoden der praktischen pH-Messung: Elektrometrische und kolorimetrische Messung, Apparaturen.
- B. Pflanzensoziologische Bemerkungen.
 6. Einiges über botanische Namensgebung.
- C. Beziehungen der Pflanzenwelt zur Bodensäure.
 7. pH-Beziehungen zu systematischen Pflanzengruppen: Bakterien, Pilze, Flechten, Moose, höhere Pflanzen.
 8. pH-Wert und landwirtschaftliche Nutzpflanzen: Pflanzenkrankheiten, ökologische H⁺-Ionenwirkung, Aluminiumwirkung.
 9. pH-Wert und Düngung.
 10. Pflanzengesellschaft, Bodenbildung und pH-Wert: Verhalten der Arten und Gesellschaften zum pH-Wert des Bodens, Bodenarten und Bodentypen, Bodenprofil, pH-Profil, pH-Kurven, pH-Linien, jahreszeitliche Schwankungen der Bodensäure.
 11. pH-Werte einiger Pflanzengesellschaften.
 12. Wirkungen der Pflanzenwelt auf den Säuregrad des Bodens: Wurzelausscheidung, Säureinflüsse in den oststeirischen Lehm- und Tonböden, Staunässe, marmorierte Böden, Waldtypen, Einflüsse des Bakterienlebens, Maßnahmen zur Gesundung der Wälder, Säuren-Basen-Kreislauf.
 13. Auswirkungen der Bodensäure im Haushalt der Pflanzengesellschaften: Beziehungen zu den Unterscheidungsarten, Säureverteilung im Boden, pH und Laubstreu, pH und Wurzelspektren, pH und Lichtgenuß, pH und Gesamtblattfläche.
- D. Schlußbetrachtung.

Schriftenverzeichnis.

A. Bodensäure im allgemeinen

1. Einleitung

Die Verteilung der Pflanzenarten und auch der Pflanzengesellschaften ist nicht willkürlich, sondern von verschiedenen Faktorengruppen abhängig. Man bezeichnet sie als **Standortsfaktoren**. In der Botanik versteht man unter „Standort“ die Summe aller auf eine bestimmte Örtlichkeit wirkenden Faktoren, während der „Fundort“ eine geographische Bezeichnung ist und das Vorkommen der Arten angibt, am genauesten durch Angabe der geographischen Länge und Breite.

Rübel und Braun-Blanquet unterscheiden 4 Gruppen von Standortsfaktoren:

1. Klimatische oder atmosphärische Faktoren:
Wärme, Licht, Wasser (atmosphärische Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Sättigungsdefizit, Verdunstung) und Wind.
2. Edaphische oder Bodenfaktoren:
Bodenchemie (Bodenazidität, pH, Pufferung, Bodendämpfung, Nährsalze);
Bodenphysik (Struktur, Bodenwasser, Bodenwärme, Bodenluft);
Bodenorganismen (Edaphon).

3. **Ökographische oder Relieffaktoren:**
Oberflächengestaltung, Höhenlage, Massenerhebung, Exposition, Bodenneigung.
4. **Biotische Faktoren (Einflüsse der lebenden Umwelt):**
Pflanzliche oder phytobiotische Einwirkungen (Wuchsortwettbewerb, Wurzelwettbewerb, Konkurrenzfaktoren);
menschliche und tierische oder anthropo-zoobiotische Einwirkungen (Roden, Schwenden, Brennen, Schlägern, Mähen, Weiden, Düngen, Entwässern, Bewässern, Kulturen usw.).

Durch den Standort ist der Haushalt der Einzelpflanze und der Gesellschaftshaushalt bedingt. Von ihm ist das Äußere, die Physiognomie der Gesellschaft in hohem Maße abhängig. Der Standort an und für sich ist noch nichts Botanisches, erst die Betrachtung der Auswirkungen des Standortes auf die Pflanzenwelt und die Anpassung derselben macht das Studium zu einem botanischen. Das Studium der Standortsfaktoren ist eine der schwierigsten Aufgaben der Pflanzensoziologie. Als Wissenschaft wird diese Richtung **Standortslehre** genannt, und zwar behandelt die **Ökologie** die Standorte der Einzelpflanzen und die **Synökologie** jene der Pflanzengesellschaften. Die Abhängigkeit der Vegetation von verschiedenen Faktorenkomplexen zeigt das nachstehende Schema:

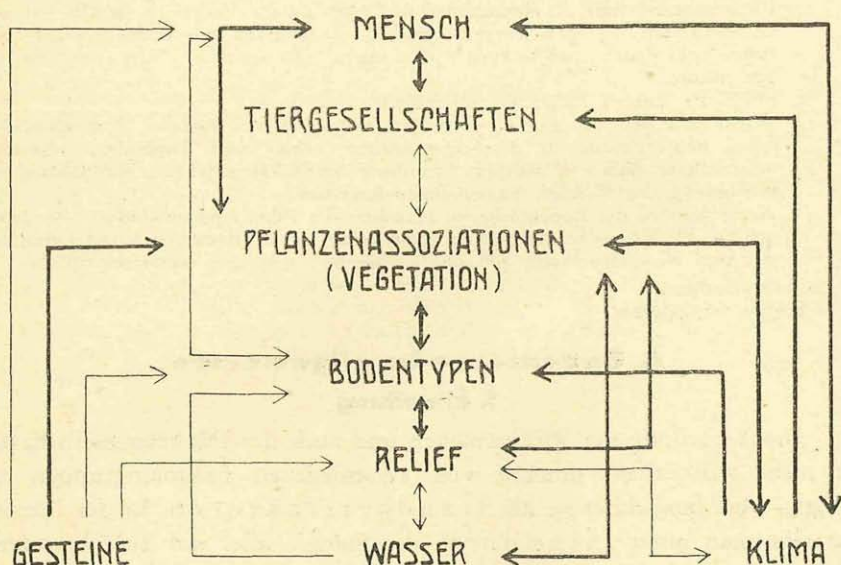


Abb. 1. Schema der Abhängigkeit der Vegetation von verschiedenen Faktorenkomplexen. (Nach Tüxen 1932, verändert.)

Jede Faktorengruppe zerfällt wieder in eine Reihe von Großfaktoren, die entscheidend wichtig für die Entwicklung der Pflanzenwelt sind. Für diese Betrachtung kommt nur die Gruppe der Bodenfaktoren in Frage. Für den Boden spielen 3 Großfaktoren eine wesentliche Rolle:

1. der **Wasserhaushalt**, der Vorrat an pflanzenaufnehmbarem Bodenwasser, die Art der Wasserleitung, die Grundwasserverhältnisse;

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark, download unter www.biologiezentrum.at
2. die physikalische Lagerung des Bodens, seine Struktur, Verteilung der Korngrößen, Bodenluftverhältnisse usw.;

3. die chemische Dynamik des Bodens, seine Reaktions- und Basenverhältnisse, der Vorrat an pflanzenaufnehmbaren Nährstoffen.

Auf einen Faktor dieser letzten Gruppe, nämlich auf die Bodensäure oder Bodenazidität, soll hier näher eingegangen werden. Die Bodensäure ist von außerordentlich großer Wichtigkeit, weil sie ein Maßstab für die oben angeführten Bodeneigenschaften ist, andererseits beeinflusst die Bodensäure viele Eigenschaften des Bodens und somit auch die einzelnen Pflanzen und die gesamte Vegetation. Die Ermittlung der Bodensäure ist zu einer der wichtigsten Bodenuntersuchungsmethoden geworden, weil sich alle dynamischen Vorgänge im Boden mit einer Änderung des Säuregrades verschieben.

Vom Säuregrad des Bodens hängt nicht allein der Stickstoff-Haushalt des Bodens in eindeutiger Weise ab, sondern der Säuregrad ist auch zugleich ein ziemlich verlässlicher Anzeiger für den Humuszustand, den Basengehalt und damit für diejenigen Faktoren, von denen die Struktur des Bodens in erster Linie abhängt und die die Bodenfruchtbarkeit bedingen. Mit Lundegårdh dürfen wir also die Bodenazidität als ein brauchbares „Symptom“ (= Kennzeichen) vieler Bodeneigenschaften ansehen.

Die Entstehung der Bodensäure ist auf die Auswaschung durch Wasser und Lösungen, den Basenentzug durch Pflanzenwurzeln, die Säureausscheidung und Kohlensäurebildung von Organismen und die ungünstige Austauschwirkung mancher Düngersalze und ihrer Ballaststoffe zurückzuführen.

2. Wasserstoffionenkonzentration (=Wk.)¹

Der Säuregrad oder die Azidität einer Lösung hängt von ihrem Gehalt an positiv (+) geladenen Wasserstoffionen (H^+ oder H') ab. Die Konzentration der H -Ionen in einer Lösung wird durch die pH -Zahl oder den pH -Wert angegeben. Jedem pH -Wert entspricht ein bestimmter Reaktionsgrad oder Säuregrad einer Lösung.

Vorausschicken möchte ich, daß man beim praktischen und richtigen Gebrauch des pH -Begriffes auch ohne mathematische und chemische Kenntnisse auskommt.

„Ionen (nach Laatsch, 1938, S. 30) sind elektrisch geladene Atome und Atomgruppen. Sie treten stets als Spaltprodukte der Säuren-, Basen- und Salzmoleküle in wäßriger Lösung auf. Da man bei Anlegung eines elektrischen Gleichstromes eine Wanderung der positiven Ionen zur Kathode und der negativen zur Anode feststellen kann, werden erstere Kationen und die negativen als Anionen bezeichnet. Der Molekülzerfall der Säuren, Basen und Salze in ihre Ionen heißt Dissoziation und läßt sich folgendermaßen darstellen:

¹ Für Wasserstoffionenkonzentration wird weiterhin die Abkürzung „Wk.“ verwendet.

Säure:	H R	disso-	H ⁺ und R ⁻
Base:	M OH	ziiert	M ⁺ und OH ⁻
Salz:	M R	in	M ⁺ und R ⁻

H⁺ = Wasserstoff-Ion, M⁺ = Metall-Ion,
 R⁻ = Säurerest-Ion, OH⁻ = Hydroxyl-Ion.“

Die Wk. entsteht durch Aufspaltung oder Dissoziation von Molekülen des Wassers. Das Lösungsmittel Wasser sprengt die neutralen Moleküle in ihre elektrisch geladenen positiven (+) und negativen (—) Ionen auf, es bewirkt deren Dissoziation in ein positives Wasserstoff-Ion (H⁺-Ion) und ein negatives Hydroxyl-Ion (OH⁻-Ion). Der Zerfall wird durch die Formel wiedergegeben: $H_2O = H^+ + OH^-$. Die Ionen schweben voneinander getrennt in der Lösung herum.

Reines neutrales Wasser enthält eine ganz bestimmte Menge freier Wasserstoff-Ionen.

Säuren haben besonders die Fähigkeit, H-Ionen zu bilden, sie besitzen daher eine größere Konzentration an freien H-Ionen, während Basen die H-Ionen auffangen und binden und daher eine geringere Zahl freier H-Ionen besitzen als neutrales Wasser. Die Konzentration an freien H-Ionen ist daher bestimmend dafür, ob eine Lösung neutrale bzw. saure oder alkalische Reaktion zeigt. Um einen bequemen Maßstab zu besitzen, hat man die pH-Skala eingeführt.

pH-Skala

Wasserstoffionenkonzentration = Wk.

- pH 0 bis 3 = stark saure Lösung, sehr hohe Wk.;
- pH 4 bis 6 = schwach saure Lösung, ziemlich hohe Wk.;
- pH 7 = neutrale Lösung, mittlere Wk.;
- pH 8 bis 10 = schwach alkalische Lösung, ziemlich geringe Wk.;
- pH 11 bis 14 = stark alkalische Lösung, sehr geringe Wk.

Neutrale Reaktion = pH 7. Wird die pH-Zahl kleiner als 7, so wird saure Reaktion angezeigt. Je niedriger der pH-Wert, desto höhere Säurekonzentration. Die pH-Zahlen über 7 geben alkalische Reaktionen an.

Da die pH-Messungen der Böden statt mit destilliertem Wasser vielfach mit einer 7,5%igen Kaliumchloridlösung erfolgen (siehe Austauschazidität Seite 27!), ergeben sich etwas niedrigere pH-Werte. Mit Berücksichtigung der wirklichen Azidität (siehe diese, Seite 26!) können die Abstufungen der Reaktionszahlen mit Wiegner-Pallmann (1938) folgendermaßen bezeichnet werden:

pH	Bezeichnung	Praktische pH-Skala
3	sehr stark sauer	4,6 und darunter
4	stark sauer	4,7 — 5,2
5	sauer	5,3 — 5,8
6	schwach sauer	5,9 — 6,7
7	neutral	6,8 — 7,2
8	schwach alkalisch	7,2 — 7,6
9	alkalisch	7,7 — 7,9
10	stark alkalisch	8,0 und darüber
11	sehr stark alkalisch	—

Die Benennungen „sauer“, „stark sauer“ usw. sind dem biologischen Sprachgebrauch entnommen. Der Biologe hört mit pH 3 zu arbeiten auf, der Chemiker beginnt hier erst.

Die Dissoziations-theorie stammt vom schwedischen Forscher S v a n t e A r r h e n i u s, die Definition der pH-Zahl von S ö r e n s e n.

In jeder Lösung herrscht ein dauerndes Gleichgewicht zwischen den H^+ -Ionen und den OH^- -Ionen. Nehmen die einen zu, so nehmen die anderen in derselben Weise ab. Chemisch reines Wasser ist neutral. Bei 180 C enthält 1 l Wasser $\frac{1}{10\,000\,000}$ g oder $\frac{1}{10^7}$ g $= 10^{-7}$ g H^+ -Ionen und ebensoviel OH^- -Ionen. Nach dem Massenwirkungsgesetz ist das Produkt der Konzentration aus den H^+ -Ionen und den OH^- -Ionen ständig gleich.

$$[H^+] \cdot [OH^-] = \text{konstant} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ mal } 1 \cdot 10^{-7} = 1 \cdot 10^{-14}$$

Ist der Wert für $[H^+]$ z. B. 10^{-3} , so muß der Wert für $[OH^-]$ gleich 10^{-11} werden, weil nach dem Massenwirkungsgesetz $10^{-3} \cdot 10^{-11} = 10^{-14}$ ergeben muß. Genauer ist der Exponent 7,11 und die Summe 14,22. Für praktische Zwecke genügt die Zahl 7, bzw. 14. Der Exponent hängt von der Temperatur ab. Er sinkt bei steigender Temperatur.

S ö r e n s e n hat 1909 für diesen Exponenten des Säuregrades das Symbol pH eingeführt und schreibt dazu den numerischen Wert. Der Exponent wird Wasserstoffionen-Exponent, Wasserstoff-Exponent oder Wasserstoffzahl genannt.

p = der Anfangsbuchstabe des Wortes Potenz,

H = das chemische Zeichen für Wasserstoff.

Die Wasserstoffzahl für eine bestimmte Wasserstoffionenkonzentration ist also der negative Exponent der Grundzahl 10. Für einen Wert der Wk. von 10^{-5} ist der Exponent -5 und der negative Exponent 5. Die Schreibweise lautet dann „pH 5“.

H-Ionen in 1 Liter Wasser

pH 1	$= 10^{-1} = 0,1$ g
pH 2	$= 10^{-2} = 0,01$ g
pH 3	$= 10^{-3} = 0,001$ g
pH 4	$= 10^{-4} = 0,0001$ g
pH 5	$= 10^{-5} = 0,00001$ g
pH 6	$= 10^{-6} = 0,000001$ g
pH 7	$= 10^{-7} = 0,0000001$ g
pH 8	$= 10^{-8} = 0,00000001$ g
pH 9	$= 10^{-9} = 0,000000001$ g

Wirkliche oder steierspezifische Azidität

Die pH-Zahl hat den Nachteil, daß sie die tatsächlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Wasserstoffionenkonzentrationen nicht direkt angibt. Deshalb hat Wherry (1920) vorgeschlagen, die wirkliche Menge der H^+ -Ionen in 1 l Lösung, bezogen auf die Wk. des reinen Wassers, anzugeben und den Neutralpunkt $pH\ 7 = 1$ zu setzen.

Während pH 7 neutrale Reaktion angibt, gehören alle kleineren pH-Werte in das Gebiet der sauren und alle größeren in das der alkalischen Reaktion. Beim Vergleich der Reaktionszahlen darf man nicht vergessen, daß sie Exponentialwerte darstellen, die H-Ionenkonzentration also mit abnehmendem pH-Wert von Ziffer zu Ziffer um das 10-fache anwächst.

Die auf den Neutralpunkt $\text{pH } 7 = 1$ bezogene Menge der H^+ -Ionen bezeichnet man als die wirkliche oder spezifische Azidität. Sie ist in der nachstehenden Übersicht für die ganzzahligen pH-Werte angegeben. Die für die Zehntel angegebene spezifische Azidität für die pH-Werte von 4,1 bis 4,9 lassen sich durch Änderung des Stellenwertes auch für jeden anderen pH-Wert festlegen. So ist z. B. die spezifische Azidität für $\text{pH } 5,2 = 63$, d.i. $1/10$ von $\text{pH } 4,2 = 630$ oder $\text{pH } 6,7 = 2$, d.i. $1/100$ von $\text{pH } 4,7 = 200$ usw.

pH-Wert	Spezifische Azidität	pH-Wert	Spezifische Azidität
3,0 =	10000	4,1 =	800
4,0 =	1000	4,2 =	630
5,0 =	100	4,3 =	500
6,0 =	10	4,4 =	400
7,0 =	1	4,5 =	315
8,0 =	0,1	4,6 =	250
9,0 =	0,01	4,7 =	200
10,0 =	0,001	4,8 =	160
11,0 =	0,0001	4,9 =	125

Eine Änderung des pH-Wertes von pH 4 auf 3,7 ist tausendmal so groß wie die Änderung von pH 7 auf 6,7.

„Mißt man in zwei Ackerböden die Wk. und ermittelt in dem einen den pH-Wert 7,0 und in dem anderen den Wert 6,7, so unterscheiden sich beide sehr wenig in ihrem Säuregrad. Auch der zweite Boden reagiert praktisch gesehen neutral.“

Zwei Waldböden mit den pH-Weiten 4,0 und 3,7 weisen dagegen so große Reaktionsunterschiede auf, daß man den ersten als stark sauer und den zweiten als extrem sauer bezeichnen muß.“ (L a a t s c h, 1938, S. 36.)

Die im einschlägigen Schrifttum verbreitete Ansicht, daß Arten auf sauren Böden eine geringere Amplitude in den Ansprüchen an den Säure-

grad haben, beruht auf einer falschen Vorstellung von den wirklichen Säuremengen, die durch die pH-Zahlen bezeichnet werden. Daher wird neuerdings besonders in den graphischen Darstellungen vielfach die spezifische Azidität zur Grundlage genommen. (Siehe auch Abb. 2 und 4.)

Arten der Azidität

In jeder Bodenlösung ist eine bestimmte Konzentration der freien oder abgespaltenen H-Ionen oder aktuellen H-Ionen enthalten. Wird sie gemessen, so erhält man die aktuelle Azidität. Neben diesen freien Ionen sind in der Bodenlösung noch undissoziierte Säuremoleküle und sauer hydrolysierende Salze, z. B. Al- und Fe-Salze, vorhanden.

Am Bodenteilchen selbst sitzen (nach Wiegner-Pallmann, 1938, S. 211 ff.) mehr oder weniger locker gebunden H-, Fe- und Al-Ionen, die bei Zusatz

- a) von Neutralsalzen (Kaliumchlorid = KCl),
- b) von alkalisch hydrolysierten Salzen (Kaliumazetat = $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) oder
- c) von Laugen (KOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$) ausgetauscht, bzw. neutralisiert werden. Die am Bodenteilchen sitzenden H-Ionen besitzen sehr unterschiedliche Bindefestigkeiten. Die locker gebundenen H-Ionen werden beim Umtausch oder einer damit verbundenen Neutralisation zuerst erfaßt. Je fester deren Bindung am Bodenteilchen ist, um so schwerer erfolgt ihr Austausch.

Während bei der pH-Messung nur die abgespaltenen H-Ionen, auf welche die Säurewirkung zurückzuführen ist, zur Geltung kommen, wird die gesamte in einer Lösung befindliche Säuremenge durch „Titration“ ermittelt.¹

Die Bestimmung des Säuregehaltes kann nun mit einem der oben angegebenen Zusätze ausgeführt werden:

- a) Wird die Bodensäure durch Einwirkung einer Kaliumchloridlösung bestimmt, so erhält man nach Kappen die Austauschazi-

¹ Als „Titration“ bezeichnet man eine Untersuchungsmethode, bei welcher die Menge des Stoffes, z. B. die Konzentration einer Säurelösung durch portionsweises Hinzufügen kleiner Mengen einer bestimmten Lauge (z. B. n/10-NaOH) festgestellt wird. Ist die Säure neutralisiert, dann kann aus der verbrauchten Laugenmenge durch Rückschluß die vorhanden gewesene Säuremenge berechnet werden. Der Eintritt der Neutralisation wird durch die Farbänderung des beigegebenen Indikatorfarbstoffes (in den nachstehend angeführten Fällen Phenolphthalein) angezeigt. Die zur Ausführung solcher maßanalytischen Bestimmungen benötigten Lösungen von genau bekannter Konzentration bezeichnet man als Normallösungen (auch Titrelösungen oder Äquivalentlösungen).

Eine Normal-Salzsäure (abgekürzt: n-HCl) hat 36,5 g (Molekulargewicht) reine, wasserfreie Salzsäure im Liter, n/10-Natronlauge (Molekulargewicht von NaOH = 40) enthält 4 g reines NaOH im Liter. Normallösungen enthalten im Liter das Molekulargewicht in Gramm, dividiert durch die Zahl der Wasserstoffatome. Eine Normal-Schwefelsäure (Molekulargewicht von $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98$) enthält demnach $98/2 = 49$ g reine Schwefelsäure.

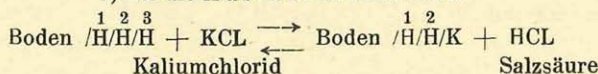
der sauren Böden, die eine merkbare Austauschazidität zeigen, sind stark sauer und besonders kalkbedürftig.

b) Bei der Einwirkung von alkalisch reagierendem Kalziumazetat auf versäuerte Böden ist der Austausch der gebundenen H-Ionen stärker als bei der Verwendung von Kaliumchlorid. Die Ursache ist die stärkere Eintauschpotenz des 2-wertigen Kalziumions und die Bildung der schwach dissoziierten Essigsäure. K a p p e n bezeichnet diese Azidität als sogenannte hydrolytische Azidität. Die hydrolytische Azidität ist in gleichen Böden viel höher als die Austauschazidität. (Siehe die Tabellen 1 und 6!) Auch sie wird zur Feststellung der erforderlichen Kalkdüngung benützt.

c) Bei Verwendung von Laugen (KOH, Ca(OH)₂, Ba(OH)₂) werden am Bodenteilchen auch die stark gebundenen H-Ionen erfaßt. Daneben laufen eine Reihe von Reaktionen mit, die die einfache Neutralisation des Bodens zum Teil störend überdecken. (Aluminatbildung bei hohen pH-Werten.) Die letztgenannte Azidität bezeichnet man als Gesamta-zidität.

Reaktionsschema

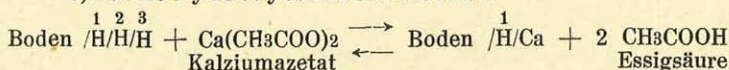
a) für die Austauschazidität:



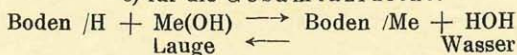
1 = am schwersten austauschbar

3 = am lockersten gebunden

b) für die hydrolytische Azidität:



c) für die Gesamta-zidität:



Me = Metall. Laugen: KOH, Ca(OH)₂, Ba(OH)₂.

Die Austauschazidität, die hydrolytische Azidität und die Gesamta-zidität werden durch Titration bestimmt und in ccm angegeben, man spricht daher auch von Titrationsazidität. Durch Abzug der aktuellen Azidität von der Gesamta-zidität erhält man die potentielle Azidität. (Gesamta-zidität = aktuelle + potentielle Azidität.)

Die Bestimmung des pH-Wertes ist mit einer Titration nicht zu vergleichen (K o r d a t z k i, 1938, S. 29), sondern die Ergebnisse der beiden Methoden können einander nur ergänzen, nicht ersetzen. Die Titration bestimmt die Gesamtkonzentration einer vorhandenen Säure, während die pH-Messung die Wirksamkeit dieser Säure infolge abgespalteter Wasserstoffionen zu bestimmen erlaubt. Die Titrationsazidität einer n/10-Essigsäurelösung, Traubensäurelösung und Salzsäurelösung ist gleich, dagegen ist ihre aktuelle Azidität verschieden, da das Vermögen, Wasserstoffionen abzuspalten, von der Salzsäure über die Traubensäure zur Essigsäure abnimmt.

Tabelle 1.

Waldböden der Umgebung von Graz ¹ (in 20 cm Bodentiefe)	pH elektromet.		Aus- tausch- säure (ccm)	Hydro- lyti- sche Säure (ccm)
	H ₂ O	KCl		
A. Blaugrasreicher Föhrenwald. (<i>Pineto-Seslerietum variae</i>)				
Jungfernsprung, Dolomit	8,2	7,7	—	—
Pfaffenkogel, Kalk	7,8	7,5	—	—
B. Grazer Flaumeichenwald. (<i>Quercetum pubescentis graecense</i>)				
Eichberg (Kanzel), Dolomit	8,0	7,2	—	—
Admonter Kogel, Dolomit	7,8	7,4	—	—
Göstinger Berg, Dolomit	7,8	7,1	—	—
C. Mittelsteirischer Eichen-Hainbuchenwald. (<i>Querceto-Carpinetum mediostyriacum calcareum</i>)				
Stattegg-Kalkleiten, Kalk	7,0	6,6	—	3,6
„ „	6,4	6,2	—	12,0
„ „	4,7	4,1	9,8	20,0
„ „	4,8	3,8	23,6	36,4
Vorderplabutsch, Dolomit	4,9	4,1	20,0	25,6
„ „	4,2	3,9	27,2	31,6
D. Mittelsteirischer Rotbuchenwald. (<i>Fagetum silvaticae mediostyriacum</i>)				
Göstinger Berg, Dolomit	7,9	7,2	—	—
Niederschöckel, Kalk	7,1	7,0	—	3,0
Hauenstein, Kalk	5,2	4,4	1,6	16,6
Rannach, Dolomit	5,3	4,5	7,0	19,2
Sukdull (Wildon), Kalk	4,9	3,9	15,4	25,4
E. Saurer Föhren-Stieleichenwald. (<i>Pineto-Quercetum roboris</i>)				
Platte, Grünschiefer	5,5	5,2	2,0	13,6
„ „	4,7	3,9	34,2	37,0
Wenisbuch, Schotter	4,6	4,1	31,8	32,8
Kaiserwald (Tobelbad)	4,3	3,9	19,0	29,2
Werndorf, Schotter	4,7	4,3	13,6	28,0

Die Tabellen 1 und 7 zeigen, daß das pH in H₂O gemessen im allgemeinen höhere Werte ergibt als mit KCl. Dies ist bei elektrometrischer Messung regelmäßiger als bei der kolorimetrischen Messung. Bei Abweichungen ist aber zu bedenken, daß die Bodenproben doch nicht vollkommen identisch sind, wenn sie auch vom selben Material stammen. Ist das pH des Bodens über 7,0, so ist meist auch keine hydrolytische Säure vorhanden. Die Austauschsäure erscheint erst bei einem niedrigeren pH-Wert, meist unter pH 6,0, als die hydrolytische Säure. Im gleichen Boden ist dann die hydrolytische Säure größer als die Austauschsäure.

„Zeigt ein Boden hydrolytische Azidität, ohne austauschsauer zu sein, dann ist seine Schädigung vom Standpunkt der Kulturpflanze nur

¹ Nach Egger, Walduntersuchungen in Mittelsteiermark (noch nicht veröffentlicht).

gering. Viel ernster ist das Auftreten der Austauschsäure zu beurteilen. Alle für den Boden so bedeutungsvollen Stickstoffbakterien stellen ihre Tätigkeit ein. Die meisten Kulturpflanzen bringen bei etwas größeren Werten der Austauschsäure schlechte oder keine Erträge.“ (M e n k e, 1940, S. 30.) Wenn dann ein solcher Acker noch in Unkenntnis der Vorgänge mit einem bodenversauernd wirkenden Handelsdünger, z. B. dem sehr gebräuchlichen schwefelsauren Ammoniak, gedüngt wird, kann es zur Vernichtung der Ernte kommen.

Der Landwirt muß mit allen Mitteln darnach streben, die Austauschsäure zu beseitigen. Zur Beseitigung von 1 ccm Austauschsäure sind pro Hektar 525 kg CaCO_3 oder 294 kg CaO notwendig.

3. Die Pufferung der Böden

Gibt man einer Bodenlösung Säure dazu, so erniedrigt sich der pH-Wert, bei Zugabe von Lauge erhöht sich der pH-Wert. Diese Änderung ist aber nicht bei allen Lösungen gleich stark, bei „gut gepufferten“ Lösungen tritt kaum eine Änderung des pH-Wertes ein, bei „ungepufferten“ ist die Änderung des pH-Wertes stark. Jeder Boden besitzt ein eigenes, charakteristisches pH, seine „Eigenreaktion“, die normalerweise durch äußere Einflüsse nicht geändert wird. Diese Eigenschaft des Festhaltens an der Eigenreaktion nennt man Pufferung. Die Pufferung ist also die Widerstandsfähigkeit gegen Reaktionsänderungen. Besonders stark gepuffert sind:

neutrale und alkalische Humusböden gegen Säuren und Laugen,
Kalkrohböden sehr stark gegen Säuren;
mehr oder minder stark gepuffert sind je nach dem Kalkgehalt:

Ton- und Leimböden;
schlecht gepuffert sind im allgemeinen: die Sandböden.

Von der Pufferwirkung hängt zum Teil die Jahresschwankung der Bodenazidität ab, sie ist daher auch für die Pflanzenwelt von großer Bedeutung. In unseren Gebieten, die dem humiden Klima angehören, kommt nur die Versauerung der Böden in Frage. Gute Pufferung verlangsamt eine Vegetationsänderung. Die Pufferung ist aber in den einzelnen Schichten des Bodenprofils (siehe Seite 42!) verschieden, dabei hat der A_1 -Horizont wesentlich mehr Pufferstoffe als der A_2 -Horizont.

Verbindungen, welche in der Lage sind, die Wk. durch Neutralisation weitgehend konstant zu halten, bezeichnet man als Puffer. Im Boden üben vor allem die Salze der Kohlensäure und der Phosphorsäure sowie die ionenaustauschenden Ton- und Humusteilchen puffernde Wirkung aus. Böden mit niedrigen Basensättigungsverhältnissen puffern daher sehr schlecht und sind deshalb schnellen Erhöhungen ihrer Wk. aus-

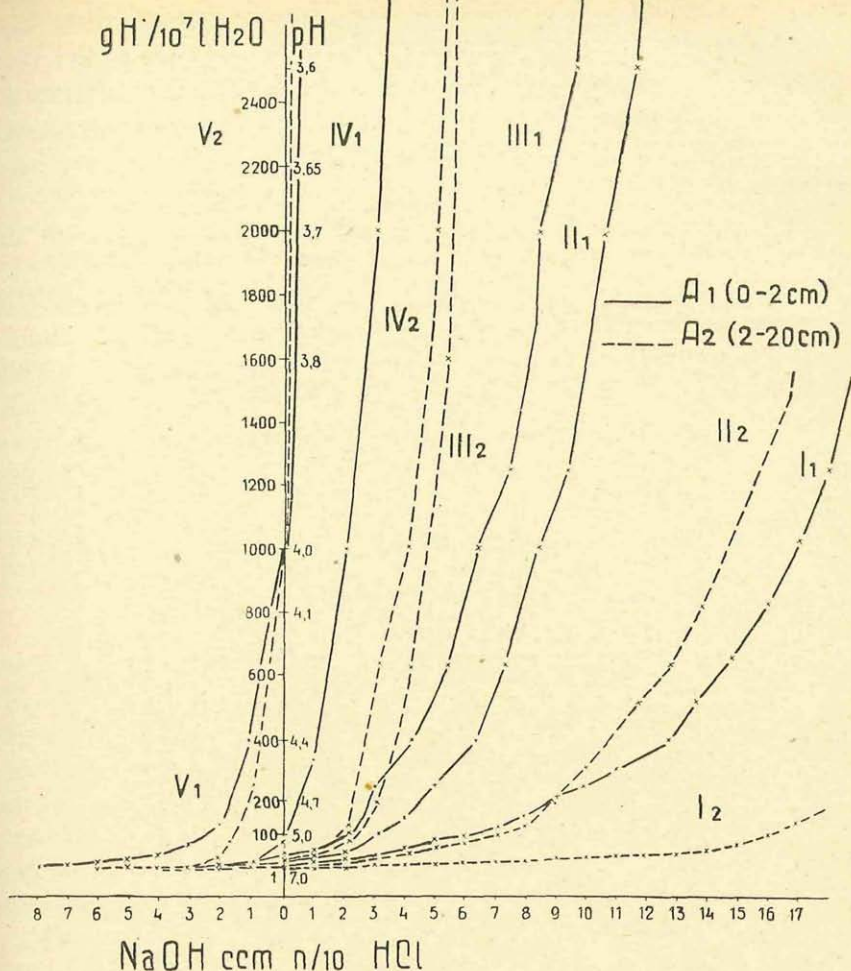


Abb. 2. Pufferungskurven einiger Waldtypen der Umgebung von Graz.

Die Kurven sind nach der wirklichen Azidität (in $1/10^7$ H' g je Liter) gezeichnet.

I. Blaugrasreicher Föhrenwald (*Pineto-Seslerietum variae*) vom Pfaffenkogel bei Stübing, auf Kalk.

II. Flaumeichenwald (*Quercetum pubescentis graecense*) bei Weinzödl, auf Devon-Kalk und -Dolomit.

III. Eichen-Hainbuchenwald (*Querceto-Carpinetum mediostyriacum calcareum*) vom Kirchenviertel bei Gratkorn, auf Devon-Kalk.

IV. Rotbuchenwald (*Fagetum silvaticae mediostyriacum*) vom Niederschöckel, auf Kalk.

V. Heidelbeerreicher Föhren-Stieleichenwald (*Pineto-Quercetum roboris myrtilletosum*) bei Radegund, auf Gneis.

gesetzt. Derartige pH-Schwankungen beeinträchtigen das Gedeihen der Pflanzen, weil mit der Versauerung die Ernährung mehr und mehr unterbunden wird. Zwischen Versauerung und Nährstoffarmut besteht ein

genetischer Zusammenhang. Während die H-Ionen einerseits die Ursache für die Basennachlieferung aus dem verwitterten Gestein sind, wird bei zu hoher Wk., also bei zunehmender Versauerung, infolge der Auslaugung aller fruchtbarkeitsbedingenden Stoffe die Nährstoffabgabe geringer. Das universelle Heilmittel der Bodenversauerung ist die ausreichende Kalkung. Durch die Kalkdüngung wird auch die Phosphorsäureernährung der Pflanzen erhöht.

In landwirtschaftlich-chemischen Versuchsanstalten wird durch das Goy-Roos-Verfahren die Art der Pufferung zur Bestimmung der Kalkbedürftigkeit verwendet. Beim Goy-Roos-Verfahren werden einer Bodenlösung nacheinander gleiche Mengen Natronlauge zugesetzt und jedesmal 1 Minute nach der Zugabe das pH gemessen. Nachdem der für eine bestimmte Kulturpflanze günstigste pH-Wert erreicht ist — in den meisten Fällen eine neutrale Reaktion —, wird aus der verbrauchten Laugenmenge der erforderliche Kalkbedarf pro Hektar aus einer Tabelle abgelesen.

4. Bodendämpfung

Wegen der Schwankung des pH im Boden kommt Martinec (1938) zur Meinung, daß uns das im Boden augenblicklich gemessene pH wenig über den Boden selbst und natürlich noch weniger über seine Beziehungen zur Vegetation im allgemeinen zu sagen imstande ist. Einerseits stößt die Messung der wirklichen Bodenazidität auf Schwierigkeiten, andererseits ist die Beziehung zwischen dem pH des Bodens und der Pflanze eine gegenseitige. Die Pflanzen besitzen ein Regulationsvermögen, sie verändern das pH ihrer Umgebung mehr oder weniger. Diese Vorgänge sind jedoch schwer zu übersehen.

An den Schwankungen des pH im Boden beteiligen sich je nach der Tages- und Jahreszeit außer der Vegetation noch andere Faktoren des Standortes, wie die Wärme, die Feuchtigkeit, die Exposition, die im Boden enthaltenen Bakterien usw. Die Verhältnisse im Boden werden ferner dadurch kompliziert, daß alle Faktoren voneinander abhängig sind. Sie befinden sich in einer Art dynamischem Gleichgewicht. Das gemessene pH stellt eine Angabe über den augenblicklichen Gleichgewichtszustand dar. Die Gesamtheit der sich im Boden abspielenden Vorgänge haben Ulehla-Martinec (1937) als Bodenreaktivität bezeichnet. Um diese besser feststellen zu können, wird außer der aktuellen Azidität noch die hydrolytische und die Austauschazidität sowie das Puffervermögen festgestellt. Bei der Bestimmung der Bodenreaktivität mittels des Puffervermögens wird meist ein wichtiger Faktor, nämlich der Zeitfaktor, außer acht gelassen.

© Der in einer wässrigen Lösung vorhandene Puffer reagiert mit der zugefügten Säure oder Lauge momentan. Dasselbe gilt zwar auch von einer Bodenaufschwemmung, jedoch wird durch die bei der Pufferaktion hervorgerufene Änderung im Boden ein zweiter, viel langsamer verlaufender Vorgang aktiviert, mittels dessen der Boden durch die freiwerdenden Reserven bemüht wird, die bereits eingetretene Verschiebung der aktuellen Reaktion wieder rückgängig zu machen. Man hat also im Fall des Bodens zwei Vorgänge zu unterscheiden:

1. die eigentliche, momentan wirksame und jeglicher Änderung des pH sich widersetzen Pufferung und
2. die langsam verlaufende Regulation oder Dämpfung, deren Aufgabe es ist, die bereits eingetretene pH-Änderung wieder auszugleichen.

Nach Martinec hat man also zwischen Puffervermögen und Dämpfungsvermögen zu unterscheiden. Er kommt zur Erkenntnis, daß erst die Untersuchung dieser Verhältnisse eine sichere Grundlage für die Feststellung der ökologischen und soziologischen Beziehungen zwischen der Pflanzenwelt und dem Boden bildet.

5. Methoden der praktischen pH-Messung

Für praktische Zwecke wird das pH entweder elektrometrisch oder kolorimetrisch mit Indikatoren (Farblösungen) gemessen. Die eine beruht darauf, daß die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit von der Menge der freien Wasserstoffionen abhängt, die andere geht davon aus, daß verschiedene Farbstoffe bei Änderung des pH-Wertes ihren Farbton ändern. Daneben gibt es noch andere Meßmethoden, die aber kaum im Gebrauch sind. Die Entscheidung, welche von den Methoden zu verwenden ist, hängt ab:

1. von der bequemen Handhabung und Billigkeit und
2. von der notwendigen Genauigkeit der Messung.

Genauere Messungen ergibt die elektrometrische Methode. Bei dieser Methode werden zwei Elektroden verwendet:

eine Bezugselektrode (meist die gesättigte Kalomelektrode) und eine Meßelektrode (Chinhydronelektrode, Wasserstoffelektrode, Antimonelektrode). Die Spannung, die Potentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden ist je nach dem pH-Wert der Meßlösung verschieden und kann in Millivolt abgelesen werden. Der pH-Wert läßt sich dann errechnen, gewöhnlich ist aber gleich eine pH-Ablese skala vorhanden.

Sowohl für die elektrometrische als auch für die kolorimetrische pH-Messung wird nach den Richtlinien der Internationalen Gesellschaft für Bodenkunde eine Durchschnittsprobe des frischen oder lufttrockenen Bodens mit der 2,5-fachen Menge destillierten Wassers (für die eigentliche

aktuelle Azidität) oder mit der 2,5fachen Menge 7,5%iger Kaliumchloridlösung (für die Messung der aktuellen Austauschazidität) durchgeschüttelt und dann absitzen gelassen. Bei der kolorimetrischen Bestimmung wird die überstehende Flüssigkeit verwendet. Für die elektrometrische Bestimmung wird die obige Aufschlammung mit einer Messerspitze Chinhydron durchgeschüttelt und das pH gleich abgelesen.

Die kolorimetrische Messung erfolgt mit Indikatoren, das sind Farbstoffe, welche in Lösungen verschiedenen pH-Wertes verschiedene Färbungen annehmen. Die Zahl der Indikatoren ist groß und erstreckt sich über die gesamte pH-Skala. Bei der Feststellung des pH-Wertes benützt man eine Vergleichsskala.

Man unterscheidet einfarbige und mehrfarbige Indikatoren, dann Solo-Indikatoren für meist geringe pH-Bereiche und Komplex-Indikatoren, das sind Indikatorengemische, für den ganzen pH-Bereich (Universal-Indikatoren) oder jedenfalls für einen größeren Teil, meist den sauren oder alkalischen Teil.

Das kolorimetrische Verfahren ist ein indirektes und stützt sich auf die elektrometrische Methode. Es ist sehr einfach zu handhaben und bedarf keiner besonderen Apparaturen. Neuerdings hat man das Meßverfahren für orientierende Untersuchungen durch die Herstellung von Universal-Indikatorpapier noch vereinfacht. Mercks Universal-Indikatorpapier hat eine Farbenskala für einen Meßbereich von pH 1 bis 10. Es wird einige Sekunden in die Lösung eingetaucht und nach $\frac{1}{2}$ Minute kann durch Vergleich mit der Farbenskala das pH bestimmt werden.

Bei Benützung des Universal-Indiktors „Merck“ gibt man 8 cm³ farbloser (filtrierter) Untersuchungsflüssigkeit in eine kleine Porzellanschale, setzt 2 Tropfen Universal-Indikator zu und vergleicht die dadurch entstandene Farbe mit der Farbenskala. Diese gibt die pH-Werte von 4 bis 9 in Abstufungen von 0,5 zu 0,5 an.

Zur Untersuchung von naturfrischen Böden ist das „Pehameter“ nach Hellige sehr bequem, weil jede Vorbereitung wegfällt. Es hat einen pH-Bereich von 4 bis 9. Die Abstufung zwischen den einzelnen Farbtönen beträgt 1,0 pH. Zwischenstufen können geschätzt werden.

Das Verfahren von Kühn und Scherf eignet sich besonders für rasche kolorimetrische Bestimmung des pH bei Feldarbeiten. Die pH-Werte können auf 0,5 Einheiten genau abgelesen werden und Zwischenstufen sind ebenso zu schätzen. Diese Schnellmethode wird von der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft empfohlen.

Zur Ermittlung der Bodenreaktion (pH im Boden) stehen vielfach die Hellige-Komperatoren im Gebrauch. Die Farbscheiben hierzu sind in großer Zahl für die verschiedenen Einzel-Indikatoren und für die Universal-Indikatoren „Hellige“ und „Merck“ hergestellt worden.

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at

Mit ihnen kann das gesamte Gebiet von 0,2 bis 12,8 pH mit Zwischenräumen von 0,5 oder 0,2 pH erfaßt werden. Durch Interpolation läßt sich eine Meßgenauigkeit von 0,1 pH erreichen.

Genaueres über die Durchführung der pH-Messung sowie über weitere Methoden und elektrometrische und kolorimetrische Apparaturen kann in den angegebenen Werken (besonders von Kordatzki und Wiegner-Pallmann) nachgelesen werden.

Anhangweise möge noch bemerkt werden, daß die pH-Messungen in vielen Gebieten Anwendung finden, weil der Einfluß der Wk. auf chemische, physikalisch-chemische und biologische Prozesse eine weitreichende Rolle spielt. Um nur einige Gebiete zu erwähnen, seien genannt: analytische Chemie, Medizin, Pharmazie, Bakteriologie, Biologie, Wasser- und Bodenkunde, Landwirtschaft, Lebensmittelchemie und fast alle Industriezweige (Brauerei-, Zucker-, Papier- und Zellstoff-, Textil-, Leder-, Farben-, chemische Großindustrie usw.).

B. Pflanzensoziologische Bemerkungen

6. Einiges über die botanische Namensgebung

Die Bausteine der Pflanzengesellschaften sind die Pflanzenarten oder, allgemein ausgedrückt, die Pflanzensippen. Das Wort Sippe wird gebraucht, wenn man über die systematische Rangordnung der Pflanzen nichts aussagen will oder kann. Zur Benennung der Pflanzenarten benützt man zwei Namen, den Gattungsnamen (Genus), z. B. Veilchen, *Viola*, und den Artnamen (Spezies), der im Deutschen dem Gattungsnamen vorangestellt wird, bei der wissenschaftlichen (lateinischen) Bezeichnung aber nachfolgt, z. B. Hügel-Veilchen, *Viola collina*, Wohlriechendes Veilchen, *Viola odorata* usw. Die deutschen Artnamen sind als Eigennamen mit großem Anfangsbuchstaben zu schreiben, was vielfach übersehen wird. Mehrere Veilchenarten sind wohlriechend, das Wohlriechende Veilchen ist aber nur eine von diesen Arten.

Eine Gemeinschaft von Arten, die der gleichen Lebensgruppe angehören, z. B. die Baumschicht eines Buchenwaldes oder die Wasserlinsendecke eines Tümpels, der Flechtenüberzug eines Felsens, bildet einen Verein oder eine Synusie. Der Verein ist eine synökologische Einheit. Die Synökologie¹ erforscht den Gesellschaftshaushalt, während die Ökologie den Haushalt und die Anpassung der Einzelpflanze an die Umwelt behandelt.

Die Schichten der Pflanzengesellschaften sind aus Vereinen zusammengesetzt. Es ergibt sich folgender Aufbau: Einzelpflanzen

¹ Syn gr. zusammen, zugleich, gemeinschaftlich; usia gr. Dasein; syn-usia, Zusammensein; oikos und oikia gr. Haus, Haushalt; logos gr. Lehre, Wissenschaft.

(Sippen) — Schichten (Vereine) — Pflanzengesellschaften (Einheiten verschiedener Rangordnung).

Als grundlegende Einheit der Pflanzengesellschaften selbst gilt in Mitteleuropa die „Assoziation“. Die Bildung des Wortes ist französisch-englischer Herkunft und wird auch in anderen Wissensgebieten verwendet. Die vom Brüsseler Internationalen Botaniker-Kongreß 1910 gutgeheißen Definition lautet: „Eine Assoziation ist eine Pflanzengesellschaft von bestimmter floristischer Zusammensetzung, einheitlichen Standortbedingungen und einheitlicher Physiognomie.“ Der Terminus Assoziation wurde auf dem 6. Internationalen Botanischen Kongreß 1935 in Amsterdam für Vegetationseinheiten, die insbesondere durch Charakterarten und Differentialarten gekennzeichnet sind, beibehalten.

Mit dem Wort Pflanzengesellschaft (oder Pflanzengemeinschaft) wird keine bestimmte Einheit bezeichnet. Es gilt allgemein für soziologische Einheiten jeden Ranges, von der kleinsten bis zur größten. Im einfachsten Falle kann die Assoziation mit einem Verein zusammenfallen, z. B. Strauchflechtepteppich, Algenüberzug. In der Regel beteiligen sich am Aufbau einer Assoziation mehrere, bei Waldassoziationen viele ökologische Einheiten.

Zur Bezeichnung der Assoziationen werden in der Pflanzensoziologie der Gattungs- und Artname einer charakteristischen Pflanze der Gesellschaft genommen und dem Stamm des Gattungsnamen die Endung „-etum“ angehängt, während der Artname in den Genetiv gesetzt wird. Beispiel: die Gemeine Rotbuche heißt *Fagus silvatica*, der Rotbuchenwald *Fagetum silvaticae*. Weitere Beispiele sind der vorliegenden Abhandlung zu entnehmen. Die höheren und niederen Gesellschaftseinheiten erhalten andere Endungen, auf die aber hier nicht eingegangen werden soll. Werden zur Benennung der Pflanzengesellschaften zwei Gattungsnamen verwendet, so erhält das erste Wort die Endung „-eto“, z. B. *Querceto-Carpinetum* = Eichen-Hainbuchenwald. Vielfach werden zur näheren Bezeichnung auch geographische, standörtliche und noch andere Ausdrücke gebraucht, die dann an dritter Stelle oder, wenn der Artname weggelassen wird, an zweiter Stelle stehen, z. B. *Querceto-Carpinetum medioeuropaeum* = Mitteleuropäischer Eichen-Hainbuchenwald, *Fagetum boreoatlanticum* = Nordatlantischer Rotbuchenwald, *Fagetum calcareum* = Rotbuchenwald auf Kalk usw.

C. Beziehungen der Pflanzenwelt zur Bodensäure

7. pH-Beziehungen zu systematischen Pflanzengruppen

Die Wk. beeinflusst in hohem Maße die physiologischen Prozesse, die sich im Pflanzenkörper abspielen. Die Konzentration des Zellsaftes einer Pflanze muß zur Wk. der Bodenlösung in einem bestimmten Ver-

hältnis stehen. Wird dieses Verhältnis gestört durch Änderung der Konzentration der Lösung, so machen sich Krankheitserscheinungen an den Pflanzen geltend und es kann der Tod eintreten.

Für die verschiedenen Pflanzengruppen sind die Beziehungen zur Wk. festgestellt worden. So ist das Bakterienwachstum von der Wk. abhängig. Gewisse Bakterien können nur auf Nährböden von bestimmtem pH gezüchtet werden. *Azotobacter*, ein Bakterium des Ackerbodens, das den Luftstickstoff zu binden vermag, verschwindet, sobald die Reaktion unter pH 5,8 sinkt. Die in Symbiose mit verschiedenen Pflanzen lebenden Mykorrhizapilze werden entscheidend vom pH beeinflusst. Die Wachstumsoptima einiger für die Bodenfruchtbarkeit wichtiger Bakterien sind bei:

Knöllchenbakterien	pH 6,0 bis 7,0
<i>Azotobacter</i>	pH 6,6 „ 8,8
Nitrat- und Nitritbakterien	pH ca. 7,0
Denitrifizierende Bakterien	pH 5,5 bis 7,0
Zellulose zersetzende Bakterien	pH 6,8 „ 7,5

Während die Bakterien im allgemeinen besser in alkalischer Reaktion wachsen, gedeihen andere Pilze besser bei saurer.

Die Bodenreaktion an den Standorten der Erd- und Krustenflechten der Alpen, des Deutschen Mittelgebirges und des Tieflandes ist von Mattik untersucht worden. Es zeigt sich, daß wir die Flechten in eury-ione und steno-ione¹ einteilen können, wobei sich bei letzteren noch azidiphile, neutrophile und basiphile unterscheiden lassen.

In einer graphischen Darstellung gibt Mattik die pH-Grenzen und die Lage des pH-Optimums für 83 untersuchte Arten an. Azidiphile Familien sind besonders die *Cladoniaceen*, *Parmeliaceen* und *Gyrophoraceen*, basiphile dagegen die *Collema* und *Verrucariaceen*. Der wichtige Einfluß der Azidität des Substrats auf die Verbreitung der Flechten geht auch aus den Untersuchungen von Du Rietz hervor.

Auch die Beziehungen zwischen dem pH und dem Vorkommen der Moose wurden von mehreren Forschern auf breiter Grundlage untersucht. Kulturversuche zeigten aber, daß für die Verbreitung der Moose außer dem pH-Wert noch andere Bodenfaktoren maßgebend sein müssen.

Die höheren Pflanzen besitzen ebenfalls eine mehr oder weniger weite pH-Amplitude mit einem deutlichen Optimumbereich. In der kurvenmäßigen Darstellung ergeben sich meist deutlich eingipfelige Kurven. Zweigipfelige Kurven bedürfen noch ihrer Erklärung. Das pH ist im sogenannten Optimumgebiet ein indifferenter Standortsfaktor; hier ist die Bodenreaktion ökologisch nicht von ausschlaggebender Bedeutung. Das pH unterliegt dem Relativitätsprinzip.

¹ eury gr., breit; steno gr., schmal, eng.

8. pH-Wert und landwirtschaftliche Nutzpflanzen

Russell (1936) teilt die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen je nach ihrem Verhalten gegenüber der Bodenreaktion in drei Gruppen:

1. Pflanzen, die nur eine kleine Änderung der Bodenreaktion ertragen und deren Wachstumsoptimum im neutralen oder alkalischen Teil liegt (z. B. Weizen, Klee, Zuckerrübe, Luzerne).
2. Pflanzen, deren Wachstum ebenfalls auf ein enges pH-Gebiet beschränkt ist, das jedoch im sauren Bereiche liegt (z. B. Roggen).
3. Pflanzen, die auf einem breiten pH-Gebiet ihr Wachstumsoptimum zeigen (die meisten unserer Kulturpflanzen).

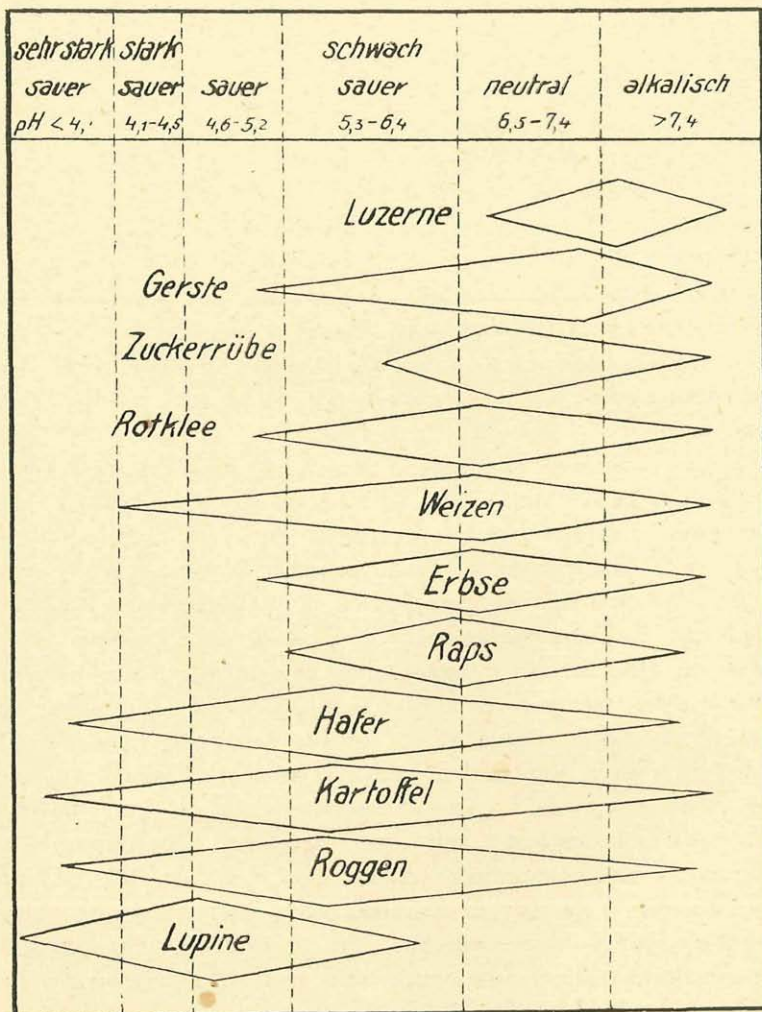


Abb. 3. Ansprüche einiger Kulturpflanzen an den Säuregrad des Bodens. (Nach Klapp 1942.)

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at

In vielen Fällen ist es vorteilhaft, sich im Anbau der Feldfrüchte möglichst den Bodenverhältnissen anzupassen, statt kostspielige Bodenverbesserungen durchzuführen. Daher baut man auf sauren Böden Hafer und Kartoffeln und nicht Gerste oder Klee. Die Ansprüche einiger Kulturpflanzen an den pH-Wert des Bodens zeigt nebenstehendes Schaubild (Abb. 3).

Ein Doppelkeil in Abb. 3 gibt den gesamten pH-Bereich, die pH-Amplitude, einer bestimmten Kulturpflanze an. Die breiteste Stelle zeigt den günstigsten pH-Wert der betreffenden Kulturpflanze, ihr pH-Optimum, an. Das Auskeilen nach beiden Seiten veranschaulicht die Abnahme der günstigsten Lebensbedingungen, die sich nicht nur in der Abnahme der Zahl der lebensfähigen Pflanzen zeigt, sondern auch in der Herabsetzung der Lebenskraft äußert (Kümmerformen).

Tabelle 2.
Ernteerträge und pH-Werte.
(Nach Kordatzki 1938)

pH-Werte:	4,2	5,3	6,5	7,2	8,0
Sommerweizen:	26	77	100	96	80
pH-Werte:	4,2	5,5	6,5	7,3	8,0
Kartoffel:	58	100	84	57	48

Gewisse Pflanzenkrankheiten, die durch Parasiten hervorgerufen werden, können durch Änderung der Wk. des Bodens bekämpft werden, wenn Wirtspflanze und Parasit verschiedene pH-Grenzen haben; so z. B. wird der Kartoffelschorf (*Actinomyces scabies*) bei pH 5,0 bis 5,2 ausgeschaltet, die Herzkrankheit der Rübe soll bei einem höheren pH als 6,7 nicht mehr auftreten usw. Die Kennzeichen alkalischer, bzw. zu wenig saurer Reaktion machen sich nach Klapp (1941) eindeutiger bemerkbar als solche zu saurer Reaktion. Hierher gehören z. B. die Herz- und Trockenfäule der Rübe, die Dörrfleckkrankheit des Hafers, die Bleichsucht der Lupine. Säureschäden sind nicht immer eindeutig und leicht zu erkennen und werden daher auch oft mit anderen Ursachen (Nährstoffmangel, Vernässung) verwechselt. Auf sehr stark sauren Böden können größere Kahlflächen entstehen, da die Keimung gehemmt ist. Die Blätter der Getreidearten vergilben an der Spitze, bei Rüben tritt Wurzelbrand auf.

Nach Lundegårdh dürfte ein Teil der ökologischen H-Ionenwirkung damit zusammenhängen, daß die H-Ionen gewisse Eigenschaften des Bodens beeinflussen. Die H-Ionen haben eine starke Kolloidaktivität und bestimmen den Dispersitätszustand des Bodens und der Humussubstanzen. Sie bestimmen die Löslichkeit gewisser Mineralbestandteile. Sehr wichtig ist die Wirkung auf den Löslichkeitszustand der Aluminiumverbindungen. In sauren Böden geht Aluminium in Lösung. Nach Ansicht einer Reihe amerikanischer Forscher soll die schädigende Wirkung saurer Böden im wesentlichen eine Aluminium-Wirkung

sein. In Wasserkulturversuchen konnten Jakob und Alten (1942) feststellen, daß nicht der hohe Säuregrad eines Bodens an sich für die Schäden verantwortlich zu machen ist, sondern der Umstand, daß in einem sauren Boden Aluminium-Ionen mobilisiert werden, die den Pflanzenorganismus schädigen. Daher wird bei den neuesten Bodenuntersuchungen neben der Austauschazidität auch das reaktionsfähige, d. h. in 1%iger Zitronensäure lösliche Aluminium bestimmt.

Wie ich schon eingangs erwähnt habe, ist die Wk. eines Bodens vielfach ein Zeiger für einen bestimmten Entwicklungszustand des Bodens, für seine chemischen und physikalischen Eigenschaften. Die Wk. gibt Aufschlüsse über den Grad der Auswaschung (Podsolisierung), den Kalkgehalt, die Durchlüftung, die Wasserführung usw.

Nach Wiegner und Pallmann verändert ein Schwanken des Karbonatgehaltes von 0,1 bis 85% im Boden kaum den pH-Wert, erst wenn der Karbonatgehalt auf Null heruntergeht, wird der Boden sauer und der pH-Wert sinkt sofort unter 7 und schwankt dann beträchtlich.

Ökologisch wirkt die Wk. immer mit denjenigen anderen Faktoren zusammen, die diesen Entwicklungszustand kennzeichnen.

Endlich sei noch als indirekte Wirkung der Wk. der Einfluß auf das Leben der Mikroorganismen im Boden, auf das Edaphon, hingewiesen, welches für die Bodenbildung und Bodenfruchtbarkeit von größter Bedeutung ist.

9. pH-Wert und Düngung

Das pH des Bodens gibt uns Anhaltspunkte für die Verbesserung in chemischer und physikalischer Hinsicht. Wird durch die pH-Messung Versauerung des Bodens festgestellt, so ist das wichtigste Abwehrmittel dagegen die Kalkung. Für die Feststellung der Kalkbedürftigkeit des Bodens wurde die Goy-Roos-Methode und die Bestimmung der Austauschazidität schon erwähnt. Siehe Seite 32!

Die jährlich durch kohlensäurehaltiges Wasser aus dem Boden ausgewaschene Kalkmenge schwankt zwischen 50 und 1000 kg je ha und darüber und ist im Durchschnitt immerhin einige Zentner. Dazu kommt noch der Kalkentzug durch die Ernte und die Förderung der Kalklösung durch die Wirtschaftsdünger. Für saure Ackerböden ist unbedingt eine Gesundungskalkung durch Verabreichung meist großer Kalkmengen in kurzer Frist notwendig. Alle Ackerböden, auch die neutralen, bedürfen alle 3 bis 5 Jahre einer Erhaltungskalkung als Zusatz für die laufenden Kalkverluste. Die anzuwendenden Kalkformen (kohlensaurer Kalk, Löschkalk, Branntkalk) richten sich nach den Bodenarten.

Durch die Kalkung wird die Krümelstruktur gefördert und dadurch eine Reihe physikalischer Eigenschaften des Bodens gebessert. Es ist nachgewiesen, daß auch die Aufnahme von Nährstoffen auf sauren Böden er-

schwert ist und daß die Kalkung z. B. die Phosphorsäureernährung begünstigt. Daher ist auch bei der Düngung auf den pH-Wert des Bodens Rücksicht zu nehmen.

Man unterscheidet Düngemittel, die nur bei einem gesunden Kalkzustand des Bodens ihre höchste Wirkung erreichen, und Düngemittel des sauren Bodens. Zur 1. Gruppe gehören die mehr oder weniger bodenversauernd wirkenden Düngemittel, und zwar die physiologisch sauren Düngemittel (z. B. schwefelsaures Ammoniak), die physiologisch neutralen, aber kalkbeanspruchenden Düngemittel (z. B. alle Kalisalze, Superphosphat) und physiologisch alkalische Düngemittel (z. B. Ammonsalpeter, Harnstoff). Zur 2. Gruppe gehören alle alkalischen Düngemittel, die bodenentsäuernd wirken (z. B. die Salpeterarten, Kalkstickstoff usw.). Wie verschieden die Wirkung eines sauren, eines basischen und eines neutralen Düngers bei verschiedenen Kulturpflanzen ist, zeigt die Tabelle 3.

Tabelle 3.
(Nach Kolkwitz und Tödt, 1941)

Art der Düngung	Geerntete Erträge (q/ha)				
	Kartoffeln	Rüben		Gerste	
				Korn	Stroh
Neutral	191	357	497	54	74
Sauer	238	441	302	54	67
Basisch	151	402	535	65	83

10. Pflanzengesellschaft, Bodenbildung und pH-Wert

Wie jede einzelne Pflanze, so hat auch jede Pflanzengesellschaft ihren bestimmten pH-Bereich mit einem mehr oder weniger ausgeprägten Optimum. Braun-Blanquet, ein bekannter Pflanzensoziologe, unterscheidet nach dem Verhalten der Pflanzen zum pH-Wert des Bodens 4 Gruppen:

1. Azidiphile Arten und Gesellschaften:
 extrem azidiphil: pH 5,0 bis 3,8,
 mäßig azidiphil: pH 6,2 bis 5,0 und
 schwach azidiphil: pH 6,7 bis 6,2.
2. Neutrophile Arten und Gesellschaften:
 pH 7,0 bis 6,7.
3. Basiphile Arten und Gesellschaften:
 basiphil-neutrophil: pH 7,5 bis 6,7 und
 ausgesprochen basiphil: pH über 7,5.

4. Indifferente Arten und Gesellschaften:

pH aus dem basischen weit in den sauren Reaktionsbereich hinüberreichend.

Die Verteilung der Pflanzengesellschaften hängt eng mit dem pH-Wert der Bodentypen zusammen. Die Wk. ändert sich aber auch mit der Bodentiefe. Während die Bodenarten sich nach dem Zerteilungsgrad des Bodens auf das Verhältnis der Korngrößengruppen (Sand-, Lehm- und Tonböden) und in einzelnen Fällen auf die stoffliche Zusammensetzung (Humus- und Kalkböden) gründen, sind die Bodentypen nach dem durch die Umwelteinflüsse, hauptsächlich klimatischer Natur, erreichten Entwicklungszustand, der im Bodenprofil (= Bodenquerschnitt) zum Ausdruck kommt, unterschieden. Für die Bodentypen wesentlich sind die Neubildungs-, Umformungs- und Verlagerungszustände der kolloiden Bestandteile (Humus- und Tonteilchen). Die einzelnen Horizonte des Bodenprofils haben meist einen verschiedenen pH-Wert, und zwar ändert sich dieser oft rasch durch Ab- oder Zunahme der Wk. Gibt man die untereinanderliegenden pH-Werte eines Bodenprofils an, so spricht man von einem pH-Profil oder Säuregradprofil (Abb. 4 und 5 und Tabellen 5, 6 und 7). Es spiegelt mit der Tiefe zu die klimatischen Einflüsse wieder, während sich in den obersten Bodenschichten, die ebenfalls von Bedeutung sind, die Pflanzenstreu stark auswirkt.

In Abb. 4 bedeutet:

I = Pfeifengrasreicher Föhren-Stieleichenwald (*Pineto-Quercetum roboris molinietosum*) aus dem Kaiserwald bei Ponigl nächst Graz.

II = Heidelbeerreicher Föhren-Stieleichenwald (*Pineto-Quercetum roboris myrtilletosum*) vom Rosenberg bei Mitteregg nördlich Mureck.

Das rechte Ende der schwarzen Flächenteile gibt die pH-Zahl und das untere Ende die Bodentiefe der betreffenden Schicht des pH-Profiles an.

Da im folgenden mehrmals Bodenprofile erwähnt sind, wird anschließend für ein vollständiges Bodenprofil eine kurze Übersicht über die Horizonte und deren Unterabteilungen angegeben. Es enthält aber nicht jeder Bodentyp alle Schichten.

Bodenprofil

A-Horizont = Auswaschungszone.

A₀ = Humusauflage (rein organisch),

A₁ = humushaltiger, verarmter Mineralboden (organisch-mineralisch),

A₂ = humusfreie oder humusarme deutliche Bleichzone, Podsol (mineralische Bleichschicht).

B-Horizont = Anreicherungszone.

B₁ = Einwaschungsschicht,

B₂ = Einwaschungs- + Verwitterungsschicht,

BC = Verwitterungsschicht + Untergrund.

C-Horizont = Untergrund, Muttergestein, Ausgangsmaterial.

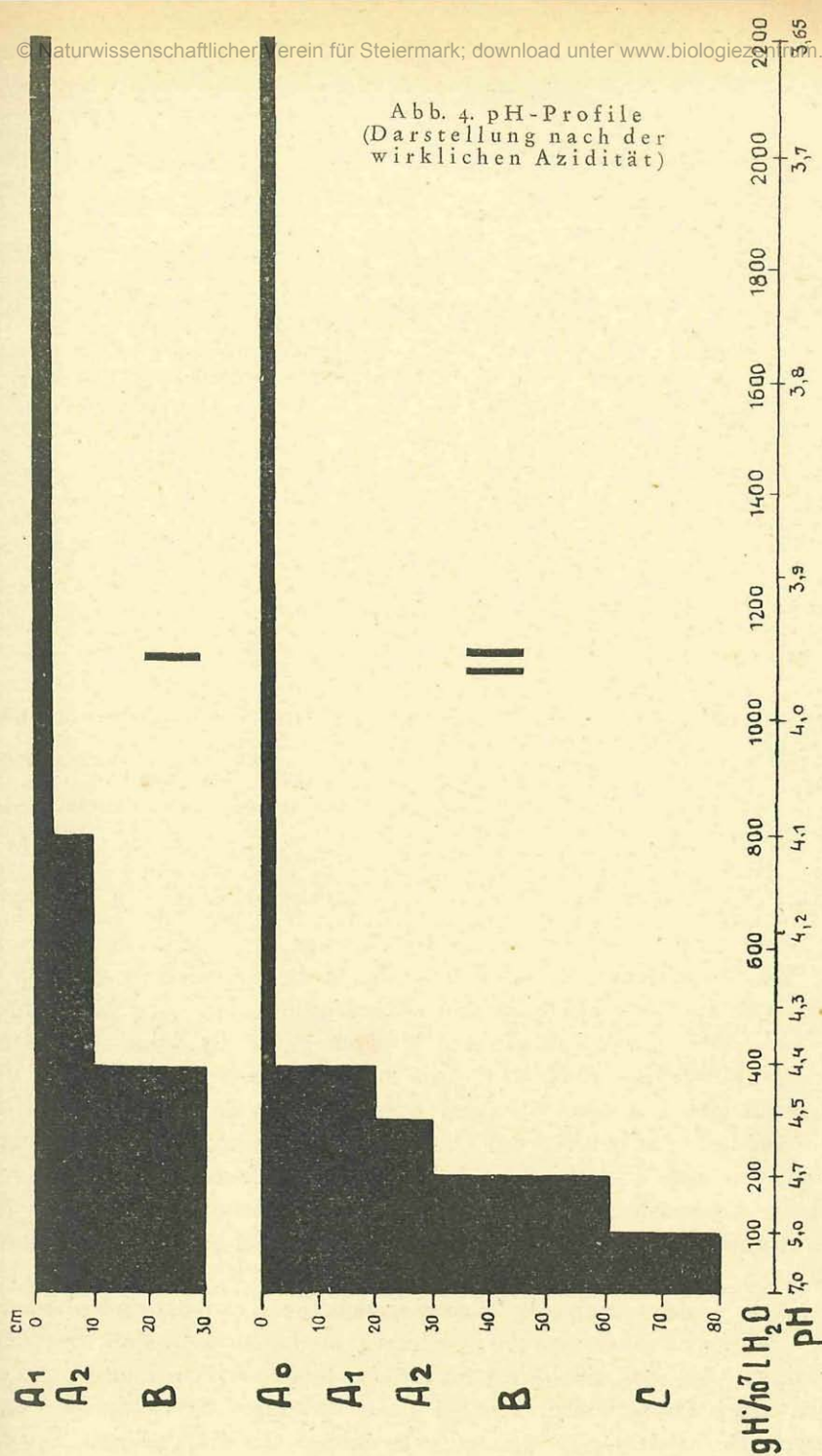
C₁ = unverwitterter Untergrund,

C₂ = verschiedene geologische Schichten.

In manchem Profil kommt über dem Untergrund oder bei durchlässigem Untergrund (Sand, Ton usw.) auch in diesem noch ein

G-Horizont = Gleis- oder Grundwasserhorizont vor.

Abb. 4. pH-Profile
(Darstellung nach der
wirklichen Azidität)



A = Oberboden (in Ackerböden: Krume), B = Unterboden.

A + B = Obergrund, C = Untergrund.

Das vorstehend angegebene A-B-C-Profil mit deutlich gegeneinander abgesetzten Horizonten ist für die sogenannten podsolierten Böden charakteristisch. In braunen Waldböden ist (nach Laatsch 1938) die Profilabgrenzung nicht so deutlich, denn es gibt dort weder eine Auswaschungs- noch eine Anreicherungszone kolloider Bestandteile. Scharfe Grenzen fehlen völlig. Man unterscheidet bei diesem Typus folgende Horizonte:

A-Horizont = humoser Oberboden,

(B)-Horizont = verlehmt und durch Eisenoxydhydrat „verbraunter“ Unterboden,

C-Horizont = Untergrund (nicht verwittert).

Das Symbol B wird zur Charakterisierung des Unterbodens brauner Waldböden in Klammer gesetzt, um damit anzudeuten, daß es sich hier nicht um einen Anreicherungshorizont, sondern nur um eine Zone intensiver Verwitterung handelt.

Die Humuskarbonatböden (Kalkschwarzerden) oder Rendzinen sind humusreiche Böden auf Kalk, Dolomit oder kalkreichen Mergeln. Die tief schwarze Humusschicht (A-Horizont) geht mehr oder weniger unvermittelt in den hellen, gesteinsfarbenen und unverwitterten Untergrund (C-Horizont) über. Die nicht podsolierten Formen haben daher ein ausgesprochenes A-C-Profil.

Die Humusauflage (A₀) der Waldböden wird noch weiter gegliedert. In der Bodenkunde werden 3 Schichten unterschieden und mit A_{0I}, A_{0II} und A_{0III} bezeichnet. Sind alle 3 Schichten vorhanden, dann befindet sich die Humusauflage im ungünstigsten Zersetzungszustand, man bezeichnet sie in ihrer Gesamtheit als Rohhumusform. Ein günstigerer Zersetzungszustand ist die Moderform mit A_{0I} und A_{0II}. Der günstigste Zersetzungszustand, bei dem nur eine Streuschicht (A_{0II}) vorhanden ist, ist die Mullform. Bei der Mullform wird die Streuschicht des Waldes im Laufe des Sommers meist vollständig oder fast vollständig zersetzt. Es gibt uns also bereits die Humusauflage ein Bild von der Güte des Waldbodens.

Gliederung der Humusauflage (A₀)

A_{0I} = Streuschicht (schwedisch: Förna), mit kaum zerstörten Nadeln, Blättern und Pflanzenresten.

A_{0II} = Moderungsschicht (F-Schicht), mit halbzerstörten Nadeln, Blättern und so weiter.

A_{0III} = Humusstoffschicht (H-Schicht), feinstteiliger Humusstoff, kaum unzerstörte Pflanzenreste.

A_{0I} allein = Mullform

A_{0I} + A_{0II} = Moderform

A_{0I} + A_{0II} + A_{0III} = Rohhumusform

Zum Verständnis der Vegetationsänderung, die durch die Änderung der Wk. des Bodens hervorgerufen wird, ist die pH-Kurve (Abb. 5) unentbehrlich. Soziologisch besonders bedeutsam sind die Schnittlinien der pH-Kurven im Maximum- und Minimumgebiet der Assoziation, denn dort spielt sich der erbitterte Kampf zwischen der herrschenden und der durch die pH-Änderung mehr und mehr begünstigten eindringenden Gesellschaft ab. Aus den Kurven (Abb. 5) ist ersichtlich, daß dieser Kampf auf Leben und Tod zwischen *Firmetum* und *Elynetum* in Böden von pH 7,0 — 6,5 und zwischen *Curvuletum* und *Elynetum* bei pH 5,5 — 5,1 ausgefochten wird. In diesen Gebieten ist das pH der entscheidende Faktor (Braun-Blanquet, 1928).

Abb. 5 dient auch als Musterbeispiel für die Bodenbildung und Vegetationsentwicklung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. Aus den alkalischen Kalkböden bilden sich im Laufe der Zeit stark saure Humusböden. Parallel dazu verändert sich auch die Vegetation. Der auffälligste grasartige Bewohner des Kalkgebirges ist die

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at

Polstersegge (*Carex firma*). Sie bildet in diesem Gebiet einen eigenen Wiesentypus, den Polsterseggenrasen, das *Caricetum firmae* oder kurz *Firmetum*. Die Polstersegge spielt als oberster Rasenbildner in den Kalkalpen dieselbe Rolle wie die Krummsegge, *Carex curvula*, im Urgebirge. Die Krummsegge ist eine säureliebende Horstpflanze, die im Alpengebiet schon bei einem pH von 5,5 — 5,2 mit Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Die Blätter haben ein lockenförmig gekrümmtes Ende, daher der Name. Der Krummseggenrasen, das *Caricetum curvulae*, kurz *Curvuletum*, ist eine der bekanntesten Wiesentypen der Alpen auf kalkarmen Böden. Im Kalkgebirge ist die Krummsegge selten, meist stellt sie sich nur dort ein, wo eine dicke Humusschicht gegen den Kalk isoliert¹. Zwischen den beiden obersten Rasenbildnern, der Polstersegge und der Krummsegge, steht das Nacktried (*Elyna myosuroides*). Es ist gegen den Kalkgehalt indifferent und gedeiht am besten auf mäßig sauren Humuskarbonatböden. Das Nacktried bildet eine charakteristische hochalpine Rasengesellschaft, das *Elynetum*. Unter 2000 m tritt an Stelle der Krummsegge das ebenfalls kieselholde Borstgras oder der Bürstling (*Nardus stricta*). Das Borstgras bedeckt auf den kalkarmen Böden und auf humoser, kalkfreier Erde auch auf Kalkunterlage weite

¹ Untersuchungen von Gilomen (1938) haben ergeben, daß *Carex curvula* in 2 standörtlich verschiedene Sippen zu trennen ist, die morphologisch, anatomisch, ökologisch und auch in der Verbreitung gut zu unterscheiden sind: die Kalk-Krummsegge (*Carex curvula* ssp. *Rosae*) und die Urgesteins-Krummsegge (*Carex curvula* ssp. *eu-curvula*). Die bisherigen Angaben in den Floren und in der pflanzengeographischen Literatur, auch die oben erwähnten Untersuchungen von Braun-Blanquet und Jenny, beziehen sich auf die *Eu-curvula*-Sippe. Da die Verbreitung der Kalk-Krummsegge in den Ostalpen noch festzustellen ist — es sind nur ganz wenig Fundorte bekannt, der östlichste in der Gamsgrube im Großglocknergebiet —, sind im nachstehenden einige wesentliche Unterschiede der Sippen gegenübergestellt.

Urgesteins-Krummsegge (*Carex curvula* ssp. *eu-curvula*)

Wurzeln einer Pflanze meist verschiedenfarbig, hellbraun bis weißgelb.

Stängel krumm.

Blätter mit gelblichen, lockenförmig gekrümmten Enden.

Blattquerschnitt bandförmig, mit feiner Rinne über dem Mittelnerv. Zwischen Mittelnerv und Blattoberseite kein oder wenig grünes Gewebe.

Blätter im Querschnitt 7- bis 12mal breiter als dick.

Tragblätter der Blüten kastanienbraun.

Boden: Auf saurem Humus und Silikatrohöden, ausgesprochen azidophil, pH-Bereich: pH 4,0 bis 6,8, Mittelwert um pH 5,0.

Verbreitung: Pyrenäen, französisches Zentralplateau, Alpen, Karpaten, bulgarische Gebirge.

Gesellschaft: „*Curvuletum typicum*“ der bisherigen pflanzengeographischen Literatur.

Kalk-Krummsegge (*Carex curvula* ssp. *Rosae*)

Alle Wurzeln einer Pflanze meist gleichfarbig, braun bis schwarzbraun.

Stängel meist gerade.

Blätter schwach gekrümmt.

Blattquerschnitt halbmondförmig, auch halbkreisförmig, ohne feine Rinne. Zwischen Mittelnerv und Blattoberseite viel grünes und auch farbloses Gewebe.

Blätter im Querschnitt 4mal breiter als dick.

Tragblätter der Blüten glänzend gelb bis hellbraun.

Boden: Vorwiegend auf Kalkrohöden und Humuskarbonatböden, neutrophil bis basiphil, pH-Bereich: pH 5,8 bis 8,6, Mittelwert um pH 7,4.

Verbreitung: Pyrenäen, Westalpen, Ostalpen (selten) bis zum Großglockner.

Gesellschaft: In den Westalpen das „*Caricetum Rosae*“ (Ordnung: *Sesleriacalia*).

Flächen unserer Alpenmatten: die Borstgraswiese oder das *Nardetum strictae*, während die Kalk- und Dolomitböden der Berg- und Hügelsonneion region vielfach die „Blaugrasshalde“, das *Seslerietum varia*e, tragen. Das Blaugras ist ein kalksteter, gesellig lebender Rasenbildner, das auf Felswänden und Schutthalden, auf Weiden und Matten, aber auch auf Böden lichter Buchen-, Föhren- und Fichtenwälder des Kalkgebirges eine führende Rolle spielt.

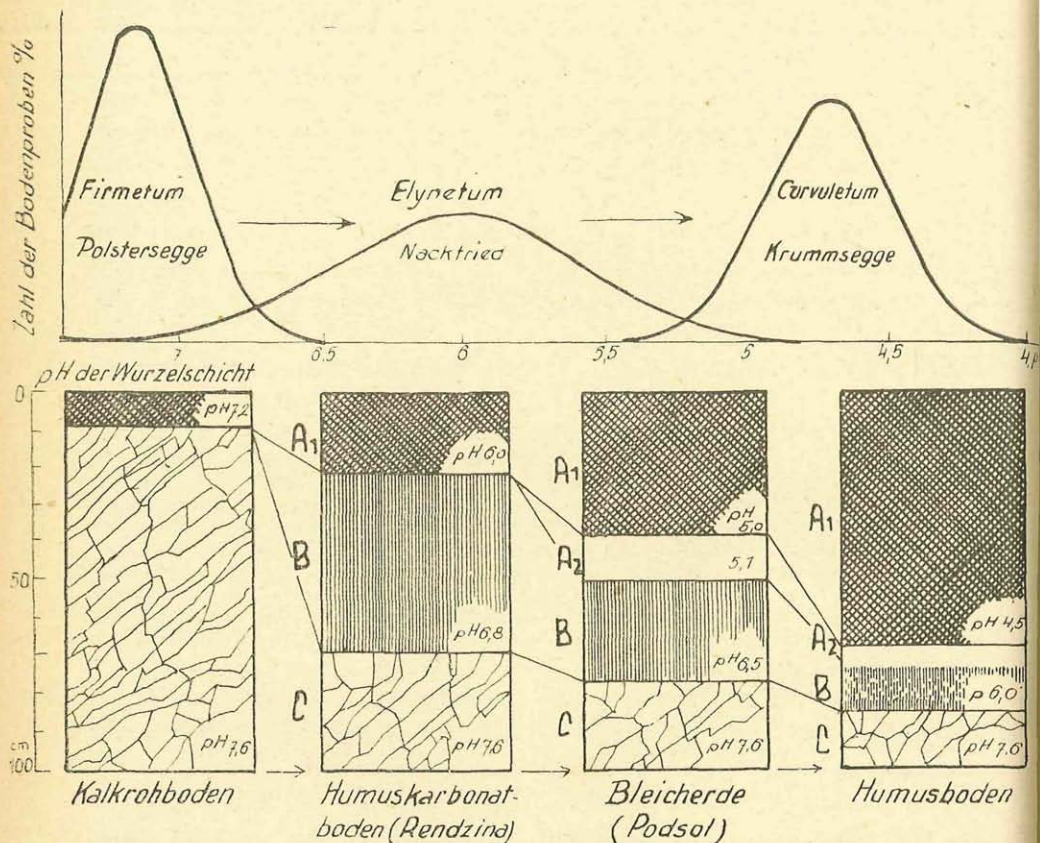


Abb. 5. Bodenbildung und Vegetationsentwicklung im Hochgebirge auf Kalk. (Nach Braun-Blanquet und Jenny, 1928, verändert.)

Unter dem Einflusse der Bodenversauerung, die durch die humusschaffenden Pflanzen selbst verursacht wird, tritt ein Wechsel in der Vegetation ein. Erfährt der Boden durch die Humusanreicherung eine allmähliche Umgestaltung, so reagieren auch die Pflanzenarten, und zwar nicht nur die vorherrschenden, sondern auch die Begleiter. Durch Veränderungen in der Artenzusammensetzung entstehen dann allmählich andere Assoziationen (Vegetationssukzession).

© Neben dem pH-Profil und der pH-Kurve gestattet noch die pH-Linie die räumliche horizontale Verbreitung einer Pflanzengesellschaft in ihrer Beziehung zum Boden zu charakterisieren. Zur Feststellung der pH-Linie werden in einer bestimmten Bodentiefe, z. B. 15 cm, in gleichen Abständen, etwa von 2 zu 2 m, die pH-Werte gemessen.

In einem Flaumeichenbestand (*Quercetum pubescentis graecense*) auf dem Admonter Kogel bei Weinzödl nächst Graz von mir¹ gezogene pH-Linie ergab folgende Werte: pH 8,0 — 8,0 — 7,7 — 8,7 — 7,8 — 8,7 — 8,0 — 8,0 — 8,0 — 8,0 — 8,2 — 8,0 — 7,7 — 8,0 — 8,0 — 8,2 — 8,0 — 7,8 — 8,7. Der errechnete mittlere pH-Wert ist 8,1.

Daraus ist zu ersehen, daß der gemessene Flaumeichenbestand eine basiphile Gesellschaft ist. Vergleiche hiezu auch Tabelle 1! Die Messungen erfolgten kolorimetrisch nach dem Verfahren von Kühn und Scherf gleich an Ort und Stelle in der oben angegebenen Bodentiefe und Entfernung.

Als weiteres Beispiel für die pH-Linie folgt Tabelle 4:

Tabelle 4.

pH-Linie im Gernsheiden-Bestand (*Loiseleurietum*) auf der Grebenzen bei St. Lambrecht (Obersteiermark), 2. Höhe, Gipfelfläche und Hang nach Osten, auf Kalkunterlage. Entfernung der einzelnen Messungen annähernd 10 bis 15 m, kolorimetrische Messung in H₂O nach Kühn-Scherf mit naturfrischem Boden. Die Messungen führte ich am 9. August 1942 aus.²

Nr.	Bodenproben aus dem Gernsheiden-Bestand vom Wuchsort nachstehender Pflanzen:	pH aus der Bodentiefe von	
		2 cm	10 cm
1	Moor-Heidelbeere (<i>Vaccinium uliginosum</i>)	4,3	4,5
2	Europäische Silberwurz (<i>Dryas octopetala</i>) und bis 10 cm große Kalksteine	6,0	6,5
3	Offener Boden	4,8	6,4
4	Vielblütige Hainsimse (<i>Luzula multiflora</i>)	4,9	6,4
5	Kleinste Schlüsselblume (<i>Primula minima</i>)	4,5	4,7
6	Niederliegende Gernsheide (<i>Loiseleuria procumbens</i>) . .	4,9	5,0
7	Niederliegende Gernsheide (<i>Loiseleuria procumbens</i>) . .	4,5	5,4
8	Gemeine Besenheide (<i>Calluna vulgaris</i>) und Gemeine Heidelbeere (<i>Vaccinium Myrtillus</i>)	4,8	5,5
9	Europäische Silberwurz (<i>Dryas octopetala</i>)	5,5	6,0
10	Moor-Heidelbeere (<i>Vaccinium uliginosum</i>)	4,3	4,8

Wegen der Kalkunterlage ist der pH-Wert in der größeren Bodentiefe etwas höher.

Bei der Feststellung der Bodensäure ist noch zu berücksichtigen, daß sie jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Eine Reihe von Autoren (unter anderen auch L ü d i) beobachteten am selben Boden im Frühjahr und in nassen Jahren im allgemeinen niedrigere, im trockenen Sommer höhere Säuregrade und schreiben dies dem verschiedenen Wassergehalt und den entsprechend verschiedenen Verdünnungen zu und sehen die Ursache in einem Verlust der Pufferkraft durch Austrocknung.

¹ Eggl er, Flaumeichenbestände bei Graz, 1941.

² Aus meinen noch nicht veröffentlichten pflanzensoziologischen Untersuchungen.

© Naturschutz-Nachrichten-Verein für Kleinanr. | Downloaded from www.biol.chem.berlin.de
Andere (Niemce und Kvařpi), besonders Fehér) erhalten dagegen im Sommer weniger saure Werte als während der nassen Jahreszeit und deuten diese Schwankungen mikrobiologisch durch ungleiche Intensität anaerober, also unter Luftabschluß vorsichgehender Prozesse bei verschiedenem Wassergehalt des Bodens.

Die Bakterienzahlen der Waldböden schwanken mit den pH-Werten im gleichen Rhythmus. Sinkt die pH-Zahl beim Steigen der Säurekonzentration, dann nimmt auch die Bakterienzahl in der Gesamtheit ab, u. zw. die der luftbedürftigen (aeroben) stärker als die der luftscheuen (anaeroben). Vergleiche hiezu auch den Abschnitt 12, Seite 54! Nach den Untersuchungen von Fehér finden in Ungarn die Waldbodenbakterien in den Sommer- und Herbstmonaten die günstigsten Lebensbedingungen, während die Mikroben der ungarischen Ackerböden ihr Optimum während der Hauptvegetationsperiode im Spätfrühling haben. Später hemmt die Trockenheit ihre Tätigkeit und bewirkt auch eine ständige Senkung der pH-Werte.

Nach Ziegenspeck pflegen die aktuelle Säure (also niedriges pH) und die potentielle Säuremenge in Nadelholzwaldungen im Herbst sehr hoch zu sein. Er gibt auch für den Laubwald, besonders Buchenwald, das Maximum der aktuellen Bodensäure (also kleines pH) im Herbst und Winter an.

Ellenberg erhält bei seinen Untersuchungen Säurespitzen im Frühjahr und im Herbst. Daraus ist ersichtlich, daß die Art der jahreszeitlichen pH-Schwankungen und ihre Ursachen noch nicht ganz geklärt sind. Wegen der wenig berechenbaren Aziditätsschwankungen erscheint der Wert einmaliger pH-Messung für das Studium feinerer Beziehungen zwischen den Säureverhältnissen des Bodens und den Pflanzengesellschaften zum mindesten sehr bedingt. Dazu kommen noch die unterschiedlichen pH-Werte, die durch die verschiedenen Meßmethoden entstehen.

Beim Vergleiche von pH-Werten der Böden ist zu beachten:

1. die Art der Probenentnahme, ob Einzelprobe oder Mischprobe,
2. der Zustand der Proben, ob naturfrisch oder lufttrocken,
3. die Art der Bodenlösung, ob destilliertes Wasser oder Kaliumchloridlösung,
4. die Meßmethode, ob kolorimetrisch oder elektrometrisch,
5. der Bodenhorizont und
6. die Jahreszeit der Probenentnahme.

Die Tabelle 5 zeigt die jahreszeitlichen Schwankungen an einem Beispiel aus der Umgebung von Graz.¹ Abgesehen von den jahreszeitlichen Schwankungen ergab die kolorimetrische Messung größere Unterschiede in den pH-Werten und zeigte im allgemeinen einen stärker alkalischen Boden an als die elektrometrische Messung. Die kolorimetrische Bestimmung wurde gleich bei der Feldarbeit an frischen

¹ Aus Egger, Bodenkundliche Untersuchungen in den Flaumeichenbeständen bei Graz. (Ein Beitrag zur Standortsforschung.) 1942.

Tabelle 5. pH-Werte in den Bodenhorizonten der Flaumeichenbestände bei Graz.

	Herbst 1940 (elektrometrisch)	Frühjahr 1937 (kolorimetrisch)
A ₀	pH 5,8 bis 7,3	pH 5,0 bis 6,8
A ₁	pH 7,2 bis 7,8	pH 6,2 bis 8,2
A ₂	pH 7,8 bis 8,0	pH 6,2 bis 8,2
AC	pH 7,8 bis 8,0	pH 7,8 bis 8,2
pH in A ₂ im selben Profil, aber meist basischer als in A ₁ .		

Ebenso wie für den Boden ist das pH für die Wasserpflanzengesellschaften von Bedeutung. Die Wk. des Wassers zeigt deutliche Beziehungen zum Kohlensäuregehalt.

11. pH-Werte einiger Pflanzengesellschaften

Vergleiche auch die pH-Werte der Waldböden in den Waldgesellschaften der Umgebung von Graz in der Tabelle 1, Seite 29!

Für die Pflanzengesellschaften Ungarns gibt Treitz schon 1924 pH-Zahlen an, die, soweit die Standortverhältnisse übereinstimmen, auch im großen und ganzen den steirischen Verhältnissen ähnlich sind.

Tabelle 6. pH-Werte für die Bodenregionen Ungarns. (Nach Treitz 1924)

I. Region des Nadelwaldes mit Besenheide und Heidelbeere, auf Gneis:
A₀ (Waldstreu) pH 4,8 bis 4,9
A₁ (0—10 cm) pH 4,8 bis 4,9

II. Region des gemischten Laubwaldes.

a) Eiche und Weißbuche, auf Quarzsandstein:

A₁ (0—15 cm) pH 5,2
B (30—40 cm) pH 5,0

b) Zerreiche, auf Diluvialschotter:

A₁ (0—15 cm) pH 5,8

c) Ackerland:

A₁ (0—5 cm) pH 5,5 bis 6,0
A₂ (20—35 cm) pH 6,1
B (40—50 cm) pH 5,9 bis 6,0

III. Region des Buchenwaldes.

a) Hügel land, Schwarzföhrenwald, auf pannonischem Mergel und Sand:

A₁ (0—3 cm) pH 5,4
A₂ (10—15 cm) pH 6,0
B (40—45 cm) pH 5,9

b) Sehr alte Ackerböden:

A₁ (0—5 cm) pH 5,5 bis 6,0
A₂ (20—30 cm) pH 5,6 bis 6,1
B (45—60 cm) pH 5,3 bis 5,8

IV. Region der künstlichen Steppe.

Ehemalige Weiden, seit 30 Jahren beackert, auf Löß mit 20 % CaCO₃, Oberkrume entkalkt:

A ₁ (0—5 cm)	pH 6,4 bis 7,2
A ₂ (30—40 cm)	pH 6,7 bis 6,9
B (60—65 cm)	pH 6,8 bis 7,0
C (90—100 cm)	pH 9,0

V. Region der natürlichen Steppe.

Südlicher Teil des Großen Alfölds, auf Löß, Oberkrume 2—6 % Kalk:

A	pH 7,0 bis 7,5
C	pH 8,0 bis 9,0

Tabelle 7

pH, Austausch- und hydrolytische Säure einiger Pflanzengesellschaften auf der Grebenzen bei St. Lambrecht (Obersteiermark).¹

a) Zwergstrauchheiden und Gehölze.

Ort und Unterlage	Boden- tiefe cm	Horizont	p H				Aus- tausch- Säure ccm	Hy- drol. ccm
			kolorimetr.		elektrometr.			
			H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	ccm	ccm
Gemsensheiden-Bestand, <i>Loiseleurietum procumbentis</i> :								
Grebenzen, 2. Höhe, Gipffläche, auf Kalk- unterlage	2—10	A ₁	4,5	3,5	4,7	4,2	5,0	—
	10—20	A ₂	6,7	5,0	6,1	5,6	—	22,2
	25—30	C	6,9	5,8	7,1	7,0	—	—
Kuhalpe, Gipfelpartie, auf Kristallin	2—10	A ₁		2,9	3,8	3,3	16,2	78,0
	10—20	A ₂		3,8	3,8	3,8	20,8	90,0
Moor-Heidelbeeren-Bestand, <i>Vaccinietum uliginosi</i> :								
Kuhalpe, Gipfelpartie, auf Kristallin	2—10	A ₁		3,3	3,5	3,4	18,6	76,2
	10—20	A ₂		3,8	3,9	3,8	17,2	53,4
Zwergwacholder-Bestand, <i>Juniperetum nanae</i> :								
Grebenzen, 1. Höhe, S- Seite, auf Kalkunterlage	2—10	A ₁	6,0	6,6	6,5	6,1	—	15,0
	10—20	A ₂	7,2	7,4	7,2	7,1	—	—
Grebenzen, 2. Höhe, O- Seite, auf Kalkunterlage	2—10	A ₁	5,0	4,3	5,2	4,8	2,6	46,0
	15—25	A ₂	6,0	6,1	6,4	6,4	—	13,6
Bestand der Rostroten Alpenrose, <i>Rhodoretum ferruginei</i> :								
Grebenzen, 2. Höhe, N-Hang, auf Kalk- unterlage	2—10	A ₁	4,2	3,8	4,7	4,3	30,0	—
	10—20	A ₂	6,0	6,6	6,4	6,5	—	18,0
	20—40	C	7,8	7,1	7,4	7,4	—	—
Sauerkleereicher Fichtenwald, <i>Piceetum excelsae</i> (Oxalis-Typ):								
Grebenzen, W-Seite, am Wege zur Dreiwiesen- hütte	2—6	A ₁	6,0	6,9	6,6	6,6	—	10,8
	15—25	A ₂	6,5	7,2	7,2	7,1	—	—
	65—75	C	7,0	7,7	7,6	7,6	—	—

¹ Aus meinen noch nicht veröffentlichten pflanzensoziologischen Untersuchungen.

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark, download unter: www.biologiezentrum.at

Ort und Unterlage	Boden- tiefe cm	Horizont	p H				Aus- tausch- Säure ccm	Hy- drol. ccm
			kolorimetr.		elektrometr.			
			H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl		
Borstgras- Wiese, <i>Nardetum strictae</i> :								
Greibenzen, zwischen 2. und 3. Höhe, auf Kalkunterlage	2 – 5	A1	4 0	4,3	4,9	4,4	8,6	72,0
	5–10	A2	4,2	4,5	4 6	4,2	9,9	54,8
	20–35	A2	4,5	4,7	5,5	4,5	6,9	29,2
Kuhalpe, nächst der Stifts- hütte, auf Kristallin	2–10	A1	—	3,9	4,0	3,9	10,4	52,4
	10–20	A2	—	4,0	4,0	3,9	8,4	30,4
Frauenmantel- Schwingel- Wiese, <i>Alchemilleto-Festucetum fallacis</i> :								
Mähwiese Greibenzen, bei der Drei- wiesenhütte, auf Kalk- unterlage	2 – 10	A1	4,5	3,8	4,4	4,4	10,2	41,4
	10–20	A2	4,5	3,7	4,3	4,5	12,2	31,6
	25–40	A3	4,5	4,1	4,6	4,6	6,2	34,8
Weide	2–10	A1	4,5	3,3	4,9	4,2	9,2	60,0
	10 20	A2	4,7	4,2	4,5	4 6	5,9	13,6
	20–39	A3	5,7	6,0	6,6	6,2		
L ä g e r v e g e t a t i o n, <i>Poeto-Stellarietum mediae</i> :								
Greibenzen, 2. Höhe, W- Seite, nächst der Drei- wiesenhütte, auf Kalk- unterlage	2 – 10	A1	6,0	6,8	6,7	6,6		
	10–30	A2	6,5	7,6	7,0	6,9		
	30–55	A3	6,9	8,0	7,6	7,6		
Blaugrashalde, <i>Seslerietum variae montanum</i> :								
Greibenzen, 1. Höhe, NW- Abfall, auf Kalkunter- lage	2 – 15	A	7,8	6,8	6,7	6,7		

Für die Niederen Tauern (Steiermark) gibt Schittengruber für eine Reihe von Pflanzengesellschaften des Kristallins (Urgebirge) pH-Mittelwerte an, die bei einer größeren Zahl von Messungen dem pH-Optimum entsprechen (Tabelle 8).

Tabelle 8
pH-Mittelwerte von Assoziationen
der Niederen Tauern
(Nach Schittengruber 1934)

a) In der Stufe des subalpinen Waldes:

Assoziation

der Rostroten Alpenrose, <i>Rhodoretum ferruginei</i>	pH 5,7
des Felsen-Windhalms, <i>Agrostidetum rupestris</i>	pH 5,4
des Borstgrases, <i>Nardetum strictae</i>	pH 5,2
der Rasigen Schmiele, <i>Deschampsietum caespitosae</i>	pH 5,2
der Moor-Heidelbeere, <i>Vaccinietum uliginosae</i>	pH 4,8
des Zweizeiligen Alpengrases, <i>Oreochloetum distichae</i>	pH 4,5

der Niederliegenden Gemenheide, *Loiseleurietum procumbentis* pH 4,5
 der Gemeinen Heidelbeere, *Vaccinietum myrtilli* pH 4,1
 der Gemeinen Besenheide, *Callunetum vulgare* pH 4,0

b) Alpine Rasengesellschaften:

Assoziation

des Harten Schwingels, *Festucetum durae* pH 5,8
 des Bunten Schwingels, *Festucetum pictae* pH 5,7
 der Braunen Hainsimse, *Luzuletum spadiceae* pH 5,4
 der Immergrünen Segge, *Caricetum sempervirentis* pH 5,3
 der Krummsegge, *Caricetum curvulae* pH 5,1
 des Gescheckten Schwingels, *Festucetum variae* pH 4,9
 der Bürstensimse, *Juncetum trifidi* pH 4,7

2. Wirkungen der Pflanzenwelt auf den Säuregrad des Bodens

Die Säureproduktion im Boden hängt in erster Linie von seiner Vegetation ab und wird durch hohe Durchfeuchtung noch begünstigt, nur läßt sich der mengenmäßige Anteil schwer feststellen. Durch die Mikroorganismen des Bodens werden bei der Zersetzung der organischen Substanzen größere Säuremengen produziert. Auch die Wurzelspitzen der Pflanzen tragen durch die Kohlensäureausscheidung zur Vergrößerung der Wk. bei. Im Laufe der Vegetationsperiode tritt durch die Nährstoffentnahme der Pflanzen und den Ernteentzug bei den Kulturpflanzen ein Basenverlust ein. An die Stelle der Basen treten die H-Ionen an die Bodenteilchen, die wieder die Verwitterungsintensität fördern und den Entzug durch die Nachlieferung neuer Basen ausgleichen. Bei der chemischen Verwitterung haben neben der Bodenfeuchtigkeit, der Bodentemperatur und dem Zerteilungsgrad (Korngröße der Teilchen) die H-Ionen einen hervorragenden Anteil.

Kalkfreie, gesunde Ackerböden haben im allgemeinen pH-Zahlen zwischen 7 und 5, während kalkhaltige Böden solche über 7,0 bis 8,5 aufweisen. Erstere sind neutral bis mäßig sauer, letztere sind schwach bis mehr oder weniger alkalisch. Die ungefähre Grenze zwischen kohlen-saurer und humussaurer Verwitterung ist in unserem Klima bei pH 5.

Besondere Säureeinflüsse entstehen in manchen Lehm- und Tonböden des oststeirischen Hügellandes, im sogenannten „Grabenland“ zwischen der Raab und der Mur und in den anschließenden „Terrassenbereichen“. Die ursprüngliche Vegetation war zum Großteil ein Eichen-Hainbuchen-Mischwald. Heute stocken in diesen Gebieten vielfach Fichten-, Föhren- und Föhrenmischwälder und nur in wenigen Fällen auf guten Böden Eichen-Hainbuchenwälder. Zur Bodenzerstörung durch fortschreitende Versauerung und Verdichtung trugen mehrere Faktoren bei, die in einem gegenseitigen Abhängigkeitsverhältnis stehen. Es sind dies:

1. die oberflächennahe Staunässe und der hohe Grundwasserstand, die auf alle Acker- und Waldböden einen

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
schädlichen Einfluß ausüben, weil sie die Durchlüftung hindern und damit die Pflanzenwurzeln und die luftbedürftigen Bakterien ersticken oder zumindest ihre Lebenstätigkeit stark einschränken;

2. die organischen Säuren, vor allem die Gerbsäure, die vom Stauwasser den Eichenwurzeln entzogen werden, den Angriff auf den Boden einleiten und durch Verdichtung die Undurchlässigkeit vergrößern;

3. der Mensch durch falsche Kulturmaßnahmen und die Streunutzung.

L a a t s c h hat (1938) nachgewiesen und durch einen einfachen Versuch gezeigt, daß besonders die Eichenwurzeln Gerbsäuren in großer Menge an das Stauwasser abgeben. Dadurch entstehen gerbsaure Eisenverbindungen, die in der nächsten Nähe der Eichenwurzelkanäle gelöst und weiter verfrachtet werden. Durch den intensiven Sauerstoffverbrauch bei den Umwandlungsprozessen und die Einwanderung verschwinden die ursprünglich braunen Farben des Bodens und es entstehen graue, blaugraue bis grünliche Ausbleichungs- und Verfahlungsstellen (Reduktionsherde, Gleihorizont = G-Horizont), die fleckig oder marmoriert aussehen. Wegen dieser Erscheinung werden die Böden als „marmorierte“ bezeichnet. Die Ausbleichung beginnt in den Wurzelröhren des Unterbodens (B-Horizont) und schreitet von hier nach der Austrocknung bei neuerlicher Wasserfüllung durch die Schwundrisse fort. In den Bleichungs-herden sinken die pH-Werte durch den Basenentzug der Gerbsäure unter 5 herab. Charakteristisch sind neben der starken Vernässung noch die zeitweise extreme Austrocknung und die Bildung schwarzer, erbsengroßer oder größerer Ausscheidungen von gerbsaurem Eisen, der gleichen Verbindung wie in der Eisengallustinte, die im grauen Boden sofort auffallen und vom Laien oft für kleine Kohlenstückchen gehalten werden. Dieser in der Oststeiermark weit verbreitete Bodentypus führt die ortsübliche Bezeichnung: „Pircherde“. Die Faktoren, die diesen Bodentypus verursachen, stehen in einem Kreislauf, der einem immer schlechteren Bodenzustand zustrebt: „Gestaute Nässe extrahiert Gerbsäuren, diese verursachen eine erhöhte Dichtlagerung des Bodenmaterials. Als Folgeerscheinung verstärkt sich der Bodenwasserstau und damit die Gerbstoffabgabe der Eichenwurzeln.“ (L a a t s c h 1938.)

Die „marmorierten“ Böden wurden früher als „nasse Waldböden“ beschrieben. Sie zählen zu den gleiartigen Böden zum Unterschiede von den echten Glei- oder Grundwasserböden, die das ganze Jahr unter sauerstoffarmem Wasser stehen und dadurch einen gleichmäßigen grau bis grünlich gefärbten G-Horizont bilden.

Auf den beschriebenen Standorten gelangten ursprünglich Baumarten zur Herrschaft, welche die gestaute Nässe vertragen. Es sind dies vor allem die Stiel-Eiche (*Quercus Robur*) und die Hain-Buche (*Carpinus*

©Betulus). Der Mensch hat durch seine Maßnahmen (reine Eichenkulturen, Kahlschläge, Herausschlagen der Laubhölzer und Sträucher, fast gänzliche Entfernung der Streu, Waldweide) den Boden weiter verschlechtert. Wiederholt konnte ich im Spätherbste beobachten, wie die gesamte Bevölkerung eines Dorfes in den nächstgelegenen Terrassenwäldern mit dem Streurechen beschäftigt war. Heute tragen diese Terrassen einen Waldtypus, den Pfeifengrasreichen Föhren-Stieleichenwald, das *Pineto-Quercetum roboris molinietosum*, der in der Weiterentwicklung zu den Moorwaldtypen führt.¹ Hierher gehören z. B. bei Graz der Kaiserwald, östlich von Leibnitz der Kaarwald, Schweinsbachwald, Sugaritzwald, Weinburgerwald, Glauningwald, bei Fürstenfeld der Kommandewald u. a. Die waldbauliche Behandlung zur Verbesserung der nassen Waldböden besteht neben den allgemeinen Maßnahmen zur Gesundung der Wälder in erster Linie in der Entwässerung (Dränung) und nicht etwa in der Entfernung der bodenpfleglich günstigen Stiel-Eiche, denn sobald der Wasserhaushalt genügend reguliert ist, spielt der Gerbsäureaustritt aus den Wurzeln keine Rolle mehr. Gegenüber der Buchenstreu ist sogar die Eichenstreu wegen des Lignin- (Holzstoff-)Zellulose-Verhältnisses leichter zersetzbar. Nach Rubner beträgt das Verhältnis bei der Rot-Buche 22 : 16, bei der Eiche rund 10 : 22. Den ungünstigen Einfluß der Fichtenreinbestände hat schon Hartmann (1927) für die ebenen Lehmgebiete der Oststeiermark nachgewiesen. Meine pflanzensoziologischen und bodenkundlichen Untersuchungen dieser oststeirischen Wälder sind außer den Bemerkungen von 1933 noch nicht veröffentlicht.

Auch für die ackerbauliche Behandlung marmorierter Böden ist ausreichende Dränung die erste Vorbedingung für die erfolgreiche Bewirtschaftung. Dann kommen erst die ackerbaulichen Maßnahmen, wie regelmäßige Gründüngung zur Schaffung einer lockeren, humosen Krume, ausreichende Kalkung, vorsichtige Krumenvertiefung mit Spezialpflügen usw. in Frage.

Kurz erwähnen möchte ich noch den Einfluß des Bakterienlebens auf die Bodenbildung.

In völlig durchnässten Böden gedeihen nur die luftscheuen (anaeroben) Bakterien. Sie verursachen die Fäulnis der organischen Substanzen vorwiegend durch Aufspaltung in organische Säuren. Die luftbedürftigen (aeroben) Bakterien, die sich nur im grundwasserfreien Oberboden vermehren können, erzeugen in erster Linie Kohlendioxyd, das an die Bodenluft abgegeben wird. Die mit Wasser gebildete Kohlensäure

¹ Egger, Die Pflanzengesellschaften der Umgebung von Graz, 1933, Seite 40 f., und Walduntersuchungen in Mittelsteiermark: Eichen- und Föhren-Mischwälder (noch nicht gedruckt).

(H₂CO₃) ist aber nur eine sehr schwache Säure. Die Bodenvernässung bedeutet daher eine größere Zunahme der Säureproduktion. Der Anstieg der Wk. läuft aber damit nicht parallel, sondern hängt von der Pufferkraft des Bodens und des Wassers ab. Die Wk. ist um so größer, je geringer der Ton- und Kalkgehalt ist. Je größer die Wk. durch die Bakterientätigkeit wird, um so mehr treten Reduktionsvorgänge an die Stelle der Oxydation. Auf die chemischen Umwandlungsvorgänge soll aber hier nicht eingegangen werden. Es sei nur soviel erwähnt, daß die Reduktion dabei stets gleichbedeutend mit Eisenverarmung ist, wodurch die schon genannten blaugrauen bis grünen Farbtöne des Bodens entstehen. Sie geben die Produktion erheblicher Säuremengen zu erkennen.

Gleich östlich von Graz sind die tertiären Schotterhügel von Föhren- und Föhrenmischwäldern bedeckt. Sie wurden von mir schon in den „Pflanzengesellschaften der Umgebung von Gráz“ 1933 beschrieben. Es sind dies fast durchwegs Bauernwälder, die durch die Raubwirtschaft und intensive Streunutzung zu den schlechtesten Waldtypen gehören. Im Unterwuchs zeigt das ausgedehnte Vorkommen der Gemeinen Heidelbeere (*Vaccinium Myrtillus*), bei uns volkstümlich als „Schwarzbeere“ bezeichnet, und der Schlängeligen Schmieie (*Deschampsia flexuosa*) den sauren Waldboden mit einem pH um 4,0 an. Es ist der Waldtypus der Heidelbeerreichen Föhren-Eichen-Mischwälder, das *Pineto-Quercetum roboris myrtilletosum*. In ihm bedeckt überall eine stark saure Rohhumusdecke den kalkarmen Boden. Die Sauerhumusbildung wird durch die basenarmen Föhrennadeln (siehe Seite 58!) noch vergrößert. Durch Kahlschläge und Auslichtung dringt dann noch das Gemeine Heidekraut (*Calluna vulgaris*) ein und vermehrt noch den schlecht zersetzten sauren Rohhumus. Durch das humussäurehaltige Wasser wird der darunterliegende Boden ausgewaschen und umgewandelt. Der Querschnitt zeigt unter einer filzigen Rohhumusdecke (A₀) eine meist oben schwarzgraue Schichte (A₁), darunter aber eine hell- oder blaugraue Bleichschichte (A₂). Die ausgelaugten Eisenverbindungen lagern sich in der mehr oder weniger braunen bis rostroten Anreicherungsschichte (B bzw. B₁ und B₂) ab. (Ortsteinbildung.) Zur Verbesserung der Waldböden ist vor allem die Zerstörung und Unschädlichmachung der Humusdecke notwendig.

Um die schädlichen Auswirkungen der heutigen Waldwirtschaft vermeiden und eine Gesundung der Wälder herbeiführen zu können, haben Krutzsch und Weck (1934) überzeugend ausgeführt, wie alle Produktionsfaktoren dauernd gepflegt werden müssen, um einen naturgemäßen Wirtschaftswald und damit auch gesunde Bodenverhältnisse zu erreichen. Dazu rechnen sie:

1. die Pflege des Waldklimas in erster Linie durch Vermeidung aller Kahlschläge,

2. die Pflege des Bodens durch Vermeidung von Streu-, Reisig- und Stocknutzung und durch Vermeidung von Waldweide,
3. die Pflege des Vorrates durch ausschließliche stammweise Entnahme des jeweils schlechtesten Materials und durch Einbringung von Mischhölzern, eine Arbeit, die durch langjährige Pflege der Produktionsfaktoren vorbereitet sein muß.

Das wesentlichste waldbauliche Ziel ist der standortgemäße Mischwaldbestand. Bodenbearbeitung, Kalkung, Mitanbau stickstoffsammelnder Hilfspflanzen (Lupine, Weißerle) sind außerdem notwendige Maßnahmen zur Gesundung der durch den Fichten-Kahlschlagwald, durch Streunutzung und Stockrodung versauerten, verdichteten und an Nährstoffen verarmten Böden. (Laatsch 1938.)

Der biogenen Säurebildung, die mit der Tätigkeit der höheren Pflanzen, vor allem der Moose, beginnt, und durch Pilze und Bakterien fortgesetzt wird, steht die biogene Basenbildung gegenüber. Es gibt Bakterien, die den Boden stark alkalisieren können, wie *Bacterium extorquens* in den Exkrementen der Regenwürmer. Es handelt sich hierbei um die Verarbeitung des Kalkoxalates, das durch den jährlichen Laub- und Nadelfall in den Boden gelangt. Ziegenspeck schlägt (1942) für die physiologische Gruppe der oxalsäuren Kalk verarbeitenden Bakterien den Namen *Oxalativori* vor. Er gibt für den vom Klima stark abhängigen Säuren-Basen-Kreislauf im Boden nachstehendes Schema:

Säuren-Basen-Kreislauf



13. Auswirkungen der Bodensäure im Haushalte der Pflanzengesellschaften

Während im Vorangegangenen über das pH der Böden der verschiedenen Pflanzengesellschaften berichtet wurde, soll noch kurz auf die Wirkungen der Bodensäure auf den Haushalt der Pflanzengesellschaften hingewiesen werden. Ellenberg, der 1939 Untersuchungen von Eichen-

und Buchen-Mischwäldern in Nordwest-Deutschland veröffentlicht hat, stellte eine Reihe von Beziehungen im Verhalten der Pflanzengesellschaften zur Bodensäure fest: so den Jahresgang der Azidität in den A-Horizonten, die Beziehungen zu den Unterscheidungsarten (Differentialarten) der Gesellschaften, die Verteilung der Säuremenge im Bodenprofil und die Bewurzelung der Krautschicht, die Verteilung der Arten auf die Gesellschaften, den Zusammenhang zwischen Lichtanspruch und der Bodensäure, die Abhängigkeit der Gesamtblattfläche von der Bodensäure, die Abhängigkeit der Stickstoffverbindungen vom pH-Wert des Fallaubes und verschiedenes andere.

Trotz der großen Schwankungen des Bodensäuregrades der untersuchten Waldgesellschaften sind die Waldassoziationen deutlich voneinander abgesetzt. Sämtliche pH-Kurven der gleichen Pflanzengesellschaften bewegen sich im selben pH-Bereich. Daher ist es auch möglich, die pH-Werte zur Grundlage einer übersichtlichen Darstellung der Pflanzengesellschaften eines Gebietes zu verwenden, wie es schon mehrfach geschehen ist.

Obwohl die Unterschiede des Bodensäuregrades innerhalb der Eichen-Hainbuchen-Wälder geringer sind, sind sie ökologisch nicht belanglos. Der Anteil der Differentialarten der staudenreichen *Querceto-Carpineten* an der Gesamtartenzahl der Krautschicht steht in bemerkenswert enger Wechselbeziehung zu den Jahresmittelwerten der Säuremessungen aus den A₁- und A₂-Horizonten, dem Hauptwurzelraum dieser Arten. Zu bemerken ist aber, daß die floristischen Unterschiede der Untergruppen (Varianten) der Gesellschaft nicht allein auf die Säureverhältnisse ihrer Böden zurückzuführen, sondern als Ausdruck anderer Faktoren, namentlich der Feuchtigkeit und der Durchlüftung ihrer Böden anzusehen sind.

Auf die Bedeutung der vertikalen Verteilung der Bodenzidität für die Bodenbildung und für das Wachstum der verschieden tief wurzelnden Pflanzen haben mehrere Autoren hingewiesen. Die Säureverteilung im Boden spiegelt offenbar das Zusammenwirken zweier Vorgänge wider:

1. der klimatischen Bodenbildung, in deren Verlauf der grundwasserfreie A-Horizont an Basen verarmt und
2. des Stoffwechselkreislaufs durch die Pflanzendecke, welche dem Boden aus ihrem gesamten Wurzelbereich Basen entnimmt und von oben her durch den Laubfall wieder zuführt.

Der Blatt- und Nadelabfall der Bäume bildet eine natürliche Düngung des Waldbodens. Der Säuregrad des Fallaubes gibt mehr oder weniger deutlich die Eigenschaften des Bodens wieder. Im Verlaufe der Zersetzung ändert sich jedoch der ursprüngliche Säurewert des toten Bodens. Auf dem Wege über die Laubstreu der Bäume haben also auch flachwurzelnende Kräuter des Waldes Teil an den Stoffvorräten und der geringen Azidität des Untergrundes und können deshalb auch als „Zeiger“

für die Beschaffenheit des gesamten Wurzelbereiches der Waldgesellschaften dienen. Waldgesellschaft und Waldboden sind eben als eine dynamisch verbundene Einheit anzusehen, nicht als ein bloßes Übereinander verschiedener Schichten (Ellenberg 1939). Daher ist es auch möglich, aus der Zusammensetzung des Unterwuchses allein schon die Güte eines Waldbodens festzustellen, worauf ja der bekannte finnische Forstmann Cajander seine Waldtypeneinteilung begründet hat.

Nährstoffwerte für die Basenmengen der Streu (Blätter und Nadeln) gibt Oelkers je Jahr und Hektar in kg an:

	Buche	Tanne	Eiche	Fichte	Lärche	Kiefer
Basen	105	104	91	80	66	34
davon CaO	78	88,5	55	64,1	41,2	21,2

Die angegebenen Werte sind nur als Verhältniszahlen zu nehmen, sie ändern sich nach dem Nährstoffgehalt des Bodens. Auf armen Standorten werden die Ergebnisse für Fichte und Kiefer noch ungünstiger.

Für die Verteilung der Arten auf die einzelnen Gesellschaften sind zweifellos ihre spezifischen Ansprüche an den Säuregrad oder mit diesem zusammenhängende Eigenschaften primär entscheidend. Je geringer der Säuregrad des unteren A-Horizontes ist, desto konkurrenzfähiger sind offenbar die tiefwurzelnden Arten gegenüber den flachwurzelnden. Es bildet sich ein charakteristisches Wurzelspektrum aus. Für die Flachwurzler spielen vor allem die Eigenschaften des oberen A-Horizontes und der Einfluß des Organismenkreislaufes eine entscheidende Rolle. Letztere wurzeln um so flacher, je saurer der A₂-Horizont ist. Naturgemäß bleibt unentschieden, ob der Säuregrad des Bodens selbst es ist, der auf die Zusammensetzung der Wurzelverhältnisse der Krautschicht einwirkt, oder ob nicht andere Faktoren, die mit ihm direkt oder indirekt zusammenhängen, eine viel wichtigere Rolle spielen. Wenig wahrscheinlich ist, daß die Bodensäure allein und als solche den Ausschlag gibt.

Auf Böden verschiedenen Säuregrades (und verschiedenen Nährstoffreichtums) ist nicht nur der Lichtgenuß, sondern auch der Lichtanspruch derselben Arten verschieden groß. Der Lichtanspruch wächst annähernd gleichmäßig mit zunehmendem Bodensäuregrad. Im Hinblick auf die Waldbodenpflanzen besteht daher keine Berechtigung, für bestimmte Arten einen absoluten Lichtanspruch oder einen feststehenden relativen Lichtgenuß anzugeben, ohne ihn auf bestimmte Standortbedingungen zu beziehen. Nur das gegenseitige Verhältnis verschiedener Arten bleibt mehr oder weniger konstant.

Die Untersuchungen Ellenbergs haben ergeben, daß die Gesamtblattfläche der untersuchten Bestände mit steigendem Säuregrad des Bodens abnimmt. Damit hängt auch der Schichtenbau des Waldes zusammen. Je nach der Bodengüte beträgt die Gesamtblattfläche aller Holzgewächse der Waldgesellschaften das 3½- bis 8- oder 9-fache der Bodenfläche. Sie wächst bei dem Großteil der Beispiele mit abnehmendem

Säuregrad des Bodens und scheint bis zu einem gewissen Grad unabhängig von der Holzart zu sein. Da die Zusammensetzung der Krautschicht ebenfalls vom Säuregrad des Bodens und der Streuproduktion abhängt, sind wir berechtigt, die Krautschicht direkt als Zeiger für die Blattproduktion der Baumschicht zu verwenden.

Nach vielen Untersuchungen von S ü c h t i n g (1937—1943) über die Ernährungsverhältnisse des Waldes ist erwiesen, daß die Wurzelentwicklung und die Nährstoffaufnahme der Holzarten sowie deren ganzes Wachstum in hohem Maße

1. von der Bodenreaktion und dem Grad der Austauschsäure,
2. von der Menge an (in 1%iger Zitronensäure) löslichem Aluminium und
3. von der Nährstoffdynamik des Waldbodens abhängt.

In sauren Waldböden kann die Wurzelentwicklung schlecht bis sehr schlecht sein. Auch wirken die löslichen Aluminiumverbindungen auf das Wachstum der Holzarten sehr nachteilig ein. Beide Schädigungen lassen sich durch Kalkung des Bodens beseitigen oder stark einschränken. Nach Sonderuntersuchungen von S ü c h t i n g ist eine Bodenreaktion von $\text{pH}(\text{KCl}) = 5$ bis 5,5 für die meisten Holzarten am günstigsten.

D. Schlußbetrachtung

Es wäre falsch, das Vorkommen einer Pflanze nur aus dem pH -Wert des Bodens allein erklären zu wollen. In den natürlichen Böden wirkt zugleich eine ganze Reihe von Faktoren auf die Pflanzenwelt. L u n d e g ä r d h (1930) schreibt: „Ein großer Mangel der bisherigen Untersuchungen über die ökologische Wirkung der Wasserstoffionenkonzentration ist der Umstand, daß man zu einseitig diesen einen Faktor herausgegriffen hat.“

Der Nährsalzgehalt des Bodens ist keineswegs ein Faktor zweiten Ranges neben dem pH . Sowohl die absolute Verteilung als auch das optimale Gedeihen der Pflanzenarten hängt vom Nährsalzgehalt des Bodens ab. Dieser steht aber mit dem pH in Wechselbeziehung. Böden mit gleichem pH müssen nicht ökologisch gleichwertig sein. Aus demselben Grunde ist auch das Kalkungsproblem noch nicht einwandfrei gelöst. Jedenfalls ist die Zugabe großer Kalkmengen zur Neutralisierung des Bodens nicht der einzig richtige Weg zum Erfolg. Die Wirkung der Kalkdüngung steht im Zusammenhange mit den im Boden befindlichen anderen löslichen Nährstoffen. Hier ist noch ein reiches und wichtiges Gebiet für erfolgreiche Untersuchungen. Wie wir bei den jahreszeitlichen Schwankungen der Bodenazidität gesehen haben, steht die Art des Einflusses durch andere Faktoren ebenfalls noch nicht sicher fest. Nicht zu vergessen ist, daß die Pflanzen selbst das pH der Nährlösung durch Wurzelausscheidungen und den Basenentzug zu ändern

vermögen. Sie sind wahrscheinlich auch in der Lage, ein für sie günstiges pH möglichst zu bewahren.

Obwohl noch eine Reihe von Fragen, die mit der Wasserstoffionenkonzentration im Zusammenhange stehen, offen sind und erst erforscht werden müssen, kann doch mit *Lundegårdh* (1930) folgendes zusammengefaßt werden:

1. Die aktuelle Wasserstoffionenkonzentration (pH) des Bodens ist ein wichtiger Wachstumsfaktor.

2. Die H-Ionen werden in ihrer Wirkung mehr oder weniger stark durch Ionen der Neutralsalze beeinflusst.

3. Die H-Ionen selbst beeinflussen rein chemisch die Löslichkeit gewisser Stoffe im Boden, z. B. Aluminium- und Eisenverbindungen. Hierdurch entstehen indirekte Wirkungen, die leicht mit direkter H-Ionenwirkung verwechselt werden können.

4. Die Pufferung des Bodens ist wichtig für die Erhaltung eines konstanten Reaktionszustandes und damit für das Gedeihen der höheren Pflanzen und der Mikroorganismen.

5. Die H-Ionenkonzentration eines Bodens ist ein wichtiger Zeiger für den jeweiligen Entwicklungszustand des Bodens und läßt Schlüsse auf andere Faktoren (Grad der Auswaschung, Durchlüftung, Wasserführung usw.) zu. Siehe auch das hierüber in der Einleitung Gesagte!

Die persönliche Beschäftigung mit diesen Fragen verfolgt nicht nur wissenschaftliche, sondern auch rein praktische Ziele und gewährt, wie jede Beschäftigung mit der Natur, eine innere Befriedigung und führt zu einem tieferen Verständnis des Naturganzen.

Schriftenverzeichnis

Zur Vertiefung sind hier einige Werke angeführt, die noch weitere Literaturangaben enthalten:

- Braun-Blanquet*, J., 1928. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Verlag von Julius Springer, Berlin, 168 Abb., 330 Seiten.
- Fabry*, R., 1940. Bodenkunde für Schule und Praxis. Verlag von J. F. Lehmann, München-Berlin, 65 Abb. und 4 farbige Tafeln, 323 Seiten.
- Klapp*, E., 1941. Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. Verlag von Paul Parey, Berlin, 169 Abb., 366 Seiten.
- Kolkwitz*, R. und *Tödt*, F., 1941. Einfache Untersuchungen von Boden und Wasser. Verlag von Gustav Fischer, Jena, 29 Abb. und 2 farbige Tafeln, 134 S.
- Kordatzki*, W., 1938. Taschenbuch der praktischen pH-Messung. 3. Auflage. Verlag von Rudolf Müller & Steinicke, München, 68 Abb., 233 Seiten.
- Laatsch*, W., 1938. Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig, 16 Abb. auf 4 Tafeln, 56 Textfiguren, 270 Seiten.
- Lundegårdh*, H., 1930. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben, 2. Auflage. Verlag von Gustav Fischer, Jena, 129 Abb. und 2 farbige Karten, 480 Seiten.
- Menke*, H., 1940. Boden und Wasser als Lebensraum für Pflanze, Tier und Mensch. Verlag von Otto Salle, Frankfurt a. M., 29 Abb., 112 Seiten.
- Russell*, J. E., 1936. Boden und Pflanze, 2. Auflage, Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig, 60 Figuren, 123 Tabellen, 446 Seiten.
- Wiegner*, G. und *Pallmann*, H., 1938. Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum, 2. Auflage, Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 47 Abb., 389 Seiten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1949

Band/Volume: [77 78](#)

Autor(en)/Author(s): Eggler Josef

Artikel/Article: [Pflanzenwelt und Bodensäure. 21-60](#)