

PHYWE

TESS advanced
Schülerversuche
Bodenkoffer

Art.Nr. 30836-01



PHYWE Schriftenreihe
TESS advanced Schülerversuche
Best.-Nr. 30836-01

Autor der Versuchsliteratur und Versuchsdurchführung: J. Mayer
Desktop-Publishing: Hildegard Richard

1. Auflage
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des auszugsweisen Nachdrucks und der fotomechanischen Wiedergabe, vorbehalten. Irrtum und Änderungen vorbehalten.

© PHYWE Systeme GmbH & Co. KG, 37079 Göttingen/Germany

Inhaltsverzeichnis

I	BODENKUNDLICHE GRUNDLAGEN	22	Humuskörper Versuch 7: Schätzen des Humusgehaltes
1	Was ist Boden?		Versuch 8: Analyse der Humusform
2	Boden besteht aus verschiedenen Bestandteilen		Wasser/Luft
3	Boden macht eine Entwicklung durch	23	Versuch 9: Schätzen der Bodenfeuchte
4	Böden weisen verschiedene Horizonte auf		Versuch 10: Untersuchen der Wasserkapazität
5	Boden hat verschiedene Eigenschaften		Versuch 11: Untersuchen der Wassertdurchlässigkeit
II	BODEN ALS STANDORTFAKTORE IM WALD		Versuch 12: Ermitteln des nutzbaren Wasserangebotes
6	Der Boden im Ökosystem Wald		Bodenstruktur
7	Pflanzengemeinschaften und Boden		Versuch 13: Messen der Bodendichte
8	Boden ist ein Lebensraum für Tiere	24	Versuch 14: Bestimmen der Krümelstabilität/Bodengare
III	FAKTOREN DER BODENFRUCHTBARKEIT		Acidität
9	Bodenfruchtbarkeit		Versuch 15: Messen des pH-Werts
10	Bodenbewertung und Bodenzahl	25	Versuch 16: Messen des Kalkgehalts
11	Düngungsplan und Bodenbearbeitung		Nährstoffe
12	Bodenart, Humus und Wasserhaushalt		Versuch 17: Messen des Nitratgehalts im Boden
13	pH-Wert und Kalkdüngung	26	Versuch 18: Messen des Nitratgehalts im Gemüse
14	Stickstoffdüngung		Bodenleben
15	Bodengare und Bodentiere		Versuch 19: Erfassen der Bodentiere
IV	VERÄNDERUNGEN UND BELASTUNGEN DES BODENS	27	Entnahme von Bodenproben
16	Verdichtung von Böden	28	Versuch 20: Entnehmen von Bodenproben
17	Überdüngung des Bodens		
18	Bodenversauerung		
V	BODENUNTERSUCHUNGEN IM GELÄNDE	29	ANHANG
19	Allgemeine Standortbeschreibung	30	Inhalt des Bodenkoffers
20	Bodenprofil		Einsatz des Computers bei bodenkundlichen Untersuchungen
	Versuch 1: Bestimmen der Bodenhorizonte	31	Literatur
	Versuch 2: Bestimmen des Bodentyps		
	Versuch 3: Bestimmen der Boden-Zustandsstufe		
21	Mineralkörper		
	Versuch 4: Schätzen des Steingehalts		
	Versuch 5: Ermitteln des Bodenskelett-Feinerdeanteils		
	Versuch 6: Bestimmen der Bodenart		

1. Was ist Boden?

Geben verschiedene Fachwissenschaftler, die sich mit dem Boden befassen – etwa Biologen, Geologen, Geographen oder Bodenkundler – eine Definition des Begriffs „Boden“, wird man unterschiedliche Versionen erhalten. Sie werden die jeweilige Betrachtungsweise der Fachwissenschaft widerspiegeln. Sie würden z. B. lauten:

- „*Boden* ist ein wesentlicher Bestandteil von Landökosystemen, der höheren Pflanzen als Standort dient und Lebensraum für zahlreiche Lebewesen ist“.
- „*Boden* ist ein Substrat, das Organismen Luft, Wasser und Nährlemente vermittelt“.
- „*Boden* ist die belebte Schicht der Landoberfläche der Erde, die zwischen unbelebten Material (der sogenannten Lithosphäre) und der Luft (Atmosphäre) liegt“.
- „*Boden* ist das Umwandlungsprodukt der Lithosphäre (Gestein) unter dem Einfluß von Atmosphäre (Luft), Hydrosphäre (Wasser) und Biosphäre (Lebewesen)“.

Eine Definition, die möglichst viele Aspekte des Bodens einschließt, gibt Schroeder (1984):

- „*Boden* ist das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte, unter dem Einfluß der Umweltfaktoren an der Erdoberfläche entstandene und im Ablauf der Zeit sich weiterentwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen mit eigener morphologischer Organisation, das in der Lage ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen und die Lebensgrundlage für Tiere und Menschen bildet“.

In Abb. 1.1 sind mögliche Themen und Inhalte, die jeweils verschiedene Aspekte des Themas Boden repräsentieren und in einer umfassenden Definition enthalten sind, aufgelistet.

Abb. 1.1: Strukturierung des Themenbereichs „Boden“

Thema	Disziplinen	Inhalt
Boden besteht aus verschiedenen Bestandteilen	Bodenmorphologie	Humus, Bodenart, Bodengefüge
Boden macht eine Entwicklung durch	Bodengenese	Verwitterung, Bodenbildung, Bodenentwicklung
Boden ist strukturiert; es gibt verschiedene Böden	Bodenmorphologie, Bodensystematik	Bodenhorizonte, Bodenprofil, Bodentyp
Boden hat verschiedene Eigenschaften	Bodenphysik Bodenchemie	Gefüge, Dichte, Acidität, Pufferkapazität
Boden ist ein Standortfaktor für Pflanzen	Geobotanik	Nährstoffe, Wasserhaushalt, Bodenreaktion
Boden ist ein Lebensraum für Lebewesen	Bodenbiologie	Edaphon, Nahrungsnetz
Boden erfüllt Funktionen im Ökosystem	Bodenökologie	Produktionsfunktion, Regelungsfunktion, Lebensraumfunktion
Böden strukturieren Landschaften	Bodengeographie	Bodengesellschaften, Bodenregionen
Boden hat eine Bedeutung für den Menschen	Bodenutzung Bodenschutz	Bodenutzung, Bodenbelastung Bodenschutz

2. Boden besteht aus verschiedenen Bestandteilen

Boden ist – anders als Minerale, Pflanzen oder Tiere – kein scharf abgrenzbarer Naturkörper. Er ist ein „zusammengesetztes Umweltmedium“, das aus

1. mineralischen Bestandteilen (Gesteinen, Mineralen),
2. organischen Bestandteilen (abgestorbenen Pflanzen- teilen, Tierleichen, Humus),
3. Wasser, und
4. Luft besteht.

Weiterhin leben im Boden zahlreiche Lebewesen (Mikro-organismen, Pilzen, Tiere), die jedoch nicht zu den Boden- bestandteilen gezählt werden (Abb. 2.1).

2.1 Mineralische Bestandteile

Die mineralischen Bestandteile des Bodens bilden den überwiegenden Anteil der festen Bodensubstanz (Ausnahme: Torfböden der Moore). Diese beeinflußt als nahezu unveränderliche Größe alle Bodeneigenschaften und damit auch die potentielle Nutzung eines Bodens. Von

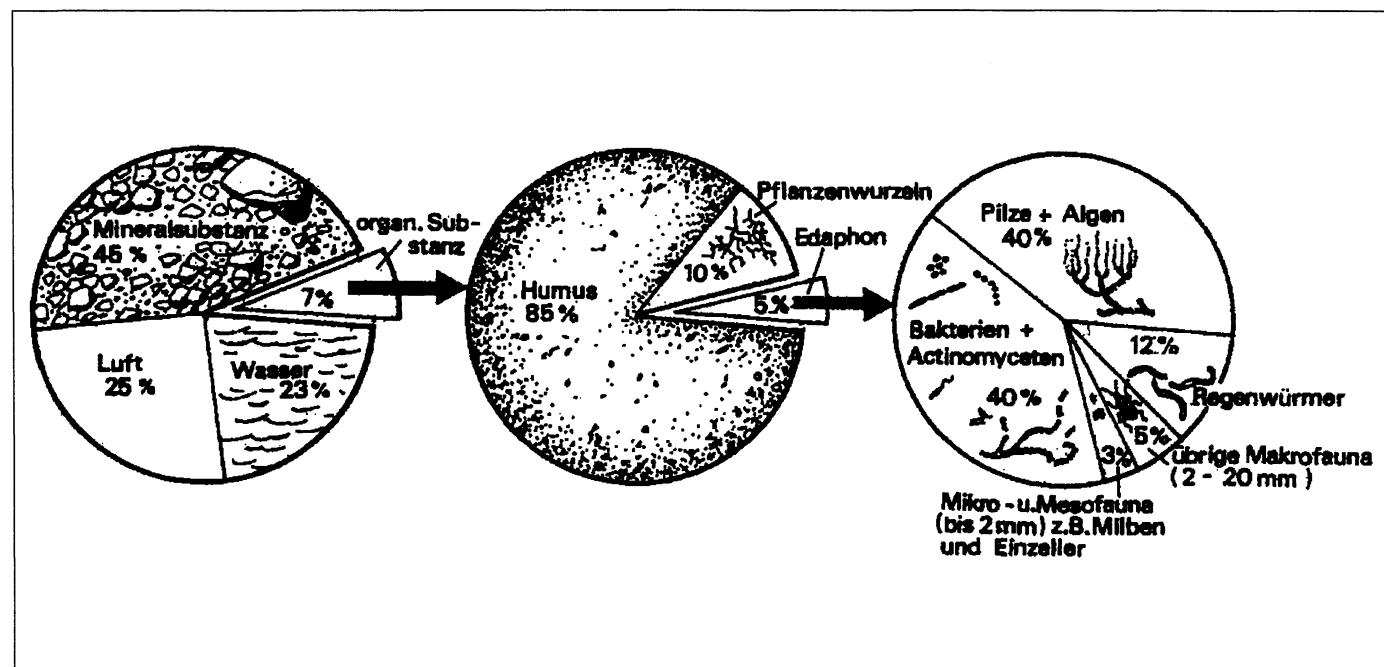
Bedeutung ist insbesondere die Korngröße der mineralischen Substanz, ihre chemische Zusammensetzung sowie ihr Alter.

Die mineralische Komponente des Bodens hat eine enge Beziehung zum Ausgangsgestein, ist jedoch nicht identisch mit diesem, da die Minerale chemisch verändert und zum Teil neu gebildet werden.

Bodenart

Die Minerale besitzen je nach Ausgangsmaterial und Verwitterungsgrad verschiedene Korngrößen. Definitionsgemäß bezeichnet man die Korngröße 2-0,06 mm als Sand, 0,06-0,002 mm als Schluff und Korngrößen kleiner als 0,002 mm als Ton. In natürlichen Böden liegt immer ein Gemisch aus verschiedenen Korngrößen vor. Eine relativ ausgeglichene Mischung der Korngrößen bezeichnet man als Lehm. Dieses Gemisch verschiedener Korngrößen der mineralischen Substanz, d.h. seine Anteile an Sand, Schluff und Ton bezeichnet man als *Bodenart*, Bodenkörnung oder Bodentextur eines Bodens.

Abb. 2.1.: Zusammensetzung des Bodens (aus: Schroeder, 1984, verändert)



Fast alle physikalischen und chemischen Eigenschaften des Mineralbodens werden vom Anteil und Verteilung der unterschiedlichen Korngrößen, also von der Bodenart bestimmt. So z. B. Wasser- und Nährstoffanlagerung sowie deren Verfügbarkeit, Quellung und Schrumpfung, Gefügebildung und Bearbeitungsfähigkeit. Die Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über wichtige Bodeneigenschaften in Abhängigkeit von der Bodenart.

Aus der Tabelle geht hervor, daß Böden mit einem ausgeglichenen Verhältnis an unterschiedlichen Korngrößen günstige Bodeneigenschaften haben (z. B. Lehm). Diese günstigen Bodeneigenschaften wirken sich positiv auf den Ertrag aus.

2.2 Organische Bestandteile

Die organische Bodensubstanz, die zum großen Teil aus Humus besteht, bildet zusammen mit der mineralischen Bodensubstanz den festen Bodenkörper. Beide durchlaufen ähnliche Ab- und Aufbauprozesse und bilden gemeinsam den Ton-Humuskomplex, der die eigentliche Struktur des Bodens ausmacht (vgl. Abb. 3.2).

Im Mittel besteht die organische Substanz in Mineralböden aus: 85% toter organischer Substanz (= Humus), 10% Pflanzenwurzeln, 5% Edaphon (Bodenflora und -fauna). Gröberes pflanzliches Material, wie Wurzelstücke und größere Pflanzenwurzeln (Durchmesser über 2 cm) sowie höhere, im Boden lebende Wirbeltiere werden konventionell nicht zur organischen Bodensubstanz gerechnet.

Abb. 2.2: Bodenart und Bodeneigenschaften

Eigenschaften	Sandboden	Tonboden ¹⁾
Bodenpartikel	überwiegend groß > 0,1 mm	überwiegend klein < 0,01 mm
Porenweite	groß	klein
Luftgehalt in Vol%	30-40	0-15
Durchlüftung	intensiv	schlecht
CO ₂ - Gehalt der Bodenluft in Vol% in 15 cm Bodentiefe	0,14	0,27
Wasserkapazität	gering	hoch
Wasserdurchlauf	gut	schlecht
Festhaltevermögen für Nährsalze	gering	hoch
Erwärmung	gut	schlecht
Durchwurzelbarkeit	gut	schlecht
Bearbeitbarkeit	leicht	schwer

¹⁾ Lehmböden nehmen eine Mittelstellung zwischen Sand- und Tonböden ein.

Humus

Als *Humus* (lat. = feuchter, fruchtbarer Boden) bezeichnet man die im Boden angereicherten, humifizierten, pflanzlichen und tierischen Rückstände. Er verleiht dem Boden eine charakteristische dunkle Farbe. Ähnlich wie bei der mineralischen Bodensubstanz kann man beim Humuskörper verschiedene Humusprofile, Humusformen und Humusarten unterscheiden.

Nach den Funktionen, die verschiedene Humusstoffe im Boden haben, werden folgende Humusarten unterschieden: Mikrobiell leicht umsetzbare Stoffe bilden den *Nährhumus*, der vorwiegend mineralisiert wird und dadurch zur Nährstoffnachlieferung beiträgt. Mikrobiell schwer umsetzbare Stoffe bilden den *Dauerhumus*. Dieser wird durch Wasserbindung, Nährstoffadsorption und als Gefügeelement im Boden wirksam.

2.3 Bodenwasser und Bodenluft

Neben den festen Bodenbestandteilen, dem Mineralkörper und dem Humus, besteht der Boden aus einem Hohlraumsystem, das mit Wasser und Luft gefüllt ist. Bodenwasser und Bodenluft haben großen Einfluß auf nahezu alle Prozesse im Boden. Insbesondere das Bodenwasser wirkt sich daneben auch direkt auf das Pflanzenwachstum am jeweiligen Standort aus.

Bodenwasser ist eine der Voraussetzungen, daß der Boden belebt ist und seine vielfältigen Funktionen für das Wachstum der Pflanzen erfüllen kann. Die Speicherung von Wasser im Boden ist jedoch seinerseits von den mineralischen und organischen Bestandteilen (Humus) abhängig. Als Bodenwasser bezeichnet man den Wasseranteil,

der durch Trocknung bei 105 °C aus dem Boden entfernt werden kann. Das nach einer derartigen Trocknung im Boden verbleibende Kristallwasser der Minerale wird der festen Bodenmasse zugeordnet (Scheffer/Schachtchabel 1979). Das Bodenwasser wird durch Niederschläge, Grundwasser und Kondensation aus der Atmosphäre ergänzt. Wird durch Niederschläge mehr Wasser angeliefert, als der Boden aufnehmen kann, fließt der Überschuß als Oberflächenwasser ab (s. Abb. 2.3).

Das Bodenwasser ist in den Poren des Bodens nur teilweise frei beweglich. Ein großer Teil unterliegt Bindungen an die Bodenmatrix (feste Bestandteile des Bodens). Da die Art der Bindungen das Verhalten bestimmter Wasseranteile beeinflußt, wird das Bodenwasser oft nach der Art dieser Bindungen unterteilt.

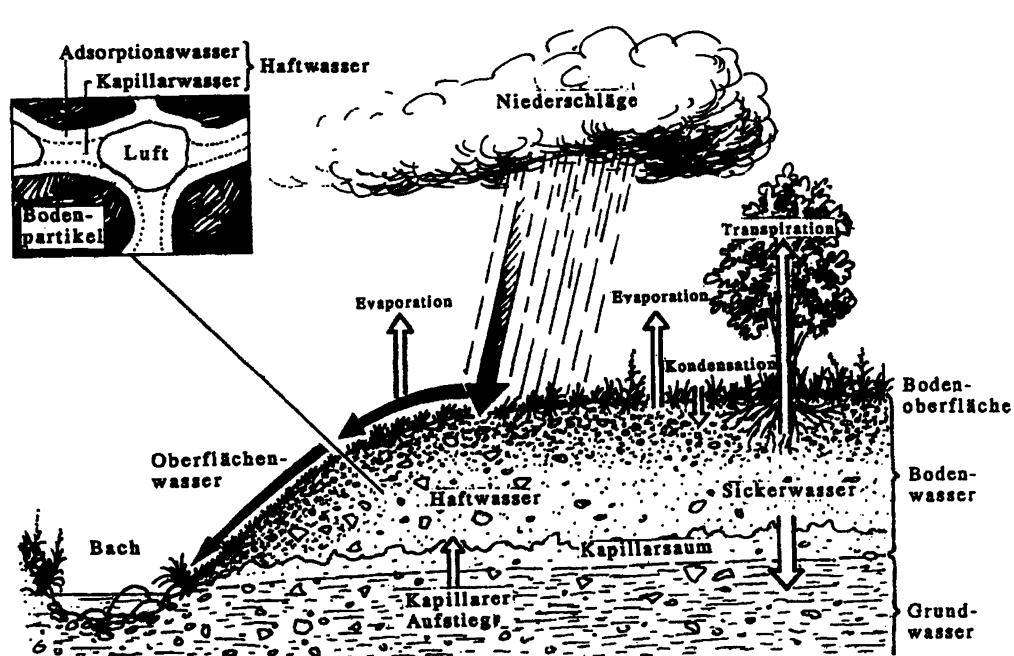
Sickerwasser ist derjenige Wasseranteil, der vom Boden nicht festgehalten wird und somit in tiefere Zonen verlagert wird.

Haftwasser ist derjenige Teil des Bodenwassers, der in den Poren gegen die Einwirkung der Schwerkraft festgehalten wird. Das Haftwasser wird entweder als Adsorptionswasser an den Oberflächen fester Bodenpartikel oder als Kapillarwasser in den Poren und Kapillaren festgehalten.

Grund- und Stauwasser ist derjenige Teil des Sickerwassers, der sich über wasserundurchlässigen Schichten anreichert (s. Abb. 2.3).

Das Vorhandensein von *Bodenluft* ist eine Voraussetzung für die Atmung der Pflanzenwurzeln und der im Boden lebenden Organismen. Die Zusammensetzung der Bodenluft weicht von derjenigen der Atmosphäre ab. Durch die Atmungsprozesse im Boden verschiebt sie sich zugun-

Abb. 2.3.: Schema der Verteilung des Bodenwassers (aus Schilke 1992)



sten eines höheren CO₂- und geringeren O₂-Gehalts. Dieser unterschiedlichen Zusammensetzung von Bodenluft und freier Atmosphäre wirkt der Gasaustausch durch Diffusion, die sogenannte Bodenatmung entgegen. Dies ist für die Pflanze insofern von Bedeutung, als bei einem Sauerstoffgehalt von weniger als 10% mit einer Verlangsamung des Pflanzenwachstums zu rechnen ist (Schefter/Schachtschabel 1979). Daher ist eine gute Durchlüftung des Bodens notwendig.

Hinsichtlich der Beziehung von Wasser- und Lufthaushalt gilt folgendes:

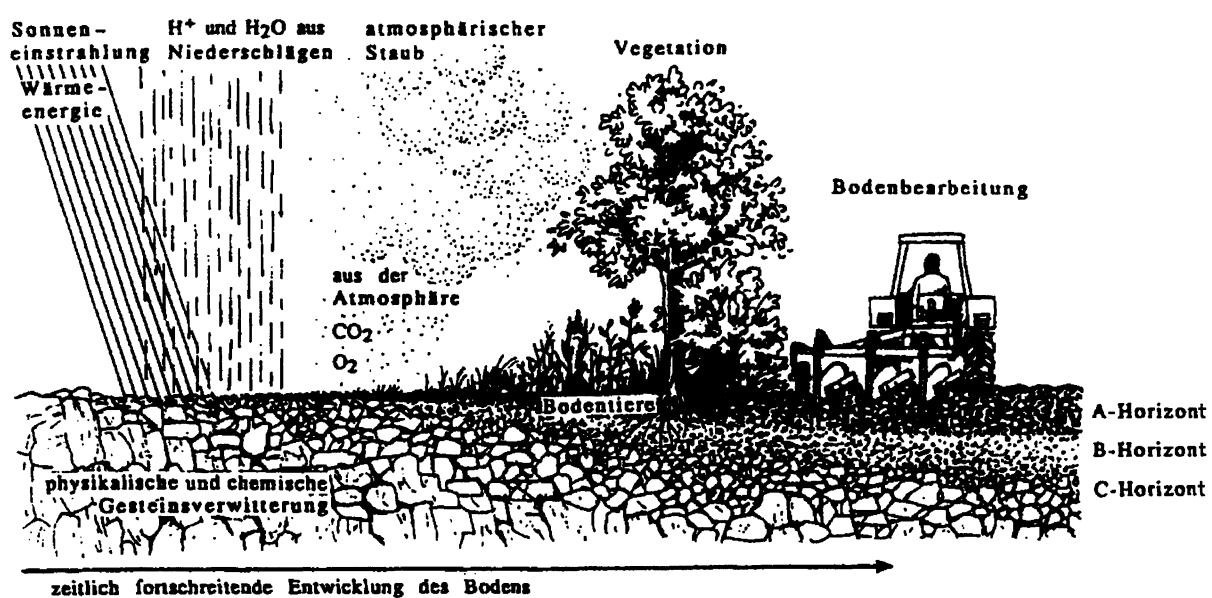
- *Bodenwasser und -luft füllen gemeinsam die Bodenporen*, also die Hohlräume zwischen den festen Bestandteilen des Bodens (Minerale, Humus).
- *Bodenwasser und Bodenluft verdrängen sich gegenseitig aus diesen Poren*, so daß der Gehalt an Luft sinkt, je höher der Wassergehalt eines Bodens ist und umgekehrt.
- *Bodenwasser* befindet sich hauptsächlich in kleinen Poren, *Bodenluft* dagegen in den großen Poren des Bodens.
- *Das Porensystem (Anzahl und Größe der Poren)* ist abhängig von der Bodenart (Sand, Schluff, Ton), dem Humusgehalt und der Krümelstruktur des Bodens.

3. Boden macht eine Entwicklung durch

Böden haben in der Regel eine lange Entwicklungsgeschichte hinter sich, die zu einer Differenzierung des Bodenkörpers führt (s. Abb. 3.1).

Das mineralische Ausgangsmaterial für die Bodenentstehung ist festes oder lockeres Gestein; letzteres kann durch Gletscher, Wasser oder durch den Wind abgelagert worden sein. Durch physikalische Verwitterung wird das Gestein zerkleinert, indem z.B. durch starke Temperaturschwankungen Risse im Gestein entstehen; eindringendes und gefrierendes Wasser sprengt dann durch Spaltenfrost das Gestein auseinander. Zusätzlich kommt es zur chemischen Verwitterung, indem z.B. im Wasser gelöste Kohlensäure chemische Veränderungen im Gestein bewirkt. Schließlich erfolgt eine biologische Verwitterung durch die Tätigkeit von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen, z.B. durch die Durchmischung des Bodens oder die Ausscheidung von Stoffwechselprodukten. Dadurch werden weitere chemische und physikalische Verwitterungsprozesse initiiert. Als Folge der Verwitterung werden aus den Gesteinen Ionen frei, die den Pflanzen als Nährstoffe dienen. Sterben die Pflanzen ab, werden sie von Tieren, Pilzen und Bakterien zersetzt; aus den Zersetzungserzeugnissen der abgestorbenen Pflanzen, Mikroorganismen und Tierleichen entsteht der Humus, ein

Abb.3.1.: Bodenbildung und Bodenhorizonte (aus Schilke 1992)



Umwandlungsprodukt des organischen Materials. Ein Teil des Humus wird zu Nährsalzen abgebaut, die von den Pflanzen aufgenommen werden können. Durch die Verwitterung des Gesteins und dessen Besiedlung durch Lebewesen deren Produktion und Abbau von organischem Material ist in einem Kreislaufprozeß Boden entstanden und entwickelt sich weiter.

Bodenentwicklung ist jedoch nicht allein durch Abbauprozesse sondern ebenso durch Aufbauprozesse gekennzeichnet (vgl. Abb. 3.2). Wichtigste Neubildungen sind Tonminerale und Humusstoffe.

Tonminerale entstehen aus der Verwitterung von Glimmern und Feldspäten, beides Hauptbestandteile des Granits. Die feinen Schichtpakete des Glimmers bestehen aus Kieselsäure bzw. Aluminiumhydroxid und sind durch Kaliumionen fest miteinander verbunden. Bei der Verwitterung werden die Schichtpakete voneinander getrennt und Kaliumionen werden gegen Wassermoleküle ausgetauscht. Die Schichten haften nun nur noch locker aneinander. In den Zwischenräumen werden neben Wassermolekülen auch Salz-Kationen gebunden. Diese Kationen machen den Nährsalzreichtum eines Tonbodens aus. Sie können z. B. durch H⁺-Ionen verdrängt und dann von der Wurzel aufgenommen werden. Tonminerale haben einen Durchmesser von < 0,002 mm. Sie quellen nach Zugabe von Wasser. Diese Eigenschaft ist für die Plastizität und für die Wasserspeicher-Kapazität von Ton verantwortlich.

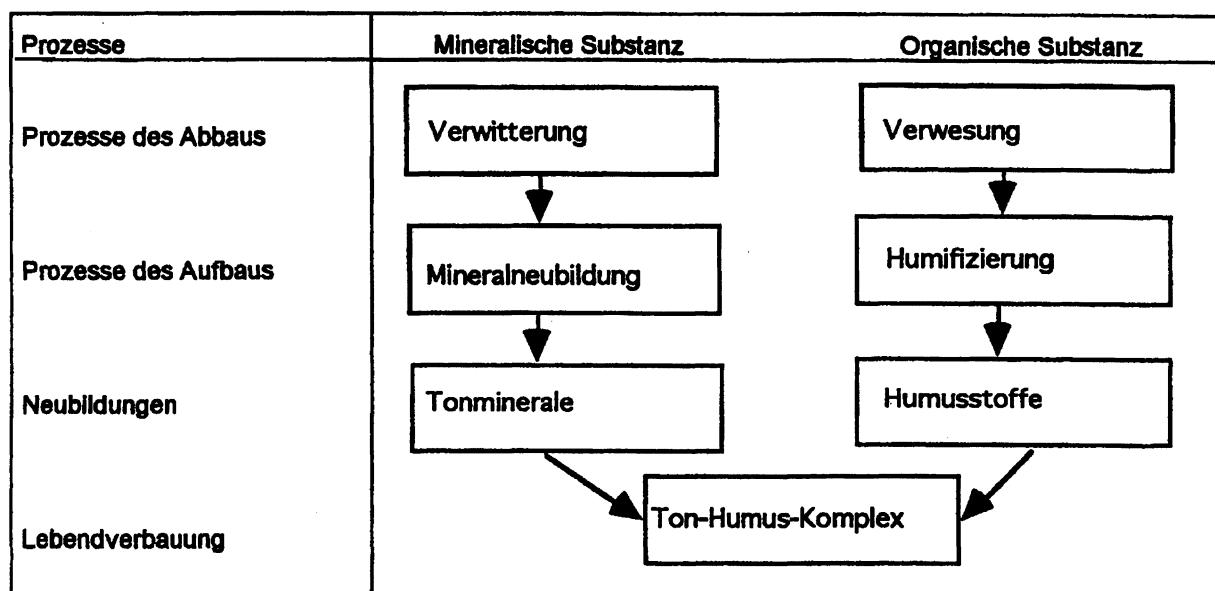
Humusbildung erfolgt durch die Zersetzung von primären organischen Ausgangssubstanzen durch die Bodenorganismen. Dabei erfolgt entweder ein Abbau bis zu molekularen und ionaren Endprodukten oder Umwandlung bzw. Aufbau zu neuen sekundären Humusstoffen. Der Abbauprozess erfolgt durch Hydrolyse und Oxidation, mechanische Zerkleinerung und mikrobiellen Abbau. Den Aufbau von sekundären Humusstoffen bezeichnet man als

Humifizierung. Sind die Bedingungen für Verwesung und Humifizierung nicht optimal z. B. bei Wassermangel, Wasserüberschüß, Luftmangel, niedrige Temperatur, saure Bodenreaktion, schwer umsetzbares Ausgangsmaterial wird der Abbau verzögert und potentiell umsetzbare organische Substanzen angereichert.

3.1 Faktoren der Bodenbildung

Die Bodenentwicklung hängt stark von *Gefüge*, *Mineralbestand* und *Körnung* des Bodens ab. So verwittern Lockersedimente leichter als Festgesteine, wodurch die entsprechenden Böden tiefgründiger sind. Das *Klima* (mittlerer Verlauf der Witterung) wirkt direkt über Wärme und Niederschlag sowie indirekt über die vom Klima beeinflußte Vegetation auf die Bodenentwicklung. Die Sonnenenergie als Klimafaktor ist die mächtigste Triebkraft der Bodenentwicklung. Das *Relief* (*Höhenlage*, *Geländeform*, *Exposition*) modifiziert die Bodenentwicklung, indem es die Wirkung von Schwerkraft, Klima, Gestein, Wasser, Lebewelt und des Menschen beeinflußt. Das örtliche Kleinklima unterscheidet sich insbesondere bei Nord- und Südhangen. An Nordhängen sind im allgemeinen die Luft- und Bodentemperaturen, die Werte der Lichtintensität und der Verdunstung geringer als an Südhangen. Dadurch sind die Böden stärker und tiefer durchfeuchtet und oft tiefgründiger als an Südhangen, aber gleichzeitig ist die Verwitterungsintensität wegen der geringeren Temperatur geringer. Neben dem *Niederschlagswasser* wirken auch Grundwasser oder stehende und fließende Gewässer auf die Entwicklung bestimmter Böden ein. Hinsichtlich Vegetation und Bodenfauna ist für die *Bodenentwicklung* zunächst von Bedeutung, daß die jeweilige Vegetation mit der Streu das unterschiedliche organische Ausgangsmaterial eines Bodens liefert. Daneben entzieht die Vegetation dem Boden Wasser und Nährstoffe, sie bildet

Abb. 3.2: Prozesse der Bodenbildung (nach Schröder 1984, verändert)



einen Schutzmantel über der Bodenoberfläche und scheidet organische Säuren und Komplexbildner aus, die die Verwitterungsvorgänge beeinflussen. Der Mensch wirkt über die Bodennutzung direkt sowie indirekt über die Veränderung des Klimas, Reliefs, Gesteins, der Vegetation oder des Wassers ein. Durch landwirtschaftliche Nutzung wird die Sickerwasserrate erhöht, Erosion gesteigert und der obere Horizont stark verändert.

3.2 Prozesse der Bodenentwicklung

An der Verwitterung sind physikalische, chemische und biologische Prozesse beteiligt. Durchfeuchtung und Temperatur steuern im wesentlichen Art und Geschwindigkeit der Verwitterung, die zu einer Profildifferenzierung führt. Lösungchemische Verwitterung bedeutet die Neutralisation von Säuren, wobei bei unvollständiger Pufferung des Bodens eine Versauerung, Entbasung und eine Freisetzung (toxischer) Aluminiumionen eintritt. Verlehmung und Verbraunung führt zu Mineralneubildungen von Tonmineralen und Eisenoxiden, die eine Umformung des Ausgangsgesteins in einen tonhaltigen, braun gefärbten Boden bewirkt. Zersetzung und Humifizierung der organischen Substanz, die in einen Boden gelangt, führt zur Freisetzung von Nährstoff-Ionen; nur ein geringer Teil wird als Dauerhumus festgelegt. Als Tonverlagerung (Lessivierung) bezeichnet man die Abwärtsverlagerung von Bestandteilen der Tonfraktion aus dem Oberboden in den Unterboden. Sie führt zur Umverteilung der Nährstoffreserven und kann im Oberboden zum Gefügezusammenbruch, im Unterboden zum Verstopfen kleiner Poren führen. Als Podsolierung bezeichnet man die abwärts gerichtete Umlagerung gelöster organischer Stoffe, oft zusammen mit Aluminium und Eisen. Sie führt zur Umverteilung der Nährstoffe, insbesondere Fe, Mn, Cu und P.

Die Umlagerung gelösten Eisens und Mangans durch aufsteigendes Grundwasser bezeichnet man als Vergleyung, durch Stauwasser als Pseudovergleyung. Die Lösung der Metallionen erfolgt – unter Reduktion – bei Sauerstoffmangel und bewirkt eine Bleichung des Horizontes. Die Fällung – unter Oxidation – erfolgt bei Sauerstoffreichtum und führt zu Rostflecken oder Konkretionen. Sie führt zur Anreicherung der Nährstoffe Fe, Mn, Cu, P und Mo im Oxidationshorizont.

4. Böden weisen verschiedene Horizonte auf

Aufgrund der Bodenentwicklung ist ein Boden in seiner gesamten Tiefe nicht einheitlich strukturiert. Die Bodenentwicklung beginnt in der Regel an der Oberfläche eines Gesteins und schreitet im Laufe der Zeit zur Tiefe fort. Dabei entstehen Lagen, die sich in ihren Eigenschaften unterscheiden und als Bodenhorizonte bezeichnet werden. Die Horizonte sind in ihren Eigenschaften oben streuähnlich und werden nach unten zunehmend gesteinähnlich. Sie sind im Laufe der Bodenbildung entstanden und spiegeln die Entwicklungsgeschichte eines Bodens wider.

4.1 Bodenhorizonte

Die zuunterst liegende Schicht ist der *Gesteinshorizont (C-Horizont)*; er ist durch das mehr oder minder unveränderte Ausgangsgestein geprägt. Darüber liegt der mineralische *Unterbodenhorizont (B-Horizont)*; er ist gekennzeichnet durch die zunehmende Verwitterung des Gesteins. Durch die dabei freigesetzten Eisenoxide erhält der Boden seine typisch rötlich-braune Farbe, weshalb dieser Horizont auch als Verbraunungshorizont bezeichnet wird. Obenauf liegt der mineralische *Oberbodenhorizont*, auch Mutterboden oder Krume genannt (*A-Horizont*). Er ist stark belebt und durchwurzelt sowie durch Humus deutlich dunkler gefärbt als die unteren Horizonte. Bei naturnahen Standorten (z.B. Wald) liegt darauf der organische Auflagehorizont (H, L oder O-Horizont) aus mehr oder minder zersetzen organischen Material (z.B. Streu, Humus, Torf). Daneben können weitere nicht so häufig vorkommende Horizonte wie der G-Horizont (durch Grundwasser beeinflusst) oder R-Horizont (durch menschliche Tätigkeit entstanden) unterschieden werden. Bei landwirtschaftlich genutzten Böden ist eine solch deutliche Horizontierung nicht mehr feststellbar, da durch Pflugbearbeitung der Ober- und Unterbodenhorizont durchgemischt werden. Man definiert daher für landwirtschaftliche Böden einen sogenannten Ap-Horizont (p für Pflugschar).

4.2 Bodentypen

Diese Bodenhorizonte können in unterschiedlicher Ausprägung, Kombination und Abfolge auftreten und ergeben das Bodenprofil des jeweiligen Bodens. Böden mit gleichem Bodenprofil spiegeln einen gleichen Entwicklungsstand wider und werden daher zu einem genetisch bestimmten Bodentyp zusammengefaßt. Ähnlich der biologischen Systematik gibt es eine Systematik der Bodentypen. In Abhängigkeit vom Ausgangsgestein, von Relief und Klima, den Lebewesen in und auf dem Boden sowie der Zeitdauer der Einwirkung bodenbildender Faktoren liegt an jedem Standort ein bestimmter Bodentyp vor:

Ranker/Rohboden (Ah-C): Der Ranker weist einen humosen Ah-Horizont auf, der einem festen, allenfalls 30 cm tief zerkleinerten, carbonatfreien Festgestein aufliegt. Der Ranker ist ein schwach entwickelter Boden auf Silikatgestein und ist in Hanglagen anzutreffen.

Rendzina (Ah-C): Die Rendzina besitzt einen oft humosen, schwarz bis schwarzbraun gefärbten, skelettreichen, krümeligen Ah-Horizont über hellem Carbonatgestein. Sie ist in der Regel flachgründig, wobei die Tiefe des Ah-Horizontes vom Tongehalt des Kalksteins abhängt. Die Rendzina ist ein geschätzter Ackerboden.

Schwarzerde (Ah-Ahc-C): Boden mit mächtigem Ah-Horizont mit Mull und optimalem Krümelgefüge v. a. auf Löbuntergrund. Schwarzerden entstehen durch kontinentales Klima mit langen, kalten Wintern und trockenen, war-

men Sommern (Klimabedingungen in Norddeutschland vor 10 000 Jahren), wodurch der Abbau der organischen Substanz gehemmt wird. Schwarzerden sind in der Magdeburger Börde sowie bei Hildesheim und Erfurt anzutreffen. Sie sind Böden mit höchster potentieller Fruchtbarkeit, durch günstigen Wasserhaushalt, neutrale Reaktion, hohe Basensättigung, aber langsam fließender Stickstoffreserve.

Braunerde (Ah-Bv-C): Braunerden weisen einen humosen A-Horizont auf, der in einen braun gefärbten Bv-Horizont (v=verwittert, verbraunt) übergeht; darunter folgt der C-Horizont. Sie gehen durch fortschreitende Silicatverwitterung (Verlehmung und Verbraunung) aus Rankern und Pararendzinen hervor.

Parabraunerde (Ah-Al-Bt-C): Parabraunerden weisen als charakteristische Horizonte einen Al-Horizont (l = lessive, ausgewaschen) auf, aus dem Ton ausgewaschen wurde, sowie einen Bt-Horizont (t = Ton), in den die Tonverlagerung erfolgte. Mit der Tonverlagerung geht ein Nährstoffverlust und eine geringere Gefügestabilität einher. Im Bt-Horizont kann es zu Wasserstau kommen. Parabraunerden entwickeln sich meist aus Pararendzinen und Braunerden.

Podsol (z.B. Oi-Of-Ah-Ae-Bh-Bs-C): Podsole weisen einen mächtigen, stickstoffarmen, sauren Humushorizont auf. Der Ae-Horizont (Bleichhorizont) ist an Eisen, Ton, Basen und Nährstoffen verarmt. Der B-Horizont kann bei starker Fe-Anreicherung zu dichtem und hartem Ortstein verhärteten. Podsole treten vor allem in Norddeutschland sowie in höheren Lagen des Mittelgebirges auf. Ihre Entstehung wird durch silikatarme sowie basen- und nährstoffarme Gesteine, ferner durch rohhumusliefernde Pflanzen begünstigt. Podsole entwickeln sich vornehmlich aus Rankern, Braunerden und Parabraunerden.

Gley (Ah-Go-Gr): Der Gley ist durch das Grundwasser geprägt. Auf den vom Grundwasser unbeeinflußten Ah-Horizont folgt der rostartige Go-(Oxidations-) Horizont und darunter der stets nasse, fahlgraue bis graugrüne auch blauschwarze Gr-(Reduktions) Horizont. Der Gley ist ein typischer Grünlandstandort.

5. Boden hat verschiedene Eigenschaften

Aufgrund der spezifischen Bestandteile, der Zusammensetzung sowie der Schichtung zeichnet sich ein Boden durch verschiedene physikalische und chemische Eigenschaften aus. Entsprechend den unterschiedlichen Eigenschaften zeigen die Böden ein charakteristisches Verhalten gegenüber Umwelteinflüssen und Nutzungsmaßnahmen. Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften des Bodens sind Bodendichte, Konsistenz, Temperatur und Farbe.

Bodendichte:

Die Bodendichte gibt das Verhältnis von Masse zum Volumen an. Sie liegt bei mineralischer Bodensubstanz bei ca. 2,65; bei organischer Substanz bei ca. 1,4. Die Bodenkonsistenz kennzeichnet den Grad des Zusammenhalts der Bodenpartikel. Sie ist vor allem für die Durchwurzelung des Bodens und die Bodenbearbeitung von Bedeutung.

Bodentemperatur:

Die Bodentemperatur, als Maß für die Wärmeenergie, die ein Boden enthält, ist für nahezu alle chemischen und biologischen Vorgänge im Boden von Bedeutung.

Bodenfarbe:

Die Bodenfarbe ist ein wichtiges diagnostisches Merkmal eines Boden, das Auskunft über Humusgehalt, Fe-Verbindungen und Sauerstoff gibt.

Boden-pH:

Der Gehalt an Säuren, der als pH-Wert gemessen wird, ist eine der chemischen Eigenschaften von Böden. Er ist insofern von Bedeutung als ein Boden bei einem leicht sauren bis neutralen pH (pH 6-7) die besten chemisch-physikalischen und biologischen Eigenschaften für die Pflanzen und Bodenlebewesen aufweist.

Die Säuren, die den Boden-pH bedingen, werden zum einen im Boden selbst gebildet zum anderen durch sauren Regen und andere anthropogene Quellen in den Boden eingebracht

Bodeninterne Säurequellen sind:

- Kohlensäure, durch die Atmung der Mikroorganismen, Pflanzenwurzeln und Bodentiere,
- Huminsäuren, das sind verschiedene, sehr komplexe Säuren, die bei der Umwandlung der organischen Substanz zu Humus entstehen,
- Salpetersäure, die im Stickstoffkreislauf beim Abbau und der Umwandlung von organischer Substanz gebildet wird, und
- Wasserstoffionen, die bei der Nährstoffaufnahme der Pflanzenwurzeln abgegeben werden.

Anthropogene Säurequellen sind:

- Schwefelsäure, Salpetersäure und Kohlensäure durch den sauren Regen und
- Salpetersäure, die durch säurebildende Dünger (Ammonium, Gülle) im Boden gebildet wird.

Aufgrund der bodeninternen Säurequellen und der Tatsache, daß auch der unbelastete Regen leicht sauer ist (pH), muß die allmähliche Bodenversauerung als natürlicher Bodenentwicklungsprozess im mitteleuropäischen Klima bezeichnet werden. Dieser tausende von Jahren dauernde Prozess wird allerdings durch den anthropogenen bedingten Säureeintritt um ein vielfaches beschleunigt.

6. Der Boden im Ökosystem Wald

Das Vorkommen und die Ausprägung von Lebensgemeinschaften in einem Ökosystem, wie beispielsweise dem Wald, hängt von einer Vielzahl von Umweltfaktoren ab, die in ihrer Gesamtheit als Standort bezeichnet werden. Der Boden gehört neben Klima und Relief zu den abiotischen Umweltfaktoren. Der Boden erfüllt im Ökosystem zahlreiche wichtige Funktionen: Standort für Pflanzen, Regulation des Wasserhaushaltes, Nährstoffwandler und -speicher, Schadstofffilter und -puffer, sowie Lebensraum für Bodenorganismen. Diese Funktionen können mit den jeweiligen Untersuchungsverfahren qualitativ beschrieben oder quantitativ erfaßt werden.

7. Pflanzengemeinschaft und Boden

7.1 Standortansprüche von Laubwaldgesellschaften

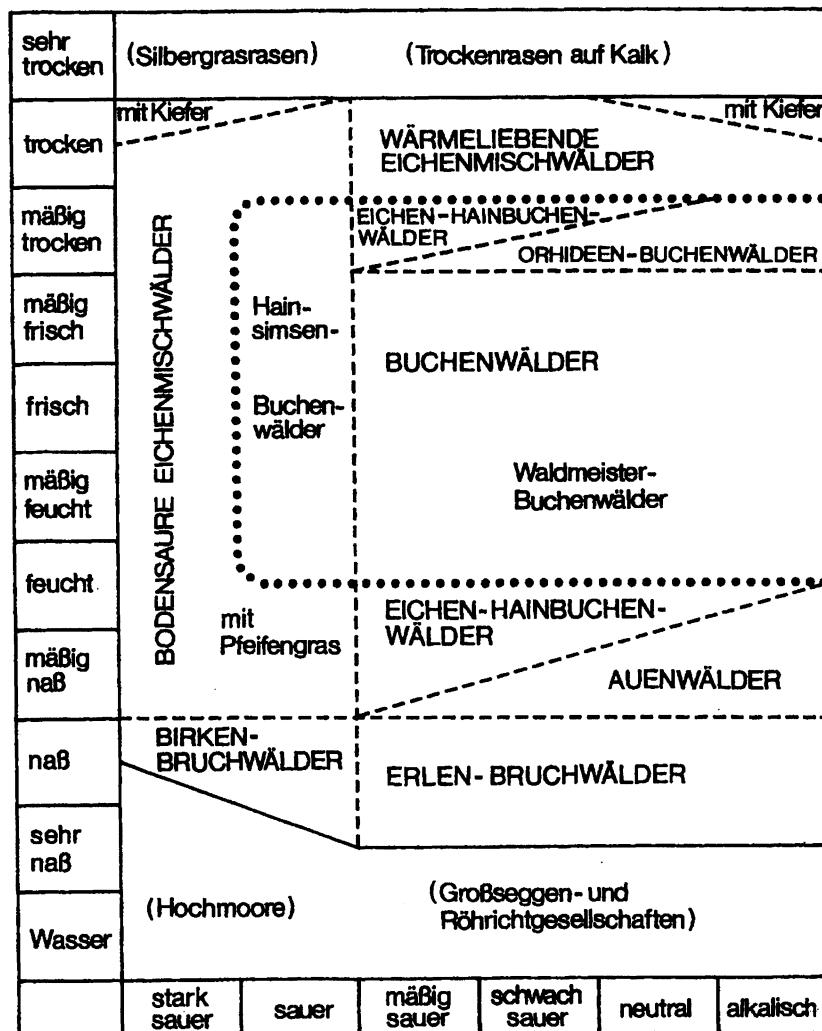
Böden sind Standorte höherer Pflanzen. Diese wurzeln im Boden und nehmen Sauerstoff für die Wurzelatmung, Wasser für Turgesenz, Transpiration und Photosynthese sowie mineralische Nährelemente zur Produktion organischer Substanzen auf. Die für das pflanzliche Wachstum

bedeutsamen Standortfaktoren sind vor allem vom verfügbaren Wurzelraum, dem Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt sowie vom Nährstoffhaushalt abhängig. Aufgrund der Angepaßtheit der Lebewesen (Pflanzen) an ihre Umwelt besteht ein mehr oder weniger enger Zusammenhang von Pflanzengemeinschaft und Boden. In der Forstwirtschaft wird der Anbau standortgerechter Baumarten angestrebt, d.h. solcher, die an den jeweiligen Standort angepaßt sind. Durch Untersuchung des Wasserhaushaltes (*Versuch 9-12*) sowie des Boden-pH (*Versuch 15*) können Beziehungen zwischen dem Standortfaktor Boden und den am Standort vorhandenen Laubwaldgesellschaften hergestellt werden, bzw. die „Standortgerechtigkeit“ der vorherrschenden Baumarten geprüft werden (s. Abb. 7.1).

7.2 Standortbeurteilung mit Zeigerwerten

In der Weise, wie Pflanzengesellschaften von bestimmten Standortfaktoren abhängig sind, kann man umgekehrt aus ihrem Vorkommen Rückschlüsse auf die Standortbedingungen ziehen. Eine Möglichkeit der Standortbeurteilung bieten die Zeigerwerte von ELLENBERG. Dabei handelt

Abb. 7.1: Ökogramm mitteleuropäischen Laubwaldgesellschaften



es sich um zahlenmäßige, auf eine Kurzform gebrachte, Angaben über die Beziehungen der Pflanzen zu ihren abiotischen Standortfaktoren.

Zur Herstellung der Beziehung zwischen Bodenfaktoren und Zeigerpflanzen werden Wasserhaushalt (*Versuche 9 – 10*), pH-Wert (*Versuch 15*) und Nitratgehalt (*Versuch 17*) mit den Zeigerwerten der Bodenvegetation verglichen (Bodenfeuchte F, Bodenreaktion R, Bodenstickstoffversorgung N). Diese können aus entsprechender Literatur (z.B. Hofmeister 1990) entnommen werden. Sinnvoll ist ein Vergleich von zwei bis drei Waldstandorten, die sich hinsichtlich Vegetation und Bodenverhältnisse unterscheiden.

Für die Auswertung der Vegetationsaufnahme wird das ökologische Verhalten der einzelnen Arten gegenüber den Standortfaktoren *Feuchtigkeit (F)*, *Bodenreaktion (R)* und *Stickstoffversorgung (N)* nach einer neunteiligen Skala berücksichtigt und mit den gemessenen Bodenwerten verglichen.

Tab. 7.2: Zeichenerklärung für die Zeigerwerte

F = Feuchtezahl

- 1 Starkrockniszeiger, an oftmals austrocknenden Stellen lebensfähig und auf trockene Böden beschränkt
- 2 zwischen 1 und 3 stehend
- 3 Trockniszeiger, auf trockenen Böden häufiger vorkommend als auf frischen, auf feuchten Böden fehlend
- 4 zwischen 3 und 5 stehend
- 5 Frischezeiger, Schwergewicht auf mittelfeuchten Böden, auf nassen sowie auf öfters austrocknenden Böden fehlend
- 6 zwischen 5 und 7 stehend
- 7 Feuchtezeiger, Schwergewicht auf gut durchfeuchten, aber nicht nassen Böden
- 8 zwischen 7 und 9 stehend
- 9 Nässezeiger, Schwergewicht auf oft durchnäßten (luftarmen) Böden
- 10 Wechselwasserzeiger, Wasserpflanze, die längere Zeiten ohne Wasserbedeckung erträgt

R = Reaktionszahl

- 1 Starksäurezeiger, niemals auf schwachsäuren bis alkalischen Böden vorkommend
- 2 zwischen 1 und 3 stehend
- 3 Säurezeiger, Schwergewicht auf sauren Böden, aber bis in den neutralen Bereich
- 4 zwischen 3 und 5 stehend
- 5 Mäßig-säurezeiger, auf stark sauren wie auf neutralen bis alkalischen Böden selten
- 6 zwischen 5 und 7 stehend
- 7 Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger, niemals auf stark sauren Böden
- 8 zwischen 7 und 9 stehend, d. h. meist auf Kalk weisend
- 9 Basen- und Kalkzeiger, stets auf kalkreichen Böden

N = Stickstoffzahl

- 1 stickstoffärmste Standorte anzeigen
- 2 zwischen 1 und 3 stehend
- 3 auf stickstoffarmen Standorten häufiger als auf mittelmäßigen bis reichen
- 4 zwischen 3 und 5 stehend
- 5 mäßig stickstoffreiche Standorte anzeigen, an armen und reichen seltener
- 6 zwischen 5 und 7 stehend
- 7 an stickstoffreichen Standorten häufiger als an armen bis mittelmäßigen
- 8 ausgesprochener Stickstoffzeiger
- 9 an übermäßig stickstoffreichen Standorten konzentriert (Viehlägerpflanze, Verschmutzungszeiger)

8. Boden ist ein Lebensraum für Tiere

8.1 Vielfalt der Bodentiere

Der scheinbar „leblose“ Boden ist tatsächlich mit einer Vielzahl und Vielfalt von Lebewesen erfüllt, die man als Edaphon bezeichnet. Die meisten Bodenorganismen leben in den obersten Zentimetern des Bodens. Man kann zunächst Bodenfauna und Bodenflora unterscheiden; nach der Größe weiterhin nach Megafauna, Makrofauna, Mesofauna und Mikrofauna (vgl. Abb. 8.1).

Abb. 8.1: Größenklassen von Bodentieren

Megafauna (> 20 mm)	Makrofauna (2-20 mm)	Mesofauna (0,2-2 mm)	Mikrofauna (< 0,2 mm)
Säugetiere Amphibien Reptilien Regenwürmer	Borstenwürmer Schnecken Spinnen Asseln Doppelfüßer Käfer-/larven Zweiflüglerlarven Ohrwürmer	Rädertierchen Bärtierchen Fadenwürmer Milben Springschwänze Pseudoskorpione	Einzeller Amöben

Nach systematische Kategorien können im Boden Bakterien, Pilze, Algen und Tiere unterschieden werden. Bei letzteren Protozoen, Nematoden, Ringelwürmer, Weichtiere und Arthropoden. Neben den Kleintieren, dem Edaphon, leben im Boden auch größere Tiere wie Maulwurf und Wühlmäuse; daneben noch zahlreiche, die den Boden zur Überwinterung (Siebenschläfer, Erdkröte, Zauneidechse, Blindschleiche, Dachs), als Kinderstube (Kaninchen, Fuchs), als Vorratskammer (Eichhörnchen, Hamster), oder zum Schlafen nutzen. Die im Boden ganz oder zeitweise lebenden Wirbeltiere (Amphibien, Reptilien, Säugetiere) werden im allgemeinen nicht zum Edaphon gezählt.

Bodenlebewesen sind an ihrem Lebensraum in vielfacher Weise angepaßt, in ihrer Größe an die engen Poren zwischen den Bodenpartikeln, in ihren Nahrungsbedürfnissen an den Abbau organischen Materials, in ihren Sinnesleistungen an Dunkelheit und Feuchtigkeit.

Regenwürmer: Dem Regenwurm kommt innerhalb der Bodenlebewesen eine besondere Bedeutung zu. Er trägt nicht nur zum Abbau der organischen Substanz, sondern auch zur Durchmischung und zur Krümelbildung im Boden bei; er zieht Pflanzenreste in den Boden und er trägt durch seine Gänge zur Belüftung und Entwässerung bei. Nach einer Bauernfaustregel entspricht die Masse der Regenwürmer auf 1 ha Grünland etwa der Masse von 3 Rindern, die auf der gleichen Fläche weiden. Die Zahl der Regenwürmer ist abhängig von der Menge abgestorbener Pflanzenteile.

Springschwänze: Springschwänze gehören zu den ungeflügelten Urinsekten. Sie sind klein (0,25-10 mm) und leben in der Streuschicht oder in den Hohlräumen tieferer Bodenschichten. Die meisten Arten besitzen am Hinterleib eine Sprunggabel. Sie ist im Ruhezustand nach vorn unter den Bauch geklappt, bei Beunruhigung wird sie nach hinten geschlagen und das Insekt springt weg. Springschwänze fressen Algen, Bakterien und Pilzfäden sowie Kotreste. Große Springschwanzarten nagen Fenster und Gänge ins Blattgewebe.

Milben: Die zu den Spinnentieren gehörenden Milben sind je nach Art Erstzersetzer, Folgezersetzer oder Räuber. Hornmilben leben im humusreichen Oberboden, in Moospolstern und zerfallenden Baumstümpfen. Einige Hornmilbenarten nagen als Erstzersetzer Blätter an, andere leben als Folgezersetzer von Algen, Flechten und

Pilzfäden. Raubmilben leben in oder auf der Streuschicht und jagen dort nach Kleintieren.

8.2 Abbau der Pflanzenstreu durch Bodentiere

Die wohl wichtigste Funktion der Bodenlebewesen im Ökosystem ist die Zersetzung und Remineralisierung der organischen Substanz und damit die Rückführung der Mineralstoffe in den Nährstoffkreislauf. Im ökologischen Sinne gehört das Edaphon zu den Destruenten und Reduzenten (Zersetzer, Saprophage).

Erstzersetzer wie Regenwürmer, Asseln, Milben, Doppelfüßler, Springschwänze, Larven verschiedener Mücken fressen abgestorbene Pflanzenteile. Von dem Kot dieser Tiere leben Bakterien und Pilze. Andere Bakterien und Pilze wirken auch direkt bei der Zersetzung der abgestorbenen Pflanzen mit. In einer Kette von Zersetzungsvorgängen entstehen schließlich kleinmolekulare Stoffe bzw. Ionen, die von den Pflanzenwurzeln erneut aufgenommen werden können. Ein Heer von räuberischen Bodenlebewesen bildet das Ende dieses komplexen Nahrungsgefüges. Die Vielfalt der Bodentiere kann am Standort erhoben werden (*Versuch 19*).

Die Wirksamkeit der Zersetzer ist ihrerseits von den Bodenfaktoren abhängig, z.B. von der Höhe der Temperatur und der Feuchtigkeit, von der Art des Pflanzenmaterials, vom Boden pH u.a.. So dauert der Zersetzungsvorgang von Fichtennadeln mehrere Jahre, während die Blätter der meisten Laubbäume schon nach einem Jahr zersetzt sind. Auf einem Acker mit optimalen pH-Wert, guter Durchlüftung und genügendem Wassergehalt erfolgt die Zersetzung in wenigen Monaten.

Beschleunigend wirken:

hohe Temperaturen, kontinuierliche O₂-Zufuhr, hoher N-Anteil der Streu, leicht zersetzbare C-Verbindungen.

Hemmend wirken:

niedrige Temperaturen, O₂-Mangel, niedriger Stickstoffanteil der Streu, schwer zersetzbare C-Verbindungen (z.B. Lignin, Gerbstoffe).

Die Beziehung zwischen den Zersetzungsvorgängen, die sich im Bodenhorizont (*Versuch 1*), dem Humusgehalt (*Versuch 7*) und der Humusform (*Versuch 8*) und den Bodenorganismen (*Versuch 20*) wiederspiegeln und den Bodenfaktoren Wasserkapazität (*Versuch 10*), Bodendichte (*Versuch 13*), Boden pH (*Versuch 15*) läßt sich durch die entsprechenden Messungen leicht herstellen.

Raum für Notizen

9. Bodenfruchtbarkeit

„Die Fähigkeit des Bodens, Pflanzen als Standort zu dienen und Pflanzenerträge zu produzieren, wird Fruchtbarkeit, Ertragsfähigkeit oder Produktivität des Bodens genannt“ (Schroeder, 1984). Sie ist bedingt durch die Gesamtheit der physikalischen, mineralogischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der Böden.

Die wichtigsten Meßgrößen der *Bodenfruchtbarkeit* sind Nachhaltigkeit von Ertragshöhe/Aufwand, geringe Ertragschwankungen, Witterungsunabhängigkeit, Qualität der Erträge, breites Anbauspektrum, Pufferung von Immisionen. Diese Kennzeichen der Bodenfruchtbarkeit sind durch zahlreiche Bodeneigenschaften bedingt, wie z.B.

- Körnung mit Einfluß auf Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt sowie Bearbeitbarkeit und Durchwurzelbarkeit,
- Mächtigkeit der nährstoffreichen Bodenschicht,
- Säuregrad (pH-Wert) als Anzeige für Kalkzustand, mögliche Bodentätigkeit und Verfügbarkeit zahlreicher Nährstoffe,
- Gehalt an aufnehmbaren Nährstoffen und Nährstoffreserven,
- Nährstofffesthaltevermögen (Sorptionseigenschaft) zur lockeren Speicherung, aufnahmefähiger Nährstoffe, Pufferung gegen Überangebot, Schutz vor Auswaschung,
- Gehalt an Humus mit Einfluß auf Bodenlebewesen, Wasser- und Nährstoff-Festhaltevermögen, Nährstoffgehalt und Bodenstruktur,
- günstiges Bodengefüge (locker, krümelig),
- biologische Aktivität des Bodens,
- Freisein von Fremdstoffen (oder schädlichen Mengen davon), Krankheitserregern und Schädlingen.

Diese die Bodenfruchtbarkeit bedingenden Bodeneigenschaften zeichnen sich durch eine unterschiedliche Stabilität bzw. Labilität aus (Tab 9.1). Die Körnung (Bodenart) ist eine recht stabile Bodeneigenschaft, die jedoch durch Erosion Verluste erleiden kann, welche durch Verwitterungsneubildungen nur bedingt ersetzt werden können. Die Bodenreaktion (gemessen als pH-Wert) zeichnet sich durch eine mittlere Stabilität aus. Der natürlichen und nutzungsbedingten Bodenversauerung kann durch Kalkung entgegengewirkt werden. Recht labile Bodeneigenschaften sind das Gefüge und die biologische Aktivität (s. Tabelle 9.1).

Aus der Stabilität/Labilität der Bodeneigenschaften läßt sich folgern, daß die Bodenfruchtbarkeit kein bleibender Standortfaktor ist, sondern als ein Komplex mehr oder minder stabiler/labiler Bodeneigenschaften ständig neu geschaffen werden muß. Ziel jeder gärtnerischen und landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung muß daher die Nutzung und zugleich die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit sein.

Die Bodenfruchtbarkeit stellt also einen gewissen Rahmen für die zu erwartenden Erträge dar; innerhalb dieses Rahmens hat der Mensch jedoch einen großen Spielraum durch geeignete Maßnahmen, den Ertrag zu optimieren. Die Tätigkeit des Landwirtes ist darauf ausgerichtet, auf dem ihm gegebenen Boden möglichst hohe Erträge zu erzielen, indem er die nicht regelbaren Standortfaktoren weitgehend für die Ertragsbildung ausschöpft und die regelbaren Faktoren positiv für die Ertragsbildung beeinflußt.

Tab.: 9.1 Stabilität von Bodenfruchtbarkeit bedingender Bodeneigenschaften

Eigenschaften	Stabilität	Verlust	Gewinn
Bodenart		Erosion	(Verwitterung)
Gründigkeit		Erosion, Verdichtung	Melioration
Bodenacidität		Entzug, Auswaschung, Immission	Kalkung
Nährstoffspeicher/-nachlieferung		Ertrag, Auswaschung, Mineralisation	Düngung
Humusgehalt		Erosion	Fruchtfolge
Gefüge		Verdichtung	Melioration
Biol. Aktivität		Schadstoffe	Minimalbodenbearbeitung

10. Bodenbewertung und Bodenzahl

Die quantitative Bewertung landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Böden hinsichtlich ihrer potentiellen Ertragsfähigkeit kann durch den sogenannten Ackerschätzungsrahmen erfolgen. Grundlage ist das 1934 erlassene „Gesetz über die Schätzung des Kulturbodens“ (1965 ergänzt). Es ist Grundlage für die Besteuerung der Landwirtschaft, sinnvolle Bodennutzungsplanung, Beleihungen, Entschädigungen u. ä.

Die Bodenschätzung erfolgte durch amtlich bestellte Bodenschätzer nach einem relativ einfachen Bewertungsschlüssel, der z. B. bei Ackerböden aus der Bodenart, Zustandsstufe und Entstehungsart des Bodens die Bodenzahl ermittelt (Abb. 10.4). Die Bodenzahlen sind jeweils relative Wertzahlen, die das Ertragspotential des jeweiligen Bodens zu dem des fruchtbarsten Bodens (Schwarzerde der Magdeburger Börde, gleich 100 gesetzt) in Beziehung setzt.

10.1 Bodenart

Die Bodenart gibt die Korngrößenzusammensetzung des Bodens an, d.h. die jeweiligen Anteile an Sand, Schluff und Ton. Die jeweilige Zusammensetzung bestimmt den Wasser- und Nährstoffhaushalt des Bodens und damit seine Fruchtbarkeit (s. Tab 10.1).

10.2 Entstehungsart

Nach der Entstehungsart bzw. dem geologischen Alter des Ausgangsgesteins werden die Böden in vier Gruppen eingeteilt:

1. *Diluvialböden (D)* oder Eiszeitböden entstanden durch Ablagerungen der Eiszeit (außer Löß). Typische Eiszeitböden sind die Moränenböden (bei Grundmoränen auch Geschiebemergel genannt) sowie Deck- und Talsande der Urstromtäler.

2. *Lößböden (Lö)* oder Nacheiszeitböden entstanden durch windbedingten Transport von Bodenmaterial. Zu den Nacheiszeitböden gehören Dünen und Lößböden bzw. Schwarzerdeböden.

3. *Alluvialböden (Al)* oder Schwemmlandböden entstanden durch Transport und Umlagerung des Verwitterungsmaterials durch Wasser. Das fließende Wasser nimmt die Gesteinstrümmer mit und sortiert sie an seinem Lauf nach Größe und Schwere. So finden sich die größeren Steine am Bach- oder Flussoberlauf während in der Regel feines Material, wie Kies, Sand und Feinerdeteilchen (Schluff), weiter zu Tal befördert werden. Bei abnehmender Strömungsgeschwindigkeit erfolgt hier eine weitere Sortierung. Am Mittellauf sind mehr Kiese und Sande, am Unterlauf vor allem feine Sand-, Schluff- und auch Humusteilchen zu finden. Somit finden sich an den Mittelläufen von Flüssen und Strömen humus- und tonarme, wenig fruchtbare Sandböden, an den Unterläufen dagegen fruchtbare Aue- und Marschböden.

4. *Bei Verwitterungsböden (V)* oder Ortsböden wurden die Verwitterungsprodukte des Gesteins nicht weiter transportiert. Ortsböden liegen also über ihren Muttergestein. Typische Kennzeichen solcher Böden sind daher auch noch mehr oder minder scharfkantige Trümmer des Muttergestein unterschiedlicher Verwitterungsgrade in den obersten Bodenschichten. Ortsböden sind also verhältnismäßig steinreich und entsprechend schwer zu bearbeiten. Die Krume ist oft flachgründig (30-40 cm). *Gesteinsböden (Vg)* sind stark steinhaltige Verwitterungsböden.

10.3 Zustandsstufe des Bodens

Die Zustandsstufe des Bodens gibt den Entwicklungsgrad an, den ein Boden bei seiner Entwicklung vom Rohboden

Tab. 10.1: Bodenwertzahl in Abhängigkeit von der Bodenart

Bodenart	Abkürzung	Bodenzahl 1) 2)	Mittelwert der Bodenwertzahl 3)
Sand	S	7 - 44	23
anlehmiger Sand	SI	11 - 53	30 Sandböden
lehmiger Sand	IS	12 - 71	39
stark sandiger Lehm	SL	16 - 81	48
sandiger Lehm	sL	18 - 92	55 Lehmböden
Lehm	L	19 - 100	61
toniger Lehm	LT	17 - 91	55 Tonböden
Ton	T	14 - 74	44

1) Je nach Entstehungsart und Zustandsstufe des Bodens

2) Gibt Bodengüte an, bester Boden = 100

3) Mittelwert über Entstehungsart und 7 Zustandsstufen

über eine Stufe höchster Leistungsfähigkeit bis zur Ausbildung eines Podsol erreicht hat. Dabei werden sieben Zustandsstufen unterschieden, wobei die Stufe 1 den günstigsten Zustand, also entweder die geringste Entwicklung oder die stärkste Verarmung kennzeichnet.

Diese Zustandsstufen lassen sich im sogenannten Görzschen Halbkreis darstellen (siehe *Versuch 3*). Dieser zeigt links die Entwicklungsstufen vom rohen Gestein an aufwärts; rechts die Alterungsstufen bis zum Ortstein-Heideboden; der Scheitelpunkt des Halbkreises entspricht der optimalen Zustandsstufe eines Bodens. Die Entwicklungsstufen lassen das Entstehen und allmähliche Zunehmen des Humushorizonts (A-Horizont) erkennen, ferner die immer weiter in die Tiefe vordringende Bodenbildung (B-Horizont) und Durchwurzelung und schließlich die langsam fortschreitende Degradierung des Bodens sowie Nährstoffauswaschung bzw. -verlagerung

10.4 Durchführung der Bodenschätzung

Zunächst erfolgt die Beschreibung des Bodens hinsichtlich Bodenart, Entstehung und Zustandsstufe des Bodens. Die Bodenart (Korngrößenzusammensetzung) wird vom Oberboden (Ackerkrume) bis zu einer Tiefe, die für Pflanzenwachstum von Bedeutung ist, ermittelt. Für schulische Zwecke ist es am einfachsten, die Bodenart im B-Horizont zu ermitteln (*Versuch 6*). Die Bodenart reicht bereits für eine einfache Bodenschätzung aus (vgl. Abb.10.1), wenn man die beiden übrigen Faktoren mittelt. Für die Ermittlung der genauen Bodenzahl nach dem Ackerschätzungsrahmen, müssen die Boden-Zustandsstufe (*Versuch 3*) ermittelt sowie die Entstehungsart des Bodens aus geologischen Karten entnommen werden. Mit diesen drei Daten kann die Bodenzahl nach dem Ackerschätzungsrahmen ermittelt werden (10.4).

Abb. 10.4: Ackerschätzungsrahmen

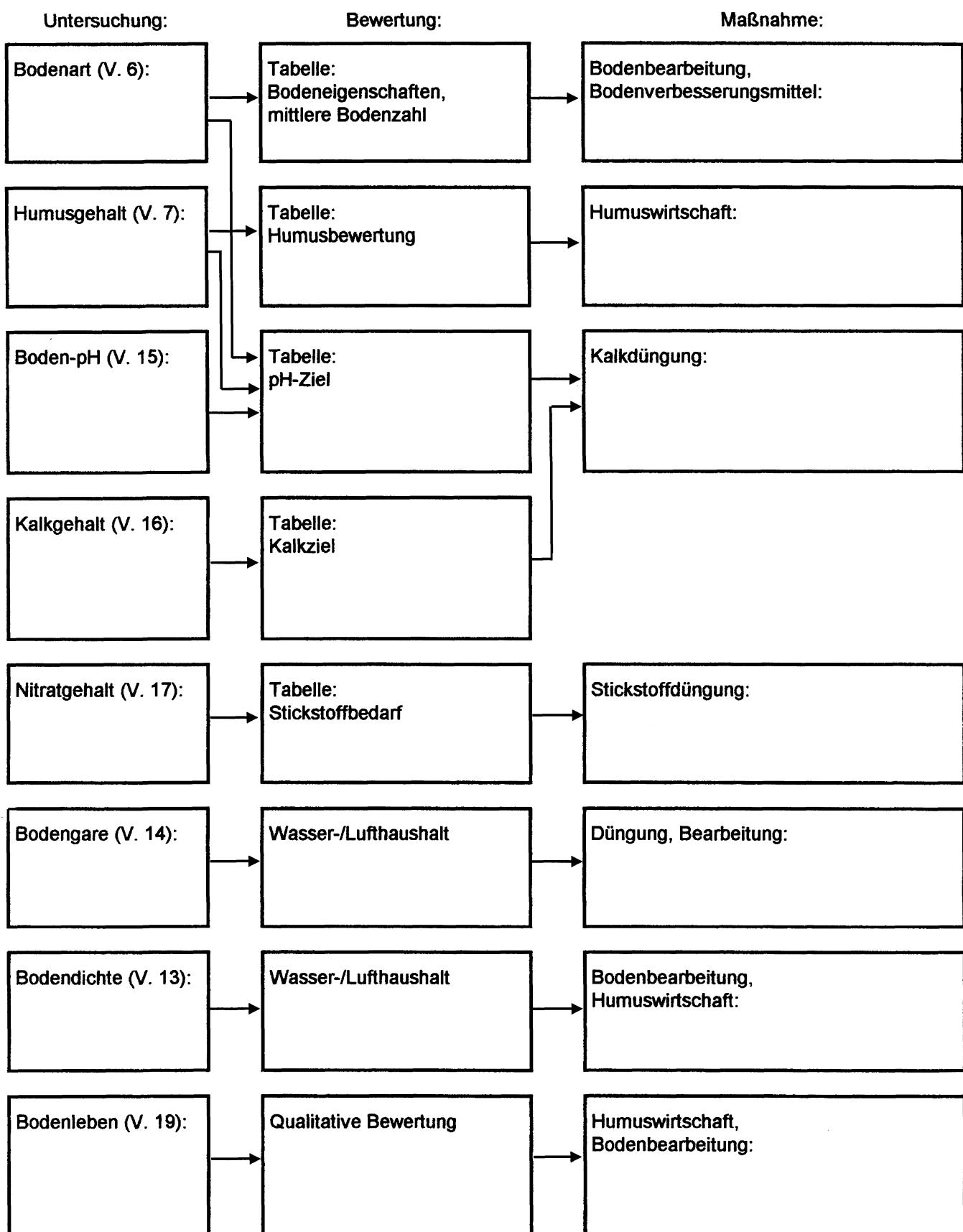
		Z u s t a n d s s t u f e						
Bodenart	Entstehung	1	2	3	4	5	6	7
S Sand	D AI		41 - 34 44 - 37	33 - 27 36 - 30	26 - 21 29 - 24	20 - 16 23 - 19	15 - 12 18 - 14	11 - 7 13 - 9
SI (S/IS) anlehmiger Sand	D AI V		51 - 43 53 - 46 49 - 43	42 - 35 45 - 38 42 - 36	34 - 28 37 - 31 35 - 29	27 - 22 30 - 24 28 - 23	21 - 17 23 - 19 22 - 18	16 - 11 18 - 13 17 - 12
IS lehmiger Sand	D Lö AI V Vg	68 - 60 71 - 63 71 - 63	59 - 51 62 - 54 62 - 54	50 - 44 53 - 46 53 - 46	43 - 37 45 - 39 45 - 39	36 - 30 38 - 32 38 - 32	29 - 23 31 - 25 31 - 25	22 - 16 24 - 18 24 - 18
SL (IS/sL) stark lehmiger Sand	D Lö AI V Vg	75 - 68 81 - 73 80 - 72 75 - 68	67 - 60 72 - 64 71 - 63 67 - 60	59 - 52 63 - 55 62 - 55 59 - 52	51 - 45 54 - 47 54 - 47 51 - 44	44 - 38 46 - 40 46 - 40 43 - 37	37 - 31 39 - 33 39 - 33 36 - 30	30 - 23 32 - 25 32 - 25 29 - 22
sL sandiger Lehm	D Lö AI V Vg	84 - 76 92 - 83 90 - 81 85 - 77	75 - 68 82 - 74 80 - 72 76 - 68	67 - 60 73 - 65 71 - 64 67 - 59	59 - 53 64 - 56 63 - 56 58 - 51	52 - 46 55 - 48 55 - 48 50 - 44	45 - 39 47 - 41 47 - 41 43 - 36	38 - 30 40 - 32 40 - 32 35 - 27
L Lehm	D Lö AI V Vg	90 - 82 100 - 92 100 - 92 91 - 83	81 - 74 91 - 83 89 - 80 82 - 74	73 - 66 82 - 74 79 - 71 73 - 65	65 - 58 73 - 65 70 - 62 64 - 56	57 - 50 64 - 56 61 - 54 55 - 47	49 - 43 55 - 46 53 - 45 46 - 39	42 - 34 45 - 36 44 - 35 38 - 30
LT schwerer Lehm	D AI V Vg	87 - 79 91 - 83 87 - 79	78 - 70 82 - 74 78 - 70	69 - 62 73 - 65 69 - 61 67 - 58	61 - 54 64 - 57 60 - 52 57 - 48	53 - 46 56 - 49 51 - 43 47 - 38	45 - 38 48 - 40 42 - 34 37 - 28	37 - 28 39 - 29 33 - 24 27 - 17
T Ton	D AI V Vg		71 - 64 74 - 66 71 - 63	63 - 56 65 - 58 62 - 54 59 - 51	55 - 48 57 - 50 53 - 45 50 - 42	49 - 41 44 - 36 47 - 40 41 - 33	39 - 30 40 - 31 35 - 26 32 - 24	29 - 18 30 - 18 23 - 14 25 - 14
Mo Moor			54 - 46	45 - 37	36 - 29	28 - 22	21 - 16	15 - 10

11. Düngoplan und Bodenbearbeitung

Bei landwirtschaftlich- und gärtnerisch genutzten Böden ist es üblich, in regelmäßigen Abständen die wichtigsten Bodenfaktoren zu untersuchen, um die notwendige Bearbeitung und Düngung für das kommende bzw. die nächsten Jahre zu planen. Die Untersuchungen werden in der Regel im Frühjahr durchgeführt und werden von den landwirtschaftlichen Untersuchungsämtern oder privaten Instituten angeboten. Sie können aber auch mit relativ einfachen Mitteln selbst durchgeführt werden:

Das Arbeitsschema für eine solche Bodenuntersuchung (siehe Arbeitsblatt) listet zu jedem Bodenfaktor den ent-

sprechenden Versuch auf (erste Spalte), der in Kapitel 5 enthalten ist; die ermittelten Werte können in das Arbeitsblatt eingetragen werden. In der zweiten Spalte sind jeweils Hinweise zur Bewertung der ermittelten Werte unter dem Gesichtspunkt der Bodenfruchtbarkeit; die entsprechenden Tabellen und Erläuterungen sind in den folgenden Kapiteln enthalten. Außerdem sind in den folgenden Kapiteln jeweils Hinweise für die entsprechenden Bodenbearbeitungs- oder Düngemaßnahmen gegeben, die in die dritte Spalte eingetragen werden können.

Arbeitsblatt: Bodenuntersuchung und Bodenbewirtschaftung

12. Bodenart, Humus und Wasserhaushalt

12.1 Bodenart

Die Bodenart ist ein Faktor, der die Bodenfruchtbarkeit entscheidend bestimmt. Daneben geht sie auch – neben der Humusbewertung – in das pH-Ziel eines Bodens ein (Versuch 6).

Bewertung der Bodenarten

Ein *Sandboden* besteht vorwiegend aus Quarzkörnern (SiO_2), die zu den am schwersten verwitternden Mineralien gehören. Im Sandboden mit den relativ großen Poren versickert das Niederschlagswasser rasch. Der Nährsalzgehalt eines Sandbodens ist gering, so daß auf ihm normalerweise kein Ackerbau betrieben wird. Bei einem Feinerdegehalt bis zu 20% spricht man von einem lehmigen Sand bzw. sandigen Lehm. Hier können anspruchslose Kulturpflanzen wie Roggen, Hafer, Kartoffeln, Möhren und Spargel gedeihen.

Bei *Lehm Boden* liegt der Tongehalt zwischen 20 und 50%. Das Festhaltevermögen für Nährsalze und Wasser ist beim Lehmboden günstig. Lehmböden gehören zu den ertragreichsten Böden. Weizen, Zuckerrüben, Raps und Gerste bringen hier Spitzenerträge.

Tonböden haben einen Tongehalt von mehr als 50%. Die engen Poren zwischen den kleinen Tonpartikeln verstopfen schnell nach einem Niederschlag, so daß ein Tonboden leicht verschlämmt und schmiert. Durch Kalkung und organische Düngung wird die Krümelstruktur eines Tonbodens verbessert. Ein toniger Boden mit so verbesserten Krümelstruktur kann Wasser schneller aufnehmen und besser speichern. Er hat einen höheren Luftanteil und ist leichter durchwurzelbar. Solche tonigen Böden bringen höchste Weizenerträge.

Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenart

Bei *Sandböden* kommt es darauf an, feine Tonminerale oder ähnlich feine Bestandteile (z.B. Humus) in den Boden

zu bringen. Dies kann durch Einarbeiten von Bentonit (Agrarbentonit) geschehen. Dabei genügen 150 g/m² die einmal im Jahr, möglichst im zeitigen Frühjahr, dem Boden zugegeben und leicht eingearbeitet werden. Den gleichen sowie weitere positive Effekte erzielt man durch Einbringen von Kompost. Kompost kann in beliebigen Mengen in solche Böden eingebracht werden, sofern sie nicht feucht oder übermäßig sauer sind. Weiterhin empfiehlt sich bei leichten Böden eine Bodenbedeckung durch Gründüngungspflanzen oder Mulchen, da dies eine Austrocknung des Bodens verhindert.

Lehm Böden sind im Idealfall problemlos zu bearbeiten und bilden für jede Art von Agrarnutzung ideale Standorte. Hinsichtlich Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit kommt es darauf an, ob der mittlere Boden mehr zum sandigen oder tonigen Boden neigt. Im jeweiligen Fall sind die dort beschriebenen Maßnahmen in abgeschwächter Form zu ergreifen. Eine Steigerung des Bodenlebens durch sorgende Bodenbearbeitung, Bodenbedeckung und Zufuhr von Kompost wirkt sich in jedem Falle günstig aus.

Tonböden sind gekennzeichnet durch einen hohen Ton- oder Lehmanteil. Während es den Sandböden an feinen Tonteilchen fehlt, haben schwere Böden ein Mangel an groben Sand-Partikeln. Daraus leitet sich ab, daß man bei der Verbesserung eines schweren Bodens hinsichtlich der mineralischen Bodenpartikel genau umgekehrt verfahren muß als bei einem leichten Boden. Das bedeutet, daß schwere Böden durch Einbringen von Sand verbessert werden können. Dabei sollte die Körnung 0/3 verwendet werden, die als Bausand überall leicht zu erhalten ist. Humusstoffe aller Art, das heißt, Gründüngungspflanzen, organische Dünger, Pferdemist mit reichlich Stroh, Kompost, Rindermist mit viel Einstreu u.a. Mistformen können auf schweren Böden die Bodenstruktur ganz entscheidend verbessern.

Abb. 12.1: Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

Boden	Sandböden	Lehm Böden	Tonböden
Kulturmaßnahmen	Einbringen von Kompost Einbringen von Bentonit Bodenbedeckung Gründüngung	je nach Sand/Tongehalt	Einbringen von Sand Einbringen von Kompost Regenwurmförderung Zwischenfruchtanbau

12.2 Wasserhaushalt

Bodenwasser und Bodenluft sind in hohem Maße von der Bodenart und dem Humusgehalt (siehe folgendes Kapitel) abhängig. Sie wirken auf nahezu alle Prozesse im Boden und somit auf die Bodenfruchtbarkeit ein: Bodenwasser deckt den Wasserbedarf der Pflanzen, Bodenwasser löst und transportiert die Nährstoffe (diese können nur gelöst von den Pflanzen aufgenommen werden), Bodenwasser trägt zur Bodenverwitterung und somit zur Freisetzung von Nährstoffen bei, Bodenwasser ist eine Grundbedingung für Bodenleben und somit auch für die Humusbildung, Bodenluft ist Voraussetzung für die Atmung der Pflanzenwurzeln und Kleinstlebewesen. Zur Ergänzung und Verdeutlichung der Bedeutung der Bodenart kann der Wasserhaushalt bestimmt werden (*Versuch 10/11*).

Bewertung des Wasser- und Lufthaushaltes

Sandige Böden besitzen hauptsächlich große (luftgefüllte) Poren, neigen also zu Wassermangel. Tonige Böden besitzen hauptsächlich kleine (wassergefüllte) Poren, neigen somit zu Luftmangel. Hinsichtlich eines positiven Wasser- und Lufthaushalts des Bodens kommt es also auf ein ausgeglichenes Verhältnis von großen und kleinen Poren an. Dies bewirkt ein ausgeglichenes Verhältnis von Wasser und Luft im Poresystem des Bodens. Solch ein ausgeglichenes Poresystem bieten Lehmböden, während Sandböden zu Trockenheit neigen und Tonböden zu Stauwässern.

Die Wasserspeicherfähigkeit eines Bodens kann auch über die Bodenart und den Humusgehalt abgeschätzt werden. Diese Angaben können auch zur Überprüfung der gemessenen Werte dienen (s. Tab. 12.2).

Maßnahmen zur Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes

Der Wasser- und Lufthaushalt ist im wesentlichen von der Bodenart (Sand, Schluff, Ton), dem Humusgehalt und der Krümelstruktur des Bodens abhängig. Letztere ist ihrerseits von der Tätigkeit der Bodenlebewesen, insbesondere der Regenwürmer, abhängig. Daher können zur Verbesserung des Wasser- und Lufthaushalts die dort beschriebenen Maßnahmen ergriffen werden. Weiterhin ist bei sandigen Böden auf ausreichende Bewässerung zu

achten. Die Bewässerung muß regelmäßig erfolgen, da der sandige Boden das Wasser nicht speichern kann. Bei tonigen Böden ist insbesondere eine Bodenverdichtung durch Betreten der Beete zu vermeiden.

12.3 Humuswirtschaft

Der Humus wirkt auf vielfältige Weise positiv auf den Boden ein und ist deshalb für die Bodenfruchtbarkeit maßgeblich verantwortlich (*Versuch 7*):

- Humus verbessert die Bodenstruktur, und zwar direkt dadurch, daß er schwere Böden auflockert; indirekt indem er die Nahrung für die Bodenorganismen darstellt, die durch ihre Tätigkeit den Boden lockern.
- Humus fördert die Durchlüftung des Bodens. Aufgrund der verbesserten Krümelstruktur bekommt der Boden größere Poren, was zu einer besseren Zufuhr von Sauerstoff führt.
- Humus verbessert den Wasserhaushalt des Bodens. Einerseits indem er das Wasser wie ein Schwamm festhält, was besonders für sandige Böden wichtig ist; andererseits indem er durch Lockerung des Bodens für ein ausreichendes Durchsickern des Wassers sorgt und somit Staunässe verhindert. Dies ist insbesondere für tonige Böden wichtig.
- Humus erhöht die Bodentemperatur, da er aufgrund seiner dunklen Farbe die einstrahlende Sonnenenergie besser absorbiert. Der Boden wird dadurch schneller warm, was besonders im Frühjahr von Bedeutung ist.
- Humus liefert Nährstoffe, da der sogenannte Nährhumus von den Bodenorganismen zu Nährstoffen abgebaut wird.
- Humus ist in der Lage, Nährstoffe zu speichern und sie bei Bedarf an die Pflanzen abzugeben. Dies ist vor allem bei Böden mit geringem Tonanteil von Bedeutung.

Bewertung des Humusgehaltes

Ein landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzter Boden sollte mindestens 2-4% Humus aufweisen. Höhere Werte sind noch günstiger. Erst extreme Werte (ca. 15%) weisen auf einen verlangsamten Humusabbau aufgrund ungünstiger Bodeneigenschaften (Nässe, Säure) hin.

Tab. 12.2: Wasserspeicherfähigkeit verschiedener Böden in Volumenprozent (aus: Brucker, 1988)

	leichtsandige oder sandige Böden	Lehmböden
humusarm	5 %	20 %
humos	11 %	25 %
humusreich- sehr humusreich	25 %	38 %

Maßnahmen zur Erhöhung des Humusgehaltes

- Ganzjährige Vegetationsdecke (Zwischenfruchtanbau),
 - Einarbeitung von Ernterückständen (Flächenkompostierung),
 - Gründüngung,
 - Einbringen von organischen Düngern (Kompost u.a.).
- Der springende Punkt einer humusaufbauenden Bodenbewirtschaftung ist jedoch, daß allein die Zufuhr von organischer Substanz noch lange nicht den gewünschten Erfolg bringt. Erst wenn mit der organischen Substanz auch entsprechende humusbildende Mikroorganismen im Boden aktiviert werden, wird Humusaufbau stattfinden.

13. pH-Wert und Kalkdüngung

13.1 pH-Wert des Bodens

Der Säurezustand des Bodens wird als pH-Wert ausgedrückt; er gibt den Gehalt an Wasserstoffionen in einer Flüssigkeit (hier der Bodenlösung) an.

Ein neutraler bis leicht saurer pH-Wert des Bodens (pH 6 bis 7)

- fördert die biologische Aktivität des Bodens und somit die Humusumsetzung,
- fördert die Löslichkeit der Nährstoffe,
- verhindert die Freisetzung giftiger Aluminiumionen,
- und fördert das Pflanzenwachstum, da die meisten Kulturpflanzen bei einem neutralen bis leicht sauren pH-Wert am besten gedeihen.

Messung des Boden-pH (Versuch 15)

Der pH-Wert ist die einzige chemische Kenngröße des Bodens, die mit einfachen Hilfsmitteln hinreichend genau bestimmt werden kann. Allerdings können als Folge der Probennahme (Gefügeveränderung) und der Lösungszugabe (Befeuchtung, Veränderung der Salzzusammensetzung, Sauerstoffmangel) erhebliche pH-Wert-Änderungen in der Bodenlösung erfolgen. Daher ermitteln die gängigen Verfahren weniger den tatsächlichen pH-Wert des Bodens (sofern dieser überhaupt bestimmt werden kann), sondern vielmehr einen auf Konvention beruhenden, reproduzierbaren Meßwert. Innerhalb der Bodenkunde

haben sich folgende standardisierte Methoden zur Bestimmung des Boden-pH herauskristallisiert:

- pH-Messung in H₂O (pH H₂O)
- pH-Messung in 1 N oder 0,1 m KCl-Lsg. (pH KCl)
- pH-Messung in 0,1 m Ca Cl₂-Lsg. (pH CaCl₂)

Da jedes Meßverfahren unterschiedliche pH-Werte ergibt, sollte beim pH das Lösungsmittel jeweils angegeben werden. pH (H₂O)-Messung ergibt um ca. 0,5 höhere pH-Werte (d.h. geringe Wasserstoffionenkonz.) als die übrigen Verfahren, da nur die freibeweglichen, dissozierten H-Ionen erfaßt werden. pH (KCl, CaCl₂)-Messung ergibt 0,1 bis 0,4 Einheiten tiefere pH-Werte (d.h. höhere Wasserstoffionenkonz.) als die H₂O-Messung, da durch den Salzzusatz (KCl oder CaCl₂) Kationensäuren wie Al-Ionen sowie H⁺-Ionen von den Austauschern freigesetzt werden und in die Bodenlösung gelangen. In der Bundesrepublik ist die Messung in CaCl₂ üblich.

Bewertung des Boden-pH

Der Verband der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) gibt folgende Richtlinien für anzustrebende pH-Werte bei landwirtschaftlichen Mineralböden (bis 4% Humus) an (s. Abb. 13.1).

Befindet sich der gemessene pH-Wert des Bodens im optimalen pH-Bereich, so ist lediglich eine Erhaltungskalkung (siehe nächstes Kapitel) notwendig. Liegt der gemessene pH-Wert deutlich unter dem optimalen pH, so ist eine Aufkalkung notwendig. Dabei orientiert man sich am pH-Ziel des jeweiligen Bodens.

Maßnahmen zur Verbesserung des pH-Wertes

Folgende Maßnahmen können ergriffen werden (bei zu niedrigem pH):

- Kalkung des Bodens (siehe nächstes Kapitel)
- Verwendung von neutralem bis basischen Düngern (Stickstoff u. a.)
- Verwendung wenig saurer Streu für den Kompost.

Abb. 13.1: pH-Ziele (CaCl₂) von Mineralböden (bis 4% Humus)

Bodenart	Ackerland		Grünland	
	pH-Ziel	optimaler pH	pH-Ziel	optimaler pH
Sand (S)	5,5	5,3 - 5,7	5,0	4,8 - 5,2
lehmiger Sand (IS)	6,0	5,8 - 6,2	5,5	5,3 - 5,7
sandiger Lehm (sL)	6,5	6,3 - 6,7	6,0	5,8 - 6,2
Lehm, Ton (L, T)	7,0	6,9 - 7,2	6,2	6,0 - 6,5

13.2 Bodenverbesserung durch Kalk

Der natürliche Kalkgehalt eines Bodens wird durch das jeweilige Ausgangsgestein bestimmt. Einige Böden sind natürlicherweise kalkarm, andere sind im oberen Bodenhorizont an Kalk verarmt (*Versuch 16*). Letzteres geschieht vor allem durch den natürlichen und den vom Menschen hervorgerufenen Säureeintrag in die Böden bzw. durch die intensive Nutzung der Böden. Aus diesem Grund werden ackerbaulich genutzte Böden regelmäßig gekalkt. Dabei unterscheidet man zwei Formen der Kalkdüngung, die Erhaltungskalkung und die Gesundkalkung.

Bei der Erhaltungskalkung handelt es sich darum, den jährlichen Kalkverlust im Boden zu ersetzen. Dazu wird eine dem Kalkverlust entsprechende, vorbeugende, relativ kleine jährliche Kalkgabe von 2 bis 5 dt/ha CaO (= 50 g/m² CaO) gegeben.

Werden bei einer Kalkbedarfsermittlung höhere Gaben erforderlich, spricht man von einer einmaligen Gesundungs- oder Meliorationskalkung. Bei der *Gesundkalkung* geht es darum, einen stark versauerten Boden möglichst schnell in Richtung eines neutralen pH-Wertes (= 7) zu verändern. Dies kann etwa bei der Neuanlage eines Gartens oder bei lange vernachlässigter Kalkdüngung auftreten.

Kalk ist in erster Linie ein Bodendünger. Seine günstige Wirkung auf das Pflanzenwachstum beruht vor allem auf der Verbesserung der chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des Bodens. Die Wirkung des Kalkes als Pflanzennährstoff hat demgegenüber eine geringere Bedeutung.

- Kalk reguliert den pH-Wert des Bodens: Kalk neutralisiert Bodensäure und sorgt somit für einen günstigen pH-Wert des Bodens. Die Zugabe von Kalk erhöht also den pH-Wert des Bodens.
- Kalk verbessert die Bodenstruktur: Die Calcium-Ionen verbinden Ton- und Humusteilchen zu größeren Aggregaten. Auf diese Weise wird der Anteil größerer luftführender Poren erhöht. Die Stabilität der Poren und der Verformungswiderstand des Bodens nehmen zu. Dies wirkt sich günstig auf eine Verminderung der Bodenerosion, auf Wasser- und Lufthaushalt, auf das Wurzelwachstum und damit die Nährstoffaufnahme der Pflanzen aus.
- Kalk fördert das Bodenleben: Die Regulierung des Wasser, Luft- und indirekt des Wärmehaushaltes sowie des Boden-pH durch Kalk wirkt sich fördernd auf die Tätigkeit der Mikroorganismen und Bodentiere aus. Dadurch wird die sogenannte Lebendverbauung (Verklebung von Bodenteilchen durch Bodenorganismen) sowie die Humusbildung intensiviert.

Kalkbedürftigkeit und Düngeempfehlung

Je nach Bodenart und gemessenem pH-Wert wird der Boden in eine Kalkbedürftigkeitsklasse der folgenden Tabelle eingeteilt: Wurde bei dem Boden die Bodenart sandiger Lehm (sL) ermittelt und ein pH von 5,8 gemessen so ist der Boden kalkbedürftig (s. Abb. 13.2).

Hat man die entsprechende Kalkbedürftigkeitsklasse des Bodens ermittelt, kann man aus der folgenden Tabelle (s. Abb. 13.3) die notwendige Menge der Kalkdüngung ersehen.

Abb. 13.2: Kalkbedürftigkeitsklassen

Bodenart	stark kalkbedürftig	kalkbedürftig	Kalkversorgung in Ordnung
leichte Böden (S, uS)	pH unter 4,9	pH 5,0-5,7	pH über 5,7
mittlere Böden (LS, sL, U)	pH unter 5,5	pH 5,6-6,3	pH über 6,3
schwere Böden (L, T, tU)	pH unter 5,7	pH 5,8-6,9	pH über 6,9

Abb. 13.3: Düngeempfehlung in kg CaO/100 m² (= dt CaO/ha)

Bodenart	stark kalkbedürftig	kalkbedürftig	Kalkversorgung in Ordnung
leichte Böden (S)	5 - 10 kg jährlich	3 - 5 kg jährlich	3 - 5 kg alle 2 Jahre
mittlere Böden (LS), (sL)	10 - 20 kg jährlich	5 - 10 kg jährlich	6 - 12 kg alle 3 Jahre
schwere Böden (L, T)	20 - 40 kg jährlich	10 - 20 kg jährlich	15 - 20 kg alle 4 Jahre

Welche Kalkform für welchen Boden?

Kalk ist nicht gleich Kalk! Es gibt viele verschiedene Sorten: Branntkalk, Hüttenkalk, Algenkalk u.a. Wichtigstes Kriterium für die richtige Wahl des Kalkdüngers ist die unterschiedliche Wirkungsgeschwindigkeit der Kalke im Boden.

Für leichte, tonarme Böden sollten langsam wirkende Kalke gewählt werden: Kohlensaurer Kalk, Kohlensaurer Magnesiumkalk, Hüttenkalk, Konverterkalk.

Mit zunehmendem Tongehalt, also bei mittleren bis schweren Böden können schnell wirkende Kalke eingesetzt werden: Branntkalk, Löschkalk, Mischkalk und Carbonationskalk.

Hinsichtlich der neutralisierenden Wirkung unterscheiden sich die genannten Kalkdünger langfristig nur unwesentlich. Bei der Auswahl der Kalkdünger sollten unbedingt die Nebenbestandteile mit berücksichtigt werden.

Ermittlung der Kalkmenge

Hat man nun die Kalkbedürftigkeit und Düingeempfehlung ermittelt, ist noch die tatsächlich auszubringende Kalkmenge zu berechnen. Diese ist abhängig von der Krumentiefe und der Art des Kalkdüngers.

Der von einem Untersuchungslabor oder in der Tabelle angegebene Kalkbedarf bezieht sich immer auf eine Krumentiefe des Oberboden von 20 cm. Ist diese tiefer, so muß der Tabellenwert auf die tatsächliche Krumentiefe umgerechnet werden.

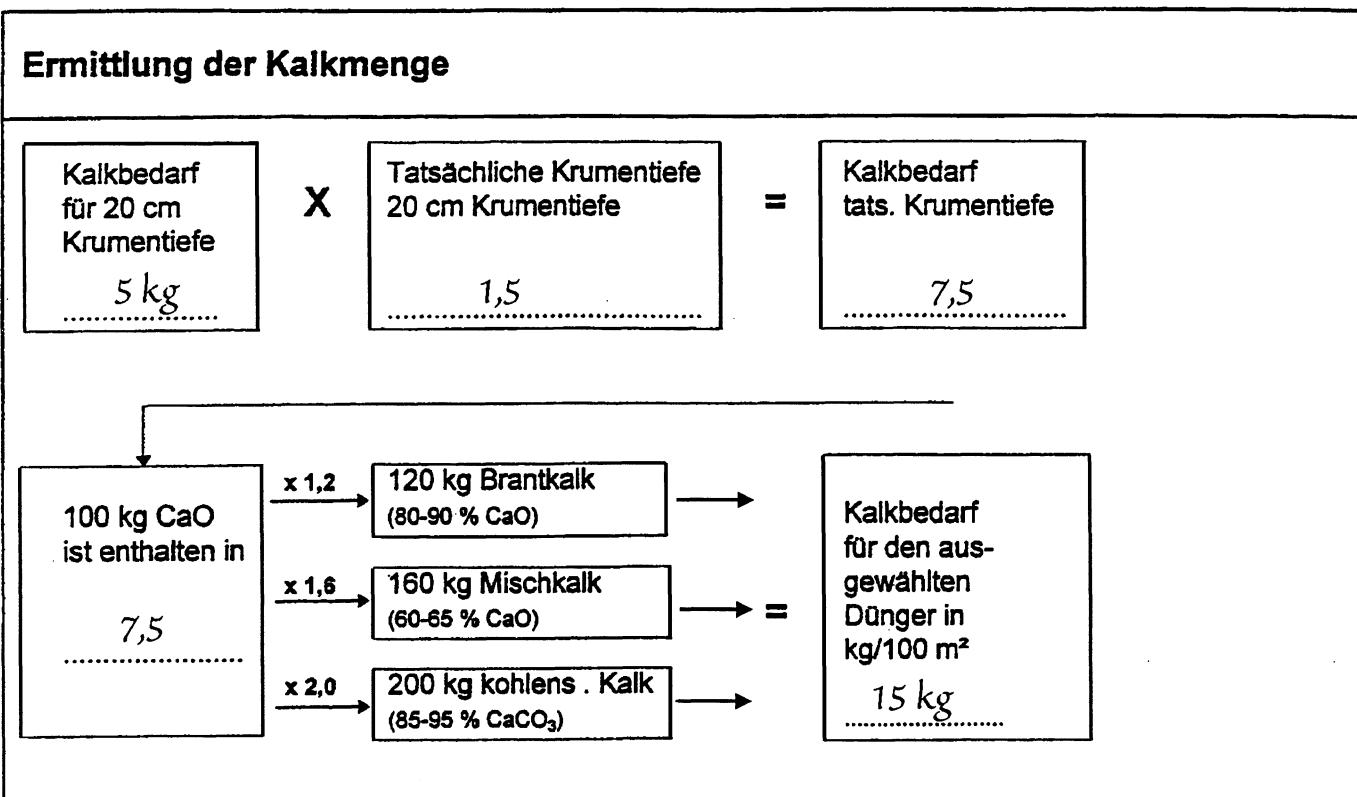
Sie haben nun die Menge an reinem Kalk (CaO), die auf ihren Boden ausgebracht werden sollte. Da jedoch die handelsüblichen Kalkdünger nicht zu 100% aus Kalk bestehen, ist eine weitere Umrechnung erforderlich. Dazu ist in der Regel bei handelsüblichen Kalkdüngern eine „Bezugsbasis für Kalkwirkung in % CaO“ angegeben. Nachdem Sie sich für eine entsprechende Düngerform entschieden haben, setzen Sie den Wert in die Gleichung ein.

Durchführung der Kalkdüngung

Kalkdünger können, sofern es die Witterung und die Kultur zulassen, während des ganzen Jahres ausgebracht werden. Die beste Kalkwirkung wird erreicht, wenn der Kalk intensiv mit dem Boden vermischt wird. Eine rasche und gleichmäßige Verteilung ist vor allem bei Branntkalk und Löschkalk notwendig. Eine zeitliche Trennung der Kalk- und Stickstoffdüngung muß immer dann erfolgen, wenn der Stickstoff in Ammoniumform gegeben wird. Dies gilt auch für Stallmist und Gülle. Bei höherem pH-Wert und guter Wasserversorgung können sonst erhebliche Stickstoffverluste eintreten. Als günstig hat sich eine Wartezeit von 14 Tagen erwiesen, falls nicht zwischenzeitlich eine Einarbeitung des Kalkes erfolgt. Wird der Kalk in den Boden eingearbeitet, kann die Stickstoffdüngung unmittelbar nach der Kalkung erfolgen.

Abb. 13.4: Ermittlung der Kalkmenge (Beispiel für 30 cm Humustiefe und Düngung mit kohlens. Kalk)

Ermittlung der Kalkmenge



14. Stickstoffdüngung

Stickstoff ist oft der limitierende Nährstoff eines Bodens, der zudem in der Pflanzenproduktion durch Ernte der N-haltigen Pflanzen dem Nährstoffkreislauf entzogen wird. Deshalb muß im Garten Stickstoff in organischer oder mineralischer Form dem Boden zugefügt werden. Der Stickstoff in Form des Nitrats (NO_3^-) wird nicht an die Bodenaustauscher gebunden (Fixierung) und daher leicht ausgewaschen. Es tritt daher häufig im Trinkwasser als unerwünschte Belastung auf. Weiterhin kann das Nitrat von Pflanzen in (zu) hoher Konzentration aufgenommen werden, ohne in organische Form (Aminosäuren) überführt zu werden. Es liegt dann als gesundheitsgefährdendes Nitrat in den entsprechenden Lebensmitteln vor.

Ziel und Problem aller praktischen Düngungsmaßnahmen ist daher die Notwendigkeit, pflanzenverfügbaren Stickstoff in der erforderlichen Menge und zum richtigen Zeitpunkt so bereitzustellen, daß einerseits das Ertragspotential der Kulturpflanzen möglichst weitgehend ausgenutzt wird, andererseits unwirtschaftliche bzw. umweltschädigende und gesundheitsgefährdende Nitratgehalte in den Lebensmitteln vermieden werden. Dies gilt unabhängig von ihrer jeweiligen Form praktisch für alle stickstoffhaltigen, einschließlich der organischen Düngemittel.

Ermittlung des N-Düngungsbedarfs (Versuch 17)

Um wirtschaftlich günstige sowie gesunde Nahrungsmittel zu produzieren, muß der jeweilige Stickstoffdüngerbedarf der Pflanze in Abhängigkeit vom Boden bestimmt werden. Während man sich früher bei der Düngung vorwiegend an den Stickstoffzugszahlen der Pflanze orientierte, wird heute meist die notwendige Düngung mit der sogenannten N min-Methode (N min = Abkürzung für mineralisierten Stickstoff) abgeschätzt, bei der jeweils im Boden befindlicher Stickstoff in Anrechnung kommt.

Die N-min-Methode läßt sich vereinfacht durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$\text{N-Düngung (kg/ha)} = \text{Stickstoffbedarf der Pflanze} - \text{N min-Vorrat im Boden}$$

Das Prinzip der N min-Methode soll anhand eines Beispiels für die Anwendung bei Spinat klar gemacht werden:

Sollwert im Frühjahr

(= für Höchstertrag notwendige N-Menge): 120 kg N/ha abzüglich N min -Vorrat

(im Februar gemessen in 0-60 cm Bodentiefe): -70 kg N/ha erforderliche Frühjahrs-N-Düngung: 50 kg N/ha

Werden die erforderlichen 50 kg N/ha über die Düngung ergänzt, so ist der Boden auf 120 kg N/ha aufgefüllt und erreicht damit den Sollwert an N-Menge, welcher den Höchstertrag für Spinat gewährleistet.

Untersucht wird die von den Pflanzenwurzeln erreichbare Bodenschicht deren Tiefe von der Pflanzenart und dem Boden abhängt. Auf tiefgründigen Böden umfaßt diese einen Bereich von 0-90 cm, auf flachgründigeren Standorten einen solchen bis 60 cm oder weniger. Es hat sich bewährt, das Bodenprofil in 30 cm breite Fraktionen zu unterteilen. Die getrennte Untersuchung erlaubt eine Beurteilung darüber, wie das N-Angebot im Boden verteilt ist, z. B. oberflächennah oder tiefer und gibt genauere Werte, da der Stickstoffgehalt über die gesamte Bodentiefe nicht einheitlich ist.

Zur Saat bzw. Pflanzung genügt es bei allen Kulturen, die Krume (0-30 cm) zu untersuchen. Erst später, wenn die Wurzeln der entsprechenden Pflanzenarten die zweite bzw. dritte Bodenschicht erreicht haben, ist der große Bohrstock nötig. Die zwei bzw. drei Bodenschichten (0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm) sind jeweils getrennt in gekennzeichneten Eimern zu sammeln. Die Probenahme bzw. Messung sollte kurz vor der ersten N-Düngung zu Beginn der Vegetation erfolgen, spätestens im März.

Vereinfachte Nmin-Methode: Meist bereitet die Entnahme der Bodenprobe mit dem Bohrstock in der ersten (0-30 cm) und zweiten Schicht (30-60 cm) keine allzu großen Schwierigkeiten. Problematisch wird es jedoch in der Regel bei der Probeentnahme in der dritten Schicht (60-90 cm). Muß bei verschiedenen Pflanzenarten (z. B. Rüben, Rosenkohl, Kopfkohl u. a.) in der dritten Schicht (60-90 cm) untersucht werden, so zeigten Versuche, daß in der Regel hier ein vereinfachtes Verfahren angewandt werden kann:

1. Untersuchung der 1. Schicht (0-30 cm): a (kg N/ha)
2. Untersuchung der 2. Schicht (30-60 cm): b (kg N/ha)
3. Addition: $(a + b) = c$ (kg N/ha)

Abb. 14.1: Durchwurzelungstiefe/Tiefe und Probennahme

30 cm	Erbsen	Kopfsalat	Radieschen	Eissalat
60 cm	Blumenkohl	Endivie	Kohlrabi	Sellerie
	Bohnen	Erdbeeren	Kartoffeln	Tomate
	Brokkoli	Frühjahrsspinat	Lauch (Porree)	Weißkohl (früh)
	Chinakohl	Grünkohl	Rote Beete	Zwiebeln
90 cm	Apfel	Mais	Rosenkohl	Weißkohl (Herbst)
	Getreide		Spargel	

Addiert man den N min-Wert der ersten und zweiten Schicht (= c) und verdoppelt diesen Wert (= 2 c), so erhält man näherungsweise das N min-Potential über die gesamten drei Schichten (0-90 cm). Dieses vereinfachte Verfahren hat sich bisher in der Praxis bewährt. Die Fehlerbreite ist in der Regel kleiner als ± 30 kg N/ha.

Stickstoffbedarf von Kulturpflanzen

Der Stickstoffbedarf der jeweiligen Kulturpflanze muß aus entsprechenden landwirtschaftlichen Tabellen entnommen werden. Die angegebenen Stickstoffmengen (Sollwerte) gelten für „leere“ Böden. Die N min-Vorräte sind also zu berücksichtigen.

Die angegebenen Werte sind eventuell nach den örtlichen Verhältnissen anzupassen. Einflußgrößen sind beispielsweise unter Freiland: Humusversorgung, Pflanzenabstand, Kulturdauer, Bodenart und Ertragserwartungen (s. Abb. 14.2).

Durchführung der Stickstoffdüngung

Für eine gezielte Stickstoffdüngung, d.h. eine dem Bedarf der Pflanze entsprechende Düngergabe sind folgende Faktoren zu beachten:

1. Die Höhe des Düngerbedarfs
2. Die Dünnerform
3. Die Düngermenge (in Abhängigkeit von Düngerbedarf und -form)
4. Der Zeitpunkt und die zeitliche Verteilung der Düngung.

Die Höhe des Düngerbedarfs errechnet sich aus der Differenz von N-Bedarf der Pflanze und N-Vorrat im Boden. Die Dünnerform sollte hinsichtlich ihrer Säurewirkung auf den jeweiligen pH-Wert des Bodens abgestimmt werden. Das heißt, liegt der pH-Wert bereits im sauren Bereich, sollten keine sauer wirkenden Düngemittel verwendet werden (s. Abb. 14.3).

Abb. 14.2: Stickstoffbedarf bei Kulturpflanzen

Gemüseart	N-Bedarf (kg/ha)	Gemüseart	N-Bedarf (kg/ha)
Apfel	80	Petersilie	160
Blumenkohl	140	Porree	140
Buschbohnen	100	Radieschen	50
Chicorée	80	Rettich	200
Chinakohl	180	Rhabarber	200
Endivien	120	Rosenkohl	180
Erbsen	30	Rote Rüben	160
Feldsalat	50	Sellerie	180
Grünkohl	120	Schwarzwurzeln	160
Gurken	150	Schnittlauch	200
Kartoffel	150	Spargel	100
Knollenfenchel	180	Spinat	120
Kopfkohl	300	Tomaten	150
Kohlrabi	180	Weißkohl	120
Kopfsalat	70	Wirsing	120
Kürbis	100	Zuchetti	200
Lauch	180	Zwiebeln	180
Möhren	160	Zuckermais	150

Abb. 14.3.: Säurewirkung von Stickstoffdünger

sehr stark/ stark versauernd: Ammonsulfatsalpeter	Ammoniumsulfat Verlust von 2 kg CaO je kg N	Verlust von 3 kg CaO je kg N
mäßig versauernd: Ammoniumnitrat Ammoniak	Harnstoff	Verlust von 1 kg CaO je kg N - „ - - „ -
neutral/ schwach sauer:	Kalkammonsalpeter	Verlust von 0,4 kg CaO je kg N
alkalisch:	Kalksalpeter Kalkstickstoff	Gewinn von 1 kg CaO je kg N Gewinn von 1,7 kg CaO je kg N

Die Düngermenge errechnet sich in Abhängigkeit von Düngerbedarf und der jeweils gewählten Düngerform. Da die unterschiedlichen Düngerformen nicht zu 100% aus Stickstoff bestehen und einige Düngerformen nicht zu 100% im 1. Jahr wirken, muß der Düngerbedarf (der sich auf reinen Stickstoff bezieht) in die auszubringende Düngermenge umgerechnet werden. Dazu setzen Sie den N-Düngerbedarf (Differenz von N-Bedarf der Pflanze und Bodenvorrat), sowie den N-Gehalt Ihres Düngers in die folgende Gleichung ein. Sie erhalten die tatsächlich aus-

zubringende Düngermenge. Haben Sie einen N-Dünger, der nicht voll im 1. Jahr wirkt, müssen Sie die Düngermenge erneut umrechnen. Die Umrechnung erfolgt nach dem obigen Schema.

Bei der zeitlichen Verteilung der Düngergabe kann man sich grob an folgende Regel orientieren: zu Vegetationsbeginn etwa 1/3 bis 1/2 der Gesamtdüngermenge, während der Vegetationszeit die Restmenge auf 1-3 Termine verteilen.

Abb. 14.4: Berechnung der Stickstoff-Düngung (Beispiel: Spinat)

Berechnung der Stickstoff-Düngung

1. Nmin - Vorrat der 1. Schicht (0-30 cm): a15..... kg N/ha
2. Nmin - Vorrat der 2. Schicht (30-60 cm): b15..... kg N/ha
3. Nmin - Vorrat der 3. Schicht (60-90 cm): c30..... kg N/ha
Nmin - Vorrat (0-90 cm) (a + b + c) =60..... kg N/ha
Sollwert im Frühjahr =120..... kg N/ha
N-Dünger-Bedarf (Sollwert - Vorrat) =60..... kg N/ha

$$\text{N-Düngerbedarf} \times \frac{100\%}{\text{N-Gehalt des Düngers} (\%)} = \text{Düngermenge in kg/ha} (=g/10 m^2)$$

60 \times 5 = 300

$$\text{N-Düngermenge in kg/ha} (=g/10 m^2) \times \frac{100\%}{\text{Wirkung im 1. Jahr} (\%)} = \text{Auszubringende Düngermenge in kg/ha} (=g/10 m^2)$$

300 \times 2 = 600

15. Bodengare und Bodentiere

15.1 Bodengare

„Bodengare“ ist ein altes Bauernwort und der Inbegriff eines gesunden, fruchtbaren Bodens, der lebendig ist und einen optimalen Krümelzustand aufweist. Bodengare ist keine bleibende Bodeneigenschaft, sondern ein Zustand, in dem sich der Boden in höchster Leistungsbereitschaft hinsichtlich seiner vielfältigen Funktionen befindet. Die Bodengare muß durch die richtigen Maßnahmen zur Bodenbewirtschaftung immer wieder neu hergestellt werden. Die Gare eines Bodens läßt sich am besten anhand der durch Organismen erzeugten stabilen Krümelstruktur des Bodens beurteilen. Bedeutung der Bodengare für die Bodenfruchtbarkeit:

- die Krümelstruktur bedingt ein ausgeglichenes Verhältnis von großen (luftgefüllten) und kleinen (wassergefüllten) Poren und somit einen positiven Wasser- und Lufthaushalt,
- die Krümelstruktur verhindert eine Bodenverschlammung,
- die stabilen Bodenkrümel vermindern den Abtrag fruchtbaren Bodens (Bodenerosion),
- die lockere Krümelstruktur des Bodens fördert ein reiches Bodenleben,
- die lockere Krümelstruktur erleichtert den Pflanzenwurzeln das Eindringen in den Boden, was eine höhere Nährstoffversorgung der Pflanzen zur Folge hat.

Maßnahmen zur Verbesserung der Bodengare

- Der Boden-pH sollte sich im neutralen Bereich bewegen bzw. dem pH-Ziel des Bodens entsprechen.
- Die Bodenlebewesen müssen stets ausreichend mit organischer Substanz versorgt werden (Wurzelmasse, Kompost, Gründüngung, Mulch).
- Der Boden sollte einen gewissen Tonanteil besitzen (bei sandigen Böden dem Kompost Ton zusetzen)
- Die Bodenbearbeitung soll biologisch zweckmäßig sein. Das Bodenleben soll nicht gestört und gehemmt, sondern gefördert werden.

15.2 Bodenlebewesen und Bodenfruchtbarkeit

Die Bodenlebewesen, das Edaphon, sind maßgeblich an der Bodenfruchtbarkeit beteiligt. Sie führen Nährstoffe in den Kreislauf zurück, sie durchmischen den Boden, fördern den Wasser- und Lufthaushalt und sind an den Bodenbildungsprozessen beteiligt. Das Edaphon selbst ist jedoch auch vom Boden als Lebenraum abhängig.

Maßnahmen zur Förderung des Bodenlebens

Zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit müssen durch entsprechende Maßnahmen günstige Lebensbedingungen für die Bodenlebewesen geschaffen werden (vgl. Abb. 15.1).

Abb. 15.1: Beeinflussung von Ökofaktoren durch Kulturmaßnahmen

Ökofaktoren	Kulturmaßnahmen
- lockeres Bodengefüge,	- schonende Bodenbearbeitung,
- organische Substanz als Nahrung,	- Einbringen von organischem Material,
- gute Luft- und Wasserversorgung, - günstige Temperaturen,	- Bodenbedeckung,
- neutraler pH-Wert,	- Kalkung,
- Ausschluß von Schadstoffen,	- Ausschluß von Schadstoffen (z.B. Pestiziden),

Bodenveränderungen erfolgen durch Überformung und Versiegelung von Böden, durch Bodenbearbeitung und Bodenverdichtung sowie durch Abtrag von Bodenmaterial. Belastungen des Bodens finden durch Veränderungen des Bodens sowie durch stoffliche Belastungen statt. Die stofflichen Belastungen erfolgen durch Düngung, Bodenkontamination und Deponierung von Abfällen.

Im Rahmen der Veränderungen von Böden sind *Bodenüberformung* und *Bodenversiegelung* Vorgänge, die hauptsächlich mit der Siedlungstätigkeit des Menschen zusammenhängen. Bodenüberformung, d.h. Bodenauf- und -abträge erfolgen durch Baumaßnahmen sowie bei der Gewinnung von Bodenschätzten. Bodenversiegelung erfolgt durch Bedeckung der Böden mit wasserundurchlässigen Substanzen wie Teer, Beton oder Gebäuden. In innerstädtischen Bereichen sind heute bis zu 90% der Gesamtfläche versiegelt. Diese Art der Bodennutzung wird auch als Flächenverbrauch, Landverbrauch oder Bodensterben bezeichnet.

Bodenkontaminationen erfolgen durch Stäube aus Kraftwerken und Industrie, durch sauren Regen, Schwermetalle, Streusalz, Pestizide, organische Verbindungen sowie durch radioaktive Stoffe. Diese Schadstoffe werden im Boden gespeichert und reichern sich dort an. Daneben werden sie von den Pflanzen aufgenommen – besonders bei überschreiten der Speicherkapazität des Bodens – und gelangen so in den Nahrungskreislauf. Ein Teil der Schadstoffe wird in das Grund- und Trinkwasser ausgewaschen. Die Bodenbelastbarkeit durch Schadstoffe ist im wesentlichen von dessen Filter- und Puffermöglichkeiten aufgrund der Bodenaustauscher, d.h. dem Gehalt an Tonmineralen und Humus, sowie von dessen biologischer Aktivität abhängig. Die wesentlichen bodenbelastenden Stoffe sind Schwermetalle, Salze, Säuren, radioaktive Stoffe sowie organische Schadstoffe wie Biozide, Kohlenwasserstoffe und Dioxine.

Schwermetalle gelangen als Luftverunreinigungen, Klärschlamm und Komposte sowie mit Pestiziden in den Boden, wo sie von den Bodenaustauschern gespeichert werden. Da sie nicht abgebaut werden können, steigt ihre Konzentration im Boden allmählich an. Ein Teil der Schwermetalle gelangt permanent über Pflanze, Tier und Mensch in den Nahrungskreislauf. Ist die Speicherkapazität des Bodens erschöpft, werden die Schwermetalle verstärkt in das Bodenwasser abgegeben. Sie gelangen nun in hohen Konzentrationen in den Nahrungskreislauf und in den Wasserhaushalt, was zu einer Belastung von Nahrung und Trinkwasser führt. Zusätzlich können an den Austauschern gespeicherte Schwermetalle remobilisiert werden, wenn ein Säureeintrag z.B. durch Dünger oder sauren Regen eintritt. Ist eine bestimmte Konzentration an Schwermetallen erreicht, bricht dieser Kreislauf durch die Vergiftung von Boden, Pflanze, Tier und Mensch zusammen.

Salze werden neben den natürlichen Prozessen im Bereich der Küste vor allem durch anorganische Düngung,

Niederschläge und Stäube sowie insbesondere durch Streusalz im Straßenbereich in die Böden eingebracht. Erhöhte Salzkonzentrationen führen zu einer Veränderung der Bodeneigenschaften und zu einer Beeinträchtigung der Bodenlebewesen und Pflanzen. Während sich durch den zunehmenden Tausalzverzicht eine Entlastung der Städteböden ergibt, hält die Salzbelastung im Bereich der Autobahnen weitgehend unvermindert an.

Organische Schadstoffe werden durch Pflanzenschutzmittel, gezielt als Bodenherbizide, -fungizide und -insektizide, oder indirekt bei der Behandlung der Pflanzenbestände in den Boden eingebracht. Geschätzt wird, daß bei Herbiziden mehr als 50% direkt und indirekt in den Boden gelangen. Pestizide werden an die Bodenaustauscher gebunden und reichern sich im Boden und den Bodenlebewesen an. So sind Regenwürmer heute noch mehrfach so stark mit DDT belastet wie der Boden. Daneben gelangen organische Schadstoffe wie chlorierte Kohlenwasserstoffe, Dioxine über die Luft in den Boden. Ein Teil der organischen Schadstoffe kann mit unterschiedlichen Raten von den Bodenlebewesen abgebaut werden.

16. Verdichtung von Böden

Bodenbearbeitung und *Bodenverdichtung* (*Versuch 13*) sind Belastungen, die in der Landwirtschaft auftreten. Sie bewirken zunächst eine Veränderung des Bodengefüges und in dessen Folge eine Beeinträchtigung des Bodenwasser- und -lufthaushaltes (*Versuch 11*). Daneben wird der Lebensraum der Bodenlebewesen gestört (*Versuch 19*).

Als Folge der Versiegelung und Verdichtung von Böden sowie der Anbaumethoden der intensiven Landwirtschaft, ist der Boden einer verstärkten Erosion, d.h. einem Bodenabtrag ausgesetzt: Fruchtbare Bodenmaterial wird durch Wind und Wasser abgetragen. Der Umfang der jährlichen Versteppung und Verkarstung durch Erosion wird global auf 3-4 Millionen Hektar geschätzt. Bodenschutzmaßnahmen gegen Erosion sind die Pflanzung von Feldgehölzen, ganzjährige Bodenbedeckung sowie schonende Bodenbearbeitung.

Besonderes Kennzeichen von Böden in urbanen Ökosystemen und Hauptunterschied zu natürlichen Böden ist, daß die Bodenentstehung, -entwicklung und die Ausbildung der Bodenfunktionen maßgeblich durch den Menschen beeinflußt wird. Stadspezifische Veränderungen erfolgen mit zunehmender Besiedlungstätigkeit vor allem durch Umlagerung sowie Auf- und Abtragung von Bodenmaterial (Baumaßnahmen), durch Verdichtung und Versiegelung des Bodens, durch Kontamination mit Abfällen und Schadstoffen. Dadurch zeigen Städteböden oft ein dichteres Bodengefüge (*Versuch 13*), geringeren Humusgehalt (*Versuch 7*), geringere Wasserspeicherkapazität (*Versuch 10*) und Wasserdurchlässigkeit (*Versuch 11*), eine geringere biologische Aktivität (*Versuch 19*) und nicht zuletzt eine Schadstoffanreicherung.

17. Überdüngung von Böden

Das Auftreten erhöhter Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser und in Lebensmitteln hat man in der Umweltschutz-Diskussion der letzten Jahre mit großer Aufmerksamkeit verfolgt. Während man keine direkte Schädigung des Menschen durch Nitrat (Primärwirkungen) kennt, sind Sekundärwirkungen durch Bildung von Nitrit aus Nitrat im Magen und im Darm möglich, und es kann bei Säuglingen dadurch zu nitratbedingter Blausucht (Methämoglobinämie) kommen. Auch Tertiärwirkungen durch die Bildung von Nitroso-Verbindungen, die zum Teil cancerogen sind, sind möglich. Bei der beab-

sichtigten Anpassung der Trinkwasserverordnung von 1976 an die EG-Richtlinien ist mit der Festlegung eines Grenzwertes von 50 mg Nitrat/l Wasser zu rechnen. Die Diät-Verordnung von 1982 legt ein Gehalt von 250 mg Nitrat/kg Frischgewicht z. B. von Salat und Möhren für Säuglinge und Kleinkinder als Grenzwert fest (*Versuch 18*).

Bewertung

Einteilung von Gemüse nach dem durchschnittlichen Nitratgehalt (mg/kg Frischsubstanz; nach Scharpf und Wehrmann 1984 und 1991 (s. Abb. 21.1)

Abb. 21.1.: Einteilung der Gemüsearten nach ihrem Nitratgehalt (nach AID)

Nitratgehalt	hoch 1000-4000 mg/kg	mittel 500-1000 mg/kg	niedrig 0-500 mg/kg
Blattgemüse	Kopfsalat, Fenchel Stilmangold, Feldsalat, Spinat		
Kohlgemüse	Grünkohl, Weißkohl, Wirsing-, Chinakohl	Blumenkohl Kohlrabi	Rosenkohl
Wurzelgemüse	Rote Beete, Rettich Radischen	Sellerie, Möhren	Kartoffeln
Zwiebelgemüse		Lauch	Knoblauch
Fruchtgemüse		Auberginen, Zucchini	Grüne Bohnen Gurken, Tomaten, Paprika

Quelle: von Koerber, Karl, Th. Männle, C. Leitzmann: Vollwert-Ernährung, 7. Aufl. 1993, Haug, Heidelberg, S. 168

Nitratgehalt	in Frischsubstanz	Art
sehr niedrig	250 mg/kg	Bohne, Erbse, Tomate
niedrig	500 mg/kg	Blumenkohl, Gurke
mittel	1000 mg/kg	Kohl, Karotten
hoch	2000 mg/kg	Porree, Rhabarber
sehr hoch	> 2000 mg/kg	Rote Beete, Salat, Spinat

Maßnahmen

Ein wichtiger Faktor, der den Nitratgehalt des Gemüses beeinflußt, ist die Höhe des Stickstoffangebotes, da mit steigender Stickstoffdüngung von der Pflanze mehr Nitrat aufgenommen und gespeichert werden kann. Dies gilt für organische und mineralische Düngung gleichermaßen. Zur Minderung des Nitratgehaltes im Gemüse ist deshalb eine gut abgewogene Stickstoffdüngung notwendig, d.h.:

- bedarfsgerechte Düngung nach der N-min Methode,
- kleinere Düngegaben über die Vegetationsperiode verteilt,
- langsam wirkende, organische Dünger (z.B. Kompost),
- Düngung auf übrige Wachstumsfaktoren (Wasser, Licht) abstimmen,
- nitratarme Gemüsesorten anbauen oder die nitratreichen Blattrippen entfernen,
- Nitratgehalt mit Teststäbchen kontrollieren.

Abb. 21.2: Empfehlungen (E), Grenzwerte (G) und Richtwerte (R) zur Nitratproblematik

Nitrataufnahme bei Erwachsenen	WHO-E.	220 mg NO ₃ ⁻
Trinkwasser	EG-G.	50 mg NO ₃ ⁻ /l
Trinkwasser	EG-R.	25 mg NO ₃ ⁻ /l
Diätnahrung	BRD-G	250 mg NO ₃ /kg
Spinat	BRD-R.	2000 mg NO ₃ /kg
Feldsalat	BRD-R.	2500 mg NO ₃ /kg
Kopfsalat, Radieschen, Rote Beete, Rettich	BRD-R.	3000 mg NO ₃ /kg

Pufferbereich	pH
Calciumcarbonat	6,2-8,3
Silikat	5,0-6,2
Austauscher	4,2-5,0
Aluminium	3,8-4,2
Aluminium/Eisen	3,2-3,8
Eisen	2,8-3,2

Der *Kalkpuffer* neutralisiert Säuren durch eine Reaktion mit Kalk (Calciumcarbonat); es stellt sich dabei ein pH von 8,3 - 6,2 ein. In der Landwirtschaft wird dieser Puffer durch Kalkdüngung jeweils erneuert. Ist der Kalk aufgebraucht - oder bei kalkarmen Böden nicht vorhanden -, sinkt der pH unter 6,2. Säuren werden dann durch den *Silikatpuffer* bis zu einem pH-Wert von 5,0 neutralisiert; die Wasserstoffionen werden in das Kristallgitter der Silikatminerale aufgenommen und dafür Nährstoffe wie Kalium freigesetzt. In diesem Pufferbereich herrschen günstige Bedingungen für die Pflanzen und Bodenlebewesen. Mit Ausnahme der Kalklandschaften wäre in mitteleuropäischen Böden der Silikat-Pufferbereich vorherrschend, wenn das natürliche bodenchemische Gleichgewicht nicht durch anthropogenen Säureeintrag gestört wäre.

Aufgrund der Säurebelastung befinden sich viele Böden jedoch im *Austauscher-Puffersystem* (pH 5,0-4,2), wo die Wasserstoffionen an die Austauscher (Tonminerale und Humusstoffe) des Bodens angelagert und dafür Nährstoffe (z.B. Ca, Mg) freigesetzt und in tiefere Bodenschichten ausgewaschen werden. Daher tritt in diesem Pufferbereich als Folge der Bodenversauerung neben der Säureschädigung Nährstoffmangel auf. Ist auch dieses Puffersystem durch anhaltenden Säureeintrag erschöpft, so werden unterhalb pH 4,2 Aluminium- und Eisenionen aus den Bodenmineralen freigesetzt. Die meisten Waldböden befinden sich bereits im *Aluminium-Pufferbereich* (pH 4,2-3,8). Da die freigesetzten Aluminiumionen starke Zellgifte sind, treten bei diesen Böden Waldschäden auf.

Vergleicht man die *Pufferkapazität* von Böden, d.h. die Menge an Wasserstoffionen, die durch die jeweiligen Puffersubstanzen neutralisiert werden kann, mit dem derzeitigen Säureeintrag, zeigt sich, daß nahezu alle kalkfreien Böden bis in den Bereich der Aluminiumfreisetzung versauern werden. Die Folgen werden der Verlust von Nährstoffen, die Schädigung der Mikroorganismen und Pflanzenwurzeln und weiträumige Waldschäden sowie die Gefährdung des Grundwassers durch giftige Ionen sein.

18. Bodenversauerung

Die Versauerung von Böden ist unter europäischen Klimaverhältnissen, aufgrund des Niederschlags des natürlicherweise leicht sauren Regenwassers, der natürliche Entwicklungsprozess der Böden. Allerdings wird dieser Prozess durch den Menschen in erheblichem Maße beschleunigt. Insofern gehört die Bodenversauerung zu den anthropogen bedingten Umweltveränderungen (*Versuch 15*).

Bewertung des Boden pH

Die Bewertung des pH muß auf dem Hintergrund des jeweiligen Puffersystems des Bodens vorgenommen werden. Böden verfügen über verschiedene Puffersysteme für den Säuregehalt, die in jeweils unterschiedlichen pH-Bereichen wirksam werden:

Raum für Notizen

0. Allgemeine Standortbeschreibung

1. Bodenprofil

- Bodenhorizonte
- Bodentyp
- Boden-Zustandsstufe

2. Mineralkörper

- Steingehalt
- Feinerdeanteil
- Bodenart

3. Humuskörper

- Humusgehalt
- Humusform

4. Wasser/Luft

- Bodenfeuchte
- Wasserkapazität
- Wasserdurchlässigkeit
- Nutzbares Wasserangebot

5. Bodengefüge

- Bodendichte
- Krümelstabilität/Bodengare

6. Acidität

- pH-Wert
- Kalkgehalt

7. Nährstoffe

- Nitratgehalt im Boden
- Nitratgehalt im Gemüse

8. Bodenleben

- Bodentiere

9. Entnahme von Bodenproben

Geräte und Material

Bodenuntersuchung	Gruppenarbeitssets (je sechsfach)	Einfach-Geräte	Externe Geräte
Allgemeines – Bodenhorizonte – Bodentyp – Zustandsstufe	• Wanne • Handschaufel • Löffel • 2 Plastiktüten mit Verschluß	• Waage • Wasserflasche à 500 ml • Meßzylinder (100 ml) • Flasche Ca Cl_2 (500 ml)	• 6 Schreibunterlagen mit Schreibstiften • Wasserbehälter • Abfalltüte
Bodenprofil – Bodenhorizonte – Bodentyp – Zustandsstufe		• Maßband (2 m)	• Pürkhauer, Plastikhammer, Klappspaten, Messer
Mineralkörper – Steingehalt – Feinerdeanteil – Bodenart	• — Wanne, Drahtnetz • —	• Waage • Wasser	
Humuskörper – Humusgehalt – Humusform	• — Trichter, Filter, Schnappdeckglas, Becher (250 ml)	• 3 Topfflaschen/Ammoniak (2%ig)	
Wasser/Luft – Bodenfeuchte – Wasserkapazität – Wasserdurchl.	• — • Becher, Trichter, Filter • Becher, Trichter, Filter	• — • Meßzylinder	• Metalldose, Uhr • Hammer, Brett
Bodengefüge – Bodendichte – Gefügeform/Stabilität	• Petrischale	• 1 Bodendichte-Meßfühler, • 1 Kraftmesser • Wasserflasche	
Acidität – pH-Wert – Kalkgehalt	• pH-Stäbchen mit Farbtafel, Filter, Becher (250 ml), Löffel • Petrischale	• Waage, CaCl_2 • 3 HCl Tropfflaschen,	
Bodenährstoffe – Nitrat	• Nitrat Indikator-Stäbchen mit Farbtafel, Becher, Filter, Löffel	• Waage	
Bodenleben – Bodentiere	• Sammelexhaustor, Pinsel, Schnappdeckelglas, Lupe, Wanne	• Aufbewahrungsgefäß für Bodenfauna	

Bodenprotokoll

Datum:	Ort:	Relief:
Name:	Neigung:	Vegetation:

cm	Profilskizze	Horizont
20		
10		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

Bodentyp:
.....

Zustandsstufe

Steingehalt/

Feinerde:

Humusgehalt:

REFERENCES

Wasserkapazität:

Was erwartet Sie?

Bedendichte:

Krümelstabilität:

pH-Wert:

Kalkgehalt:

Nitratgehalt:

Pflanzen

Bodentiere

Allgemeine Standortbeschreibung

Vor der eigentlichen Bodenaufnahme werden zunächst die wichtigsten allgemeinen Daten wie Ort, Vegetation, Relief und Neigung aufgenommen.

Vegetation: Es werden folgende Vegetationsformen bzw. Nutzungsformen unterschieden:

Ackerland, Grünland, Sonderkultur (z. B. Garten), Sozialbrache, sonstige Nutzung (z. B. Park, Grünfläche)
Wald, Forst, Ödland

Relief:



Das Relief hat Auswirkungen auf das Wasserangebot im Boden und somit auf die Luftversorgung.

Wasserangebot ($2 < 3 = 1 < 4 <$)

Neigung:

Schätzung der Neigung:

eben, schwach geneigt, mittel geneigt, stark geneigt, steil

Bewertung: Starke Neigung an Sonnenhängen erhöht die Bodentemperatur; bei stark geneigten Schattenhängen ist das Gegenteil der Fall.

Versuch 1: Bestimmen der Bodenhorizonte

Methode: Jeder Boden ist in verschiedene Horizonte gegliedert, die man aufgrund unterschiedlicher Farbe, Humus/Mineralgehalt u. a. Merkmale leicht erkennen kann.

Material: (evtl. Bodenbohrer, Hammer, Spaten) Handschaufel, Maßband

Durchführung: An einer Bodenabbruchkante, einem Bodenaushub (mit Spaten oder Handschaufel) oder einem Bodenkern (mit Pürkhauer) lassen sich die Bodenhorizonte beobachten. Prüfe, welche der unten beschriebenen Horizonte vorhanden sind und zeichne sie in den Aufnahmebogen ein.

O Organische Auflagen auf dem festen Boden (außer Torf)

OL Streuschicht; fast unzersetzte Pflanzenreste

OF Fermentationsschicht, Pflanzenreste in Zersetzung begriffen, Pflanzenstrukturen noch gut erkennbar.

OH Humusschicht, feinverteilter Humus ohne deutlich erkennbare Strukturen

A Oberster Mineralbodenhorizont

Ah humoser, dunkel gefärbter Horizont

A1 durch Ausschlämung an Ton verarmt, z. T. heller

Ae durch Podsolierung gebleicht, meist hellgrau

Aa anmoorig (15-30% org. Substanz)

B Verbraunter, Horizont unter dem A-Horizont

Bv durch Mineralverwitterung verbraunt, heller als A-Horizont

Bt mit Ton aus dem A-Horizont angereichert (in Sandböden oft gebändert)

C Ausgangsgestein der Bodenbildung (Untergrund)

Cv schwach verwittert, gelockert

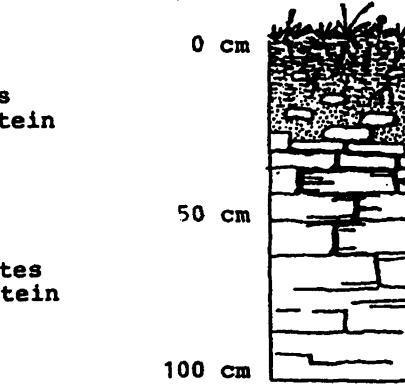
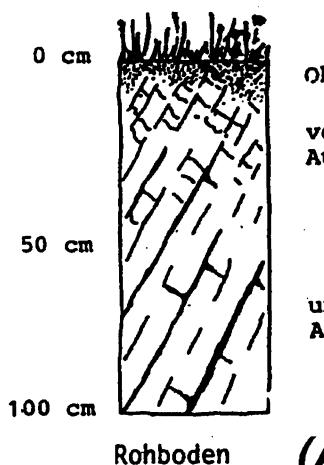
Cn unverwittert

G durch Grundwasser beeinflußter Horizont

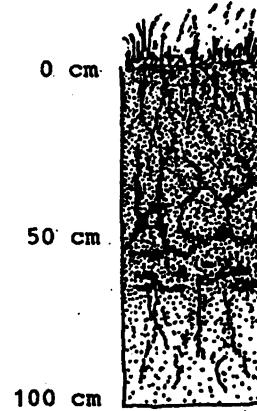
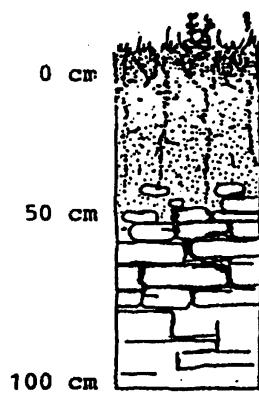
Versuch 2: Bestimmung des Bodentyps

Methode: Aus der charakteristischen Kombination und Abfolge von bestimmten Bodenhorizonten lässt sich der Bodentyp bestimmen.

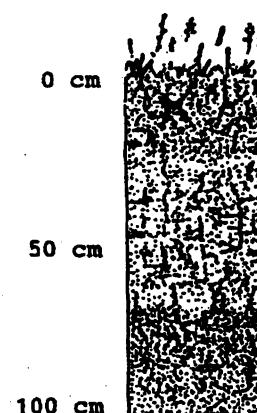
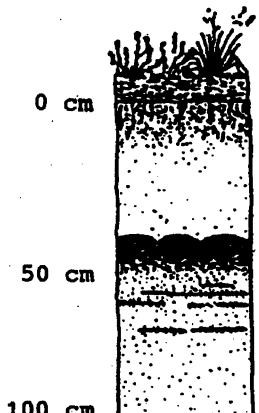
Durchführung: Vergleiche die Horizonte des Bodens (siehe Bestimmung der Bodenhorizonte) mit den Abbildungen (unten). Ermittle den Bodentyp. **Auswertung (Abb.):**



Rendsina (A-C)



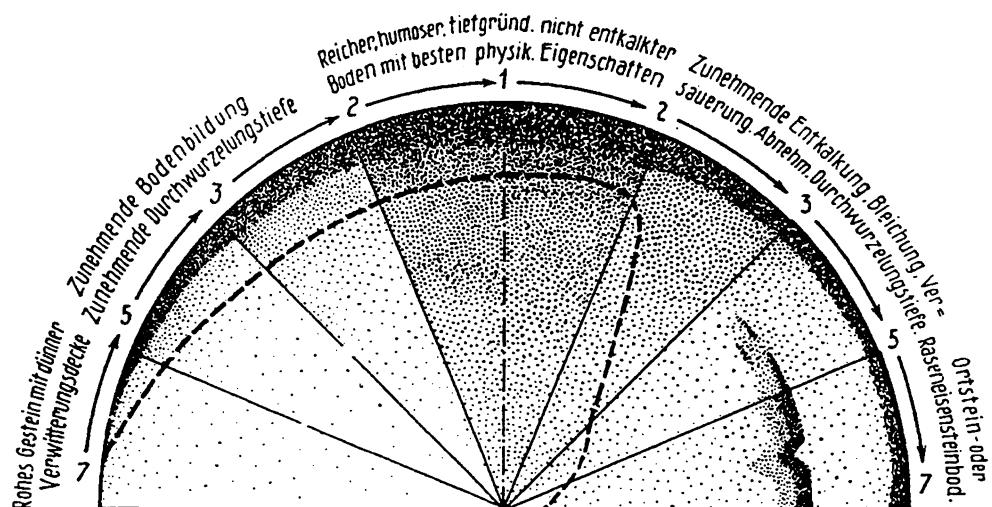
Schwarzerde (A-C)



Versuch 3: Bestimmen der Boden-Zustandsstufe

Methode: Aus der Abfolge der Bodenhorizonte bzw. dem Bodentyp kann die Boden-Zustandsstufe beschrieben werden, die den Entwicklungsstand eines Bodens angibt.

Durchführung: Aufgrund der Horizonte, ihrer Tiefe, Farbe und sonstigen Merkmale wird der Boden einer Zustandsstufe von 1-7 zugeordnet.



Die dunkle oberste Schicht zeigt die Entwicklung der Krume, die gestrichelte Linie stelle die Mächtigkeit des verwitterten und aufbereiteten Bodens dar. Die jungen (links 5 - bis 7) und die alten (rechts 5 und 7) Zustandsstufen bieten den Pflanzen einen geringen Wurzelraum; die jungen wegen noch schwacher Ausbildung der Krume, die alten wegen Verdichtungen im Unterboden. Die Zahlen in der Zeichnung bedeuten die Zustandsstufen.

Versuch 4: Schätzen des Steingehalts

Methode: Der Steingehalt des Bodens kann mit einer Flächenschätzskala abgeschätzt werden.

Material: Handschaufel

Durchführung: Kleinen Bodenaushub vornehmen (ähnlich Versuch 1, 2, 3)

Die Steine, die an der Profilwand sichtbar sind, werden nach ihrem Volumenanteil abgeschätzt.

Auswertung:



Vol. % Steine	< 1 sehr schwach	1-10 schwach	10-30 mittel	30-50 stark	50-75 sehr stark
------------------	------------------------	-----------------	-----------------	----------------	------------------------

Vol. % Steine	> 1	1 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 75	< 75
---------------	-----	--------	---------	---------	---------	------

Steinigkeit	sehr schwach	schwach	mittel	stark	sehr stark	Skelettboden
-------------	--------------	---------	--------	-------	------------	--------------

Bewertung: Ein hoher Steingehalt senkt durch den Volumenbedarf den Gehalt an Feinboden, der für die Bodenfruchtbarkeit bedeutsam ist.



Versuch 5: Ermitteln des Feinerdeanteils

Methode:

Bedeutsam für die Qualität eines Bodens ist vor allem der Feinerdeanteil (Durchmesser < 2mm). Er wird für alle weiteren Untersuchungen verwendet.

Material:

Körnungssieb, Waage

Durchführung:

Ein bis zwei Schaufeln Boden werden auf das 2 mm Sieb gegeben und der Feinboden in die Schale gesiebt. Durch Wiegen der beiden Fraktionen (Grobboden/Feinboden) kann man den prozentualen Anteil des Grobbodens berechnen.

Der Feinboden wird für die weiteren Bodenuntersuchungen benötigt.

Versuch 6: Bestimmung der Bodenart**Methode:**

Die Körnung des Feinbodens (Partikel < 2 mm) d.h. die Bodenart – wird im Gelände mit der Fingerprobe ermittelt. Zur Unterscheidung der Bodenarten dienen vor allem die Kriterien Formbarkeit, Körnigkeit, Bindigkeit und Glanz der Reibeflächen.

Material: Wasser, Bohrstock oder Handschaufel

Durchführung: Etwas Boden wird aus dem Mineralbodenhorizont (Tiefe ca.> 30 cm) entnommen, im Handteller leicht durchfeuchtet und solange geknetet, bis der Glanz von der Feuchtigkeit verschwindet. Damit wird eine „genormte“ Bodenfeuchtigkeit erreicht. Anschließend wird nach dem Bestimmungsschlüssel verfahren, mit dem nach folgenden Kriterien die Bodenart bestimmt werden kann (siehe 2. Blatt).

1. Formbarkeit: Prüfung, ob ein Boden beim Kneten zu beständigen Körpern geformt werden kann (z. B. zu einer bleistiftdicken Wurst).
2. Körnigkeit: Anteil der Körner, die beim Reiben zwischen den Fingern als Einzelkörner identifiziert werden können.
3. Bindigkeit/Klebrigkeits: Widerstand, den ein zwischen den Fingern gepreßtes Stück Boden dem Auseinanderweichen der Finger entgegengesetzt.
4. Glanz der Reibeflächen: Eine kleine Bodenmenge wird zwischen zwei Fingern glattgestrichen. Die Oberfläche kann beim Betrachten gegen das Licht glänzen.

Fehlerquellen: Die Bestimmung der Bodenart ist bei höheren Gehalten an organischer Substanz schwierig, da diese die Bindigkeit und Formbarkeit erhöht. Daher vor allem bei Sanden je nach Humusgehalt 1-2 Körnungsklassen zurückstufen.

Versuch 6: Bestimmung der Bodenart mit Fingerprobe (Blatt 2: Schlüssel)
Diagnostische Merkmale
Bodenart

1. Versuche, die Probe zwischen den Handtellern schnell zu einer bleistiftdicken Wurst auszurollen.
 - a. nicht ausrollbar: Gruppe der Sande
 - b. ausrollbar: Gruppe der sandigen Lehme, Lehme und Toneweiter bei 2

weiter bei 4

2. Prüfen der Bindigkeit zwischen Daumen und Zeigefinger
 - a. nicht bindig: Sande
 - b. bindig:weiter bei 3

lehmiger Sand (IS)

3. Zerreißen auf der Handfläche
 - a. in den Handlinien kein toniges Material sichtbar:
 - b. in den Handlinien toniges Material sichtbarSand (S)

anlehmiger Sand (SI)

4. Versuch, die Probe zu einer Wurst von halber Bleistiftstärke auszurollen
 - a. nicht ausrollbar:
 - b. ausrollbar: sandiger Lehm, Lehm oder Tonestark sandiger Lehm (SL)

weiter bei 5

5. Quetschen der Probe zwischen Daumen und Zeigefinger in Ohrnähe
 - a. starkes Knirschen:
 - b. kein oder schwaches Knirschen: Lehm oder Tonesandiger Lehm (SL)

weiter bei 6

6. Beurteilen der Gleitfläche bei der Quetschprobe
 - a. Gleitfläche stumpf:
 - b. Gleitfläche glänzend: ToneLehm (L)

weiter bei 7

7. Prüfen zwischen den Zähnen
 - a. Knirschen:
 - b. butterartige Konsistenz:lehmiger Ton (LT)

Ton (T)

Versuch 7: Schätzen des Humusgehalts

Methode: Der Humusgehalt lässt sich aus dem Grauanteil der Farbe des feuchten Bodens ableiten.

Material: Weißes Papier, Wasser, Handschaufel

Durchführung: Eine Schaufel Boden (aus dem A-Horizont) wird leicht angefeuchtet und auf ein Papier gelegt.

Der Grauanteil der Bodenfarbe wird nach untenstehender Tabelle abgeschätzt. Leichter als die absolute Bestimmung ist der Vergleich zweier unterschiedlicher Böden.

Auswertung:

Bei gleichem Humusgehalt sind Sande dunkler als feinkörnige Böden.

Farbe	Humusgehalt in %	
	Sand	Lehm/Schluff/Ton
weiß		< 0,2
hellgrau	< 0,2	0,2 - 1
grau	0,2 - 1	1 - 2
dunkelgrau	1 - 2	2 - 4
schwarzgrau	2 - 4	4 - 8
schwarz	4 - 15	8 - 15

Humusgehalt	0 - 0,2	0,2 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	> 30
Bezeichnung	sehr humusarm	humusarm	humushaltig	humos	humusreich	sehr humusreich	anmoorig	Torf

Bewertung:

Humus fördert die

- Wasserspeicherfähigkeit und den Wasserdurchlauf
- Erwärmung des Bodens
- lockere Bodenstruktur
- Nährstoffversorgung und -speicherung

Versuch 8: Analyse der Humusform

Methode: Durch einen Auszug mit Ammoniaklösung lässt sich die Art des Humus (Humusform) bestimmen.

Materialien: Trichter, Filter, Becherglas, Schnappdeckelglas

Durchführung:

- Schlämme ca. 5 g des Bodens (ein Löffel) mit ca. 10 ml Ammoniaklösung im Schnappdeckelglas auf!
- Filtriere die Bodenlösung in dem Becherglas ab!

Bestimme aufgrund der Färbung die Humusart!

Auswertung:

Färbung des Filtrats	Humusart
wasserhell	Mull
gelb (hell)	Mischform von Mull und Rohhumus (Moder) – Rohhumusanteil gering
gelb (dunkel)	– Rohhumusanteil hoch
dunkelbraun	Rohhumus

Bewertung:

Kriterium	Mull	Moder	Rohhumus
Streuzersetzung	++	+	(-)
Bodenwühler	++	+	-
pH	neutral bis schwach sauer	sauer	stark sauer
Nährstoffversorgung	gut	mittel	schlecht

++ = sehr deutlich. + = deutlich. (-) = kaum erkennbar. - = fehlt.

Versuch 9: Schätzen der Bodenfeuchte

Methode: Der aktuelle Sättigungsgrad mit Wasser kann durch Schätzen der Feuchte ermittelt werden.

Material: Handschaufel, Wasser

Durchführung: Ein wenig Boden wird in die Hand genommen und sein Verhalten beim Drücken, Formen, Befeuchten und Reiben geprüft (siehe untere Tabelle).

Auswertung:

Drücken der Probe	Formen (zu einem Ball)	Befeuchten der Probe	Reiben (in warmer Hand)	Feuchte
staubt	bindet nicht	dunkelt stark	nicht heller	dürr
staubt	bindet nicht	dunkelt merklich	kaum heller	trocken
staubt	formbar (außer Sand)	dunkelt nicht	merklich heller	frisch
klebt	etwas freies Wasser bzw. schwacher Glanz	dunkelt nicht	merklich heller	feucht
freies Wasser	zerfließt bzw. Wasser tropft ab	dunkelt nicht	merklich heller	naß
freies Wasser	fällt auseinander	dunkelt nicht	merklich heller	sehr naß

Versuch 10/11.: Untersuchung der Wasserkapazität und Wasserdurchlaufgeschwindigkeit

Methode: Die Wasserkapazität kann bestimmt werden, indem ein Boden mit Wasser gesättigt wird und die im Boden gespeicherte Wassermenge bestimmt wird. Die Wasserdurchlaufgeschwindigkeit ergibt sich als durchgeflossene Wassermenge pro Zeiteinheit.

Geräte/Material: Becherglas, Trichter, Filter, Meßzylinder, Wasser, Waage.

In den Trichter mit Filter werden ca. 30 g möglichst trockener Boden gegeben.

Auf die jeweilige Bodenprobe werden nun 30 ml Wasser gegeben. Das durchfließende Wasser wird im Becherglas aufgefangen.

Ist das Wasser durchgelaufen, wird die aufgefangene Wassermenge nochmals auf die Bodenprobe gegeben. Dies kann mehrmals wiederholt werden, bis der Boden voll mit Wasser gesättigt ist.

Beim zweiten oder dritten Wasserdurchlauf wird die Anzahl der Tropfen pro Minute (bzw. 4 x 15 Sekunden) aufgenommen (= Tropfgeschwindigkeit).

Auswertung: Ist das Wasser vollständig durchgelaufen, wird aus dem verbliebenen Wasser die Wassermenge, die der Boden aufgenommen hat, bestimmt.

Wasserkap. (Gew.%) = aufgen. Wassermenge(ml) x 100

Bodengew.(g)

Die **Wasserdurchlaufgeschwindigkeit** ergibt sich direkt aus der Zahl der Tropfen pro Minute.

Versuch 12: Ermitteln des nutzbaren Wasserangebotes

Methode: Unter nutzbarer Wasserkapazität (nWK) versteht man das Bindungsvermögen für pflanzenverfügbares Wasser im Boden. Sie korreliert mit Bodenart, Humusgehalt und Lagerungsdichte.

Durchführung: Aus den Daten Bodenart und Humusgehalt kann das nutzbare Wasserangebot berechnet werden.

Auswertung:

Bodenart Vol. % nWK	S 8	SI 11	IS 14	SL 18	sL 20	L 20	LT 17	T 13
------------------------	--------	----------	----------	----------	----------	---------	----------	---------

Die Werte erhöhen sich durch den **Humusgehalt** bei der Stufe (um %):

humus- arm	humus- haltig	humos	humus- reich	sehr humus- reich	an- moorig	torfig
bei S- SL um 1	2	3	7	14	30	40 Vol. %
bei sL- T, um 0	1	2	4	8	30	40 Vol. %

Die nutzbare Wasserkapazität ist um den Steingehalt zu vermindern (Versuch 4), z. B. bei 50 Vol. % Steinen um die Hälfte.

Durch Multiplikation der so ermittelten nutzbaren Wasserkapazität (nWK) in Vol. % mit der Mächtigkeit des betreffenden Horizonts (Versuch 1) ergibt sich die nutzbare Wasserkapazität in l/m² (bzw. mm).

Um die nutzbare Wasserkapazität für den gesamten Wurzelraum zu ermitteln werden die entsprechenden (durchwurzelten) Horizonte aufaddiert.

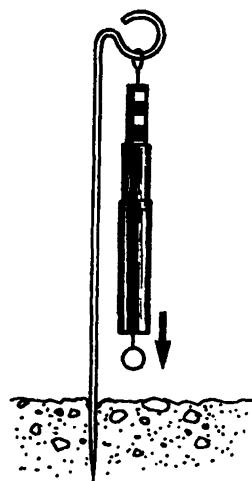
Bewertung:

< 50	-	90	-	140	-	200	>	mm
sehr gering	gering	mittel		hoch	sehr hoch			

Versuch 13: Messung der Bodendichte

Methode: Der Grad der Bodenverdichtung kann über den Eindringwiderstand eines spitzen Gegenstandes (Boden-Dichte-Meßfühlers) bestimmt werden. Mit der Messung erlangt man lediglich Vergleichswerte.

Material: Federwaage, Bodendichte-Meßfühler



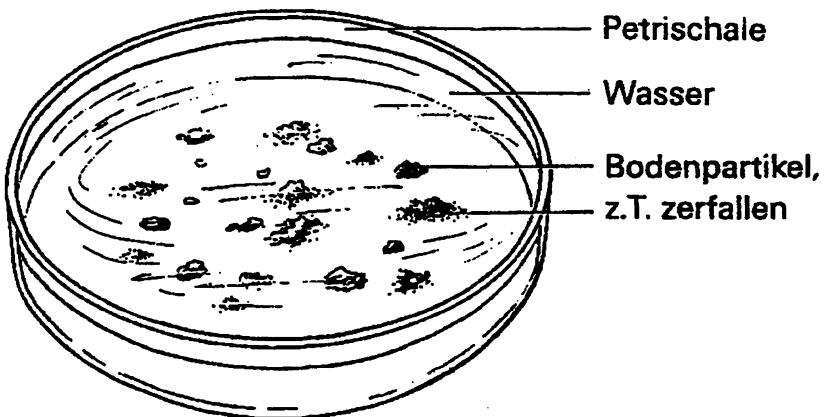
Durchführung: Die Federwaage am Meßfühler befestigen. Den Meßfühler mit Hilfe der Federwaage in den Boden ziehen. Dabei ablesen, welche Kraft erforderlich ist. Mehrere Versuche an verschiedenen Stellen durchführen und Mittelwerte bilden.

Bewertung: Verdichteter Boden wirkt negativ auf den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens und damit auf alle biologischen Prozesse im Boden.

Versuch 14: Messung der Krümelstabilität/Bodengare

Methode: Bodengare ist ein Ausdruck fruchtbaren Bodens mit guten physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften. Sie kann grob über die Stabilität der Bodenkrümmel abgeschätzt werden.

Material: Wasser, Petrischale



Durchführung

Aus einer Tiefe von ca. 10-20 cm wird ein Löffel Boden in natürlicher Lagerung, d. h. ohne ihn in seiner Struktur zu verändern (zerteilen, drücken o.ä.) entnommen. In der Petrischale werden 20 etwa zwei bis fünf Millimeter große Bodenkrümel gelegt und vorsichtig mit Wasser überstaут. Darauf wird sie vorsichtig im Kreis geschwenkt (30 Sek.), ähnlich wie beim Lösen von Bodensätzen in Eimern oder Tassen.

Aufgrund des Zerfalls kann der Widerstand abgeschätzt werden, den die Bodenteilchen der Verschlämzung entgegensezten.

Auswertung:

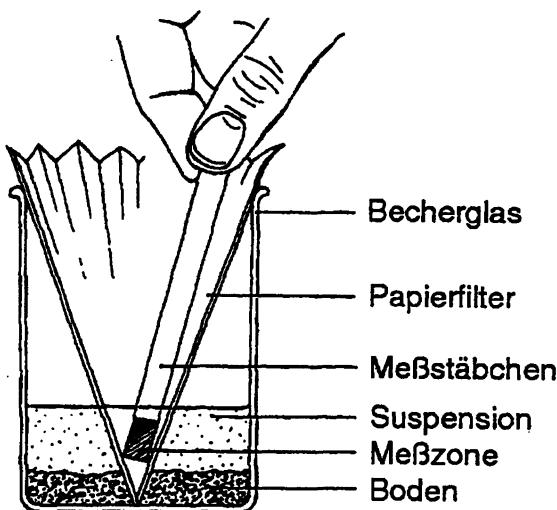
Zustand der Aggregate nach dem Test	Krümelstabilität
Kein Zerfall oder nur große Bruchstücke	sehr groß (100%)
Vorwiegend große Bruchstücke	groß (100%)
Etwa gleich viele große und kleine Bruchstücke	mittel (50%)
Nur kleine Bruchstücke und Trübung	gering (15%)
Völliger Zerfall und starke Trübung	sehr gering (10%)

Bewertung: Eine große Krümelstabilität wirkt positiv auf den Wasser- und Lufthaushalt und wirkt der Bodenerosion entgegen.

Versuch 15: Messung der Bodenreaktion (pH-Wert)

Methode: Der Säurezustand des Bodens wird als pH-Wert ausgedrückt; er gibt den Gehalt an Wasserstoffionen in einer Flüssigkeit an.

Geräte/Material: pH-Indikatorstäbchen, Becherglas, Filter, CaCl_2 -Lösung (0,1 m)



Eventuell sollte der pH-Wert des verwendeten Wassers vorher gemessen werden (Blindprobe).

Durchführung: Als Probenmaterial wird Feinboden verwendet. Mit diesem Feinboden wird eine Aufschlämmung im Verhältnis 10 g Boden: 25 ml Flüssigkeit (CaCl_2 -Lösung) (z.B. 20g/50ml) hergestellt. Feinboden mit CaCl_2 -Lösung mehrmals kräftig rühren und einige Zeit stehen lassen. Frühestens nach 10 Minuten dürfte sich ein Gleichgewicht in der Schlämmlflüssigkeit eingestellt haben. Anschließend wird ein Filter in die Bodensuspension getaucht, so daß sich klare Lösung im Inneren des Filters sammelt. In dieser klaren Lösung wird der pH-Wert gemessen.

Stäbchen sollen für ca. 3 Minuten eingetaucht werden.

Auswertung:

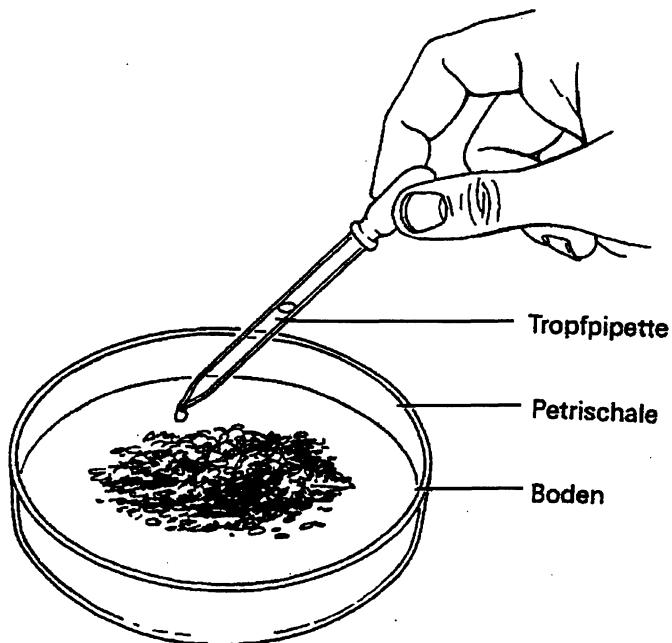
pH < 3,5	-4,5	-5,5	-6,5	-7,2	-8,5	>8,5
extrem sauer	stark sauer	sauer	schwach sauer	neutral	alkalisch	stark alkalisch

Bewertung: Ein neutraler bis leicht saurer pH-Wert des Bodens (pH 6 bis 7)
– fördert die biologische Aktivität des Bodens und somit die Humusumsetzung,
– fördert die Löslichkeit der Nährstoffe,
– verhindert die Freisetzung giftiger Aluminiumionen,
– und fördert das Pflanzenwachstum.

Versuch 16: Bestimmung des Kalkgehaltes

Methode: Boden des jeweiligen Horizonts mit HCl behäufeln eine mögliche CO₂-Entwicklung in Form mehr oder weniger starker Bläschenbildung beobachten. Salzsäure als starke Säure verdrängt die schwächere Kohlensäure aus ihrem Salz. Kohlensäure zerfällt in Wasser und in das entweichende Kohlenstoffdioxid.

Geräte: Petrischale, Tropfflasche mit 10%iger Salzsäure



Durchführung: Eine kleine Menge Boden (etwa ein Löffel) in eine Schale geben. Einige ml verdünnte Salzsäure darauf tropfen und die Bläschenbildung beobachten.

Auswertung:

Reaktion	Kalkgehalt	Beurteilung
kein Aufbrausen	unter 1%	kalkarm
schwaches, kurzes Aufbrausen	1-3%	schwach kalkhaltig
deutliches, vergängliches Aufbrausen	3-5%	kalkhaltig
starkes, anhaltendes Aufbrausen	über 5%	stark kalkhaltig

Bewertung: Kalk reguliert den pH-Wert des Bodens.
Kalk verbessert die Bodenstruktur.
Kalk fördert das Bodenleben.

Versuch 17: Messen des Nitratgehaltes im Boden (Durchführung)

Methode: Der Nitratgehalt des Bodens kann auf einfache Weise mit Nitrat-Teststäbchen ermittelt werden, die einen Farbindikator enthalten, der sich je nach Menge des vorhandenen Nitrats färbt.

Geräte/Material: Bodenbohrer, Spaten oder Handschaufel, Becherglas, Filter, Nitrat-Teststäbchen, Wasser, Uhr, Waage

Bodenprobenentnahme: Je nach Pflanzenart werden unterschiedliche Bodentiefen durchwurzelt. Dementsprechend sind die Bodenproben zu entnehmen (bis zu 90 cm Tiefe, z. B. mit Bohrstock).

Durchführung: Je Bodenschicht 100 g Bodenprobe einwiegen und mit 100 ml Aqua dest. kräftig aufrühren.

Faltenfilter in die Bodensuspension eintauchen. Nitrat-Teststäbchen kurz (1 bis 2 Sekunden) in das Filtrat im Inneren des Filters eintauchen. Filtriert die Bodensuspension schlecht, Teststäbchen kurz an die feuchte Filterinnenwand pressen.

Nach Ablauf von 1 Minute Verfärbung des Nitrat-Teststäbchens mit der Farbskala auf der Dose vergleichen. Die folgende Tabelle gibt eine grobe Orientierung über den Versorgungszustand des Bodens in Abhängigkeit von der Nitratkonzentration. Eine genauere Bewertung kann aufgrund des individuellen N-Bedarfs von Pflanzen erfolgen. Die auf der Skala angegebenen mg NO₃/l-Werte entsprechen bei dieser Untersuchung kg N je ha in der jeweiligen Bodenschicht von 30 cm Stärke.

Auswertung: Alle drei Schichten zusammengerechnet, ergeben den kg-Wert pro ha des Gesamtbodens 0 bis 90 cm. Dieser Wert gibt grob den N-min-Vorrat im Boden an.

Konz. Nitrat (mg/l)	Versorgungszustand des Bodens
0 - 40	niedrig
40 - 75	mittel
75 -150	hoch
150 und mehr	übersorgt

Versuch 18: Messen des Nitratgehaltes in Obst / Gemüse

Methode: Der Nitratgehalt von Getränken und Lebensmitteln kann auf einfache Weise mit Teststäbchen (Farbreaktion) gemessen werden.

Material: Nitrat-Teststäbchen

Durchführung: Pflanzenmaterial mit einem Messer durchschneiden, Teststreifen an der Schnittfläche befeuchten (1 sek.). Nach 1 Minute den Verfärbungsgrad der Farbskala vergleichen.

Das Pflanzenmaterial kann auch mit einer Haushalts presse (z.B. Knoblauchpresse) zerdrückt werden, um Pflanzensaft zu gewinnen. Bei Pflanzenmaterial mit hohen Nitratgehalten wird der Peßsaft mit dem entsprechenden Verdünnungsfaktor (hier: 10) multipliziert.

Auswertung: Die Ablesung erfolgt in mg Nitrat pro kg Pflanzenmaterial.

Bewertung: Hohe Nitratgehalte in Lebensmitteln beeinträchtigen die Gesundheit!

Nitrataufnahme bei Erwachsenen	WHO-E.	220 mg NO ₃ ⁻
Trinkwasser	EG-G.	50 mg NO ₃ ⁻ /l
Trinkwasser	EG-R.	25 mg NO ₃ ⁻ /l
Diät nahrung	BRD-G.	250 mg NO ₃ ⁻ /kg
Spinat	BRD-R.	2000 mg NO ₃ ⁻ /kg
Feldsalat	BRD-R.	2500 mg NO ₃ ⁻ /kg
Kopfsalat, Radieschen, Rote Beete, Rettich	BRD-R.	3000 mg NO ₃ ⁻ /kg

Empfehlungen (E), Grenzwerte (G) und Richtwerte (R) zur Nitratproblematik

Versuch 19: Erfassen der Bodentiere

Methode: „Größere“ Bodentiere können in der Laubstreu oder in der oberen Bodenschicht gesammelt werden.

Material: Sammelexhaustor, Pinsel, Schnappdeckelglas, Lupe, Schale

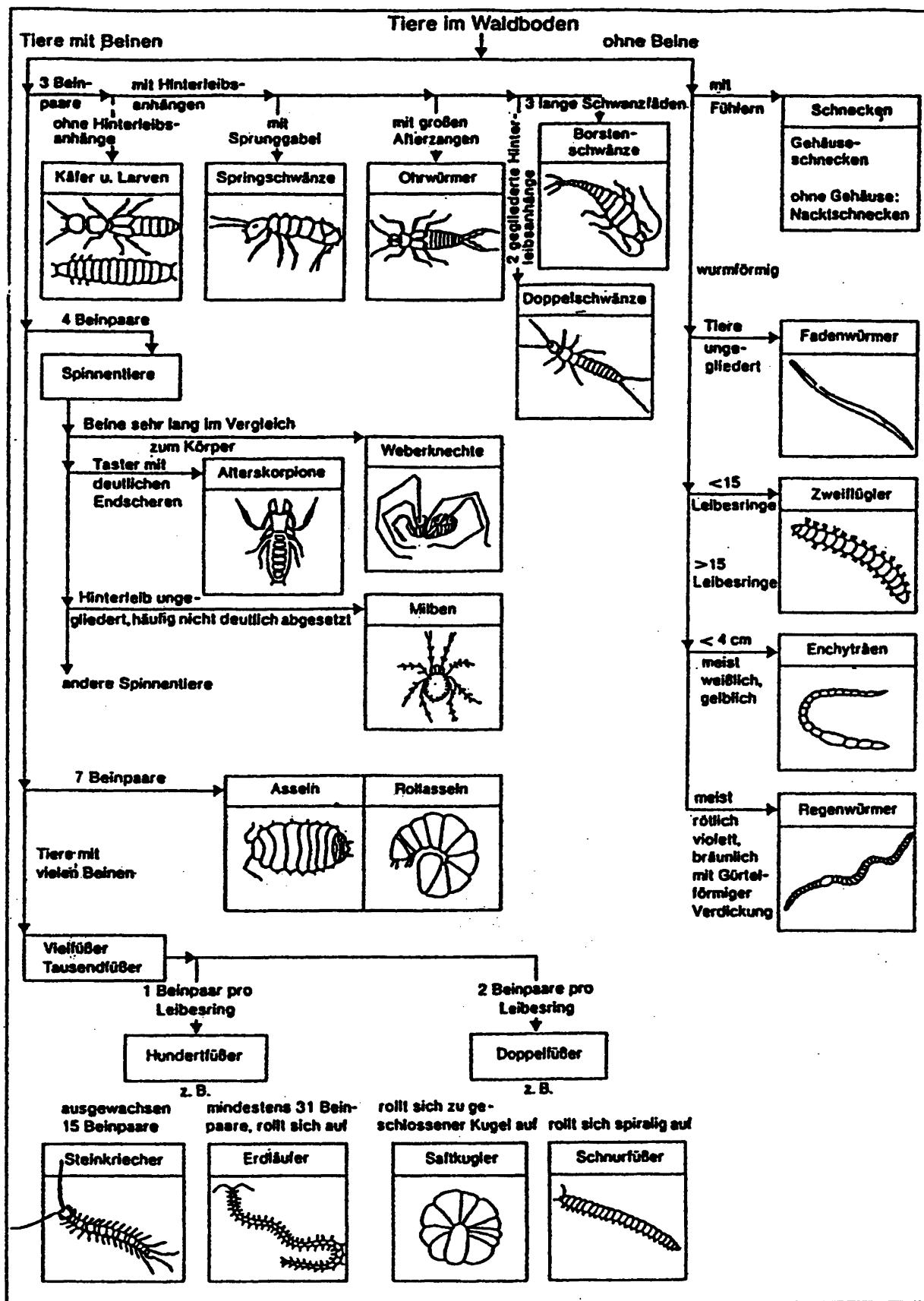
Durchführung:

1. Kleinere Tiere kannst Du mit dem Haarpinsel aufnehmen und in eine Petrischale (mit Deckel) geben.
2. Sauge die Kleinsttiere mit dem Exhauster an und gib sie ebenfalls in eine Petrischale.
3. Siebe die Laubstreu und suche das gesiebte Feinmaterial ebenfalls nach Kleinsttieren ab.
4. Ordne die gefundenen Tiere mit Hilfe des Bestimmungsschlüssel (nächstes Blatt) den nachstehenden Tiergruppen zu und trage die Zahlen in die Tabelle bzw. in das Bodenprotokoll ein.

Auswertung:

Gruppe	Anzahl	Gruppe	Anzahl
1. Springschwänze		10. Milben	
2. Ameisen		11. Pseudoskorpione	
3. Käfer insgesamt		12. Tausendfüßer insg.	
a) Laufkäfer		a) Schnurfüßer	
b) Schnellkäfer		b) Saftkugler	
c) Kurzflügler		c) Erdläufer	
d) Rüsselkäfer		d) Steinkriecher	
4. Schnecken		Sonstige Arten:	
5. Asseln/Rollasseln		13.	
6. Regenwürmer		14.	
7. Spinnen		15.	
8. Weberknechte		16.	

Versuch 19: Bestimmungsschlüssel für Bodentiere



Versuch 20: Entnahme von Bodenproben

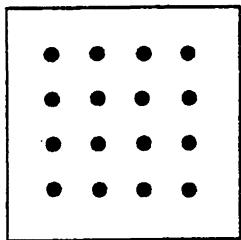
Um den Boden im (Schul-) Labor eingehender zu untersuchen, können Proben vom Standort genommen werden.

Material: Handschaufel, Plastiktüten, Schreiber

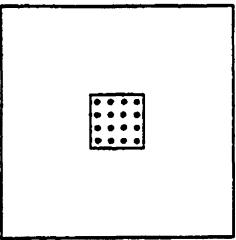
Durchführung: Damit Zufälle ausgeschlossen werden, die durch die Probenentnahme an einer einzigen Stelle entstehen können, muß eine sogenannte Mischprobe genommen werden, d. h. es wird an verschiedenen Stellen Boden entnommen und gemischt. Die Anzahl der Einzelproben ergibt sich aus der Größe der zu untersuchenden Fläche:

Bei einer Fläche von 1 a (= 100 m²) werden 10 Einzelproben und bei einer Fläche von 20 m² 5 Einzelproben für die Mischprobe entnommen.

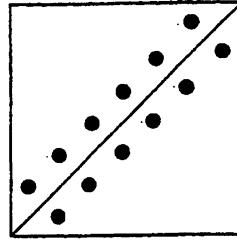
I. normale Durchschnittsprobe



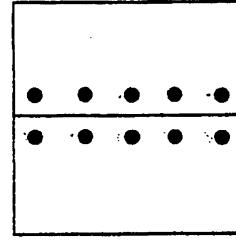
II. Testparzelle



III. Diagonale



IV. Querstreifen



Je nach zu untersuchendem Bodenfaktor wird eine Probe aus dem Ober- oder dem Unterboden genommen.

Oberboden (bis ca. 30 cm)

- Humusgehalt
- Bodenleben
- pH-Wert, Kalk

Unterboden (ca. 30-60 cm)

- Bodenart
- (pH-Wert, Kalk)

Ober- und Unterboden jeweils getrennt

- Stickstoff

Die einzelnen Teilproben des Ober- und Unterbodens sind in zwei getrennten Eimern zu sammeln und jeweils gründlich zu durchmischen. Um möglichst typische Proben zu erhalten, empfiehlt es sich, die Übergangsbereiche zwischen zwei Horizonten zu verwerfen und nur charakteristische Horizontbereiche zu entnehmen. Alle Besonderheiten, wie besondere Verfärbung u. ä., sollten gesondert behandelt werden. Anschließend werden die Proben mit einem Sieb durchgesiebt, um die größeren Bestandteile, wie Steine und Wurzeln, abzutrennen.

Raum für Notizen

29. Inhalt des Bodenkoffers 30836.88

<i>Gerätebezeichnung</i>	<i>Best.Nr.</i>	<i>Stk</i>
Wanne 150x150x65 mm	33928.00	6
Haarpinsel, fein	64702.00	6
Lupenglas, groß	64600.00	6
Schnappdeckelgläser 60 ml, 10 Stk	33623.03	1
Gummistopfen 27/21,		
2 Bohrungen 7 mm	39257.02	6
Glasröhrchen 8 mm, l = 8 cm, 10 Stk	36701.65	2
Schlauch d ₁ = 7 mm, 1m	03985.00	6
Drahtnetz 15x15 cm	33284.00	6
Petrischalen, PS, d = 9 cm, 20 Stk	64709.03	1
Bodendichte-Meßfühler, NIRO, l = 58 cm	64244.00	1
Handschaufel, Stahl	40484.02	6
Laborbecher PP, hohe Form, 250 ml	36013.01	6
Trichter PP, d = 75 mm	46895.00	6
Tropfflasche PE, 50 ml	33920.00	6
Meßschaufel 10 ml	47457.00	6
Beutel mit Verschluß PE, DINA5,100 Stk.	46444.01	1
Vierkantflasche PE, enghals, 500 ml	47396.00	1
Vierkantflasche PE, weithals, 500 ml	47400.00	1
Meßzylinder PP, 100 ml	36629.01	1
Maßband, gekapselt, l = 2 m	09936.00	1
Rundfilter 595, d = 150 mm, 100 Stk	47570.06	1
Kraftmesser 100 N	03065.07	1
Waage 250 g	46000.00	1
Nitrat-Teststäbchen, 100 Stk	31679.10	1
pH-Teststäbchen pH 2...9, 100 Stk	30301.06	1
Handbuch Bodenuntersuchungen	30836.01	1
zusätzlich erforderlich bzw. wünschenswert:		
Umweltatlas Boden, Software	83017.00	1
Ammoniak-Lösung, 25 %, 250 ml	30933.25	1
Calciumchlorid Hexahydrat, 100 g	48020.10	1
Salzsäure, 10 %, 500 ml	31821.50	1
Bohrstock (Pürkhauer), d = 3 cm, l = 1 m oder: Erdbohrer, d = 13 mm, l = 48 cm	64221.01 64222.00	1 1

30. Einsatz des Computers bei bodenkundlichen Untersuchungen

Die Bodenuntersuchungen im Freiland mit Hilfe des „Phywe Bodenkoffers“ können durch ein PC-Programm zur Datenauswertung unterstützt werden. Der „Umweltatlas Boden“, eine vom Institut für Film in Wissenschaft und Unterricht (FWU) herausgegebene Unterrichtssoftware eignet sich dazu in besonderer Weise, da sie weitgehend auf die Experimente des Bodenkoffers abgestimmt ist. Die CD-ROM kann bei den Landesbildstellen der Bundesländer entliehen werden.

Der „Umweltatlas Boden“ unterstützt die Datenaufnahme mit abrufbaren Texten zu den wichtigsten Bodenfaktoren, sowie durch geographische, bodenkundliche und geologische Karten.

Die mit den Bodenuntersuchungen erhobenen Daten können in ein Meßblatt eingetragen, gespeichert und verglichen werden. Dies bietet sich insbesondere an beim Vergleich von

- Böden unterschiedlicher Ökosysteme (Wald versus Wiese, oder Stadt)
- Böden unterschiedlicher Vegetation (Laubwald versus Nadelforst)
- Böden entlang eines Transektes (Wald, Waldrand, Wiese, Acker)
- Böden unterschiedlicher Bewirtschaftungsarten (konventionell versus ökologisch)
- Böden unterschiedlicher Bodentypen (Braunerde, Schwarzerde u.a.)
- Böden unterschiedlicher Lage (Transekt entlang eines Reliefs)
- Bodenfaktoren im Laufe mehrerer Jahre (z.B. Kontrolle von Düngemaßnahmen).

Darüber hinaus können die Freilanduntersuchungen (Phywe Bodenkoffer) durch (Schul) Labor-Untersuchungen des Bodens (Umweltatlas-Boden) erweitert werden. Die Berechnung der notwendigen Kalk- und Stickstoffdüngung, sowie die Simulationen von Bodenprozessen stellen weitere, hilfreiche Ergänzungen dar.

31. Literatur*AID:*

Nitrat im Grundwasser und Nahrungspflanzen. AID Nr. 136/1984.

Bergerow, G. G. und Rodi, D.

Eigenschaften verschiedener Böden. In: UB, Heft 57, 1981, S. 24-30.

Bergerow, G.-G.; Rodi, D.; Bay, F. und Kriegelsteiner, G.J.:
Thema Acker. IPN - Einheitenbank. Köln: 1978.*Bicsan, P. B. und Wurdinger, M.*

Bodenart und Bodenfruchtbarkeit. In: Praxis Geographie 17, 1987, 11, S. 36-42.

Blume, B. und Blume, H. P.

Feldarbeit zur Bodenbewertung. In: Geographie heute, 1986, 42, S. 40-45.

Blume, H. P. und Friedrich, F.

Bodenkartierung, Standortbewertung und Ökoplanung. Verh. Ges. Ökologie 7 (1978) S. 145.

Bochter, R.

Boden und Bodenuntersuchungen. Köln: Aulis, 1995.

Böttner, R. und Eck, V.

Der Boden – ein fast vergessenes Thema. In: NiU - Physik/Chemie 12, 31, 1983, S. 430-439.

Brauns, A.

Praktische Bodenbiologie. Stuttgart: 1968.

Brucker, G.

Bodenbiologie. In: UB 57, 1981, S. 2-11.

Brucker, G. und Kalusche, D.

Bodenbiologisches Praktikum. Biologische Arbeitsbücher Bd. 19. Heidelberg: Quelle und Meyer, 1976.

Brucker, G.; Kalusche, D.

Boden und Umwelt. Bodenökologisches Praktikum. Heidelberg: Quelle & Meyer, 1990.

Démgen U. und Fröhlauf, D.

Bodenversauerung und Kalkdüngung. In NiU-P/C 33, 1985, Nr. 5, S. 291-295.

Denter, J.

Nitrat im Boden und in der Nahrung. In: Praxis Geographie 17, 1987, 11, S. 18-21.

Gisi, U.

Bodenökologie. Stuttgart: Thieme, 1990.

Harbach, G.

Bodenkundliche Untersuchungen. In: Geographie heute, 1986, 42, S. 26-35.

Hofmeister, H.

Lebensraum Wald. Berlin: Parey, 1990.

Hintermaier-Erhard, G.; Zech, W.

Wörterbuch der Bodenkunde. Stuttgart: Enke, 1997.

Janetschek, H. (Hrsg.)

Ökologische Feldmethoden. Stuttgart: Ulmer, 1982.

Jung, G.

Bodenkundlich-ökologische Inhalte im Geographie-Curriculum. In: GU 2, 1978, S. 46-53.

Jung, G. und Gebhardt, H.

Landwirtschaftliche Nutzung in Abhängigkeit vom Boden. In: Geographie im Unterricht, Heft 3, 1978. S. 177-186 (Teil I) S. 211-217 (Teil II)

Koch, E und Hanisch, K.

Nitrat-Schnelltest für gezielte Stickstoffdüngung. In: Feld und Wald, Nr. 38, 1983, S. 12-13.

Kruckelmann, H. W.

Der Boden als ökosystem und dessen Beeinflussung durch den Menschen, dargestellt an der Wirkung auf einzelne Organismen. In: BU, 1975, 4, S. 65-79.

Kubiena, W. L.

Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Stuttgart: 1953.

Kuntze, H.; Roeschmann, G und Schwertfeger, G.

Bodenkunde. Stuttgart: Ulmer 1981.

Lethmate, J.

Saureeintrag in den Wald. Regen und Bodenuntersuchungen. In: Praxis Geograph., 1986, G.

Lipkow, E. und Mayer, J.:

Welche Faktoren bestimmen die Bodenfruchtbarkeit? In: Schilke, K.(Hrsg.): Agrarökologie: Kursmaterial für die Sekundarstufe II. Hannover: Metzler, S. 27-48, 1992.

Lipkow, E. und Mayer, J.:

Welche Veränderungen an Böden bringt die Landwirtschaft mit sich? In: Schilke, K. (Hrsg.): Agrarökologie: Kursmaterial für die Sekundarstufe II. Hannover: Metzler, s. 181-196, 1992.

Lutz, B. und Mertens, C.

Eine Analyse von Ackererde zur Vorbereitung der Düngung. In: NiU-P/C 32, 1984, Nr. 10, S. 372-376.

- Lux, J. und Fabig, W.*
Bestimmung des pH-Wertes von Bodenproben nach einem standardisierten Verfahren. In: PdN-B, 1986, 2.
- Lux, J. und Fabig, W.*
Bestimmung des pH-Wertes von Bodenproben. In: PdN-Ch. 36, 1987, 2, S. 7-9.
- Mackean und Strey.*
Experimente zu Biologie. Heft 3: Boden. Köln: Aulis Verlag Deubner 1977.
- Maschke, J.*
Einfache Schulversuche zur Bodenuntersuchung. In: NiU, 22, 1974, 3, S. 122-124.
- Mayer, J.*
Bodenuntersuchungen im Schulgarten. Kiel/Hamburg: IPN/IfL, 1996.
- Mückenhausen; E.*
Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen.
- Möller, S.*
Böden unserer Heimat, Kosmos 1969.
- Pfeifer, P und Prei, J.*
Ammonium und Nitrat im Boden. In: NiU-P/C 33, 1985, Nr. 8, S. 296-301.
- Philipp, E.*
Ökologie des Bodens. Eine Unterrichtseinheit für die 9./10. Jahrgangsstufe. Hrsg. v. Päd Zentren Berlin, 1976.
- Riedel, A.*
Der Waldboden – Experimente und Untersuchungen. In: PdN-B, 1981, 7, S. 216-223.
- Riedel, W.*
Bodenkunde als Möglichkeit ökologisch orientierten Unterrichts. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie. Göttingen 1976, S. 603-607.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P.*
Lehrbuch der Bodenkunde. Verlag F. Enke: Stuttgart 1979.
- Schilke, K.(Hrsg.):*
Agrarökologie: Kursmaterial für die Sekundarstufe II. Hanover: Metzler, 1992.
- Schlichting, E.*
Einführung in die Bodenkunde. Hamburg/ Berlin: Parey, 1964.
- Schlichting/Blume/Stahr.*
Bodenkundliches Praktikum. Berlin: Blackwell Wissenschaft, 1995.
- Schmidtke, K.-D.*
Wir unterscheiden Ton, Lehm und Sand. In: Geograph. heute, 1986, 42, S. 16-18.
- Schroeder; D.*
Bodenkunde in Stichworten. Hirt-Verlag, 1978.
- Schwerdtfeger, G.*
Humusbildung und Bedeutung des Humus in Stoffkreislauf und Nahrsalzversorgung der Pflanzen. In: BU 1975, 4, S. 45-53.
- Steckhan, H. U.*
Bodenkundliche öbungen im Biologieunterricht der Oberstufe. In: MNU, Heft 6, 1970, S. 358-361 (Teil I)
Heft 7, 1970, S. 418-422 (Teil II)
Heft 8, 1970, S. 478-482 (Teil III)
- Stein, Chr.*
Böden im Geographieunterricht heute. In: Praxis Geographie 17, 1987, 11, S. 12-17.
- Stein, Chr.*
Nitratuntersuchungen auf dem Wochenmarkt. In: Praxis Geographie 17, 1987, 11, S. 22-25.
- Zech, W.*
Humus. In: NiU-P/C 33, 1985, 8, S. 274-276.

