

**MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

Heft 31

Wien 1986

**MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

Heft 31

Wien 1986

Eigentümer, Herausgeber und Verleger:
Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft
Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

Schriftleitung und für den Inhalt verantwortlich:
Hofrat Dipl.-Ing. Heinrich Hacker,
tit. Ao. Univ.-Prof. Dr. Othmar Nestroy

Druck: Wirtschaftsbetriebsgesellschaft m. b. H., Berggasse 5, A-1090 Wien

Die Herausgabe dieses Heftes wurde durch eine spezielle Förderung
seitens des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft ermöglicht.

ISSN 0029-893 X

ÖSTERREICHISCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT
ARBEITSGRUPPE WALDBODENUNTERSUCHUNG

W A L D B O D E N U N T E R S U C H U N G

GELÄNDEAUFNAHME

PROBENNAHME

ANALYSE

EMPFEHLUNGEN ZUR VEREINHEITLICHUNG DER
VORGANGSWEISE IN ÖSTERREICH

W.E.H.Blum, O.H.Danneberg, G.Glatzel, H.Grall,
W.Kilian, F.Mutsch, D.Stöhr

2.3.6.5	Fleckung und Konkretionen.....	22
2.3.6.6	Karbonate.....	23
2.3.6.7	Bodenstruktur.....	23
2.3.6.8	Porosität.....	28
2.3.6.9	Durchwurzelung.....	28
2.3.6.10	Humus.....	28
3	Werbung von Bodenproben.....	33
3.1	Allgemeines.....	33
3.2	Probennahmeverfahren.....	33
3.2.1	Bohrkernproben.....	33
3.2.2	Profilgruben.....	34
3.2.3	Schlagbohrer.....	34
3.3	Anleitung zur Probennahme.....	35
3.3.1	Dauerbeobachtungsfläche.....	35
3.3.2	Bodenkataster, Bodenverbesserungsmaßnahmen.....	36
3.4	Witterung der Vorperiode.....	37
4	Die chemische Analyse der Waldbodenproben.....	38
4.1	Vorbereitung der Proben für die Analyse.....	38
4.2	Analysenmethoden.....	39
4.2.1	Analysenrahmen.....	40
4.2.2	pH-Wert.....	41
4.2.3	Gesamtstickstoff nach Kjeldahl.....	42
4.2.4	Organischer Kohlenstoff.....	43
4.2.5	Karbonat.....	44
4.2.6	Nährstoffe und Schwermetalle im Säureaufschluß.....	46
4.2.7	Austauschbare Kationen im Bariumchlorid-Extrakt.....	48
4.2.8	Austauschbare Kationen im Ammoniumacetat-Extrakt.....	53
4.2.9	Schwermetalle in Komplexbildner-Extrakten.....	54
4.2.10	Korngrößenbestimmung.....	55
4.3	Bodenprobenbank.....	58
	Quellennachweis.....	59
	Anhang	

VORWORT

Mehr als 40% der Gesamtfläche Österreichs werden von Wäldern eingenommen. Trotz dieser Tatsache wurden Waldböden bei der Neufassung der bodenkundlichen Nomenklatur und Systematik Österreichs im Jahre 1969 nur am Rande berücksichtigt, was unter anderem daraus ersichtlich ist, daß die Waldhumusformen nicht näher definiert und für zahlreiche Übergangs- und Subtypen forstlich wichtiger Böden keine ausreichenden Gliederungs- bzw. Abgrenzungskriterien festgelegt wurden.

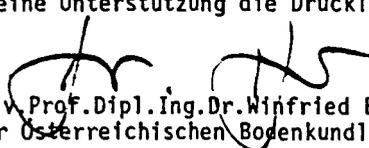
In jüngster Zeit wurden in Österreich jedoch zahlreiche Untersuchungen an Waldböden durchgeführt, insbesondere im Rahmen der Forschung über das Waldsterben. Es handelt sich hierbei um verschiedenste Aktivitäten unterschiedlichster privater sowie öffentlich-rechtlicher Institutionen auf den Gebieten der Bodenverbesserung, einschließlich Düngung sowie Anlage und Betreuung von Dauerbeobachtungsflächen u.a.. Die Bodenbeschreibung, Probennahme und Analyse werden nach sehr unterschiedlichen Methoden durchgeführt, und es ist zu befürchten, daß zusammenfassende Auswertungen durch mangelnde Vergleichbarkeit der Daten kaum möglich sein werden.

Da auch in Hinblick auf zukünftige Untersuchungen zur Feststellung der Langzeitentwicklung von Waldböden eine einheitliche Vorgangsweise unbedingt nötig ist, wurde von der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die Richtlinien für die Waldbodenuntersuchung in Österreich, insbesondere für die systematische Definition, nomenklatorische Beschreibung, Aufnahme im Gelände, Probennahme und Laboranalyse entwickeln sollte.

In dieser Arbeitsgruppe wirkten mit:
Univ.Doiz.Dipl.Ing.Dr.O.Danneberg (Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, Wien),
Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.G.Glatzel und Dipl.Ing.D.Stöhr (Institut für Forstökologie der Universität für Bodenkultur, Wien), Hofrat Dipl.Ing.Dr.W.Kilian und Dr.F.Mutsch (Institut für Standortkunde der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien), Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.W.E.H.Blum und Dipl.Ing.H.Grall (Abteilung Bodenkunde des Instituts für Bodenforschung und Baugologie der Universität für Bodenkultur, Wien).

Als Ergebnis zahlreicher Diskussionen, unter Einbeziehung von Erfahrungen und Kenntnissen des benachbarten Auslandes, wird nun ein Werk vorgelegt, das als zukünftige Grundlage für die Untersuchung von Waldböden dienen und damit zur Vereinheitlichung der Methodik sowie zur Gewinnung vergleichbarer Ergebnisse beitragen soll. Da es sich um einen ersten Versuch in dieser Richtung handelt, sind fachliche Hinweise, Anregungen sowie Verbesserungsvorschläge willkommen.

Allen, die zum Gelingen dieses Werkes beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt, insbesondere auch dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, das durch seine Unterstützung die Drucklegung ermöglichte.


o.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Winfried E.H.Blum
Altpräsident der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft

1 EINFÜHRUNG

1.1 ZUR WERBUNG UND ANALYSE VON WALDBODENPROBEN

Bis vor wenigen Jahren war die Untersuchung von Waldböden Domäne einiger weniger hochspezialisierter Forschungsanstalten und Universitätsinstitute, deren Kapazität aufgrund geringer Nachfrage nach Waldbodenanalysen im Durchschnitt eher bescheiden war. Die dramatische Verschlechterung des Gesundheitszustandes der mitteleuropäischen Wälder und neue wissenschaftliche Erkenntnisse über Bodenveränderungen durch Schadstoffeinwirkung haben die Situation schlagartig verändert. Man fordert jetzt umfassende Informationen über den Zustand unserer Waldböden und möchte Sanierungsmaßnahmen an Waldbodenanalysen orientieren.

Die sprunghaft gestiegene Nachfrage nach Waldbodenuntersuchungen kann derzeit von den alteingesessenen Anstalten nicht hinreichend befriedigt werden, weil man deren Kapazität nicht rasch genug ausweiten konnte oder wollte. Um den Bedarf abzudecken, werden Institutionen und Personen, die bisher mit Waldböden wenig zu tun hatten, mit diesen Aufgaben befaßt. Für viele Gutachten sind Analysendaten über Waldböden schwer zu interpretieren, weil diesbezügliche Erfahrungen fehlen.

Die vorliegende Zusammenstellung ist der Appell innerhalb Österreichs, Waldbodenproben für Routineuntersuchungen einheitlich zu werben und nach einheitlichen Methoden zu analysieren, um räumlich und zeitlich vergleichbares Datenmaterial zu erhalten. Die zur Zeit vordringlichsten Untersuchungsprobleme sollen einleitend kurz kommentiert werden.

1.1.1 BODENVERBESSERUNGSMASSNAHMEN EINSCHLIESSLICH DÜNGUNG

Ziel muß es sein, mit möglichst geringem Aufwand für Probenwerbung und Analytik brauchbare Hinweise für praktische Düngungs- bzw. Bodenverbesserungsmaßnahmen auf konkreten Waldflächen zu erhalten. Im Idealfall sollte der Waldbesitzer oder sein forstliches Fachpersonal in der Lage sein, ohne Spezialwerkzeuge Bodenproben zu werben und zur Untersuchung einzuschicken.

Probleme:

a) Kleinflächige Inhomogenität der Waldböden

Da Waldböden im allgemeinen nicht bearbeitet werden, bleiben Störungen durch Wurzelstöcke, Windwurfteiler, Fuchsbauten, Tierkadaver, Wegspuren usw. über lange Zeiträume erhalten und werden lediglich oberflächlich durch eine einheitliche Auflagehumusschicht zugedeckt. Als Folge können Bodenprofile, die nur wenige Meter auseinanderliegen, extrem unterschiedliche Analysendaten liefern. Abhilfe kann nur eine entsprechend große Wiederholungszahl von zufällig über die Fläche verteilten Probenentnahmestellen bieten. Die häufig gegebene Empfehlung, sich auf "repräsentative" Stellen zu beschränken, ist gefährlich, weil derartige Stellen auch von Spezialisten nur nach umfangreichen Aufnahmen und mit Einschränkungen festgelegt werden können. Flächenmäßig atypische Nährstoff-

anreicherungen, etwa unter einem vor Jahren aufgegebenen Raubvogelhorst, merkt man meist erst aus den Analysendaten - wenn man genügend Vergleichsproben hat.

b) Besonderheiten der Waldernährung

Gegenüber den meisten landwirtschaftlichen Kulturen ist die Waldernährung ungleich komplexer. Im Vergleich zu mineralstoffreichen Nahrungsmitteln ist Holz extrem arm an Stickstoff und Mineralstoffen. Legt man den Nährstoffentzug bei der Ernte eines einhundertjährigen Waldbestandes auf den Produktionszeitraum um, ergeben sich mittlere Jahresentzüge von wenigen Kilogramm je Hektar und Element. Andererseits enthält die lebende Biomasse eines Waldbestandes, insbesondere die Blattmasse, sehr erhebliche Nährstoffmengen, die jene der intensivsten Ackerkulturen um ein Vielfaches übersteigen können. Durch den Streufall gelangen aus dem Kronendach laufend Nährstoffe auf die Bodenoberfläche, die dann von hochspezialisierten Streuzersetzerorganismen abgebaut und von den Baumwurzeln unter Beteiligung symbiontischer Pilze wieder aufgenommen werden. Jahrmillionen dauernde Evolution hat zu Waldökosystemen geführt, die Nährstoffe extrem festhalten und vor Auswaschung schützen können.

Für die Beurteilung der Ernährungsbedingungen von Waldbäumen aus Bodenanalysen hat das folgende Konsequenzen: Die Menge an austauschbaren Hauptnährstoffen ist vielfach sehr niedrig, obwohl der Wald gut wächst. Im Jahresgang kann es in Abhängigkeit von der mikrobiellen Aktivität erhebliche Schwankungen geben. Eine mit großem Aufwand verbundene Ermittlung der Gesamtnährstoffvorräte je Hektar Waldbodenfläche sagt auch noch wenig aus. Im kühlen Klima können die Bodenvorräte sehr groß sein, der Wald aber aufgrund gehemmter Mineralisierung an Mangel leiden. Im warmen Klima kann ein Großteil der Nährstoffe in den Baumkronen sein und dort für hohe Produktivität ausreichen; intensive Streuabbauprozesse und ein engmaschiges Mykorrhizennetz führen zu rascher Wiederaufnahme der im Streufall enthaltenen Nährstoffe und bedingen nur geringe Verweilzeiten im Boden. Waldökosysteme gleichen unvermeidliche Nährstoffverluste nicht nur aus der Gesteinsverwitterung, sondern auch durch Aerosolfilterung und seitlichen Transfer (z.B. Großtiereinstände) aus.

Es ist daher ein Faktum, daß der Ernährungszustand von Waldbeständen bezüglich Hauptnährstoffe, insbesondere Stickstoff und Phosphor, aus Bodenanalysen allein nicht hinreichend beurteilt werden kann. Als zusätzliche Informationen sind Blattanalysen und eine standortkundlich-waldökologische Beurteilung durch einen speziell geschulten Fachmann erforderlich. Die Situation ist durchaus mit der Beurteilung des menschlichen Gesundheitszustandes durch einen Arzt zu vergleichen. Einige wenige einfache Analysenbefunde können auch hier den Arzt nicht ersetzen. Störungen des Basenhaushaltes und Überangebote an toxischen Metallen bzw. schwere Mängel an Spurennährstoffen hingegen können aus Bodenanalysen recht gut beurteilt werden.

Es ist also festzuhalten, daß Störungen des Basenhaushaltes, viele Metalltoxizitäten und schwere Unterversorgungen mit Alkali, Erdalkali und Spurenmitteln aus Analysen eingesandter Waldbodenproben erkannt werden können. Eine für Düngungsempfehlungen ausreichende Beurteilung der Versorgungssituation mit Hauptnährstoffen, insbesondere Stickstoff und Phosphor, ist aber aus Bodenanalysendaten allein nicht möglich.

1.1.2 DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN

Dauerbeobachtungsflächen werden angelegt, um auf einer ganz bestimmten Fläche Veränderungen von Bodeneigenschaften über längere Zeiträume verfolgen zu können. Es ist verständlich, daß dafür relativ aufwendige Probenwerbungs-, Analysen- und Auswertungsmethoden angewendet werden müssen, um während kurzer Wiederholungsfristen von 5 bis 10 Jahren Veränderungen überhaupt erkennen zu können. Die Probenwerbung muß dabei so erfolgen, daß zukünftige Werbungen möglichst wenig gestört werden. Umfangreiche Aufgrabungen sind also unzulässig.

Probleme:

a) Kleinflächeninhomogenität

Bei Probenwerbung mit einem Bohrkernbohrer von 70 mm Durchmesser sind je nach Bodenmerkmal 15 bis über 100 Profile erforderlich, um den Flächenmittelwert mit einer Genauigkeit von 5% des Mittelwertes bestimmen zu können. Um Unterschiede von Bodenmerkmalen zwischen zwei Aufnahmezeitpunkten für eine konkrete Fläche statistisch absichern zu können, sind die Bohrkernproben einzeln zu analysieren. Die Bohrkernproben sollen dafür in fixe Tiefenabschnitte zerlegt werden, damit einfach auf flächenbezogene Daten umgerechnet werden kann. Die alternative Auftrennung nach genetischen Bodenhorizonten ist an Bodenbohrkernen unsicher, weil deren Oberfläche häufig verschmiert ist. Unterschiede zwischen zwei Aufnahmezeitpunkten sind dann nur sehr schwer interpretierbar.

b) Auswirkungen der Bestandesentwicklung

Im Zuge der Bestandesentwicklung werden erhebliche Nährstoffmengen in die heranwachsende Baumbiomasse eingebaut, also vom Boden in den Kronenraum verlagert. Weil aus dem Boden mehr basische Kationen aufgenommen werden als Anionen, und zum Ladungsausgleich von den Pflanzenwurzeln Protonen abgegeben werden, verändert sich auch das Säure-Basenverhältnis im Boden. In der Phase maximaler Blattflächenentwicklung, bis zur Herstellung des standörtlich und genotypisch möglichen maximalen Blattflächenindex, sind diese Veränderungen am größten.

In unseren Nadelwaldbeständen wird der maximale Blattflächenindex im Alter zwischen 15 und 30 Jahren erreicht. Durchforstungen bedeuten immer gesteigerten Nährstoffeinbau, weil der Blattflächenindex sehr rasch wieder hergestellt wird.

Da es auf Dauerbeobachtungsflächen im allgemeinen nicht möglich sein wird, die Nährstoffe in der Baumbiomasse aus Biomasseninventuren zu ermitteln, weil die notwendige Ernte und Aufarbeitung von Probenbäumen zu große Störungen bedingt, ist man auf modellmäßige Hochrechnungen angewiesen. Dazu können ertragskundliche Daten, ergänzt durch Stichprobenanalysen von Blatt-, Reisig-, Rinden- und Holzproben dienen.

Dauerbeobachtungsflächen werden daher zweckmäßig in Waldbeständen, die sich in ihrer zweiten Entwicklungshälfte befinden, angelegt. Die Böden sollen unbedingt für eine Probenwerbung mit Bohrkernbohrern geeignet, also vor allem nicht steinig sein. Je homogener die ausgewählten Waldökosysteme

sind, desto geringere Anzahl von Bodenprofilen ist erforderlich und desto kostengünstiger wird die Versuchsanlage.

Ein besonderes Problem sind Verluste von Dauerbeobachtungsflächen durch unvorhergesehene Ereignisse, wie Sturm- oder Schneeschäden, Insektenkalamitäten und sonstige Störungen. Bei geplanten Beobachtungszeiträumen von mehreren Dezennien sind Verluste von über 50% in Betracht zu ziehen.

1.1.3 BODENKATASTER

Bodenkataster oder Bodenzustandserhebungen sollen einen Überblick über den Bodenzustand größerer Gebiete geben. Die Probeflächen werden meist nach statistischen Gesichtspunkten ausgewählt. Flächenrichtige Probennahme ist meist nur für den Auflagehumus (mittels Rahmen) möglich. Die Mineralböden sind oft zu steinig, um mit Bohrkernbohrern brauchbare Proben zu ziehen. Wegen der meist großen Probeflächenanzahl muß der Aufwand je Probefläche für Probenwerbung und Analytik bescheiden bleiben.

Wiederholungen der Aufnahmen alle 5 bis 10 Jahre können für einzelne Aufnahmeflächen keine zuverlässige Aussage liefern, wegen der großen Anzahl von Probeflächen aber durchaus für größere Gebiete. Allerdings ist zu beachten, daß Veränderungen des Gebietsmittelwertes oft nur geringe Aussagekraft haben. Werden in einem Gebiet etwa die Böden der Tallagen besser, der Hochlagen schlechter, kann der Gesamtmittelwert gleichbleiben. Definiert man für die Probeflächen einen ganz bestimmten Bestandeszustand, können durch die Bestandesentwicklung Bodenveränderungen hervorgerufen werden, die statistisch nicht von Veränderungen als Folge geänderter Umweltbedingungen trennbar sind.

Für alle Bodenkataster bzw. Bodenzustandinventuren ist daher ein anspruchsvolles statistisches Design Grundvoraussetzung, das es ermöglicht, Wechselwirkungen mit Lage- und Bestandesmerkmalen zu berücksichtigen. Die erforderlichen zusätzlichen Merkmale müssen sehr sorgfältig erhoben werden.

2 GELÄNDEAUFNAHME

2.1 AUSWAHL DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN

Neben den speziellen, vom Untersuchungsziel abhängigen Anforderungen, die bei der Auswahl von Untersuchungsflächen von Bedeutung sind, gibt es einige allgemeine Gesichtspunkte, die beachtet werden sollen.

- a) Homogenität der Fläche: Bei stark inhomogenen Standorten wird bei Wiederholungsaufnahmen eine wesentlich höhere Probenanzahl benötigt, um etwaige Trends nachweisen zu können. Auch Düngungsempfehlungen sind nur für einigermaßen gleichartige Standorte sinnvoll und sollten nicht durch Mittelwertbildung aus stark differierenden Bodenproben abgeleitet werden. Die Flächenhomogenität kann bereits bei der Auswahl der Probefläche grob durch folgende Merkmale abgeschätzt werden:
- Ausgeglichenheit des Kleinreliefs
 - Gleiche Position der gesamten Fläche am Hang, d.h. ähnlicher Wasserhaushalt und ähnliche Trophie
 - Annähernd gleiche Zusammensetzung der Bodenvegetation
 - Kein auffällender Wechsel im Bestandesbild innerhalb und in unmittelbarer Nachbarschaft der Fläche (Baumartenverteilung, Alter, Bestockungsgrad, Schichtigkeit etc.)
 - Genügend großer Abstand von Bestandesrändern (Verhagerung, Untersonnung)
- b) Probeflächen sollen nicht in unmittelbarer Nachbarschaft von intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen, stark befahrenen Forststraßen etc. liegen, da die Gefahr von unkontrollierten Staub- und Nährstofftransfers besteht.
- c) Insbesondere sollen Dauerbeobachtungsflächen, deren Einrichtung großen Aufwand erfordert, nicht in besonders gefährdeten Beständen angelegt werden (Windwurf, Schneebruch, Insekten, etc.), da allzu deutliche Veränderungen in der Baumschicht meist auch ihren Niederschlag in veränderten Bodenparametern finden.
- d) Stark grund- und hangwasserbeeinflusste Standorte sind wegen der oft unkalkulierbaren Nährstoffumsetzungen und -verlagerungen bei wechselnd aerob - anaeroben Bedingungen ebenfalls weniger für Wiederholungsaufnahmen geeignet (z.B.: Denitrifikation, pH-Wert-Veränderungen).
- e) Die ausgewählte Fläche soll eine Größe von 400 - 2500 m² aufweisen.

Vor allem bei Flächen, die wiederholt beprobt werden, ist es unbedingt notwendig, sowohl die Abgrenzung der Fläche als auch die Entnahmestellen der Bodenproben dauerhaft im Gelände zu markieren. Die Kennzeichnung der Aufgrabungsstellen verhindert die Werbung von gestörtem Bodenmaterial bei Folgeaufnahmen.

Eine exakte Beschreibung des Anfahrts- und Anmarschweges, sowie eine Skizze der Probefläche selbst erleichtern deren Auffindbarkeit und sind besonders bei Wiederholungsaufnahmen, die nicht vom selben Personal durchgeführt werden, wichtig. Als vorteilhaft erweist sich im unübersichtlichen Gelände eine Einmessung der Fläche von markanten, in Karten identifizierbaren Punkten mit Kompaß und Schrittmaß.

2.2 ALLGEMEINE STANDORTSMERKMALE

2.2.1 GEOGRAPHISCHE LAGE

Die geographische Lage wird durch Bestimmung des Hoch- und Rechtswertes der Probefläche und des jeweils gültigen Meridiansystems aus der ÖMK 1 : 50.000 (mit Bundesmeldenetz) angegeben.

Das Kartenmaterial ist erhältlich bei:

Bundesamt f. Eich- und Vermessungswesen
Krotenthallergasse 3
1080 Wien

2.2.2 SEEHÖHE

Die Seehöhe kann ebenfalls aus der ÖMK 1 : 50.000 entnommen werden.

2.2.3 EXPOSITION (Neigungsrichtung)

Die Neigungsrichtung wird nach der achteiligen Windrose angegeben.

N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, eben

Das Kleinrelief ist dabei nicht zu berücksichtigen.

2.2.4 NEIGUNG

Die durchschnittliche Hangneigung kann entweder in Prozent oder in Grad gemessen oder geschätzt werden. Folgende Bezeichnungen sind üblich:

	Grad	Prozent
eben	0 - 2	0 - 3
schwach geneigt	2 - 5	3 - 9
mäßig geneigt	5 - 10	9 - 17
stark geneigt	10 - 20	17 - 36
steil	20 - 30	36 - 58
schröff	30 - 45	58 - 100
sehr schröff	> 45	> 100

Tabelle 1: Reliefbegriffe

Bezeichnung	Begriffsabgrenzung	Grundriß	Querschnitt	Längsschnitt
Ebene	Flachform großer Erstreckung			
Verebnung	Flachform geringen Ausmaßes			
Talboden, Talsohle	Flachform, von ansteigenden Flächen begrenzt			
Terrasse	Flachform, von ansteigenden und abfallenden Flächen begrenzt			
Platte	Flachform, von abfallenden Flächen begrenzt			
Mulde, Kessel	Konkavform mit rundem Grundriß			
Wanne	Konkavform mit ovalem Grundriß			
Graben	Konkavform mit langgestrecktem Grundriß; Sonderfall des Unterhanges, bei gegenseitiger Beeinflussung der Hänge; Grabenklima.			
Oberhang	konvexe Geländeform; Materialabfuhr (Steuauswehung, Hangwasser) überwiegt Materialzufuhr.			
Unterhang	konkave Geländeform; Materialzufuhr überwiegt -abfuhr; Anreicherungs-lage.			
Mittelhang	Materialzufuhr und -abfuhr sind ausgeglichen			
Hangversteilung	ober- u. unterhalb durch Flächen geringerer Neigung begrenzt.			
Hangverflachung	ober- u. unterhalb durch Flächen größerer Neigung abgegrenzt			
Kuppe	Konvexform mit rundem Grundriß			
Rücken	Konvexform mit ovalem Grundriß			
Riedel, Wall	Konvexform mit langgestrecktem Grundriß			
Hangfuß	Übergang am unteren Hangende in eine ebene Fläche			
Schwemm-Schuttflächer	relativ flache Aufschüttungsform			
Schwemm-Schuttkegel	Aufschüttungsform mit stärkerer Wölbung			

2.2.5 GELÄNDEFORM (Tabelle 1)

Unter Geländeform werden Reliefunterschiede mit mindestens 3 m Höhendifferenz verstanden. Zusätzlich zu den in Tab.1 angegebenen Reliefbegriffen soll auch die gesamte horizontale und vertikale Ausdehnung des Reliefteils, in welchem sich die Aufnahmefläche befindet, angeführt werden, z.B. Mittelhang: horizontale Ausdehnung 150 m, vertikale Erstreckung 30 m.

2.2.6 KLEINRELIEF

Als Klein- oder Mikrorelief werden Geländeformen von weniger als 3 m Höhendifferenz bezeichnet.

- Kleinrelief ausgeglichen
- Rinnen, Gräben, Furchen
- Buckel, Schichtköpfe
- Blockflur

2.3 SPEZIELLE STANDORTSMERKMALE

2.3.1 BODENHYDROLOGISCHE VERHÄLTNISS

Die bodenhydrologischen Verhältnisse dürfen nicht nach dem aktuellen Feuchtezustand des Bodens beurteilt werden, da dieser beträchtlichen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt und maßgeblich von Niederschlagseinzelergebnissen bestimmt wird. Es soll eher versucht werden, die nicht unmittelbar witterungsabhängigen Wasserverhältnisse anzusprechen. Im besonderen scheint es wichtig zu klären, welche Arten von Wasser den Wasserhaushalt beeinflussen.

2.3.1.1 Oberflächenwasser

- Abfluß: in stärker geneigtem Gelände, wird besonders durch plattige Moder- und Rohumusauflagen gefördert.
- Zufluß: im anschließenden ebenen oder muldigen Gelände ist das Wasserangebot erhöht.

2.3.1.2 Grundwasser

Wird Bodenwasser bei der Versickerung durch eine wasserundurchlässige Schicht (undurchlässiges Gestein, dichter Unterboden) gestaut, entsteht Grundwasser. Dieses erfüllt als freies "ungespanntes" Wasser sämtliche Hohlräume im Boden und unterliegt nur der Schwerkraft. In Abhängigkeit von Bodenart und Struktur bildet sich über dem Grundwasserspiegel ein beinahe vollständig mit Wasser gefüllter Kapillarsaum aus. Die Tiefenlage der Grundwasseroberfläche ändert sich

in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf, je nach Bodenart, Evapotranspiration des Bestandes und Neubildungsmöglichkeit des Grundwassers verschieden stark. Im Unterschied zum Stauwasser verdunstet Grundwasser unter natürlichen Bedingungen selten vollständig. Grundwässer stagnieren oder weisen nur geringen horizontalen Zug auf und sind deshalb meist relativ O₂ arm.

Durch die ständig reduzierenden Bedingungen kommt es im dauernd wassergesättigten Teil des Bodens (unterhalb des Grundwasserspiegels) zu einer typisch grau- blauen Horizontfärbung. Der darüberliegende Bereich, in dem der Grundwasserspiegel schwankt, ist rostfleckig. Die Bodenart zeigt in beiden Horizonten keine deutlichen Unterschiede. Soweit dies möglich ist, sollte der minimale und der maximale Grundwasserstand angegeben werden.

2.3.1.3 Stauwasser

Der Begriff Stauwasser wird für oberflächennahes, geringmächtiges Grundwasser mit begrenzter Neubildungsmöglichkeit benutzt, das während der Vegetationszeit ganz oder teilweise verschwindet. Charakteristisch ist ein steter Wechsel von Trocken- und Naßphasen insbesondere im Oberboden dieser Standorte. Die seitliche Bewegung des Stauwassers ist wie bei Grundwasser gering (Hangneigung < 10%). Bei entsprechenden Bodenverhältnissen können stauwasserbeeinflusste Standorte unter gewissen klimatischen Verhältnissen (Niederschläge > Evapotranspiration) großflächig vorkommen.

Unter dem A-Horizont tritt ein einheitlich graubrauner - hellolivbrauner Horizont mit Punktkonkretionen auf. Das Auftreten von Punktkonkretionen deutet fallweises starkes Austrocknen des jeweiligen Bodenhorizontes an. Punktkonkretionen können auch in grundwasserbeeinflussten Böden bei extremen Schwankungen des Grundwasserspiegels vorkommen. Der Staukörper zeigt ein durch Rost-, Bleich- und Manganflecken marmoriertes Aussehen. Durch lang andauernde Naßphasen und tiefliegenden Staukörper können grundwasserähnliche Erscheinungen auftreten. Je nach Dauer der einzelnen Phasen können unterschieden werden:

- kurze Naß-, ausgedehnte Trockenphase
- Naß- und Trockenphase ca. gleich lang
- lange Naß-, kurze, wenig ausgeprägte Trockenphase

2.3.1.4 Hangwasser

Auf Hängen kann Grundwasser oberflächennah auf dichtem Untergrund abfließen. Durch lateralen Abtransport von Eisen kommt es zu deutlichen Ausbleichungen des G-Horizonts, sofern diese nicht durch Humusfärbung verdeckt werden. Treten die wasserstauenden Schichten an die Oberfläche, findet man Quellfluren und Naßgallen.

Fließendes Stauwasser führt profilmorphologisch ebenfalls zu einem verfallenen Horizont, der aber auch durch Punktkonkretionen gekennzeichnet ist. Die O₂-Versorgung ist bei zügigem Hangwasser wesentlich besser als bei stagnierendem Grund- oder Stauwasser.

2.3.1.5 Zusammenfassende Beurteilung des Bodenwasserhaushaltes

Zur qualitativen Anschätzung des Wasserregimes sind die in der forstlichen Standortskartierung bzw. vereinfacht bei den Aufnahmen der Österreichischen Forstinventur angeführten "Wasserhaushaltsklassen" geeignet. Bei der Standortskartierung werden unterschieden: trocken, mäßig frisch, frisch, sehr frisch, feucht, naß, sowie wechsell trocken und wechselfeucht. (Definitionen siehe Mitteilungen der ÖBG, Heft 13; bzw. für die vereinfachte Gliederung siehe Instruktionen für die Feldarbeit der Österr. Forstinventur).

2.3.2 GRUNDGESTEIN

Bei der Ansprache des geologischen Substrates ist zu unterscheiden:

a) Grundgestein laut geologischer Karte

Art und Charakteristik des Grundgesteins können aus der Kartendarstellung und den dazugehörigen Erläuterungen entnommen werden. Das in der geologischen Karte verzeichnete Gestein muß nicht unbedingt mit dem am Standort vorgefundenen übereinstimmen, da die Kartendarstellungen nur auf Stichprobenaufnahmen beruhen, deren Ergebnisse zwischen benachbarten Punkten interpoliert werden und deshalb nur eine begrenzte Genauigkeit haben. Auch geringmächtige Schotterdecken, Moränen etc. sind in geologischen Karten in der Regel nicht eingezeichnet.

b) Grundgestein laut Geländebefund

Aus den obengenannten Gründen ist es unbedingt erforderlich, zusätzlich das tatsächlich am Standort vorhandene geologische Substrat zu bestimmen. Hierbei sind folgende Punkte zu beachten:

- Das Grundgestein sollte, wenn irgend möglich, direkt auf der Probestfläche bestimmt werden und nicht auf weiter entfernten Böschungen oder Aufschlüssen.
- Vereinzelt vorkommende Felsbrocken müssen nicht unbedingt mit dem Ausgangsmaterial der Bodenbildung identisch sein. Sie können auch von hangaufwärts liegenden Felspartien oder Moränenablagerungen stammen.
- Kann das Grundgestein nicht eindeutig bestimmt werden, so sind Handstücke zu gewinnen, um eine nachträgliche Einordnung des Gesteins mit Hilfe von Schausammlungen oder Lehrbüchern zu ermöglichen.

2.3.3 DECKSCHICHTEN

Darunter versteht man Feinmaterialdecken, die nicht Produkte der Bodenbildung an Ort und Stelle sind und sich vom Grundgestein unterscheiden. Ein ökologischer Einfluß des Grundgesteins ist jedoch noch denkbar (z.B. Stauwirkung bei Texturübergängen). Wichtige bei uns vorhanden Deckschichten sind:

- LÖß, Flugsand, feine Ausedimente
- Staublehm, bindige Ausedimente
- alte Verwitterungsdecken: karbonatische, silikatische Braun- und Rotlehme, Blocklehmdecken
- Hangschutt, Fließerden, Kolluvien
- seichte Moränen

2.3.4 GRÜNDIGKEIT

Unter Gründigkeit versteht man die Mächtigkeit der Bodenhorizonte über dem festem Gestein. Am treffendsten bestimmt man die Gründigkeit durch mehrere (3-5) Einschläge mit dem Schlagbohrer, der erhaltene Mittelwert stellt die Gründigkeit dar. Böden können nach diesem Merkmal eingeteilt werden in:

sehr flachgründige	bis	15 cm
flachgründige	15 -	30 cm
mittelgründige	30 -	60 cm
tiefgründige	60 -	120 cm
sehr tiefgründige	über	120 cm

2.3.5 VEGETATION

2.3.5.1 Bodenvegetation

Die Aufnahme der Vegetation soll sich in der Regel auf die gesamte Probefläche beziehen. Lediglich bei Untersuchungen, die auch Veränderungen der Vegetation dokumentieren sollen, ist es zweckmäßig, mehrere kleinere Untereinheiten aufzunehmen (150-200 m²), diese müssen jedoch dauerhaft im Gelände markiert werden. Sämtliche Pflanzenarten sind getrennt nach Strauch-, Kraut-, Gras-, Farn- und Moosschicht anzuführen. Keimpflanzen von Bäumen und Sträuchern gehören zur Krautschicht, Verjüngung bis 1 m Höhe zur Strauchschicht. Neben dem Namen der Art ist der Wert für die Kombination aus Abundanz (Häufigkeit) - Dominanz (Deckungsgrad) nach folgendem Schlüssel anzugeben:

Symbol	Abundanz - Dominanz
+	spärlich vorhanden, geringer Deckungsgrad
1	reichlich vorhanden, aber geringer Deckungsgrad
2	sehr zahlreich oder mindestens 1/20 der Aufnahmefläche deckend
3	1/4 - 1/2 der Aufnahmefläche deckend
4	1/2 - 3/4 der Aufnahmefläche deckend
5	mehr als 3/4 der Fläche deckend

Zur einfachen Charakterisierung der Bodenvegetation haben sich die in der forstlichen Praxis eingeführten "Vegetationstypen" (nach Hufnagl) bewährt, welche aus der Kombination dominanter Arten gebildet werden (Beispiele: Sauerkleety, Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele - Typ). Sie sind gut geeignet den temporären Zustand des Oberbodens (Humusform), Belichtungsverhältnisse, etc. zu indizieren. Als ein einfaches Gliederungsschema sei auf die Vegetationstypen in den Instruktionen der Österreichischen Forstinventur verwiesen.

2.3.5.2 Baumbestand

Um eine einheitliche Bestandesbeschreibung zu gewährleisten, sei das bei der Österreichischen Waldzustandsinventur verwendete Verfahren empfohlen. In der Folge werden die aufzunehmenden Merkmale kurz charakterisiert, eine genaue Beschreibung ist den Instruktionen für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur zu entnehmen.

- Bestandesgrundfläche:

Die Ermittlung der Bestandesgrundfläche erfolgt mit Hilfe der Winkelzählprobe. Alle Bäume, die vom Mittelpunkt der Untersuchungsfläche breiter als der vorgegebene Gesichtswinkel erscheinen, ergeben multipliziert mit dem gewählten Zählerfaktor (1,2,4) unmittelbar die Grundfläche des Bestandes in m²/ha. Zur Ermittlung der Baumartenanteile muß die Grundfläche jeder einzelnen Baumart angegeben werden.

- Baumartenanteile:

Die Baumartenanteile werden aus dem Ergebnis der Winkelzählprobe abgeleitet und in Zehntel der Bestandesgrundfläche (auf- und abgerundet) angegeben.

- Alter:

Die Altersbestimmung erfolgt durch Zählen der Jahrringe an frischen Stöcken oder durch Bohrung in Stockhöhe, an 2-3 herrschenden Bäumen. In Mischbeständen sind Altersunterschiede zwischen den einzelnen Baumarten zu beachten.

- Bestandesoberhöhe:

Die Bestandesoberhöhe wird durch Höhenmessung der 6 stärksten Stämme der WZP beim Zählerfaktor 2 (oder 3 stärksten Stämme bei Zählerfaktor 4) durchgeführt. Bei Mischbeständen kann die Oberhöhe der einzelnen Baumarten, ausgehend von der Bestandesoberhöhe, geschätzt werden.

- Ertragsklasse:

Aufgrund des ermittelten Alters und der Oberhöhe kann die Ertragsklasse, unter Zuhilfenahme der dem jeweiligem Wuchsgebiet zugeordneten Ertrags-tafel, für jede einzelne Baumart berechnet werden.

- Bestockungsgrad:

Der Bestockungsgrad wird durch die Relation Grundfläche - Ist zu Grundfläche - Soll (aus Ertragstafel) definiert und kann für jede Baumart, deren Anteil größer als 1/10 ist, angegeben werden.

- Kronenschlußgrad:

Als Kronenschlußgrad ist bei einschichtigen Beständen der Kronenschluß, bei zwei- und mehrschichtigen Beständen der Schluß der gedachten Kronenprojektion zu beurteilen. Folgende Schlußgrade werden unterschieden: räumdig, licht, locker, geschlossen und dicht.

- Bestandsaufbau:

Der Aufbau des Bestandes ist nach der Schichtung der Kronen und nicht nach Altersunterschieden, Stammstärken oder Ähnlichem zu beurteilen. Jede einzelne Schicht muß zumindest einen Kronenschlußgrad von 0.3 aufweisen: Die Unterteilung erfolgt in: einschichtig, zweischichtig, sowie mehrschichtig oder stufig.

- Durchforstung in den letzten 10 Jahren, Durchforstungsart:

Erfolgte innerhalb der letzten 10 Jahre eine Durchforstung, so ist anzugeben ob es sich hierbei um eine Niederdurchforstung, eine Hochdurchforstung, einen Lichtungshieb oder um Einzelbaumnutzungen handelte.

- Bestandesschäden:

Sofern die Schäden stark genug sind, um eventuell Veränderungen von Standortsfaktoren zu bewirken, sollten diese beschrieben werden (z.B.: starker Insektenfraß, der zu verminderter Interzeption und zu verstärkter Belichtung des Waldbodens führt).

Nur durch eine exakte Bestimmung all dieser Bestandesmerkmale können Veränderungen des Bestandes qualitativ und quantitativ sicher erkannt werden. Dies erscheint wichtig, da einige Bodenparameter sehr rasch auf Veränderungen im Baumbestand reagieren (z.B.: Humusdynamik, pH-Wert etc.).

2.3.6 BODEN

Eine genaue Ansprache der Bodenmerkmale erfolgt anhand von Profilgruben. Die Profilgrube wird an einer durch Eingriffe nicht gestörten Stelle angelegt (vorheriges Abbohren mit dem Schlagbohrer nötig). Standorte mit intaktem Auflagehumus sind Stellen mit vergraster Bodenvegetation (Lichtungen, verlichtete Altbestände) vorzuziehen. Es empfiehlt sich, die Profilgrube im Zwischenstamm-bereich anzulegen. Die Schauwand soll nach der Sonne gerichtet sein, die darüberliegende Bodenfläche darf nicht betreten werden.

Zur Beschreibung des Bodenprofils werden zweckmäßigerweise vorgedruckte Formblätter benutzt (siehe Anhang). Für jeden Bodenhorizont werden folgende Horizontmerkmale erhoben:

- Horizontierung
- Bodenart
- Skelettgehalt
- Bodenfarbe
- Fleckung und Konkretionen
- Karbonate
- Struktur
- Porosität
- Durchwurzelung
- Humus

Je nach Fragestellung können für eine vereinfachte Profilbeschreibung auch einige Merkmale weggelassen oder weniger detailliert angegeben werden.

2.3.6.1 Horizontierung

2.3.6.1.1 Horizontsymbole

Die Horizonte werden durch Buchstabensymbole (z.B.:A,B,C), durch nachgestellte Buchstabenindices (z.B.:i,g,v) und durch Zahlenindices bezeichnet. Die nachstehende Aufstellung basiert auf Heft 13 der Mitteilungen der ÖBG (FINK, 1969).

0 = organische Auflagehorizonte

O₁ = Streu

O_f = Grobmoder

O_h = Feinmoder

Alternativ sind die Bezeichnungen L, F, H üblich.

A = durch Humus gefärbter oberster Mineralbodenhorizont

A = mit sichtbarem Humus

A_i = mit beginnender Humusbildung

zusätzliche Bezeichnungen (Institut für Forstökologie)

A_{inf} = Humus infiltriert

A_{biog} = Humus biogen eingearbeitet

E = durch Lessivierung (Illimerisation), Podsolierung oder Solodierung fahl gefärbter Eluvialhorizont

B = durch Eisenoxide gefärbter Verwitterungshorizont oder Anreicherungs-horizont

B_v = mit Oxidation +/- Verlehmung durch Verwitterung in situ

B_t = mit Ton aus den oberen Horizonten angereichert (durch Lessivierung)

B_h = mit sichtbaren Humusstoffen aus den oberen Horizonten angereichert (durch Podsolierung)

B_s = mit Sesquioxiden aus den oberen Horizonten angereichert (durch Podsolierung)

C = Ausgangsmaterial (Muttergestein), locker oder fest, aus dem der Boden entstanden ist

C_v = angewitterter Teil des C-Horizontes

C_n = unverwitterter Teil des C-Horizontes

D = unterlagerndes Material, das an der Bodenbildung nicht beteiligt ist

G = durch Grundwasser geprägter Horizont (Gleyhorizont)

G_o = Oxidationsbereich des G-Horizontes

G_r = Reduktionsbereich des G-Horizontes

P = Stauzone eines Pseudogleys, durch Tagwasser geprägt, fahl, nicht (wesentlich) humos, Punktkonkretionen

S = Staukörper eines Pseudogleys mit deutlicher Marmorierung

T = Torfschichten (T_1 , T_2 usw.)

T_{erd} = vererdeter, stark zersetzter Torfhorizont

Weitere Buchstabenindices:

g = leichte Grund- und Tagwassergleyerscheinungen

ca = Kalziumkarbonatanreicherung

beg = begrabener Horizont

fos = fossiler Horizont

rel = relikttischer Horizont

p = durch Pflugarbeit beeinflusste Zone

rig = durch Rigolen veränderte Zone

Übergangshorizonte bzw. Horizonte, die nach zwei verschiedenen, gleichwertigen Horizontkriterien eingestuft werden können (z.B.: der oberste, humose Mineralbodenhorizont A ist gleichzeitig ein durch Grundwasser geprägter G-Horizont), werden durch Nebeneinanderschreiben der Symbole ausgedrückt (AG). Bei Übergangshorizonten wird stets der im Profil tiefer liegende Horizont nachgereiht, z.B. AB, BC.

2.3.6.1.2 Horizontmächtigkeit

Die Mächtigkeit und die Lage jedes Horizontes sind durch zwei Zahlenangaben definiert. Sämtliche Angaben, gewöhnlich in cm, beziehen sich auf die Mineralbodenoberkante als Nulllinie, nur bei Böden mit Torfhorizonten wird von der Oberkante des T₁-Horizontes gemessen. Beispiel: O₁ 6-4 cm, O_f 4-1 cm, O_h 1-0 cm, A 0-20 cm, B_v 20-45 cm, C ab 45 cm. Schwankt die Horizontmächtigkeit innerhalb eines Profils, erfolgen für die wechselnde Tiefe zwei Zahlenangaben, die durch einen Schrägstrich getrennt werden; z.B. 0-20/25, 20/25-40, 40-70 cm.

2.3.6.1.3 Horizontbegrenzung

Es wird die Deutlichkeit der Abgrenzung und, wenn erforderlich, die Form des Überganges angegeben.

- Deutlichkeit

Bezeichnung	Symbol	Breite der Übergangszone in cm
scharf absetzend	sa	< 2
absetzend	a	2 - 5
Übergehend	ü	5 - 10
allmählich Übergehend	aü	> 10

- Formen des Überganges

Bezeichnung	Symbol	Beschreibung
gerade	g	
wellig	w	seichte Vertiefungen im Grenzverlauf, Ausbuchtungen breiter als tief
taschenförmig	t	Vertiefungen, Ausbuchtungen tiefer als breit
unterbrochen	u	Abbrechen der Grenzlinie und tiefer - oder höherliegende Fortsetzung

2.3.6.2 Bodenart

Die Korngrößenzusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials kennzeichnet die Bodenart. Im Labor werden die Korngrößenanteile mittels kombinierter Sieb- und Pipettenanalyse festgestellt.

Im Gelände bestimmt man die Bodenart durch die Fingerprobe.

2.3.6.2.1 Kornfraktionen des Feinbodens und des Grobbodens (Tabellen 2,3)

Tabelle 2: Korngrößengruppen des Feinbodens ($\varnothing < 2 \text{ mm}$), ÖNORM Vorschlag, 1985

Bezeichnung	Symbol	Äquivalentdurchmesser [mm]
Ton	T	< 0.002
Schluff - Feinschluff - Mittelschluff - Grobschluff	U fU mU gU	0.002 - 0.063 0.002 - 0.0063 0.0063 - 0.02 0.02 - 0.063
Sand - Feinsand - Mittelsand - Grobsand	S fS mS gS	0.063 - 2.0 0.063 - 0.2 0.2 - 0.63 0.63 - 2.0

Tabelle 3: Korngrößengruppen des Grobbodens (Bodenskelett, $\varnothing > 2 \text{ mm}$), ÖNORM Vorschlag, 1985

Form der groben Gemengteile				Korngröße [mm]
eckig-kantig		abgerundet		
Bezeichnung	Symbol	Bezeichnung	Symbol	
Grus - Feingrus - Mittelgrus - Grobgrus	Gr fGr mGr gGr	Kies - Feinkies - Mittelkies - Grobkies	Ki fKi mKi gKi	2.0 - 63.0 2.0 - 6.3 6.3 - 20.0 20.0 - 63.0
Schotter	Sch	Steine	St	63.0 - 200
Blöcke	B1	Blöcke	B1	> 200

2.3.6.2.2 Bodenarteneinteilung und Symbole (Tabelle 4, Abbildung 1)

Um die einzelnen Bodenarten des Feinbodens definieren zu können, sind die drei Fraktionen Ton, Schluff und Sand (Tab. 2) maßgebend. Nach der vorherrschenden Fraktion werden Sande, Schluffe und Tone unterschieden. Hierzu kommt noch der Lehm, der als mittelschwere Bodenart zwischen den beiden erstgenannten steht.

Die wichtigsten Bodenarten, ihre Symbole und die Grenzwerte ihrer Fraktionsanteile werden in einem rechtwinkligen Dreiecksdiagramm (Abb. 1) und Tab. 4 dargestellt.

2.3.6.2.3 Bodenartenansprache im Gelände (Tabelle 5)

Im Gelände wird die Bodenart mit der Fingerprobe festgestellt, wobei zuerst die Bodenprobe annähernd in den Zustand der Fließgrenze gebracht wird (Probe glänzt, darf aber keine Wasserhüllen haben; beim Drücken werden Finger leicht feucht, es erfolgt aber kein Wasseraustritt). Dann wird sie zwischen den Fingern auf folgende Eigenschaften geprüft (vergl. Tab. 5):

- Sichtbarkeit und Fühlbarkeit von Einzelkörnern
- Rauheit beim Reiben
- Formbarkeit
- Wiederholbarkeit der Verformung
- Haften in den Hautrillen
- Klebrigkeit

Durchführung der Fingerprobe:

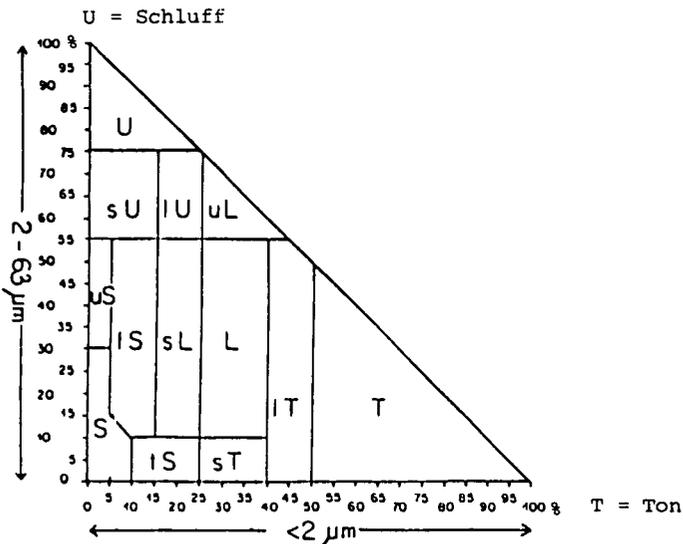
- Grobskelett absondern
- Richtig anfeuchten mit Wasser (Plastikflasche)
- Mit dem Messer gut mischen
- Reiben zwischen Daumen und Zeigefinger
- Rollen zwischen Daumen und Zeigefinger
- Formen mit Daumen und Zeigefinger

Grobe Bestandteile müssen vor der Fingerprobe entfernt werden. Bei einiger Übung kann die Bodenart im Gelände mit der Fingerprobe ausreichend genau ermittelt werden.

Tabelle 4: Einteilung der Bodenarten (ÖNORM Vorschlag, 1985)

Symbol	Bodenart	% Gehalt an		
		Ton < 2 μ	Schluff 2-63 μ	Sand 63-2000 μ
S	Sand	0-5 5-10	0-30 0-10/15	65-100 80-95
uS	schluffiger Sand	0-5	30-55	40-70
IS	lehmiger Sand	5-15 5/10-15	15-55 10-15	30-80 70-80
IS	toniger Sand	10-25	0-10	65-90
sU	sandiger Schluff	0-15	55-75	10-45
U	Schluff	0-25	75-100	0-25
IU	lehmiger Schluff	15-25	55-75	0-30
sL	sandiger Lehm	15-25	10-55	20-75
L	Lehm	25-40	10-55	5-65
uL	schluffiger Lehm	25-45	55-75	0-20
sT	sandiger Ton	25-40	0-10	50-75
IT	lehmiger Ton	40-50	0-50/55	0-60
T	Ton	50-100	0-50	0-50

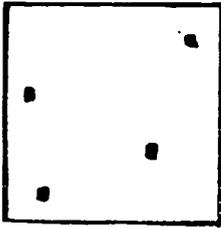
Abbildung 1: Österreichisches Texturdreieck (ÖNORM Vorschlag, 1985)



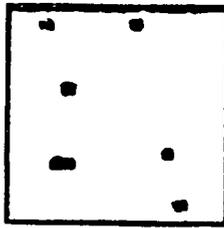
Tab. 5: Bestimmung der Bodenart durch die Fingerprobe (mod. nach BA .f. Bodenkunde, 1967)

Bodenart	Schwereklasse	Sichtbark. d. Einzelkörner	Fühlbark. d. Einzelkörner	Rauhheit b. Reiben	Formbark.	Wiederholbark. d. Verformung	Haften in den Hautrillen	Klebrigkeit	Bodenart
S	I	xxx	xxx	xxx	-	-	-	-	S
uS	I	xx	xx	xx	-	-	-	-	uS
IS	II	xx	xx	xx	x	x	x	-	IS
tS	III	x	xx	x	x	x	xx	x	tS
sU	II	x	x	x	x	x	x	-	sU
U	II	-	-	-	x	x	xx	-	U
lU	III	-	-	-	x	x	xx	-	lU
sL	III	x	xx	x	xx	xx	xx	x	sL
L	IV	x	x	-	xxxx	xxx	xx	xx	L
uL	IV	x	-	-	xxx	xx	xxx	xx	uL
sT	IV	x	x	x	xxx	xx	xx	xx	sT
lT	V	-	-	-	xxxx	xxx	xxx	xxx	lT
T	V	-	-	-	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	T

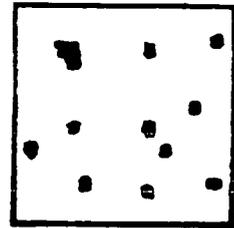
Abbildung 2: Tafel zur Abschätzung von Flächenanteilen an der Profilwand
(Skelettgehalt, Farbflecken, Konkretionen, etc.)



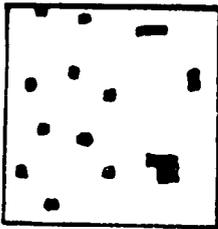
1 %



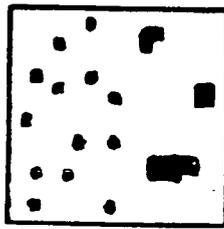
2 %



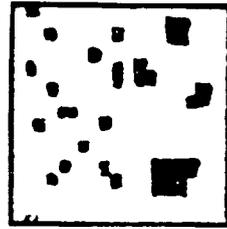
3 %



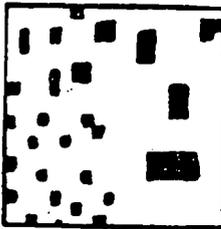
5 %



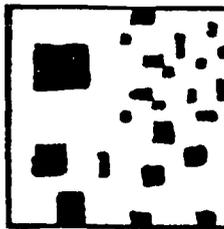
7 %



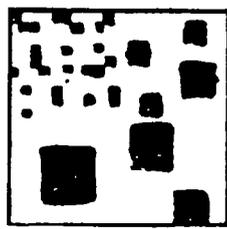
10 %



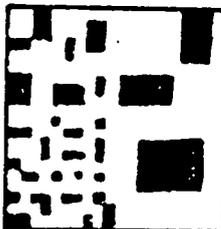
15 %



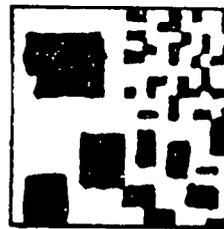
20 %



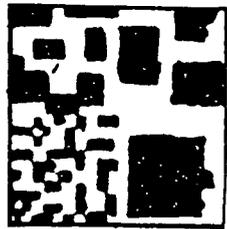
25 %



30 %



40 %



50 %

2.3.6.3 Skelettgehalt (Abbildung 2, Tabelle 6)

Die Korngrößengruppen des Bodenskeletts (> 2 mm) sind aus Tab. 3 ersichtlich. Die Abschätzung des Grobanteils am frischen Profil ist schwierig, da die Steine meist mit Feinboden überzogen sind. Sie wird anhand der Tafel zur Abschätzung des Skelettgehaltes (Abb. 2) vorgenommen. Außerdem ist anzugeben, ob das Gestein angewittert ist oder eine bestimmte Einregelung vorhanden ist.

Tabelle 6: Beurteilung der Grobanteile des Bodens

Beurteilung	Symbol	% vom Bodenvolumen
geringer Grobanteil	1	0 - 10
mäßiger Grobanteil	2	10 - 20
hoher Grobanteil	3	20 - 40
sehr hoher Grobanteil	4	40 - 80
vorwiegend Grobanteil	5	über 80

2.3.6.4 Bodenfarbe

Die Bodenfarbe wird durch Zahlen und Buchstaben für den Farbton (hue), die Helligkeit (value) und die Farbintensität (chroma) sowie durch Farbbezeichnungen, die auf der der Farbkarte jeweils gegenüberliegenden Seite angegeben sind, bezeichnet (z.B. gelblich-braun 10YR 5/6). Für jeden Farbton gibt es eine eigene Farbtabelle, auf der die Helligkeit von unten nach oben und die Farbintensität von links nach rechts steigen. Es können jeweils auch Zwischenstufen angegeben werden.

Die Bodenfarben werden an frischen Profilanschnitten genügend feuchter Böden ermittelt. Ausgetrocknete Böden müssen vorher angefeuchtet werden. Auch sollte die Farbbestimmung nur an Bruchflächen durchgeführt werden. Es wird die Grundfarbe der Böden bestimmt, Flecken und Konkretionen werden nach Abschnitt 2.3.6.5 an den hierfür vorgesehenen Stellen angegeben.

2.3.6.5 Fleckung und Konkretionen

Flecken werden beschrieben nach:

- Kontrast: d ... deutlich
u ... undeutlich = Flecken können nicht mehr nach Häufigkeit und/oder Art beschrieben werden.

- Häufigkeit: 1 ... einzelne = < 5% der Fläche
2 ... mehrere = 5 - 20% der Fläche
3 ... viele = > 20% der Fläche

- Art: B ... Bleichflecken
 R ... Rostflecken

Flächenanteile werden anhand der Tafel zur Abschätzung des Skelettgehaltes (Abb. 2) geschätzt.

Im Boden vorhandene Konkretionen und Bänder (horizontale, langgestreckte Flächen) sind nur nach ihrer Häufigkeit anzugeben.

2.3.6.6 Karbonate

Die Prüfung auf Karbonate erfolgt im Gelände mit 10-prozentiger Salzsäure (im Laboratorium durch volumetrische CO₂-Bestimmung nach Scheibler). Kalkstein und Fällungskalk brausen stark und rasch, Dolomit dagegen schwach und verzögert.

Beurteilungsskala (%-Zahlen nur für Laboruntersuchung):

- karbonatfrei
- schwach karbonathaltig (bis 1,5%)
- karbonathaltig (1,5 - 5%)
- stark karbonathaltig (über 5%)

Im Gelände wird nur festgestellt, ob der Feinboden nach Anträufeln mit 10%iger HCl aufbraust und daher kalkhaltig ist, oder nicht.

2.3.6.7 Bodenstruktur (Bodengefüge)

2.3.6.7.1 Definition

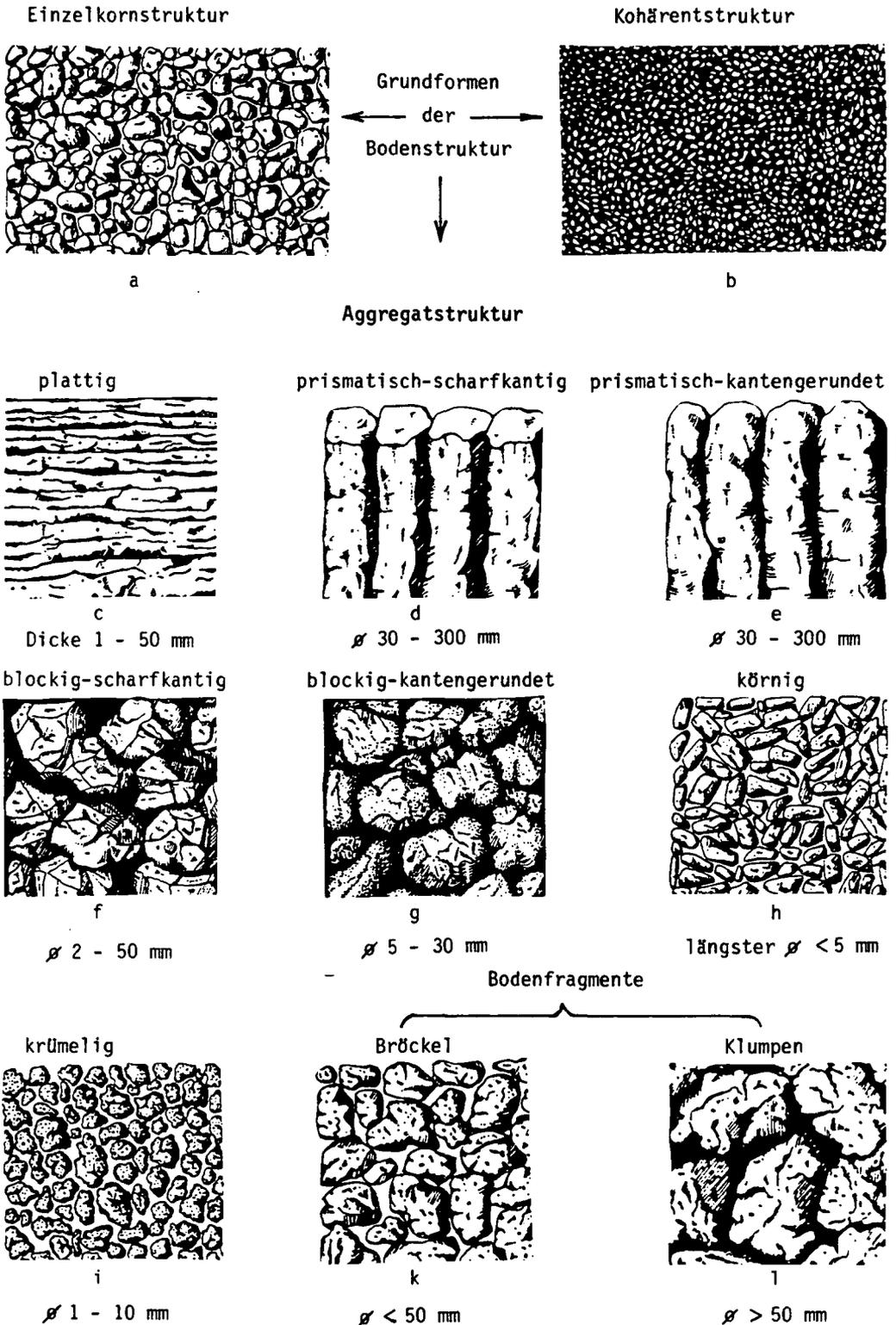
Unter Bodenstruktur versteht man die räumliche Anordnung der Bodenteilchen. Sie übt vor allem auf den Wasser-, Luft-, Wärme- und Nährstoffhaushalt und auf das Wurzelwachstum einen wesentlichen Einfluß aus. Die Ansprache der Bodenstruktur - im Gelände kann nur das mit dem Auge erkennbare Makrogefüge beurteilt werden - ergibt wertvolle Rückschlüsse auf entsprechende Eigenschaften oder Vorgänge im Boden.

2.3.6.7.2 Strukturformen (Abbildung 3)

a) Einzelkornstruktur (Abb. 3a)

Eine Aggregatbildung fehlt, die Bodenteilchen liegen lose nebeneinander, Feinsubstanz ist kaum oder nicht vorhanden (Sande zeigen z.B. oft Einzelkornstrukturen).

Abbildung 3: Die wichtigsten Bodenstrukturformen (mod. nach Mückenhausen)



b) Kohärentstruktur (Massivstruktur) (Abb. 3b)

Die Bodenteilchen sind durch Kolloidsubstanz zu einer nicht gegliederten Bodenmasse verklebt. Kohärentstruktur tritt vor allem bei schweren Bodenarten an feuchten oder nassen Standorten auf; sie kann auch durch Ausfällung infiltrierter Humusstoffe hervorgerufen werden.

c) Aggregatstruktur

Die Aggregatstruktur kann folgende Ausbildung zeigen:

- Plattige Struktur (Abb. 3c)

Plattige Bodenaggregate, wobei die Fugen zwischen den Körpern waagrecht verlaufen.

- Prismatische Struktur

Prismenähnliche, von fünf oder sechs Seitenflächen begrenzte Aggregate. Sie sind wesentlich höher als breit und stehen senkrecht im Boden. Die Seitenflächen passen gut zusammen (prismatisch-scharfkantig, Abb. 3d). Prismen sind erst in etwas größeren Profiltiefen anzutreffen. Sind Seitenflächen bzw. Kanten und Kopfflächen gerundet, so spricht man von Säulen- oder Kolumnarstruktur (= prismatisch-kantengerundet, Abb. 3e).

- Blockige Struktur

Die Aggregate sind durch unregelmäßige Flächen mit mehr oder weniger scharfen Kanten begrenzt, die Achsen sind ungefähr gleich lang. Man unterscheidet nach der Ausbildung der Kanten Polyederstruktur (= blockig-scharfkantig, Abb. 3f) und Subpolyederstruktur (= blockig-kantengerundet, Abb. 3g). Nach Auseinanderbrechen einer Scholle lassen sich die Teile bei Vorliegen von scharfkantigen Aggregaten wieder zusammensetzen, Teile von Aggregaten mit gerundeten Kanten aber kaum.

- Körnige Struktur (Granularstruktur) (Abb. 3h)

Die Aggregate haben unregelmäßige Umrisse, ihre Oberflächen sind nicht aufeinander abgestimmt, wodurch sich eine lockere Anordnung ergibt. Die Aggregatkanten sind mehr oder weniger scharf, die längsten Durchmesser meist nicht größer als 5 mm. Diese Gefügestruktur findet sich oft in den A-Horizonten schwerer Böden.

- Krümelige Struktur (Abb. 3i)

Krümel sind mehr oder weniger runde, stark poröse Aggregate mit sehr unterschiedlicher Stabilität. Sie entstehen unter dem Einfluß hoher biologischer Aktivität und intensiver Durchwurzelung. Sie sind zwischen 1 und 10 mm groß.

Durch Bodenbearbeitung (z.B. Pflügen) entstehen nicht natürliche Bodenfragmente mit rauher Oberfläche. Nach ihrer Größe werden sie eingeteilt in:

- Bröckel (< 50mm) (Abb. 3k)
- Klumpen (> 50mm) (Abb. 3l)

2.3.6.7.3 Beurteilung der Struktur

Die Beurteilung erfolgt nach

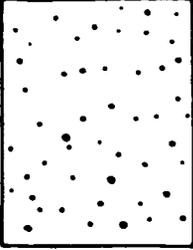
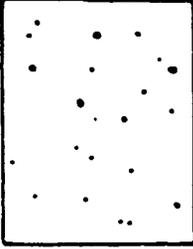
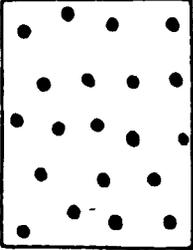
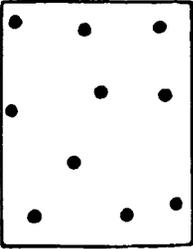
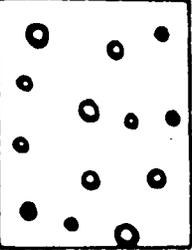
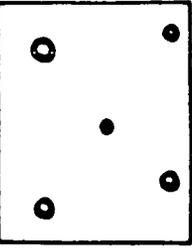
- a) Vorhandensein von Aggregaten
 - b) Deutlichkeit der Aggregatbildung
 - c) Form der Aggregate
- ad a) bei Fehlen von Aggregaten:
- o ... ohne Aggregatstruktur; d.h. keine Aggregate erkennbar, der Boden ist aber auch nicht als lose oder massiv zu bezeichnen
 - ol ... loser Boden; Einzelkornstruktur
 - om ... massiv; Massiv- oder Kohärentstruktur

bei Vorhandensein von Aggregaten Beurteilung nach b,c,

- ad b)
- d ... deutliche Aggregatausbildung
 - u ... undeutliche Aggregatausbildung
- ad c) Form der Aggregate
- pl ... plattig
 - prs ... prismatisch-scharfkantig (prismatisch)
 - prr ... prismatisch-kantengerundet (kolumnar)
 - bls ... blockig-scharfkantig (polyedrisch)
 - blr ... blockig-kantengerundet (subpolyedrisch)
 - kö ... körnig (granular)
 - kr ... krümelig
- Form der Bodenfragmente
- bro ... Bröckel
 - klu ... Klumpen

Zur Beurteilung der Struktur wird mit dem Messer ein großes Bruchstück aus dem Horizont gelöst und dieses in der Hand einem nicht zu starken Druck ausgesetzt. Eine zusätzliche Möglichkeit die Bodenstrukturansprache zu erleichtern, ist die Spatenprobe. Dazu sticht man mit dem Spaten einen ca 15 cm dicken und 30 cm tiefen Bodenziegel aus der Profilwand und läßt diesen am Spatenblatt liegend aus ca 20 cm Höhe am Boden aufprallen. Dadurch lösen sich Strukturkörper voneinander und werden deutlicher sichtbar. Obwohl die Struktur eines Bodens ein charakteristisches Merkmal darstellt, kann sie unter dem Einfluß wechselnder Bodenfeuchte verändert werden.

Abbildung 4: Bestimmung des Makroporenanteils am Bodenvolumen (mod. nach Bodenkundlicher Kartieranleitung, 1982)

Porengrößen überwiegender Ø in mm		Anteil makroskopisch sichtbarer Poren (pa) am Bodenvolumen		
		< 2 schwach pa 1	2 - 5 mittel pa 2	> 5 stark pa 3
Vol. %	Bezeichnung	Symbol		
< 1	fein f			
1 - 2	mittel m			
> 2	grob g			

2.3.6.8 Porosität

Der Anteil der mit freiem Auge (makroskopisch) sichtbaren Poren wird nach Abb. 4 beurteilt.

Spalten, Risse, Klüfte werden nach ihrer Größe beschrieben.

Sind makroskopisch keine Poren zu erkennen, so erfolgt die Bezeichnung mit pa0.

2.3.6.9 Durchwurzelung

Es wird die Anzahl an Feinwurzeln (Wurzeldurchmesser < 2 mm) je dm² angegeben. Die Bestimmung erfolgt in den einzelnen Horizonten an der leicht aufgerauhten Profilwand. In der Regel wird die Zwischenflächendurchwurzelung bestimmt, eine Durchwurzelung im Stockbereich sollte getrennt beurteilt und beschrieben werden.

Es wird in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (1980) nach folgenden Stufen beurteilt:

Bezeichnung	Symbol	Feinwurzeln / dm ²
nicht	W0	keine Feinwurzeln feststellbar
schwach	W1	1 - 5
mittel	W2	6 - 10
stark	W3	11 - 20
sehr stark durchwurzelt	W4	21 - 50
Wurzelfilz	W5	> 50

Unregelmäßige Durchwurzelung, Spaltendurchwurzelung, Vorhandensein und Verteilung von Grobwurzeln können zusätzlich angegeben werden.

2.3.6.10 Humus

Vorerst muß festgestellt werden, daß die in den Mitteilungen der ÖBG, Heft 13, verwendete Systematik der Bodentypen Österreichs - ebenso wie die Anweisung für die Beschreibung des Humus - für eine genaue Ansprache von Waldböden nicht ausreicht. Es wurde versucht, in Anlehnung an Arbeiten in der Bundesrepublik Deutschland (Forstliche Standortsaufnahme, 1980; v. ZEZSCHWITZ, 1979) und unter Zuhilfenahme von Lehrbehelfen des Instituts für Forstökologie der Universität für Bodenkultur eine genauere Beschreibung und Definition von Humus(horizonten) zu geben.

Humus ist ein wichtiger Indikator für die Beurteilung des Standortzustandes, ebenso können Standortveränderungen gut über die Humusdynamik erfaßt werden. Wichtig hierfür ist eine genaue Beschreibung des Humus. Sie erfolgt aufgrund von Merkmalen, die mit freiem Auge und mit dem Tastsinn wahrgenommen werden können.

Humus kann als "Auflagehumus" dem Mineralboden aufliegen oder als "Mineralbodenhumus" im Mineralboden verteilt sein. Mittels eines senkrechten Profil-

schnittes wird eine Untergliederung des Humuskörpers in Humushorizonte vorgenommen.

Aus der Gesamtheit der humosen Oberbodenhorizonte kann für die Beurteilung der Umsetzungsdynamik eine Einteilung in Humusformen vorgenommen werden:

a) Terrestrische Humusformen:

- Mull
- Moder
- Rohhumus

Zwischen den jeweiligen Grundformen gibt es alle Übergänge (z.B. mullartiger Moder), ebenso treten xeromorphe Formen (xeromorpher Moder, xeromorpher Rohhumus) auf.

b) Semiterrestrische Humusformen:

- Feuchtmull (Hydromorpher Mull)
- Feuchtmoder (Hydromorpher Moder)
- Feuchtrohumus (Hydromorpher Rohhumus)
- Hochmoortorf
- Übergangsmoortorf
- Anmoor

c) Subhydrische Humusformen:

- Niedermoortorf
- Dy (Braunschlamm)
- Gytija (Grauschlamm, Mudder)
- Sapropel (Faulschlamm)

Die Einteilungskriterien sind in der oben angeführten Literatur enthalten. In der vorliegenden Anweisung wird aber besonderes Augenmerk auf die genaue Beschreibung des Auflagehumus, der in O_1 - O_f - und O_h -Horizont unterteilt werden kann, und auf die Abgrenzung gegenüber dem Mineralboden gelegt.

Für die Beschreibung wird das Humusprofil vorsichtig Lage für Lage flächenhaft abpräpariert. Daneben ist es zu empfehlen, das Profil an einem ausgestochenen Block zu untersuchen, vor allem für die Beurteilung der Lagerung. Zusätzlich ist die gesamte Probefläche zu beurteilen, weil Humusformen häufig kleinflächig wechseln.

2.3.6.10.1 Auflagehumushorizonte

Auflagehumus hat mehr als 30% organische Substanz in der Trockenmasse, das entspricht etwa 40 - 50 Vol.%. Bei der Beschreibung der einzelnen Auflagehorizonte wird angegeben:

- Horizontmächtigkeit in cm
- Material, Feinanteil
- Lagerung

- Durchwurzelung
- Schärfe der Übergänge zwischen den Horizonten
- Konsistenz (Schmierigkeit oder Faserigkeit)

a) O₁-Horizont - Streu (L-Horizont)

Besteht aus nicht oder nur wenig zersetzten organischen Pflanzenresten. Der Anteil an organischer Feinsubstanz liegt unter 10 Vol.% der organischen Gesamtmasse.

Die Lagerungsart des aus Laub hervorgegangenen O₁- Materials kann sein:

- locker: zusammenliegend, nicht miteinander verklebt
- verklebt: Blattspreiten miteinander verklebt (vor allem im Übergang zum O_f- Horizont)

Mit Annäherung an den O_f- Horizont ist meist eine stärkere Bleichung, Fleckung, Bräunung und Rissigkeit der Blätter zu erkennen.

Nadelstreu besteht aus mehr oder weniger ausgebleichten Nadeln, die etwas punktiert sein können, in ihrer äußeren Form aber unverändert sind. Nadelförna bildet meist eine lockere Decke. Vernetzung (Nadeln aneinanderhängend) tritt selten auf.

b) O_f- Horizont - Grobmoder (F-Horizont)

Die oberirdischen Pflanzenreste sind verschieden stark zerkleinert, aber noch als solche zu erkennen. Die Feinsubstanzgehalte schwanken zwischen 10 und 70 Vol % der organischen Gesamtmasse.

Lagerungsarten des aus Laub hervorgegangenen O_f- Materials:

- locker: ohne Zusammenhalt einzeln liegend, zum Teil aneinanderhängend
- verklebt: deutlich aneinanderhängend
- schichtig: dicht übereinanderliegend, zu Paketen verklebt

Lagerungsarten des aus Nadeln hervorgegangenen O_f- Materials:

- locker: siehe oben
- verklebt: siehe oben
- schichtig: schichtige Lagerung, nur stellenweise abhebbar
- brechbar: gesamter O_f- Horizont ist abhebbar; Material stark durch organische Feinsubstanz- und Verpilzung miteinander verflochten, so daß es bei stärkerem Biegen bricht.

Die Pflanzenreste (Nadeln, Nadelstücke, Ästchenstücke) ähneln in ihren Formen noch jenen des O₁- Horizontes. Die höheren Feinsubstanzanteile und die meist vorhandene, mehr oder weniger starke Verpilzung verursachen die verschiedenen Lagerungsarten des O_f- Materials. Feinwurzeln treten nur vereinzelt auf, mineralische Beimengungen sind selten.

c) O_h- Horizont - Feinmoder (H-Horizont)

Die organische Feinsubstanz überwiegt stark, sie hat meist einen Anteil von über 70 Vol%. Oberirdische Pflanzenreste können, vor allem in dem dem O_f-Horizont benachbarten Bereich, noch vorhanden sein. Unter Fichte ist oft ein ausgeprägter Wechsel zwischen nadelrestreichen und feinsubstanzreichen Lagen zu finden. Bei dem aus Resten von Laub und Nadeln hervorgegangenen Material des O_h- Horizontes können folgende Lagerungsarten auftreten:

- locker: Überwiegend pulverig zerfallend
- bröckelig: in gut kantengerundet zerfallende, mehr oder weniger große Stücke aus organischer Feinsubstanz mit nennenswerten Anteilen an Pflanzenresten
- kompakt: dichtgelagerte organische Feinsubstanz mit geringen Anteilen an Pflanzenresten, bei Biegebeanspruchung brechend

Das O_h- Material ist schwärzlich gefärbt, es können allerdings auch dunkelrötlichbraune bis rötlichschwarze Farbtöne auftreten. Mineralische Substanz fehlt oder ist bis zu etwa der Hälfte des Substanzvolumens vorhanden. Ist die biologische Aktivität gering, so kann die mineralische Substanz auch eingeweht (Flugsand) oder eingeschwemmt (z.B. durch das "Stampfen" eines flachwurzelnden Fichtenbestandes auf staunassen Böden) oder anthropogen bedingt sein.

Auf entwässerten Moorböden ist eine Abgrenzung zwischen O_h und T_{erd} kaum möglich, die Horizontmächtigkeit wird von der Bodenoberkante angegeben.

O_h-Material kann mittels Fingerprobe durch sein "seifiges" Anfühlen von stark humosen Mineralbodenhorizonten unterschieden werden. Ist der O_h-Horizont schmierig, so deutet dies auf Wassereinfluß hin.

2.3.6.10.2 Mineralbodenhumushorizonte

Mineralbodenhumushorizonte sind durch Humus gefärbte, oberste Horizonte des Mineralbodens. Diese können nach v.ZEZSCHWITZ (1979) wie folgt eingeteilt werden (in Klammern stehen die im Institut für Forstökologie verwendeten Bezeichnungen):

- A_h Horizont (A_{biog})

Keine Podsoligkeit; Humus biogen in den Mineralboden eingemischt. Struktur meist krümelig bis blockig-kantengerundet.

- A_{eh}-Horizont (A_{biog/inf})

Schwache Podsoligkeit; Humus zum Teil eingewaschen (infiltriert). Struktur meist plattig, z.T. zugleich brüchig-kohärent; direkt unter der Mineralbodenoberfläche meist ein 1-2 cm mächtiger schwarzgrauer, humusreicher Saum ausgebildet, sonst weitgehend rötlichbraun gefärbt. Horizontbegrenzungen nach oben meist unscharf (mit H-Material verzahnt), nach unten deutlich, meist schwach wellig geformt.

- A_{he}-Horizont (A_{inf})

Mäßige Podsoligkeit; Humus Überwiegend eingewaschen. Struktur meist brüchig-kohärent, z.T. zugleich plattig; örtlich kleine, meist diffus wolkige Bleichflecken mit 1-2(4) cm Durchmesser; ungleichmäßig humos; Horizontbegrenzung nach oben meist scharf, nach unten meist undeutlich; wellig, vereinzelt taschenförmig geformt.

- A_{he}(A_e)-Horizont (A_{inf}E)

Starke Podsoligkeit; Humus weitaus Überwiegend eingewaschen. Struktur im trockenen Zustand ausgeprägt brüchig-kohärent, im feuchten Zustand bei leichtem Druck breiartig zerfließend; die gebleichten Horizontabschnitte zeigen eine zwischen weißrosa, rosagrau, grau und bräunlichgrau wechselnde Färbung, die häufig einen Stich ins Violette aufweist; die stark ungleichmäßig humosen, gebleichten Horizontabschnitte (A_e-Bereiche) sind nesterartig in den flächenhaft entwickelten A_{he} eingesprengt; Horizontbegrenzung nach oben sehr scharf, nach unten undeutlich, z.T. fließend.

3 WERBUNG VON BODENPROBEN

3.1 ALLGEMEINES

Bodenproben dienen im allgemeinen dazu, um den Boden einer Probefläche näher zu charakterisieren. Dieses Ziel soll mit möglichst geringem Aufwand bei Feld- und Laborarbeit erreicht werden. Die Gründe, die für die relativ hohen Anforderungen bei der Probenahme ausschlaggebend sind, wurden bereits in der Einleitung erwähnt. Je nach Untersuchungsziel und Genauigkeitsanforderungen stehen mehrere Probennahmeverfahren zur Auswahl. Gestörte Profile (z.B. alter Wurzelstock, Windwurfteiler, Fuchsbau etc.) werden generell nicht beprobt.

3.2 PROBENNAHMEVERFAHREN

3.2.1 BOHRKERNPROBEN

a) Voraussetzungen

- geringer bis mäßiger Steingehalt vor allem im Oberboden (0 - 20 cm):

Dies kann am besten durch einige Versuchseinschläge mit dem Bodenbohrer geklärt werden. Sind mehrere Einschläge notwendig, um ein vollständiges Profil zu ziehen, sind die gewonnenen Bohrkernkerne nicht mehr repräsentativ für den Standort, da unter diesen Bedingungen mit dem Kernbohrer zuviel Feinmaterial gewonnen wird. Auf dieses Verfahren ist dann zu verzichten.

- Bodenart nicht allzu sandig:

Stark sandige Böden können wegen ihrer mangelnden Kohärenz nicht durch Bohrkernkerne beprobt werden. Dies kann ebenfalls durch einige Probeeinschläge geprüft werden.

- hohe Probenanzahl von einer Fläche:

Macht es das Untersuchungsziel notwendig, zahlreiche Proben (mehr als 10 je Tiefenstufe) von einer Fläche zu nehmen, ist dies mit arbeitstechnisch vertretbarem Aufwand nur mittels Bohrkernen möglich. Bei Wiederholungsaufnahmen kommt noch hinzu, daß nur dieses Verfahren eine allmähliche Zerstörung der Fläche, wie das bei Profilgruben zwangsläufig eintritt, verhindert.

b) Probennahmetechnik

- Auflagehumus:

Zuerst wird die Mächtigkeit des gesamten Auflagehumus (incl. L-Schicht) gemessen und notiert. Die Entnahme erfolgt mit einem Schaufelchen auf einer Fläche von 30x30 cm. Zur Abgrenzung dient ein Holz- oder Metallrahmen. Die Wurzeln werden mit Messer oder Schere abgetrennt. Bei besonders exakten Untersuchungen kann der Auflagehumus aus der Übergangszone zum Mineralboden durch Auskehren mit einem kleinen Besen gewonnen werden.

- Mineralboden:

Der Bodenbohrer wird, um die Bohrkronen zu schonen, gefühlvoll in den Boden eingeschlagen. Ist die gewünschte Tiefe erreicht, wird das Rohr mehrmals um die Längsachse gedreht, um den Bohrkern vom darunterliegenden Boden abzuscheren. Bei sehr schweren, wassergesättigten Böden ist unter Umständen eine eigene Aushebevorrichtung notwendig. Um das Zurückrutschen des Bodens zu verhindern, kann der Kernbohrer mit einem Gummipfropfen oben verschlossen werden. Soll die Stauchung der Bohrkern berechnet werden, ist die absolute Einschlagtiefe zu messen. Nach dem Ausheben wird die Bohrkronen 50 mm tief ausgekratzt und der Bohrkern vorsichtig von unten mit Hilfe eines Ausstoßers aus dem Rohr in vorbereitete Styroporhalbschalen übertragen.

3.2.2 PROFILGRUBEN

a) Voraussetzungen

- stark steiniger Boden:

Bohrkernproben können nicht gewonnen werden, da das Ziel einer flächenrichtigen Probennahme unter diesen Bedingungen nicht erreicht werden kann.

- kein Spezialwerkzeug vorhanden:

Werden von der gleichen Organisation nur wenige Bodenproben im Jahr gewonnen, ist der hohe Anschaffungspreis eines Bohrkernwerbegerätes (ca. öS 15.000 - 20.000) meist nicht gerechtfertigt.

- Fragestellung kann auch ohne Nährstoffbilanzierungen beantwortet werden:

Die Verteilung der Nährstoffkonzentrationen im Boden soll geklärt werden, nicht aber deren mengenmäßige Verteilung in den Bodenhorizonten.

3.2.3 SCHLAGBOHRER

Dieses Verfahren wird in der Regel nur zur Werbung von Bodenproben aus größeren Bodentiefen verwendet, wenn der hohe Aufwand, der mit der Grabung tieferreichender Bodenprofile verbunden ist, gescheut wird. Um genügend Probenmaterial zu erhalten, wird der Schlagbohrer von der Sohle einer Profilgrube mehrmals eingeschlagen.

3.3 ANLEITUNG ZUR PROBENNAHME

3.3.1 DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHE

a) Probennahmeverfahren: (siehe Tabelle 7)

- Auflagehumus:

flächenrichtige Werbung (incl. L-Schicht) mittels Holzrahmen 30 x 30 cm.

- Mineralboden:

Bohrkernproben; Horizontierung nach fixen cm-Stufen.

b) Probenanzahl:

Um eine statistische Auswertung zu ermöglichen, müssen aus dem Oberboden (0-10 cm) mindestens von 10 Punkten je Fläche Proben gewonnen werden. Bei jedem der 10 Punkte werden die Proben aus 3 Einschlüssen tiefenstufenweise vermischt. Aus tieferen Bodenschichten (10-30 cm) müssen lediglich von 5 Punkten je 3 Proben gewonnen werden. Die Probenwerbung aus dem Unterboden erfolgt mittels Schlagbohrer, der in bestehende Bohrkernlöcher eingetrieben wird. Im Auflagehumus richtet sich die Anzahl der Proben je Punkt nach der Mächtigkeit der Auflage, da eine Mindestmenge von 1,0 kg pro Punkt zu werben ist (siehe Tab.7).

Tabelle 7: Probennahmeverfahren; Probenanzahl und Verteilung der Proben in den Tiefenstufen; Bezeichnung der Tiefenstufen.

Tiefenstufe	Probennahmeverfahren	Punktzahl pro Fläche	Probennahmen pro Punkt	Bezeichnung d.Tiefenstufe
Auflagehumus	Rahmen	10	1 - 5	0
0 - 5	Bohrkern	10	3	1
5 - 10	Bohrkern	10	3	2
10 - 20	Bohrkern	5	3	3
20 - 30	Bohrkern	5	3	4
30 - 50	Schlagbohrer	5	5 - 10	5

c) Verteilung der Probenpunkte auf der Fläche:

Die relativ hohe Anzahl von Probenpunkten ermöglicht deren zufällige Verteilung über die gesamte Fläche. Zweckmäßigerweise wird ein ideeller Raster mit einer Gitterweite von 1 m über die Fläche gelegt, die Rasterfelder durchnummeriert und 10 Rasterfelder zufällig ausgewählt. Diese Felder können mit Maßband und Kompaß aufgesucht werden.

Bei sehr homogenen Flächen kann das geschilderte Verfahren bei erneuter Beprobung der Fläche wiederholt werden. Erweist sich die Fläche dagegen laut

Laborbefund als heterogen, so sollte versucht werden, die Bodenproben bei Wiederholungsaufnahmen beinahe von den gleichen Stellen wie bei der Erstaufnahme zu entnehmen. Zu diesem Zweck ist eine Markierung der Beprobungspunkte notwendig.

d) Probenmanipulation:

Die Aufteilung der Bohrkerns und deren tiefenstufenweise Vereinigung zu Mischproben sollte in der Regel noch am Tag der Probennahme in einem hellen Raum auf einem Arbeitstisch erfolgen. Die Bodenproben sollten dabei direkt von den Halbschalen in 5 l Plastikbeutel (Gefrierbeutel) abgefüllt werden. Es ist darauf zu achten, daß das geworbene Bodenmaterial restlos verpackt wird. Die Beschriftung der Säckchen mit wasserfestem Filzstift muß enthalten: Nr. der Probenfläche; Nr. des Probenpunktes. Vorteilhaft ist die Wägung der Proben im Gelände, da die Säckchen beim Transport aufplatzen können.

Besonderes Augenmerk ist der raschen Kühlung der Bodenproben zu schenken, da feuchte Bodenproben in Plastiksäckchen rasch zu schimmeln beginnen. (Lagerung im Kühlschrank oder Kühlraum bei ca. +5 C innerhalb von 1 - 2 Tagen).

In einem Begleitprotokoll soll jede Probe mit folgenden Angaben vermerkt sein: Nr. der Probenfläche; Nr. des Probenpunktes; Bezeichnung der Tiefenstufe; Anzahl der Bohrkerns (Rahmen), aus denen die Probe gebildet wurde.

3.3.2 BODENKATASTER, BODENVERBESSERUNGSMASSNAHMEN

a) Probennahmenverfahren (siehe Tabelle 8):

- Auflagehumus:
flächenrichtige Werbung (incl. L-Schicht) mittels Holzrahmen 30 x 30 cm.
- Mineralboden:
Profilgrube; Horizontierung nach fixen cm-Stufen.

b) Probenanzahl:

Auf jeder zu untersuchenden Fläche sind mindestens 3 Profilgruben anzulegen. Die nötige Probenanzahl im Auflagehumushorizont richtet sich nach der Mächtigkeit der Auflage, von jeder Profilgrube ist jedoch mindestens ein Holzrahmen zu beproben. Aus jedem Profil sind von jeder Tiefenstufe ca. 30-40 dag Boden zu entnehmen und tiefenstufenweise zu Mischproben zu vereinen. Das Mindestgewicht pro Mischprobe ist somit ca. 1 kg. Diese Menge ist insbesondere dann erforderlich, wenn ein Teil jeder Probe in einer Probenbank archiviert werden soll. Um genügend Probenmaterial aus dem Unterboden zu erhalten sind jeweils mehrere Einschläge mit dem Schlagbohrer vom Profilgrund aus nötig.

c) Verteilung der Probenpunkte auf der Fläche

Durch die geringe Profilanzahl bedingt ist es notwendig, die Profilgruben im Zwischenflächenbereich anzulegen. Nach Beendigung der Probennahme sollten die Profile zugeschüttet werden. Für Wiederholungsaufnahmen ist es

sinnvoll, sowohl das zugeschüttete Profil, als auch eine ungestört gebliebene Bodenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft des Profils (für die nächste Probenahme) dauerhaft zu markieren.

Tabelle 8: Probennahmeverfahren; Probenanzahl und Verteilung der Proben in den Tiefenstufen; Bezeichnung der Tiefenstufen.

Tiefenstufe	Probennahmeverfahren	Punktanzahl pro Fläche	Probennahmen pro Punkt	Bezeichnung d.Tiefenstufe
Auflagehumus	Rahmen	3	1 - 5	0
0 - 10	Profilgrube	3	1	1
10 - 20	Profilgrube	3	1	2
20 - 30	Profilgrube	3	1	3
30 - 50	Schlagbohrer	3	5 - 10	4

d) Probenmanipulation

Die Vereinigung der Tiefenstufen zu Mischproben kann bereits im Gelände erfolgen. Einer Vermengung unterschiedlicher Tiefenstufen ist durch eindeutige Beschriftung der Plastiksäcke vorzubeugen. Diese muß enthalten: Nr. der Probenfläche und Bezeichnung der Tiefenstufe. Das Begleitprotokoll soll neben diesen Angaben noch die Mächtigkeit der jeweiligen Tiefenstufe und beim Auflagehumus auch die Anzahl der Rahmenbeprobungen, aus denen die Mischprobe gebildet wurde, enthalten.

Ist eine Kühlung der Bodenproben nicht möglich (siehe 3.3.1), und ist eine sofortige Verschickung an das Untersuchungslabor ebenfalls unmöglich, so sind die Proben in einem luftigen Raum, in offenen Pappkartons vorzutrocknen.

3.4 WITTERUNG DER VORPERIODE

Da die Witterung einen maßgeblichen Einfluß auf den aktuellen Bodenfeuchtezustand und damit auch auf eine Reihe anderer Bodenkennwerte hat (Nitrifikationsrate, pH-Wert etc.), sollte der Witterungsverlauf vor der Probenahme grob charakterisiert werden. Vor allem bei Wiederholungsaufnahmen erleichtert die Kenntnis der Witterung der Vorperiode die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Die Einordnung kann nach folgendem Schema vorgenommen werden:

- 1 Keine Niederschläge innerhalb des letzten Monats
- 2 Keine Niederschläge innerhalb der letzten Wochen
- 3 Keine Niederschläge innerhalb der letzten 24 Stunden
- 4 Regnerisch mit nicht sehr starken Niederschlägen in den letzten 24 Stunden
- 5 Stärkere Regenfälle seit mehreren Tagen oder Starkregen innerhalb der letzten Stunden
- 6 Extrem niederschlagsreiche Zeit oder Schneeschmelze

4 DIE CHEMISCHE ANALYSE DER WALDBODENPROBEN

In Abhängigkeit von der Fragestellung erfolgt die Werbung der Bodenproben in verschiedener Weise (vgl. Pkt. 3). Jedenfalls muß dieser Schritt mit größter Sorgfalt erfolgen, da die Analytik selbst und die nachfolgende Bewertung der Ergebnisse Fehler bei der Probenahme nicht mehr korrigieren können und diese Arbeiten somit wertlos sind.

4.1 VORBEREITUNG DER PROBEN FÜR DIE ANALYSE

Die meisten Untersuchungen und auch die nachfolgend angeführten werden wegen der einfacheren Lagerung an Proben vorgenommen, deren Wassergehalt sich auf die Luftfeuchte des (möglichst gleichbleibend trockenen) Lagerraumes eingestellt hat.

Um einerseits die in den Proben nach Entnahme noch ablaufenden Reaktionen möglichst schnell zu stoppen, aber andererseits nicht durch starke Temperaturerhöhung neue Prozesse auszulösen, die im Profil nicht ablaufen würden, müssen die Proben schnell, aber schonend getrocknet werden. Das geschieht durch Ausbreiten, häufiges Umrühren und Zerdrücken von großen Aggregaten. Organismenreste sind auszulesen. Da das sehr grobe Bodenskelett zu manchen Meßwerten praktisch nichts beiträgt (z.B. pH-Wert) und die Mengen einer als repräsentativ anzusehenden Teilprobe oft über Gebühr erhöhen würde, kann man sie für manche Analysen entfernen.

Volumetrische Proben werden jedoch vorher ausgewogen, um die Trockenraummasse berechnen zu können. Erst dann werden Steine und Skelettanteile säuberlich separiert und ebenfalls gewogen.

Die Feinerde wird mittels eines 2 mm Siebes (möglichst aus Edelstahl) von der Probe abgetrennt. Man zerkleinert dabei größere Aggregate vorsichtig in einem Mörser, ohne Steine zu zerstoßen und drückt den Boden mit einer Gummikarte durch das Sieb.

Bei Karbonatböden ist darauf zu achten, daß das Kalkskelett nicht zerstört wird (sonst wird durch Zerreiben des Skeletts Aktivkalk vorgetäuscht). Es ist daher zweckmäßig, Karbonatböden noch feucht zu sieben und nur den leicht abtrennbaren Feinboden zu verwerten.

Auch tonreiche Böden siebt man besser bevor sie gänzlich lufttrocken sind, da ihre Aggregate zunehmend verhärten.

Für sämtliche Untersuchungen auf Gesamtgehalte mit geringen Einwaagen (< 500 mg) ist der Feinboden aus Homogenitätsgründen bis zur Pulverfeinheit zu vermahlen. Wegen der Abriebgefahr darf die Mühle nicht aus Stoffen bestehen, die analysiert werden sollen.

Alle Proben sind in geschlossenen Gefäßen gut gekennzeichnet aufzubewahren.

Bei der Entnahme der lufttrockenen Probe für die Analyse muß der Grundsatz der Chancengleichheit (jedes Partikel muß grundsätzlich die Möglichkeit haben, in die Probe zu gelangen) und Anteiligkeit (von unterschiedlichen Teilen muß

jeder entsprechend seines Anteiles am gesamten Material auch in der Probe vertreten sein) gegeben sein. Eine solche repräsentative Probennahme ist beispielsweise nach kräftigem Durchmischen der Probe mit einem Löffel möglich. (Vorsicht: Ein Rütteln der Probe fördert die Entmischung, da sich schwere Partikel unten absetzen und leichte Partikel oben anreichern!)

Wegen der schon erwähnten schwankenden Luftfeuchte des Lagerraumes soll für wissenschaftlich exakte Fragestellungen die lufttrocken (lutro) analysierte Probe auf ofentrocken (otro - 105 C) durch Differenzwägung eines Teiles der Probe umgerechnet werden.

4.2 ANALYSEMETHODEN

Die vorliegenden Analysemethoden sollen möglichst viele wichtige Bodenparameter bei vertretbarem analytischem Aufwand erfassen sowie Serienanalysen erlauben, ohne Forderungen nach wissenschaftlicher Exaktheit und Interpretierbarkeit zu vernachlässigen. Gleichzeitig wurde bei der Auswahl der Methoden auf den Stand der Diskussion der Waldbodenuntersuchung im benachbarten Ausland Rücksicht genommen, um die internationale Vergleichbarkeit zu wahren. Während somit bei einigen grundlegenden Standarduntersuchungen Methodenübereinstimmung herrscht, wurden bei manchen Bestimmungsstücken eigene Wege beschritten. Beispielsweise wird die Kationenaustauschkapazität ebenfalls als wesentliches Bestimmungsstück angesehen, doch wird eine 0.1 M Bariumchloridlösung (bei Böden mit einem pH-Wert von 6.5 und darüber (gemessen in CaCl₂-Suspension) gepuffert) gegenüber den in der Bundesrepublik Deutschland verwendeten, prinzipiell ungepufferten, 0.5 M oder 1.0 M Ammoniumchloridmethoden bevorzugt.

Die viel kräftigere Eintauschheftigkeit des zweiwertigen Kations (Ba⁺⁺) gegenüber dem einwertigen (NH₄⁺) und die dadurch mögliche niedrigere Konzentration in der Extraktionslösung erlauben ein störungsfreieres Messen. Da bei manchen Untersuchungen zusätzlich die mehrwertigen Kationen Mangan, Eisen und Aluminium erfaßt werden sollen, wurde auch aus diesen Gründen dem mehrwertigen Kation Barium der Vorzug eingeräumt.

Bei der Auswahl der Analysemethoden wurde außerdem davon ausgegangen, daß bei Waldböden - wie eingangs erwähnt - die Nährstoffbereitstellung aus der Umsetzung der organischen Substanz ungleich bedeutender ist als in Ackerböden. Daher wurde auf die Bestimmung einer "leicht löslichen P-Fraktion" bewußt verzichtet.

Um im Labor über Jahre hinweg zuverlässige und vergleichbare Analysenwerte zu erhalten ist es zweckmäßig, bei jeder Serie entsprechende Standardkontrollproben mitlaufen zu lassen, um Fehler im Analysengang aufzudecken.

Die Analyseergebnisse selbst werden mit einer Genauigkeit von 2 signifikanten Stellen, bei hohen Ansprüchen mit einer solchen von 3 signifikanten Stellen angegeben.

4.2.1 ANALYSENRAHMEN

Für alle Fragestellungen werden als Basisanalysen pH-Wert (in CaCl_2 und gegebenenfalls in H_2O), Gesamtstickstoff, organischer Kohlenstoff und bei Karbonatböden auch die Karbonatbestimmung empfohlen.

Bodenverbesserungsmaßnahmen einschließlich Düngung:

Für Düngungsempfehlungen kommen zu den Basisuntersuchungen noch die Nährelemente P, K, Ca und Mg im Säureaufschluß dazu, sowie zusätzlich oder anstelle des Säureaufschlusses die austauschbar gebundenen Kationen K, Ca und Mg im Bariumchlorid-Extrakt.

Bodenkataster:

Für Katasteruntersuchungen sind neben den Nährelementen im Säureaufschluß auch Schwermetallanalysen zweckmäßig. Die Art des gewählten Aufschlusses wird sich vor allem nach der Fragestellung richten. Dient die Schwermetallbestimmung lediglich der Dokumentation (Beweissicherung) zukünftiger Veränderungen, so genügt die Schwermetallanalyse im Säureaufschluß. Werden darüber hinaus noch Anhaltspunkte über die Herkunft der Schwermetallgehalte im Boden (geogen, immisionsbedingt) gewünscht, so ist zusätzlich zum Säureaufschluß eine schwächere Extraktion durchzuführen (z.B. BaCl_2 - und/oder EDTA-Extraktion). Die Analyse der austauschbar gebundenen Kationen K, Ca und Mg bringt Informationen über das kurzfristige Pufferungsvermögen des Bodens gegenüber Säureeintrag und damit verbunden über dessen Versauerungsneigung. Aus der Belegung des Austauschkomplexes mit Al, Fe und Mn sowie aus deren prozentuellen Anteilen an der gesamten Austauschkapazität kann auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Al-Fe-Toxizität im Wurzelraum geschlossen werden.

Dauerbeobachtungsflächen:

Um das mit hohem Aufwand geworbene Bodenprobenmaterial von Dauerbeobachtungsflächen optimal zu nutzen, wird ein breiter Analysenrahmen empfohlen. Dieser sollte neben den Basisanalysen folgende Bestimmungsstücke umfassen:

- Säureaufschluß:
 - Nährelemente: P, K, Ca, Mg.
 - Schwermetalle: Cu, Zn, Pb, Cd, (Co, Cr, Ni, Mo, Hg, ua.).
 - Eventuell ferner: Fe, Mn, (Al).
- Bariumchloridextrakt (nur im Mineralboden):
 - Bei pH-Wert (in CaCl_2) ab 6.5: Ca, Mg, K, (Na).
 - Bei pH-Wert (in CaCl_2) kleiner als 6.5: Ca, Mg, K, (Na), Al, Fe, Mn.
 - Kationenaustauschkapazität durch Bestimmung des Bariumrücktaushes.
 - Schwermetalle.

- EDTA-Extrakt:
 - Schwermetalle.
- Korngrößenbestimmung:
Wird im allgemeinen nicht bei allen Bodenproben einer Dauerbeobachtungsfläche, sondern nur bei einigen ausgewählten Bodenprofilen durchgeführt.

Eventuell zusätzlich:

- Ammoniumacetat-Extrakt (nicht geeignet für Böden mit einem pH-Wert von 6.5 und darüber (in CaCl_2):
 - Ca, Mg, K, (Na).

4.2.2 pH-WERT

Prinzip:

Elektrometrische Messung der H-Ionen-Aktivität einer Suspension von Boden in 0.01 M CaCl_2 -Lösung und gegebenenfalls in dest. Wasser. Bei der Bestimmung des pH-Wertes in wässriger Aufschlämmung besteht eine Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis. Die Messung in 0.01 M CaCl_2 -Lösung ist vom Mischungsverhältnis weitgehend unabhängig. Bei der Angabe des Ergebnisses ist die Art der Suspension (0.01 M CaCl_2 oder H_2O), in welcher der pH-Wert gemessen wurde, anzuführen.

Geräte:

- Feinschnellwaage, auf 10 mg ablesbar oder Volumslöffel für 10 ml.
- Becher aus Kunststoff, hohe Form (ca. 50 ml Fassungsvermögen) oder entsprechende Reagenzgläser.
- Meßgefäß oder Dosiereinrichtung für 25 ml.
- Elektrometrisches pH-Meßgerät mit Glaselektrode.

Reagenzien:

- aqua dest.
- 0.01 M CaCl_2 -Lösung: 1.47 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ p.a. in aqua dest. zu 1 l lösen.
- Pufferlösungen zur Eichung des pH-Meters: es wird empfohlen, käufliche Lösungen gemäß Anweisungen des Geräteherstellers zu verwenden (z.B.: Pufferlösung pH 4.0 und Pufferlösung pH 7.0).

Durchführung:

Der Feinboden wird im Massen- oder Volumenverhältnis 1:2.5 (bei Humusböden 1:5) mit der 0.01 M CaCl_2 -Lösung (oder aqua dest.) in einem Becherglas (Reagenzglas) versetzt (10 g oder 10 ml Boden und 25 ml Lösung), gut durchmischt und über Nacht stehen gelassen. Am nächsten Morgen durchmischt man neuerlich gut und läßt den Boden kurz absetzen. (Bei hohen Genauigkeitsansprüchen ist die Absetzzeit zu standardisieren.) Mit dem mit den Pufferlösungen geeichten pH-Meter wird der pH-Wert gemessen. Der pH-Wert darf erst nach dem Erreichen des Stillstandes der Anzeige abgelesen werden. Gegebenenfalls ist eine Temperaturkorrektur vorzunehmen. Zwischen allen Messungen ist die Glaselektrode mit aqua dest. abzuspülen und - falls notwendig - mit säurefreiem Papier

vorsichtig von eventuell vorhandenen hauchartigen Überzügen toniger Suspension zu reinigen.

Anmerkung:

Die Zeit bis die Anzeige zum Stillstand kommt ist bei pH-Werten im stark sauren Bereich relativ kurz, sie steigt gegen den Neutralpunkt hin merklich an, an welchem sich das Potential viel langsamer einstellt. Vorsicht vor Meßfehlern durch zu frühen Abbruch der Messung!

4.2.3 GESAMTSTICKSTOFF NACH KJELDAHL

Prinzip:

Mit heißer, konzentrierter Schwefelsäure werden viele organische Substanzen völlig zersetzt, wobei Kohlenstoff zu CO_2 und Wasserstoff zu H_2O oxidiert sowie Stickstoff mit Übersäuerter Schwefelsäure in $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ übergeführt wird. - Bestimmte Katalysatoren, wie beispielsweise Selen, beschleunigen die Zersetzungsvorgänge. Der Zusatz von K_2SO_4 erhöht die Siedetemperatur und wirkt damit ebenfalls beschleunigend auf die Reaktion. Die Bestimmung des Stickstoffs als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ kann durch Destillation (Ammoniakisolierung durch Wasserdampfdestillation nach Freisetzen mit NaOH) und titrimetrische Bestimmung des in Borsäure aufgefangenen Ammoniaks mit Salzsäure erfolgen.

Geräte:

- Aufschlußblock (zeit- und temperaturgesteuert) mit genormten Aufschlußreagenzgläsern und Absaugvorrichtung.
- vollautomatische Destillations- und Titrationseinheit.
- Abzug.

Sind die genannten Geräte nicht vorhanden, so können für den Aufschlußvorgang andere gebräuchliche Heizvorrichtungen (Kocher, Sandbad, Heizplatten) verwendet werden. - Der Destillationsschritt wird zweckmäßig mit einer Parnaß-Apparatur durchgeführt (Dampfdestillation); für die Titration ist eine Halbmikrobürette erforderlich.

Reagenzien:

- H_2SO_4 konz. zur Stickstoffbestimmung.
- Kjeldahl-Tabletten.
- Natronlauge 32% zur Stickstoffbestimmung.
- Mischindikator 5 für Ammoniaktitration (Merck 6130).
- Borsäure 2%: 100 g H_3BO_3 p.a. werden in ca. 1.5 l heißem aqua dest. gelöst. Man läßt abkühlen und überführt quantitativ in einen 5 l Meßkolben. Bevor mit aqua dest. zur Marke aufgefüllt wird, werden 10 ml Mischindikator 5 zugesetzt.
- Salzsäure 0.1 M.

Durchführung:

1.0 - 2.0 g Feinboden (je nach Gehalt an organischer Substanz) werden in die Aufschlußgläser eingewogen. Es wird eine Kjeldahl-Tablette dazugegeben und mit

16 ml H_2SO_4 versetzt. Man heizt im Abzug zügig auf und schließt ca. 30 - 40 min. bei 380 - 400 C bis zum "Klarwerden" der Lösung auf. Nach dem Abkühlen wird der Gesamtstickstoffgehalt der Probe mit dem vollautomatischen Destillations- und Titrationsgerät bestimmt. Als Titrationsssäure wird 0.1 M HCl verwendet (Farbumschlag von grün nach blaßrosa oder Endpunkt-pH 4.3).

Berechnung:

Das Auswertegerät ist so zu programmieren, daß der N-Gehalt der Probe auf 2 signifikante Stellen genau angegeben wird. Es ist dabei der ml-Verbrauch einer Blindwerttitration vom Gesamtverbrauch abzuziehen. Der so erhaltene "reale" Verbrauch an 0.1 M HCl ist mit dem Faktor 1.4 zu multiplizieren. Die Einwaage ist zu berücksichtigen.

Anmerkung:

Bei dieser Gesamtstickstoffbestimmung wird der als NO_3^- gebundene Stickstoff nicht miterfaßt, da er durch Schwefelsäure in Stickstoffoxide zerlegt wird, die flüchtig sind. Der Nitratstickstoff stellt in den Waldböden jedoch einen äußerst geringen Anteil am Gesamtstickstoff dar, so daß er vernachlässigt werden kann. Will man ihn dennoch miterfassen, so müssen die Nitrate zunächst reduziert werden, was durch Zusatz von Salicylsäure erfolgt. Dabei entsteht Nitrosalicylsäure, die durch ein Reduktionsmittel (Natriumhiosulfat) wiederum in Aminosalicylsäure umgewandelt wird. Danach kann der Aufschluß der Probe nach dem Verfahren von Kjeldahl erfolgen.

Ist das Labor nicht mit Aufschlußblock und vollautomatischer Destillations- und Titrationseinheit ausgestattet, so sei bezüglich der Durchführung der Analyse auf die einschlägigen Fachbücher und Arbeitsvorschriften, die die Kjeldahl-Methode beschreiben, hingewiesen (siehe Quellennachweis).

4.2.4 ORGANISCHER KOHLENSTOFF

Prinzip:

Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes durch Oxidation auf trockenem Weg, üblicherweise im O_2 -Strom. Auffangen und bestimmen des gebildeten CO_2 .

Geräte:

- Verbrennungsofen und Nachverbrennungsofen.
- Gaszuführung.
- Gasanalysegerät.
- Porzellanschiffchen, zum Verbrennungsofen passend.

Reagenzien:

- O_2 (CO_2 -frei).
- 0.1 M NaOH bei konduktometrischer Erfassung des gebildeten CO_2 .

Durchführung:

Vor Beginn der Analysenarbeit ist das Gerät nach den vom Gerätehersteller angeführten Vorschriften (Chemikalien, Temperatur) zu eichen.

Je nach Humusgehalt und Gerät werden bis zu 500 mg Probe eingewogen. Vorher ist eine Homogenisierung durch Feinvermahlung in der Regel erforderlich und umso bedeutender, je geringer die Einwaage ist. Die Probe wird in den Verbrennungsofen eingebracht und unter Sauerstoffüberschuß verbrannt. Die vollständige Verbrennung zu CO_2 ist die Voraussetzung für die exakte Bestimmung. Sie ist je nach Gerät durch nachgeschaltete Kontaktöfen oder anders sicherzustellen. Zur vollständigen Verbrennung ist eine Temperatur von 1 000 C notwendig.

Die analytische Bestimmung des entstehenden CO_2 richtet sich nach den zur Verfügung stehenden Geräten (z.B. konduktometrisch nach Absorption in NaOH, IR-Absorption, GC-Analyse).

Berechnung:

Die Anzeige des Ergebnisses erfolgt üblicherweise in mg C. Unter Berücksichtigung der Einwaage wird auf den C-Gehalt der Probe umgerechnet. Das Ergebnis wird auf 2 signifikante Stellen genau angegeben.

$$\frac{\text{mg C} * 100}{\text{mg Einwaage}} = \% \text{ C}$$

Anmerkung:

Zur quantitativen Verbrennung des organischen Kohlenstoffs wird die Temperatur so hoch gewählt, daß auch anorganisch gebundener Kohlenstoff quantitativ entweicht. Bei karbonathaltigen Böden ist daher der anorganische Kohlenstoff abzuziehen. Um den anorganischen Kohlenstoff zu berechnen, wird der Karbonatgehalt (berechnet als CaCO_3) mit dem Faktor 0.12 multipliziert und ist vom Gesamtkohlenstoffgehalt abzuziehen:

$$C_{\text{org}} = C_{\text{gesamt}} - C_{\text{karbonat}}$$

Die relative Ungenauigkeit der Karbonatbestimmung nach SCHEIBLER spielt bei der Berechnung des organisch gebundenen Kohlenstoffs angesichts des Faktors 0,12 nur eine untergeordnete Rolle.

Die fallweise erwünschte Umrechnung des durch trockene Verbrennung erhaltenen C-Gehaltes in organische Substanz erfolgt mit dem konventionellen Faktor 1.724, wobei von der organischen Substanz ein mittlerer C-Gehalt von 58% angenommen wird. Dieser Wert kann aber stark schwanken, so daß der Faktor auch zwischen 1.5 und über 2.0 liegen kann.

Die Humusbestimmung durch NaBoxidation (mit Dichromat-Schwefelsäure) ist für humusreiche Waldböden nicht zielführend, da in der Regel viel zu niedrige Werte erhalten werden.

4.2.5 KARBONAT

Prinzip:

Zerstörung der Karbonate durch Salzsäure und gasvolumetrische Bestimmung des sich dabei entwickelnden CO_2 unter Berücksichtigung von Temperatur und Druck nach SCHEIBLER.

Geräte:

- Scheiblerapparatur mit Thermometer.
- Barometer.

Reagenzien:

- HCl rauchend mit aqua dest. 1:2 verdünnt.
- H₂SO₄ konz.

Durchführung:

Je nach Kalkgehalt werden meist 1-5 g Feinboden in das Reaktionsgefäß der Scheiblerapparatur eingewogen. Die verdünnte Salzsäure (ca. 10 ml) wird in den dafür vorgesehenen Einsatz gebracht oder, in einen Reagenztiegel gefüllt, in das Reaktionsgefäß vorsichtig eingesetzt; sie darf zunächst nicht mit der Probe in Berührung kommen. Das Gefäß wird mit dem Stopfen verschlossen und bei geöffnetem Ausgleichshahn das Niveau des (mit H₂SO₄ angesäuerten) Wassers auf die Höhe "0" der Meßröhre mit dem Niveaugefäß eingestellt; dann schließt man den Ausgleichshahn, bringt die Salzsäure mit dem Boden in Kontakt und schüttelt abgesetzt solange (Vorsicht: das Reaktionsgefäß darf dabei nicht durch die Hand erwärmt werden!), bis sich das Niveau des Wassers in der Meßröhre nicht mehr ändert (ca. 5-10 min). Gleichzeitig läßt man aus dem einen Rohrende in dem Maße Wasser ab, wie sein Niveau im anderen Rohrende infolge des CO₂-Druckes sinkt. Nach Abschluß der CO₂-Entwicklung stellt man auf Niveaugleichheit ein und liest das Volumen des entwickelten Gases ab.

Berechnung:

Der Scheiblerapparatur ist eine Tabelle beigegeben, mit der man die ml CO₂ bei den gegebenen Versuchsbedingungen (Atmosphärendruck und Raumtemperatur) in mg CO₂ umrechnen kann. Mit dem Faktor 2.274 wird auf mg CaCO₃ umgerechnet:

$$\frac{\text{ml CO}_2 * \text{Tabellenwert} * 2.274 * 100}{\text{Einwaage in mg}} = \% \text{ CaCO}_3$$

Man gibt auf 2 signifikante Stellen genau an.

Anmerkung:

Konventionell werden die Karbonate als CaCO₃ angegeben. Doch treten in Böden auch andere Karbonate auf, wie z.B. MgCO₃ und FeCO₃. Dies ist bei der Interpretation zu berücksichtigen (CaCO₃:MgCO₃:FeCO₃ = 1:0.84:1.16).

Einige Karbonate (z.B. Dolomit) setzen sich in der Kälte nur schwer um. Längeres Schütteln und die Verwendung von gemahlener Feinbodenproben sind dann notwendig. Ferner stören Sulfide, da freigesetztes H₂S den Gasdruck erhöht.

4.2.6 NÄHRSTOFFE UND SCHWERMETALLE IM SÄUREAUFSCHLUSS

Prinzip:

Im Säureaufschluß werden diejenigen Nährstoff- und Schwermetallmengen erfaßt, die über längere Zeiträume durch physikalische und chemische Verwitterung aus dem Mineralbestand freigesetzt werden ("Verwitterungspotential"). Bei vielen Elementen und in den meisten Böden kommt diese Fraktion dem Gesamtgehalt nahe. In diesen Aufschlüssen können u.a. folgende Elemente bestimmt werden: P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Co, Cr, Ni, Pb, Cd, Mo.

Säureaufschlüsse nehmen eine Mittelstellung zwischen relativ schwach wirkenden Auszugs- und Austauschmethoden einerseits (vgl. Pkt. 4.2.7 - 4.2.9) und der Vollanalyse andererseits ein. Letztere dient vor allem zur chemischen Charakterisierung des Gesteins. Die ersteren erfassen leicht lösliche oder für die Pflanzen "aufnehmbare" Anteile.

Die Bodenuntersuchung wendet verschiedene Säureaufschlüsse an. Für Waldböden, insbesondere für Auflagen und stark humose Horizonte, ist der Salpetersäure-Perchlorsäureaufschluß wegen seines besonders guten Aufschlußvermögens für organische Stoffe zweckmäßig. Aus Gründen der internationalen Vergleichbarkeit kann auch der Königswasseraufschluß angewendet werden. Hinsichtlich der Metalle stimmen die beiden Aufschlüsse recht gut überein. Die P-Gehalte im Salpetersäure-Perchlorsäureaufschluß sind jedoch meist höher, da die Perchlorsäure die organische Substanz komplett zersetzt. Die Aufschlußmethodik ist jedenfalls bei den Ergebnissen anzuführen.

Geräte:

- Heizvorrichtung je nach Ausstattung des Labors (Sandbad, Heizplatte, Kocher oder Aufschlußblock). Ein zeit- und temperaturgesteuerter Aufschlußblock mit Absaugvorrichtung ist zu empfehlen.
- Aufschlußgefäße (z.B. Kjeldahlkolben oder Aufschlußreagenzgläser für den Aufschlußblock. Für die Säureaufschlüsse ist tunlichst ein eigener Satz zu verwenden).
- Abzug (für Perchlorsäureaufschlüsse ist unbedingt ein Perchlorsäureabzug erforderlich!).
- Div. Meßkolben.
- Div. Pipetten sowie Dosier- und Verdünnungshilfen.
- Filtriereinrichtung und Analysentrichter.
- Faltenfilter, gehärtet, säurefest (z.B. Macherey und Nagel 619 G 1/4 oder 680 1/4; Schleicher und Schüll 512 1/2).
- Polyethylenfläschchen 100 ml.
- Analysengeräte (Spektralphotometer, Flammenphotometer, Atomabsorptionsspektrophotometer (Flammenausrüstung und elektrothermische Ausrüstung), Plasma-Emissions-Spektrometer, Polarograph).

Sollen in den Säureaufschlüssen auch leicht flüchtige Elemente (beispielsweise Quecksilber) bestimmt werden, so muß beim Aufschluß mit Rückflußkühlung gearbeitet werden (z.B. Kjeldalift-Aufschlußsystem).

Für die Analyse sind u.U. ebenfalls Zusatzgeräte erforderlich (bei der Atomabsorptionsbestimmung von Quecksilber beispielsweise das Quecksilber-Hydrid-System).

Reagenzien:

- aqua dest.
- HNO_3 65% p.a.
- Entschäumer: 1-Octanol reinst.
- Div. Chemikalien in Abhängigkeit vom Analysegerät und der dabei gewählten Bestimmungsmethode.
- Standards von den zu bestimmenden Elementen
 - definierte Stoffmenge oder
 - definierte Konzentration.

Für den Salpetersäure-Perchlorsäureaufschluß:

- Perchlorsäure 70% p.a.

Für den Königswasseraufschluß:

- HCl rauchend p.a.

Durchführung:

Sind für den Säureaufschluß keine speziellen Gefäße reserviert, so sind die Gefäße jedesmal vor Gebrauch mit ca. 5 ml HNO_3 auszudämpfen und mit aqua dest. zu spülen.

Aufschluß mit Salpetersäure-Perchlorsäure:

2 g Feinboden werden in das Aufschlußgefäß eingewogen. Man versetzt mit 20 ml von einem schon vorher im Verhältnis 5:1 hergestellten Gemisch von Salpetersäure:Perchlorsäure und schüttelt gut durch. Besonders bei karbonatreichen und stark humosen Böden tritt kräftige Schaumbildung auf. Daher läßt man die Probe einige Stunden, am besten über Nacht, im Perchlorsäureabzug (!) bei Zimmertemperatur stehen. Vor dem Erhitzen der Probe kann gegebenenfalls ein Tropfen Entschäumer zugesetzt werden. Man erhitzt nun langsam (20-30 min.) auf ca. 60 C. Bei dieser Temperatur ist maximale Schaumbildung möglich. Sodann erhöht man die Temperatur zügig auf 180 - 185 C und läßt 20 min. kochen. Man nimmt die Probe vom Heizgerät, läßt abkühlen und versetzt mit ca. 20 ml aqua dest.

Der weitere Vorgang entspricht dem des Königswasseraufschlusses und ist dort beschrieben.

Aufschluß mit Königswasser:

2 g Feinboden werden in das Aufschlußgefäß eingewogen. Man versetzt mit 15 ml HCl und sodann mit 5 ml HNO_3 und schüttelt gut durch. Besonders bei karbonatreichen und stark humosen Böden tritt kräftige Schaumbildung auf. Daher läßt man die Probe einige Stunden, am besten über Nacht, im Abzug bei Zimmertemperatur stehen. Vor dem Erhitzen der Probe kann gegebenenfalls ein Tropfen Entschäumer zugesetzt werden. Man erhitzt nun langsam (20-30 min.) auf ca. 60 C. Bei dieser Temperatur ist maximale Schaumbildung möglich. Sodann erhöht man die Temperatur zügig auf 135 - 140 C und läßt 1 Stunde kochen. Man nimmt die Probe vom Heizgerät, läßt abkühlen und versetzt mit ca. 20 ml aqua dest.

Danach werden Lösung und Lösungsrückstand quantitativ in einen 100 ml Meßkolben übergeführt. Das Aufschlußgefäß wird mehrmals mit aqua dest. gespült und auch das Spülwasser wird in den Meßkolben eingebracht. Man füllt zur Marke auf, schüttelt gut durch und filtriert durch ein Faltenfilter in ein 100 ml Polyethylenfläschchen. Der erste Anteil des Filtrats wird dabei verworfen. Die Probe wird im Polyethylenfläschchen gut verschlossen aufbewahrt.

Messung:

Da sich die Elementanalyse nach den dem Labor zur Verfügung stehenden Geräten richtet, kann eine detaillierte Methodenbeschreibung an dieser Stelle nicht erfolgen.

Die Analysenmethodik ist dann nicht kritisch, wenn die Meßanweisungen der Gerätehersteller genau befolgt und etwaige Querempfindlichkeiten von Störelementen entsprechend den Gerätebeschreibungen berücksichtigt oder durch geeignete Korrekturverfahren eliminiert werden. Da je nach Meßprinzip von Säuren Störungen verursacht werden können, ist der Einfluß ihrer Konzentration auf das Meßergebnis unbedingt bei Herstellung der Standardlösungen zu berücksichtigen. Standard und Meßlösungen dürfen in der Säurekonzentration in der Regel nur geringfügig voneinander abweichen.

Das Mitlaufenlassen von Blindproben ist ebenso erforderlich, wie das gelegentliche Überprüfen von Wiederfindungsraten zugesetzter Elemente; zum Aufdecken von Matrixeffekten sollen Additions- und Verdünnungsmethoden angewendet werden.

Berechnung:

Die Konzentration der gemessenen Lösung wird am Gerät angezeigt (oder sie ist aus der Standardkurve zu entnehmen oder mittels Gleichung zu berechnen). Der Gehalt der Probe an den untersuchten Elementen wird nun unter Berücksichtigung von Einwaage und eventuellen Verdünnungsschritten bezogen auf den lufttrockenen Feinboden berechnet. Die Ergebnisse werden abhängig vom Element in g/kg, oder in mg/kg auf 2 signifikante Stellen angegeben.

Anmerkung:

Die angeführte Mengenangabe bei der Einwaage kann sowohl unterschritten (500 mg - Halbmikrobestimmung) als auch überschritten werden (5 g Makrobestimmung). Die Ausstattung des Labors, aber auch die vorhandene Probenmenge werden dabei eine Rolle spielen. Besonders bei Einwaagen unter 1 g ist auf repräsentative Probenahme zu achten. Vergleichsuntersuchungen ergaben, daß Abweichungen des Verhältnisses von Einwaage zu Säuregemisch vom Verhältnis 1:5 bis 1:10 keinen Einfluß auf die Analyseergebnisse haben. Ähnliches gilt für das Zeit- und Temperaturprogramm beim Aufschluß, welches gerätebedingt oft nicht exakt eingehalten werden kann. Reziproke Temperatur- und Zeitabweichungen (bis zu 20 C und bis zu 30 min.) führen noch zu übereinstimmenden Ergebnissen. Unbedingt muß aber geachtet werden, daß die Proben nicht eintrocknen.

4.2.7 AUSTAUSCHBARE KATIONEN IM BARIUMCHLORID-EXTRAKT

Prinzip:

Die Kationenaustauschkapazität (KAK, T-Wert) ist eine für den Nährstoffhaushalt und das Pufferungsvermögen des Bodens außerordentlich bedeutungsvolle Eigenschaft. Die Austauschkationen werden in saure (H) und basische (S) Kationen unterteilt. Zum H-Wert gehören neben den H^+ -Ionen auch solche, die beim Eintritt in die Bodenlösung eine Hydrolyse hervorrufen und damit die H^+ -Ionen freisetzen, wie vor allem Al ($Al^{+++} + 3 Cl^- + 3 H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 + 3 H^+ + 3 Cl^-$). Am S-Wert sind in erster Linie Ca^{++} , Mg^{++} ,

K^+ und in sehr bescheidenem Umfang auch Na^+ und NH_4^+ beteiligt, wobei Ca^{++} meist mit mehr als 80% dominiert. Ihre Konzentration kann als % vom T-Wert oder direkt in mM IÄ/kg Boden angegeben werden. Der %-Anteil des S-Wertes wird als V-Wert (Basensättigungsgrad) bezeichnet.

Zur Bestimmung der austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität verwendet man Eintauschkationen, die im Boden nicht oder nur in geringer Konzentration vorhanden sind. Praktisch kommen als Eintauschkationen Ammonium und Barium in Frage. Infolge ihrer verschiedenen Austauschenergie und Wertigkeit sowie ihrer verschiedenen Ionendurchmesser ergeben sich verschiedene Werte, vor allem bei der Ermittlung des austauschbaren Kaliums. Da aber in den Böden weiter Gebiete Europas die zweiwertigen Erdalkalien am Sorptionskomplex dominieren, ist es angebracht, das ebenfalls zweiwertige Barium als Eintauschkation zu verwenden, zumal es auch für den Austausch der mehrwertigen Al-, Fe- und Mn-Ionen geeigneter ist.

Die viel höhere Austauschenergie eines zweiwertigen Kations gegenüber einem einwertigen erlaubt es außerdem, die Konzentration der Austauschlösung niedrig zu halten, wodurch Störungen bei der Messung durch hohe Salzkonzentrationen vermindert werden können.

Der Austausch der Kationen erfolgt für Böden mit einem pH-Wert von 6.5 und höher (in $CaCl_2$) in mit Triethanolamin (TEA) auf pH 8.2 gepufferter, für Böden mit niedrigerem pH-Wert in ungepufferter 0.1 M $BaCl_2$ -Lösung. Im gepufferten Extrakt werden K, Ca, Mg und allenfalls Na bestimmt, im ungepufferten Extrakt können zusätzlich Mn, Al und Fe analysiert werden.

Die Kationenaustauschkapazität wird durch Rücktausch des Bariums mit 0.2 M HCl ermittelt.

Geräte:

- Polyethylenfläschchen (250 ml weithals).
- Polyethylenfläschchen (100 ml).
- Abfüllvorrichtung für 100 ml.
- Schüttelapparatur.
- Div. Meßkolben.
- Div. Pipetten sowie Dosier- und Verdünnungshilfen.
- Filtriereinrichtung und Analysentrichter.
- Falterfilter MN 280 1/4.
- pH-Meter.
- Analysengeräte wie unter Pkt. 4.2.6.

Reagenzien:

- aqua dest.
- 0.1 M $BaCl_2$ -Lösung: 24.428 g $BaCl_2 \cdot 2 H_2O$ p.a. werden in 1 l aqua dest. gelöst.
- auf pH 8.2 gepufferte 0.1 M $BaCl_2$ -Lösung: 24.428 g $BaCl_2 \cdot 2 H_2O$ p.a. werden in ca. 700 ml aqua dest. gelöst. Man setzt 4.8 ml Triethanolamin (TEA) p.a. zu und durchmischt sorgfältig. Dann fügt man 6.4 ml 2 M HCl zu und durchmischt wiederum gründlich. Der pH-Wert soll 8.2 betragen. Gegebenenfalls korrigiert man durch Zusatz von TEA oder 2 M HCl. Hierauf füllt man mit aqua dest. auf 1 l auf. Man bewahrt die Lösung in verschlossener Flasche auf, weil sie CO_2 absorbiert. Sie ist ca. drei Wochen haltbar.

- 0.005 M BaCl₂-Lösung (1.22 g BaCl₂ · 2 H₂O p.a. in 1 l aqua dest. lösen).
- 0.015 M LiCl-Lösung: 63.585 g LiCl p.a. werden mit aqua dest. zu 1 l gelöst (1.5 M-Lösung). 50 ml dieser Lösung werden mit aqua dest. auf 5 l aufgefüllt.
- Standards von den zu bestimmenden Elementen
 - definierte Stoffmenge oder
 - definierte Konzentration.
- 0.2 M HCl.

Durchführung:

5 g Feinboden werden in den 250 ml weithals Polyethylenfläschchen mit 100 ml Extraktionslösung übergossen und von Hand aus so umgeschwenkt, daß ein Ankleben des Feinbodens an der Gefäßwand vermieden wird. Man läßt über Nacht stehen und schüttelt am nächsten Tag auf der Schüttelapparatur 2 Stunden. Anschließend wird durch Faltenfilter in 100 ml Polyethylenfläschchen filtriert, wobei der erste Anteil des Filtrates verworfen wird.

Je nach Analysegerät können aus den Filtraten K und Na, bei der ungepufferten Extraktionslösung auch Fe, Mn und Al meist direkt gemessen werden. Die Bestimmung von Ca und Mg wird in der Regel aus den mit Lithiumchloridlösung verdünnten Extrakten erfolgen. Die Lithiumchloridlösung hat sich deshalb bewährt, weil Lithium die Ionisierung der zu messenden Kationen unterdrückt und dadurch eine Fehlerquelle ausschaltet. Werden die Extrakte verdünnt, so ist auch die Eichlösung mit der Lithiumchloridlösung entsprechend zu verdünnen.

Herstellung der Eichlösung:

- Mn-, Fe-, Al-Lösung:
Der Inhalt einer Ampulle Mn-Titrisol, Fe-Titrisol und Al-Titrisol (jeweils 1.000 g des betreffenden Elements) wird mit aqua dest. zu 1 l verdünnt.
- Stammeichlösung:
36.681 g CaCl₂ · 2 H₂O p.a.
1 Ampulle K-Titrisol (1.000 g K).
2 Ampullen Mg-Titrisol (je 1.000 g Mg).
50 ml einer Na-Standardlösung von 1.000 g /l.
100 ml der Mn-Fe-Al-Lösung.
werden mit der Extraktionslösung zu 1 l verdünnt.
1 ml dieser Lösung enthält:
 - 10 mg (oder 10 000 mg/kg) Ca
 - 2 mg (oder 2 000 mg/kg) Mg
 - 1 mg (oder 1 000 mg/kg) K
 - 0.1 mg (oder 100 mg/kg) Mn, Fe und Al
 - 0.05 mg (oder 50 mg/kg) Na

Herstellung der Eichreihen:

Man benötigt dazu 5 · 200 ml Meßkolben. In die 5 Meßkolben werden die aus der nachstehenden Angabe zu entnehmenden Mengen an Stammeichlösung einpipettiert, dann wird mit Extraktionslösung bis zur Marke aufgefüllt.

Meßkolben Nr.	1	2	3	4	5
ml Stammeichlösung	1	2	3	4	5

Die Konzentrationen dieser Eichreihen (1-5) entsprechen, wenn man 5 g Feinboden mit 100 ml Extraktionslösung geschüttelt hat, folgenden Gehalten:

Eichreihe	1	2	3	4	5
in mg/kg Feinboden					

Ca	1000	2000	3000	4000	5000
Mg	200	400	600	800	1000
K	100	200	300	400	500
Mn	10	20	30	40	50
Fe	10	20	30	40	50
Al	10	20	30	40	50
Na	5	10	15	20	25

in mM IÄ/kg Feinboden

Ca	49.9	99.8	149.7	199.6	249.5
Mg	16.5	32.9	49.4	65.0	82.3
K	2.56	5.12	7.67	10.23	12.79
Mn	0.36	0.72	1.08	1.44	1.80
Fe	0.54	1.08	1.62	2.16	2.70
Al	1.11	2.22	3.33	4.44	5.55
Na	0.22	0.44	0.66	0.88	1.10

Bestimmung der Kationenaustauschkapazität (KAK) durch Rücktausch:

Um die KAK zu bestimmen, wird das eingetauschte Barium durch 0.2 M HCl wieder rückgetauscht und seine Konzentration bestimmt, welche die KAK angibt.

Man geht folgendermaßen vor:

Der auf dem Filter zurückgebliebene Boden wird mit 100 ml einer (in jedem Fall ungepufferten) 0.005 M BaCl₂-Lösung und danach mit 100 ml aqua dest. gespült, um die zwischen den Bodenteilchen haftende Extraktionsflüssigkeit restlos zu verdrängen. Es empfiehlt sich, die jeweils 100 ml (die nicht quantitativ zu sein brauchen) zuerst in die Schüttelflasche zu geben - so wäscht man auch den in der Schüttelflasche zurückgebliebenen Boden sowie die Schüttelflasche selbst - und aus dieser in je 2 Portionen über die Filter zu gießen.

Die zwei Waschstritte (0.005 M BaCl₂ und aqua dest.) dürfen erst dann ausgeführt werden, wenn die davor verwendete Flüssigkeit abgetropft ist. Man achte auch darauf, daß die obersten 2 cm des Filters nicht mit dem Boden in Berührung kommen.

Am nächsten Tag wird dieser Filterrand, an dem Spuren von überschüssigem BaCl₂ kapillar hochgestiegen und auskristalliert sind, mit einer Schere abgeschnitten, verworfen und das restliche Filter mit dem Boden ins ursprüngliche Schüttelgefäß gegeben. Dann übergießt man mit 100 ml einer 0.2 M HCl,

schüttelt eine Stunde und filtriert in 100 ml Polyethylenfläschchen. Der erste Anteil des Filtrates wird verworfen. Im Filtrat ist das durch die Salzsäure rückgetauschte Barium zu messen, dessen valenzmäßige, auf 1 kg Boden bezogene Menge die Austauschkapazität angibt.

Herstellung der Ba-Eichlösung:

12.2155 g $BaCl_2 \cdot 2 H_2O$ p.a. werden in 1 l 0.2 M HCl gelöst.

Herstellung der Eichreihe:

ml Bariumeichlösung mit 0.2 M HCl auf 200 ml aufgefüllt	mM $\bar{I}\bar{A}$ Ba/kg Feinboden (entspricht der KAK)
0	0
10	100
20	200
30	300
40	400

Es ist angebracht, Blindproben (1/50 Proben) während des gesamten Arbeitsvorganges mitlaufen zu lassen. Sowohl bei der Bestimmung der Kationen als auch beim Rücktausch sollten sie "0" ergeben. Tun sie es nicht, kann man mit ihrer Hilfe korrigieren.

Berechnung:

Bei der Herstellung der Eichreihen wird auf die direkte Ergebnisangabe, bezogen auf 1 kg Feinboden, Rücksicht genommen, so daß auf weitere Erläuterungen verzichtet werden kann.

Die Ergebnisse werden auf 2 signifikante Stellen genau angegeben.

Anmerkung:

Diese Methode wird zweckmäßiger Weise nur für Mineralbodenhorizonte angewandt, da Ergebnisse von Auflagehorizonten nicht bewertbar sind. Für spezielle Fragestellungen kann, um die Nachteile der Schüttelung (bei der sich bekanntlich nur ein Gleichgewicht zwischen Lösung und Boden einstellt) gegenüber der Perkolatation aufzuheben, ein zweites Mal geschüttelt werden. Es werden dabei nach Filtration der ersten Fraktion Filter samt Boden in das eben verwendete Schüttelgefäß eingebracht, wiederum mit 100 ml Extraktionslösung versetzt und 2 Stunden geschüttelt. (Ein Stehenlassen der Proben über Nacht ist nicht notwendig.) Anschließend filtriert man wie schon bei der ersten Fraktion, wobei man darauf achten soll, daß Filterreste nicht mitdekantiert werden. Durch Addition der Ergebnisse beider Fraktionen erhält man einen Wert, der einer Perkolatation nahekommt. Eine bei dieser fraktionierten Schüttelung allenfalls erwünschte Bestimmung der Kationenaustauschkapazität durch Rücktausch kann nach der zweiten Schüttelung in Anlehnung an die oben beschriebene Vorgangsweise durchgeführt werden. Es ist wiederum darauf zu achten, daß die Filterreste nicht mitdekantiert werden.

In der ungepufferten Neutralsalzlösung können überdies Schwermetallgehalte (z.B. Cu, Zn, Cr, Co, Ni, Pb, Cd, Mo) mit entsprechend empfindlicher Methodik (z.B. Graphitrohrtechnik) ermittelt werden. Geogene Schwermetallanreicherungen

und Schwermetalleinträge lange zurückliegender Immissionen weisen in solchen Lösungen niedrige Gehalte auf. Gemeinsam mit Ergebnissen von Säureaufschlüssen und von EDTA-Extrakten lassen sich Schwermetallverfügbarkeiten besser bewerten.

Bei der Analyse dieser Schwermetallgehalte sind die Anweisungen der Gerätehersteller zu beachten; ebenso muß auf die Matrix der Probe Rücksicht genommen werden (z.B. durch Standardadditionsverfahren).

4.2.8 AUSTAUSCHBARE KATIONEN IM AMMONIUMACETAT-EXTRAKT

Diese vor allem im angelsächsischen Raum gebräuchliche Methode wird vollständigshalber und zum Zwecke internationaler Vergleiche erwähnt.

Prinzip:

Diese Methode entspricht dem Prinzip nach der unter Pkt. 4.2.7 genannten Methode. Die Proben werden mit einem großen Überschuß Ammoniumacetatlösung versetzt. Die sorptiv gebundenen Kationen des Bodens werden dabei gegen NH_4^+ - Ionen ausgetauscht. Die Extraktionslösung wird auf einen pH-Wert von 7.0 eingestellt.

Geräte:

- Polyethylenfläschchen (250 ml weithals).
- Polyethylenfläschchen (100 ml).
- Abfüllvorrichtung für 50 ml.
- Schüttelapparatur.
- Div. Meßkolben.
- Div. Pipetten sowie Dosier- und Verdünnungshilfen.
- Filtriereinrichtung und Analysentrichter.
- Faltenfilter MN 280 1/4.
- pH-Meter.
- Analysengeräte wie unter Pkt. 4.2.6

Reagenzien:

- aqua dest.
- Ammoniaklösung 25% p.a. (NH_4OH).
- Eisessig p.a. (CH_3COOH).
- 1 M NH_4OAc -Lösung: 77.08 g NH_4OAc werden in einem 1 l Meßkolben in ca. 900 ml aqua dest. gelöst und mit NH_4OH bzw. CH_3COOH auf pH 7.0 eingestellt. Dann wird zur Marke aufgefüllt.
- Standards von den zu bestimmenden Elementen
 - definierte Stoffmenge oder
 - definierte Konzentration.

Durchführung:

10 g Feinboden werden in den 250 ml weithals Polyethylenfläschchen mit 50 ml 1 M NH_4OAc -Extraktionslösung übergossen und auf der Schüttelapparatur 2 Stunden geschüttelt. Es wird durch Faltenfilter in 100 ml Meßkolben filtriert. Dabei ist darauf zu achten, daß die Probe möglichst vollständig auf das Filter übertragen wird. Nach Ablauf des Filtrats spült man die Schüttelflasche noch

3 mal mit je 10 ml Extraktionslösung und dekantiert zum Nachwaschen auf das Filter. Danach wird der Meßkolben zur Marke aufgefüllt. Man überführt in 100 ml Polyethylenfläschchen, in welchen die Extraktionslösung aufbewahrt wird.

In der Extraktionslösung werden Ca, Mg, K und gegebenenfalls Na bestimmt. Die Herstellung der Eichlösungen und erfolgt dabei in Anlehnung an Pkt. 4.2.7 in 1 M NH_4OAc -Lösung. (Da das Verhältnis Boden : Extraktionslösung bei der gegenständlichen Extraktion 1:10 beträgt, bei der BaCl_2 -Extraktion aber 1:20, ist darauf zu achten, daß bei der Herstellung der Eichreihen nicht auf 200 ml sondern auf 100 ml aufgefüllt wird (Seite 50 f). Die Ablesung der Ergebnisse ist dann ebenfalls direkt in mg/kg oder mM IÄ/kg Feinboden möglich.) Vor der Messung werden Eichreihen und Proben auf den Konzentrationsbereich verdünnt, bei dem das Gerät höchste Empfindlichkeit aufweist.

Berechnung:

Bei der Herstellung der Eichreihen wird auf die direkte Ergebnisangabe, bezogen auf 1 kg Feinboden, Rücksicht genommen (vgl. Pkt. 4.2.7), so daß weitere Erläuterungen unterbleiben können.

Anmerkung:

Diese Methode ist für Böden mit einem pH-Wert von 6.5 und darüber (in CaCl_2) nicht geeignet.

4.2.9 SCHWERMETALLE IN KOMPLEXBILDNER-EXTRAKTEN

Prinzip:

Mit Komplexbildnern werden besonders organisch gebundene Schwermetalle erfaßt. Die Methode beruht auf der Extraktion des Feinbodens mit einer Lösung, die 0.05 M an EDTA (Ethylendinitroltetraacetat - (Merck-Titriplex III)) ist.

Geräte:

- Polyethylenfläschchen (250 ml weithals).
- Polyethylenfläschchen (100 ml).
- Abfüllvorrichtung für 100 ml.
- Schüttelapparatur.
- Div. Meßkolben.
- Div. Pipetten sowie Dosier- und Verdünnungshilfen.
- Filtriereinrichtung und Analysentrichter.
- Faltenfilter MN 280 1/4.
- Analysengeräte wie unter Pkt. 4.2.6.

Reagenzien:

- aqua dest.
- 0.05 M EDTA-Lösung: 18.612 g EDTA p.a. werden in einem 1 l Kolben in aqua dest. gelöst und zur Marke aufgefüllt.
- Standards von den zu bestimmenden Elementen
 - definierte Stoffmenge oder
 - definierte Konzentration.

Durchführung:

10 g Feinboden werden in den 250 ml weithals Polyethylenfläschchen mit 100 ml Extraktionslösung versetzt und 2 Stunden geschüttelt. Dann wird durch Faltenfilter in 100 ml Polyethylenfläschchen filtriert, wobei der erste Anteil des Filtrates verworfen wird.

Man stellt eine Eichstammlösung für Fe, Mn, Zn und Cu her: Der Inhalt einer Ampulle Fe-Titrisol und Mn-Titrisol (jeweils 1.000 g des betreffenden Elementes) sowie jeweils 100 ml einer Cu- und Zn-Standardlösung zu 1.000 g/l werden in einen 1 l-Meßkolben eingefüllt und mit aqua dest. zur Marke aufgefüllt. Diese Lösung enthält jeweils 1.000 g/l Fe und Mn sowie jeweils 0.100 g/l Cu und Zn.

50 ml (25 ml) dieser Eichstammlösung werden mit aqua dest. auf 1 l verdünnt. Die so erhaltenen Eichpunkte entsprechen:
500 mg (250 mg) Fe bzw. Mn pro 1 kg Boden sowie
50 mg (25 mg) Cu bzw. Zn pro 1 kg Boden.

Je nach Gerätebedingungen ist es oft zweckmäßig, Proben und Eichreihe zu verdünnen, um in einem günstigen Meßbereich arbeiten zu können.

Berechnung:

Da schon bei der Herstellung der Eichreihen auf die direkte Ergebnisangabe, bezogen auf 1 kg Feinboden, Rücksicht genommen wurde, kann auf weitere Erläuterungen verzichtet werden. Die Ergebnisse werden auf 2 signifikante Stellen genau angegeben.

Anmerkung:

Gegebenenfalls können im EDTA-Extrakt noch weitere Schwermetalle gemessen werden. Zweckmäßiger Weise wird dann die Eichstammlösung in entsprechend erweiterter Form hergestellt.

4.2.10 KORNGRÖSSENBESTIMMUNG

Prinzip:

Nach Zerlegung der Bodenaggregate in ihre Einzelbestandteile wird die prozentuelle Menge der gewünschten Korngrößen (Fraktion Sand (S), Schluff (U) und Ton (T)) in einer Suspension bestimmt. Um die Kittsubstanzen, die die Primärteilchen zu Aggregaten verbinden, aufzulösen, wird der Boden mittels Natriumpyrophosphatlösung dispergiert. Es wird ein kombiniertes Sieb- und Sedimentationsverfahren angewandt.

Geräte:

- Sieb mit 0.063 mm Maschenweite.
(Bei stärkeren Differenzierungen der Sandfraktion werden zusätzlich Siebe mit einer Maschenweite von 0.200 mm bis 0.630 mm verwendet.)
- Pipette nach KÖHN.
- Schüttel- oder Vibrationsgerät.

- 1 l Glaszylinder.
- numerierte Wägeschalen.
- Exsikkator mit Trocknungsgel.
- Trockenschrank.
- 600 ml Bechergläser zur Probenvorbereitung.

Reagenzien:

- aqua dest.
- 0.1 M Natriumpyrophosphatlösung: 44.606 g $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (tetra-Natriumdiphosphat-Decahydrat) p.a. werden in aqua dest. zu 1 l gelöst.
- 15% H_2O_2 : 30% H_2O_2 p.a. werden mit aqua dest. 1:1 verdünnt.

Durchführung:

10 g lufttrockener, auf 2 mm gesiebter Feinboden sind in einem 600 ml Becherglas mit 25 ml 0.1 M Natriumpyrophosphatlösung zu versetzen und mindestens 8 Stunden stehen zu lassen. Nach Zusatz von mindestens 200 ml aqua dest. ist die Probe 6 Stunden zu schütteln. Sollten Dispersionsgeräte mit ähnlicher Wirkung (z.B. Vibromischer, Ultraschallgerät u.dgl.) eingesetzt werden, so sind die damit erzielten Ergebnisse mit jenen durch Schüttelung abzugleichen. Anschließend ist die Probe einer Naßsiegung zu unterziehen. Hiefür wird die Aufschlämmung auf ein Sieb mit 0.063 mm Maschenweite gebracht. Sie ist mit aqua dest. solange nachzuwaschen (max. 700 ml), bis alle Teilchen das Sieb passiert haben, die kleiner als die Maschenweite des Siebes sind. Wird eine Unterteilung der Sandfraktion gewünscht, ist ein entsprechender Normsiebansatz zu verwenden, wobei zu beachten ist, daß die Spülflüssigkeit insgesamt 700 ml nicht überschreitet.

Nun sind die im Sieb verbliebenen Teilchen mittels einer Spritzflasche in ein gewogenes Schälchen überzuführen, bei 105 C bis zur Massenkonstanz in einem Trockenschrank zu trocknen, im Exsikkator abzukühlen und zu wägen.

Für die Sedimentationsanalyse ist der Siebdurchlauf in einen 1 l Glaszylinder verlustfrei überzuführen und dieser auf 1 l aufzufüllen. Die Suspension ist zu homogenisieren, (z.B. Umkippen oder kräftiges Durchrühren). Die Sedimentation muß bei möglichst konstanter Temperatur und weitgehend erschütterungsfrei durchgeführt werden.

Entsprechend der verschiedenen Fallzeitspannen wird die Eintauchtiefe der Pipette gewählt. Die Eintauchtiefe von 10 cm wird empfohlen. Bei der der Eintauchtiefe zugeordneten Fallzeitspanne werden 20 ml Suspension entnommen und quantitativ in ein trockenes, gewogenes Wägeschälchen übergeführt. Die entnommenen Proben werden bei 105 C bis zur Massenkonstanz getrocknet und nach Abkühlung (in einem Exsikkator) gewogen.

Unter Zugrundelegung des Stoke'schen Gesetzes ergeben sich schließlich folgende Fallzeiten:

< 0.002 mm:	7 h 42 min 57 s
< 0.006 mm:	51 min 26 s
< 0.010 mm:	18 min 32 s
< 0.020 mm:	4 min 38 s
< 0.063 mm:	29 s

Die bei der Berechnung der Korngrößen < 0.063 mm in Abzug zu bringende Masse des Natriumpyrophosphates ist folgendermaßen zu bestimmen:

Von der Natriumpyrophosphatlösung sind 3 mal je 25 ml auf 1 l aufzufüllen, aus jedem Zylinder nach kräftigem Durchmischen 20 ml zu entnehmen, in ein gewogenes Schälchen zu bringen, bei 105 C bis zur Massekonstanz zu trocknen, im Exsikkator abzukühlen und zu wägen. Der aus den Auswaagen gebildete Mittelwert ist die in Abzug zu bringende Masse des Natriumpyrophosphates.

Berechnung:

Bei der Sedimentationsfraktion gilt:

$(\text{Auswaage} - \text{Masse des Natriumpyrophosphates}) * 500 = \text{Massen \% der Korngröße}$

Werden mehrere Sedimentationsfraktionen bestimmt, so ist darauf zu achten, daß jeweils sämtliche "kleineren Fraktionen" von der größeren abzuziehen sind:

$(\text{Auswaage} - \text{Masse aller kleineren Fraktionen}) * 500 =$
 $= \text{Massen \% der gesuchten Korngrößenfraktion}$

Bei Siebfraktionen gilt:

$\text{Auswaage} * 10 = \text{Massen \% der Korngröße}$

Anmerkung:

Diese Methode ist bis zu einem Gehalt an organischer Substanz unter 5 % ohne Vorbehandlung mit H_2O_2 , bei einem Gehalt zwischen 5 % und 15 % mit Vorbehandlung mit H_2O_2 anwendbar. Bei Proben mit einem Gehalt an organischer Substanz über 15 % ist diese Methode nicht mehr anwendbar. Falls eine Unterteilung der Fraktionen S, U und T erwünscht wird, ist in jedem Fall eine Vorbehandlung mit H_2O_2 erforderlich.

Die Vorbehandlung mit H_2O_2 hat so zu erfolgen, daß der vorher angefeuchteten Probe vorsichtig 15 prozentiges H_2O_2 zugesetzt wird. Anschließend wird auf dem Wasserbad unter Umrühren erhitzt und H_2O_2 in kleinen Mengen nachgegeben, solange, bis die Probe bei weiterer Zugabe von H_2O_2 nur noch schwach aufschäumt. Dabei ist zu beachten, daß die Probe nicht eintrocknet. Anschließend wird wie oben beschrieben vorgegangen.

4.3 BODENPROBENBANK

Der Vergleich unterschiedlich alter Analysendaten vom selben Standort zum Nachweis eventuell stattgefundenener Veränderungen ist oft mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet, da alte Analysemethoden häufig nicht mehr gebräuchlich, und/oder die notwendigen Geräte nicht mehr vorhanden sind. Auch eine erhöhte Aussagekraft von Bodenanalysen durch verbesserte Analysemethodik kann nicht realisiert werden, da man bei Vergleichsuntersuchungen an die einmal gewählte Methodik gebunden ist. Ebenso können neu auftretende Fragestellungen (andere Schadstoffe, anderer Analysenrahmen) auf diese Weise nicht beantwortet werden.

Durch die Archivierung von Bodenproben können diese Schwierigkeiten beträchtlich vermindert werden. An dem eingelagerten, alten Probenmaterial können jederzeit die Vergleichbarkeit der (geänderten) Analysemethodik überprüft und neue Fragestellungen mit verbesserter Analytik untersucht werden.

Vor der Lagerung ist der Feinboden bei 60 C über Nacht in einem Umlufttrockenschrank einer Ausgleichstrocknung zu unterziehen. Die Archivierung des Probenmaterials sollte in schwermetallfreien, luftdicht verschließbaren Kunststoffflaschen (100 - 200 ml Inhalt) erfolgen. Die Beschriftung der Probenfläschchen sollte die gleiche Probenbezeichnung wie im Analysenprotokoll und in den Feldaufzeichnungen aufweisen.

Für die Dokumentation der Nährstoff- und Schwermetallgehalte des Bodens genügt die Lagerung in einem trockenen, möglichst kühlen und dunklen Raum. Sollen auch die Veränderungen bei verschiedenen stabileren organischen Schadstoffen dokumentiert werden, müssen die frischen Bodenproben bei ca. -40 C tiefgefroren gelagert werden.

QUELENNACHWEIS:

- Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde, 1982: Bodenkundliche Kartieranleitung. - Hannover.
- Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten in Österreich: ALVA Methodenvorschriften. Unveröffentlicht.
- Arbeitskreis für Bodensystematik der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 1985: Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 44.
- Arbeitskreis Standortkartierung, 1980: Forstliche Standortaufnahme. - Landwirtschaftsverlag Münster - Hilup.
- Österreichische Bodenkartierung, 1967: Anweisung zur Durchführung der Kartierung. BA.f.Bodenkartierung und Bodenwirtschaft, Wien.
- Fiedler, H.J., Fr. Hoffmann, H. Höhne und S. Lentschig, 1965: Die Untersuchung der Böden, Bd. 2. Verlag Theodor Steinkopff. Dresden und Leipzig.
- Fink, J, 1969: Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs. Mitteilungen der ÖBG, Heft 13.
- Institut für Forstinventur, 1981: Instruktionen für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 1981 - 1985. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien
- Jackson, M.L., 1960: Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc. Cliffs, N.J. Englewood.
- Meyer, B. und B. Ulrich, (Hrsg.), 1977: Göttinger Bodenkundliche Berichte 47, (1-88). Selbstverlag der Anstalten für Bodenkunde der Universität Göttingen.
- Page, A.L., R.H. Miller und D.R. Keeney, 1982: Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
- Schlichting, E. und H.-P. Blume, 1966: Bodenkundliches Praktikum. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin.
- Zeuschwitz, von E., 1979: Profilmorphologische Merkmale der Anfangsstadien der Podsolierung (Podsoligkeit). - Geol.Jb., F7, 87-107.

ANHANG

Standortsaufnahmeblätter für:

Dauerbeobachtungsflächen

Bodenkataster

Bodenverbesserungsmaßnahmen

Horizont	Horizont- mächtigkeit von-bis in cm	Material zB.Fi-Streu, Graswurzelfilz	Lagerung					Schmierigkeit	
			locker	verlebt	schichtig	brechbar	bröckelig	kompakt	ja
0 ₁									
0 _f									
0 _h									

Horizont	Horizont- mächtigk. von-bis in cm	Boden- art	Skelett- gehalt	Boden- farbe	Fleckung				Konkre- tionen Häufigk.	Karbo- nate		Durch- wurzelung
					B	R	Häufigk. Kontrast	Häufigk. Kontrast		ja	nein	

Ergänzende Beobachtungen:

Bodenansprache:

Horizont	Horizont- mächtig. von-bis in cm	Material z.B. Fi-Streu, Graswurzelfilz	Lagerung					Schmierigkeit	
			Locker	verklebt	schichtig	brechbar	bröckelig	kompakt	ja
Humusprofil O ₁									
O _f									
O _h									

Horizont	Horizont- mächtig. von-bis in cm	Bodenart	Skelett- gehalt	Fleckung				Karbonate	
				B		R		ja	nein
				Häufig.	Kontrast	Häufig.	Kontrast		
Mineralboden									

Ergänzende Beobachtungen:.....