

BODENDAUERBEOBACHTUNG

**Konzepte und Empfehlungen
für eine einheitliche Vorgangsweise
in Österreich**

BODENDAUERBEOBACHTUNG

Konzepte und Empfehlungen für eine einheitliche Vorgangsweise in Österreich

*Diskussionsgrundlage für das Round Table Gespräch im Rahmen der
ECOINFORMA '94*

**W. E. H. BLUM
A. BRANDSTETTER
F. JOCKWER
H. SATTLER
W. W. WENZEL**

**Institut für Bodenforschung und Baugeologie
Abt. Bodenkunde
der Universität für Bodenkultur**

UBA-BE-019

Wien, September 1994

Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie



Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Abt. Bodenkunde der Universität für Bodenkultur:
Vorstand: O.Univ.Prof.D.I. Dr.Dr.h.c.Dr.h.c. W.E.H. BLUM
unter Mitarbeit von: A. Brandstetter, F. Jockwer, H. Sattler, W.W. Wenzel (Universität für Bodenkultur)

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, September 1994

Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-191-7

ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Konzept zur Bodendauerbeobachtung ist als Diskussionsgrundlage zur Erarbeitung einer österreichweit einheitlichen Vorgangsweise gedacht. Aufbauend auf einem Vergleich vorhandener Konzepte im Inland und im benachbarten Ausland werden die Ziele und Grundlagen der Bodendauerbeobachtung dargestellt (Kap. 2). Aus der Zieldefinition, die neben einer Überwachungs- und Kontrollfunktion die Vorhersage- und Steuerungsfunktion für einen präventiven Bodenschutz betont, ergibt sich die Notwendigkeit, sowohl direktes als auch indirektes Bodenmonitoring zu betreiben. Unter direktem Monitoring verstehen wir die wiederholte Beprobung einer dauerhaft installierten Bodendauerbeobachtungsfläche, als indirektes Monitoring wird die Messung von Stoffein- und -austrägen definiert. Während ein direktes Monitoring aufgrund der für Böden typischen zeitlich-räumlichen Variabilität nur im nachhinein zur Kontrolle herangezogen werden kann, ist mit Stoffflußmessungen und entsprechenden Vorhersagemodellen eine Früherkennung von Veränderungstendenzen im Bodenzustand möglich. Eine Kombination beider Systeme erscheint daher der Zieldefinition am besten gerecht zu werden.

In einem weiteren Kapitel werden Vorschläge zur Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen präsentiert, wobei die Einrichtung von Teilflächen für das direkte Monitoring, für Stoffflußmessungen, physikalische Feldmessungen, die Anlage eines Bodenprofils sowie optional zur Messung von Gasflüssen vorgeschlagen wird (Kap. 3). Im einzelnen werden detaillierte Vorstellungen zur Ausstattung der Bodendauerbeobachtungsflächen ausgeführt. In Kapitel 4 werden Standortempfehlungen für ein österreichweites Meßnetz der Bodendauerbeobachtung gegeben, wobei auf deren vorläufigen Charakter hinzuweisen ist. Eine Festlegung von Standorten nach eingehender Diskussion bedarf gemäß der Kompetenzverteilung der Übereinstimmung zwischen den beteiligten Bundes- und Landesstellen. Grundsätzlich wird empfohlen, zunächst schwerpunktmäßig Dauerbeobachtungsflächen an solchen Standorten einzurichten, die sich durch hohe Sensitivität des Bodens bei zugleich hoher Belastung auszeichnen, da dort rasche Veränderungen im Bodenzustand zu erwarten sind. Dementsprechend käme diesen Flächen Indikatorfunktion zu. Andererseits sollten auch Flächen an anthropogen wenig beeinflussten Hintergrundstationen eingerichtet werden, um die Veränderung des Bodenzustandes unter naturnäheren Bedingungen zu erfassen. Aus dem Unterschied zwischen den Entwicklungstendenzen naturnaher und anthropogen stark beeinflusster Standorte könnte der anthropogene Beitrag zur Bodenzustandsänderung abgeschätzt werden. Um eine landesweite Bilanzierung der Bodenveränderungen zu ermöglichen, sollten in einer weiteren Phase Bodendauerbeobachtungsflächen an Standorten eingerichtet werden, die für größere Regionen, z.B. Bodenlandschaften, repräsentative Ergebnisse erwarten lassen.

Die weiteren Kapitel des Konzeptes wurden stichwortartig ausgeführt, um die geplante Struktur ansatzweise aufzuzeigen. Vorgesehen ist die Ausarbeitung der Methodik für Basisuntersuchungen im Rahmen der Einrichtung und Erstbeprobung (Kap. 5), sowie für indirektes Monitoring mit Hilfe von Stoffflußmessungen (Kap. 6). Aufgrund ihrer zentralen Bedeutung wurde die Probenahmemethodik für das direkte Monitoring bereits detailliert ausgeführt, um eine eingehende Diskussion zu ermöglichen. Stichwortartig liegen der Vorschlag für Parameter zur Erfassung physikalischer, chemischer und biologisch-biochemischer Bodenveränderungen (Kap. 7.2-7.4) sowie Vorschläge zur Datenverwaltung, Auswertung und Interpretation vor. Generell ist bei der Wahl der Methodik anzustreben, eine größtmögliche Vergleichbarkeit auch auf nationaler wie internationaler Ebene zu erzielen. Von besonderer Bedeutung erscheint hierbei die Einbindung der Vorschläge der Arbeitsgruppe Bodenschutz der Arge Alp, Arge Alpen-Adria und Arge Donau.

1 EINLEITUNG	1
2 ZIELE DER BODENDAUERBEOBACHTUNG	3
3 AUSWAHL UND EINRICHTUNG VON BODENDAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN	4
3.1 Kriterien zur Flächenauswahl	4
3.2 Einrichtung einer Bodendauerbeobachtungsfläche	5
3.2.1 EINMESSUNG UND VERMARKUNG	7
3.2.2 ANLAGE VON BODENPROFILGRUBEN	8
3.2.3 EINRICHTUNG EINER FLÄCHE FÜR STOFFFLUßMESSUNGEN	8
3.2.3.1 Erfassung des Freiland- bzw. Bestandesniederschlages	9
3.2.3.2 Erfassung des Stammabflusses	10
3.2.3.3 Erfassung des Streufalles	11
3.2.3.4 Gewinnung der Bodenlösung	11
3.2.3.5 Quantitative Abschätzung der Bodenwasserverhältnisse	13
3.2.3.6 Erfassung des Gebietsabflusses	13
3.2.4 FLÄCHE FÜR BODENPHYSIKALISCHE PARAMETER	14
3.2.4.1 Messung der Bodenerosion sowie des Oberflächenabflusses	14
3.2.4.2 Messung der hydraulischen Leitfähigkeit	15
3.2.5 FLÄCHE FÜR EIN DIREKTES MONITORING	16
4 STANDORTSEMPFEHLUNGEN FÜR EIN DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN - SYSTEM IN ÖSTERREICH	19
5 BASISUNTERSUCHUNGEN	24
5.1 Standort- und Bodenbeschreibungen	24
5.1.1 GRUNDDATEN	24
5.1.2 ALLGEMEINE STANDORTSMERKMALE	24
5.1.3 SPEZIELLE STANDORTSMERKMALE	24
5.1.4 BODENBESCHREIBUNG	25
5.1.5 NUTZUNG UND BEWIRTSCHAFTUNG	25
5.2 Vegetationsaufnahmen	26

5.3 Bodenprobenahme, -transport und -lagerung	26
5.3.1 MASSEPROBEN	26
5.3.2 VOLUMSBEZOGENE PROBEN	26
5.3.3 PROBENAHMEGEFÄßE, PROBENTRANSPORT UND -LAGERUNG	26
5.4 Bodenanalytik	26
5.4.1 PROBENAUFBEREITUNG	26
5.4.2 PHYSIKALISCHE UND MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	26
5.4.3 CHEMISCHE UND BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	27
6. INDIREKTES MONITORING VON BODENVERÄNDERUNGEN ÜBER STOFFFLUSSMESSUNGEN	28
6.1 Stoffeintragsmessungen	28
6.1.1 QUANTITATIVE UND QUALITATIVE ERFASSUNG DER DEPOSITION	28
6.1.2 QUANTITATIVE UND QUALITATIVE ERFASSUNG VON PFLANZEN- BZW. FUTTERRÜCKSTÄNDEN (LAUBFALL, STROH, WURZELRESTE, ETC.)	28
6.1.3 EINTRÄGE ÜBER DÜNGEMITTEL	28
6.1.4 EINTRÄGE ÜBER PFLANZENSCHUTZMITTEL	28
6.2 Interne Stoffumsetzungen und Stoffaustragsmessungen	28
6.2.1 QUALITÄT UND QUANTITÄT DER BODENLÖSUNG	28
6.2.2 HYDRAULISCHE BEDINGUNGEN	28
6.2.3 QUALITÄT UND QUANTITÄT DES GEBIETSABFLUSSES	28
6.2.4 ERNTEPRODUKTE	28
7 DIREKTES MONITORING VON BODENVERÄNDERUNGEN	29
7.1 Probenahme	29
7.1.1 Allgemeines	29
7.1.2 Statistische Grundlagen:	29
7.1.3 Probenahme	31
7.1.3.1 Berücksichtigung der saisonalen Variabilität	32
7.1.3.2 Wiederholung der Probenahme	32
7.2 Physikalische Veränderungen	33
7.3 Chemische Veränderungen	33
7.3.1 LEITSUBSTANZEN BZW.-PARAMETER	33
7.3.2 SPEZIALUNTERSUCHUNGEN	34
7.4 Biologisch-biochemische Veränderungen	34

8 DATENVERWALTUNG, AUSWERTUNG UND INTERPRETATION	35
8.1 Datenverwaltung	35
8.2 Statistik	35
8.3 Bodenkundlich-geochemische Auswertung und Interpretation	35
8.4 Darstellung der Ergebnisse	35
9 LITERATUR	36
ANHANG	

1 EINLEITUNG

Mit der Broschüre "Bodenzustandsinventur - Konzeption, Durchführung und Bewertung" wurde im Rahmen eines Arbeitskreises der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft ein Vorschlag zur Vereinheitlichung der in den einzelnen Bundesländern durchzuführenden Erstinventuren vorgelegt (Blum et al., 1989). Mittlerweile liegen solche für Vorarlberg, Tirol, Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich und für Teile der Steiermark im 4 x 4 km-Raster vor, regional wurde auch eine größere Probenahmedichte erzielt. Darüberhinaus wurden von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Erhebungen einer österreichweiten Waldbodenzustandsinventur (8 x 8 km-Raster) veröffentlicht. Die durchgeführten Untersuchungen liefern neben einer Inventarisierung grundlegender Bodeneigenschaften (z.B. Profilbeschreibungen, pH, organischer Kohlenstoff u.a.) wesentliche Aussagen zur Schadstoffbelastung österreichischer Böden, wobei zunächst anorganische Belastungen im Vordergrund standen. Ähnliche Bodeninventuren - wenn auch mit abweichender Methodik - wurden auch in der Bundesrepublik Deutschland und der Schweiz durchgeführt. Zur Zeit wird in Österreich die Methodik für Bodenzustandsinventuren überarbeitet, wobei eine Ausweitung auf organische Schadstoffe geplant ist. Die Frage der Einbeziehung bodenbiologischer Kennwerte wird diskutiert.

Umweltrelevantes Bodenmonitoring kann sich allerdings nicht mit einmaligen Bodenzustandserhebungen begnügen. Als Grundlage einer umfassenden Bodenschutzplanung (vgl. Blum und Wenzel, 1989) sollte es folgende Aufgaben erfüllen (Alge und Wenzel, 1993):

- ➔ Überwachungs- und Kontrollfunktion
- ➔ Vorhersage- und Steuerungsfunktion

Eine direkte Überwachung und Kontrolle der Entwicklung des Bodenzustandes wäre durch Wiederholungsbeprobungen an den Meßstellen der Bodenzustandsinventur denkbar. Dem steht allerdings entgegen, daß aufgrund der kleinräumigen Variabilität von Böden und methodischer Probleme bei der Analyse von Belastungsgrößen selbst die Akkumulation von Schadstoffen mit hoher Depositionsrate (z.B. Pb) in vielen Fällen erst nach einigen Jahrzehnten statistisch signifikant erfaßt werden kann (Schweikle, 1991; Baccini und Steiger 1993). Bei der Erfassung langfristiger Veränderungen labiler Bodeneigenschaften (z.B. pH, mobile Schwermetallanteile) ist darüberhinaus eine zum Teil ausgeprägte saisonale Variabilität zu berücksichtigen (Wenzel et al., 1994a, 1994b). Eine gewisse Kompensation könnte nur über eine sehr hohe Probenzahl je Meßfläche erreicht werden. Dies würde den Aufwand jedoch stark erhöhen. Eine Kontrolluntersuchung erst nach mehreren Jahrzehnten durchzuführen würde bedeuten, daß durchaus relevante, z.T. negative Entwicklungstendenzen zu spät erkannt würden und die so erhobenen Daten für

den vorsorgenden Bodenschutz von geringem Wert wären. Als Lösung des Problems bietet sich die Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) an.

2 ZIELE DER BODENDAUERBEOBACHTUNG

Die an BDF erhobenen Daten sollten grundsätzlich der Kontrolle wie auch der Prognose dienen. Da der zeitliche Abstand zwischen Wiederholungsmessungen aus den bereits dargelegten Gründen nicht zu gering sein sollte und auch die Meßflächen möglichst wenig gestört werden sollten, bieten sich für ein prognostisches Monitoring Stoffflußmessungen an, mit deren Hilfe und unter Einsatz von Prognosemodellen Akkumulation, Verluste und Änderungen in der Bindungsform von Nähr- und Schadstoffen vorhergesagt werden können. Mit Hilfe von in größeren Abständen durchzuführenden Wiederholungsbeprobungen könnte die Prognose auf ihre Richtigkeit überprüft und das Prognosemodell verbessert werden.

Die an BDF ermittelten Veränderungstendenzen des Bodenzustandes werden für vielfältige Fragestellungen der Umweltpolitik und -verwaltung sowie der Wissenschaft dringend benötigt:

- ➔ Entscheidungsgrundlage für den vorsorgenden Bodenschutz
- ➔ Datenbasis für Umweltkontrollsysteme
- ➔ Datenbasis für regionale Stoffstromanalysen (vgl. Baccini und Steiger, 1993)
- ➔ Schaffung von regionalen Referenzstandorten für bodenphysikalische, -chemische und -biologische Untersuchungen im Rahmen von angewandten und grundlagenorientierten Forschungsprojekten
- ➔ Datenbasis für eine weiterführende Interpretation der Bodenzustandsinventuren

Hieraus ergibt sich, daß neben intensiven Zeitreihen bezüglich Ein- und Austragsmessungen und des Stofftransportes im Bodenprofil auch Wiederholungsbeprobungen für bodenbiologische Untersuchungen, und zur begleitenden Kontrolle sowie Interpretation zusätzliche umfangreiche Basisuntersuchungen, insbesondere zur Bodenphysik, Mineralogie, Mikromorphologie und Bodenbiologie durchgeführt werden sollten. Auswahl der Parameter und Methodik haben sich darüber hinaus an einer landesweiten und internationalen Vergleichbarkeit zu orientieren. Daher soll nach einem Vergleich vorhandener Konzepte zur Bodendauerbeobachtung ein Vorschlag für ein entsprechendes System für Österreich vorgestellt werden.

3 AUSWAHL UND EINRICHTUNG VON BODENDAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN

3.1 Kriterien zur Flächenauswahl

Wie im Statusbericht Boden (Alge u. Wenzel, 1993) festgehalten wurde, ist der Aufbau eines österreichweiten Bodenmonitoringsystems ein wichtiger Schritt in Richtung eines nachhaltigen Bodenschutzes. Dieses Ziel soll mit einem bundesweiten Netz von Bodendauerbeobachtungsflächen erreicht werden.

Bei der Auswahl möglicher Standorte für die Einrichtung eines Bodendauerbeobachtungsnetzes in Österreich sollen folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- ☉ Die BDF sollen in charakteristischen und flächig vorherrschenden (repräsentativen) **Landschaftsräumen** eingerichtet werden (vgl. Novak, 1990).
- ☉ Zur Beurteilung des **Nutzungseinflusses** sind BDF auf Acker-, Grünland- und Waldstandorten einzurichten.
Für die landwirtschaftlichen Flächen kommen BDF in den acht Hauptproduktionsgebieten in Betracht, während im Wald nach den neun Hauptwaldgebieten vorgegangen werden kann, wobei eventuell die Wuchsbezirke miteinbezogen werden.
- ☉ Die wichtigsten **Bodentypen** Österreichs sollen bei der Einrichtung der BDF berücksichtigt werden. Es geht hier v.a. darum, über die Häufigkeit ihres Vorkommens repräsentative Aussagen für möglichst große Einheiten zu treffen. Die Geologie sowie die Klimaräume können mit den Bodenlandschaften indirekt miterfaßt werden. Bodenkartierungsergebnisse sowie die Ergebnisse der Bodenzustandsinventuren können hierfür herangezogen werden (Vgl. Kapitel 4).
- ☉ Weiters sollen Gebiete mit **unterschiedlichen Belastungen** (naturnahe Standorte - anthropogene Belastungsgebiete) verglichen werden. In Frage kommen sogenannte Reinluftgebiete und Schutzgebiete (z.B. Nationalparks) als Referenzflächen einerseits, sowie Gebiete mit anthropogener Belastung durch Luftschadstoffe und Protoneneintrag (Nah- und Ferntransport) andererseits.
Zusätzlich können BDF an Standorten errichtet werden, wo spezielle Probleme erwartet werden. Hierzu zählen Standorte mit hohen Schadelementgehalten im Boden (geogen oder anthropogen bedingt) ebenso wie Flächen, auf denen biogene*
Kommunalabfälle ausgebracht werden.
- ☉ Die Bodendauerbeobachtungsfläche muß homogen sein, um die räumliche Variabilität gering zu halten. Dies ist eine Voraussetzung um zeitliche Veränderungen statistisch auf einem hohen Signifikanzniveau absichern zu können.

- ➔ Grundsätzlich ist es günstig, BDF in **bestehende oder geplante Meßnetze** (Wetterstation, Luft- und Wassermessstellen, Grundmeßnetz der Bodenzustandsinventuren) einzubinden. Dadurch würden bereits wichtige Daten für die Stoffflußmessungen und -modellierungen in Form langjähriger Zeitreihen zur Verfügung stehen.
Sollten Meßflächen in laufenden Forschungsprojekten (z.B. FIW, u.a.) nicht als langfristig nutzbare Untersuchungsflächen eingerichtet worden sein, erscheint es günstiger, auf diese als BDF zu verzichten, da durch hohe Probenahmedichten und andere Beeinflussungen eine starke Störung dieser Flächen sehr wahrscheinlich ist. Eine Einrichtung in unmittelbarer Nähe kann sich jedoch aus obengenannten Gründen als günstig erweisen.
- ➔ Weiters ist darauf zu achten, daß die BDF langfristig genutzt werden können und Aufzeichnungen über frühere Nutzungen vorliegen (Fruchtfolge, Düngung, forstliche Bewirtschaftung).

Für eine Vorauswahl von möglichen Standorten zur Bodendauerbeobachtung wird empfohlen, zunächst von der Bodenlandschaftsverteilung über das Bundesgebiet auszugehen (vgl. Kapitel 4).

3.2 Einrichtung einer Bodendauerbeobachtungsfläche

Bodendauerbeobachtungsflächen sind so einzurichten, daß die Ziele - Kontrolle der aktuellen Belastungen sowie Vorhersage daraus resultierender Risiken für wichtige Schutzgüter - langfristig erreicht werden können. Das führt beim direkten Monitoring von Bodenveränderungen zu einer Konfliktsituation zwischen intensiver Probenahme zur Reduktion der räumlichen Variabilität und der Forderung nach einer möglichst geringen Störung der Fläche in Hinblick auf die Wiederholungsbeprobungen über einen möglichst langen Zeitraum.

Das Untersuchungsprogramm für Bodendauerbeobachtungsflächen umfaßt drei wesentliche Teilaspekte:

- 1) **Basisuntersuchungen** dienen der Charakterisierung des Standorts sowie der wichtigsten Bodeneigenschaften und sind daher bei der Einrichtung einer BDF durchzuführen.
- 2) **Stoffflußmessungen** ermöglichen eine schnelle Erkennung von Bodenveränderungen über Ein- und Austragsmessungen und stellen gemeinsam mit den Basisdaten der Bodenuntersuchung eine Grundlage zur Modellierung und Vorhersage von Gefährdungen dar. Aufgrund des Aufwandes erscheint es sinnvoll, diese Messungen nur an ausgewählten Standorten durchzuführen.

- 3) **Direktes Monitoring von Bodenveränderungen über wiederholte Probenahme auf einer exakt definierten Fläche:** Diese Beprobung hat in sinnvollen Abständen auf allen Flächen zu erfolgen, wobei einige obligatorische Parameter zur Untersuchung festgeschrieben werden sowie zusätzliche Untersuchungen in Abhängigkeit von der speziellen Situation durchgeführt werden können. Vorwiegender Zweck ist die Kontrolle von Bodenzustandsveränderungen sowie die Überprüfung von Prognosen darüber.

Die Basisuntersuchungen zur Charakterisierung des Standortes sowie das direkte Monitoring ausgewählter Bodeneigenschaften sind als Mindestprogramm an allen Bodendauerbeobachtungsflächen durchzuführen. Die Auswahl der beobachteten Parameter beim direkten Monitoring kann über einige Grundparameter hinaus den spezifischen Standortsverhältnissen (z.B. Belastung durch bekannte oder vermutete Stoffe bzw. Verbindungen) angepaßt werden. Stoffflußmessungen und darauf aufbauende Modellierungen zur Ermittlung von Bodenveränderungen (indirektes Monitoring) können aufgrund des hohen zeitlichen Aufwandes auf ausgewählte Schwerpunktfächen beschränkt werden.

Im Hinblick auf die durchzuführenden Messungen sind bei der Anlage von Bodendauerbeobachtungsflächen folgende Einrichtungen zu berücksichtigen:

- Bodenprofil für Beschreibung, ungestörte (volumenbezogene) Probenahme, etc.
- Fläche für wiederholte Probenahme zur Feststellung von saisonalen Schwankungen sowie der langfristigen Veränderung des physikalischen, chemischen und biologischen Bodenzustandes.
- Fläche zur Installation von Saugsonden zur Gewinnung der Bodenlösung
- Fläche zur Stoffeintragsmessung
(kann mit der für Stoffaustragsmessungen kombiniert sein)
- Fläche zur Bestimmung bodenphysikalischer Kennwerte im Gelände
(z.B. Wasserleitfähigkeitsbestimmung).
- Eventuell kann eine Fläche zur Messung von Ausgasungen reserviert werden.
- Um Stoffausträge besser modellieren zu können, soll die BDF nach Möglichkeit in einem hydrologisch gut definierten und klar abgegrenzten Wassereinzugsgebiet mit einer Größe von 10 bis maximal 1000 ha angesiedelt werden (Pylvänäinen, 1993).

Eine mögliche Anordnung der einzelnen Untersuchungsflächen einer Bodendauerbeobachtungsfläche kann Abb. 3.2.1 entnommen werden. Bei Hanglagen ist zu beachten, daß die tieferliegenden Flächen nicht von Aktivitäten in höheren beeinflußt werden.

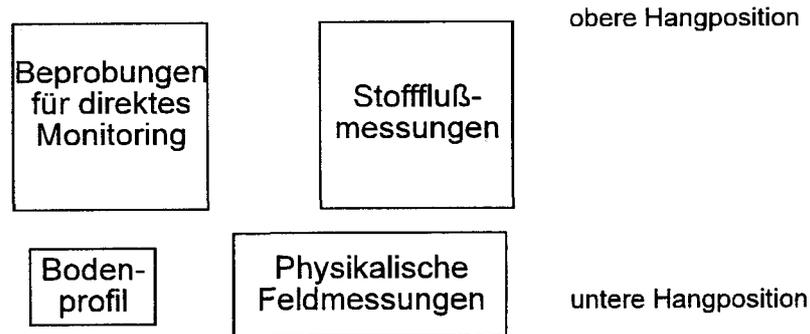


Abb. 3.2.1: Mögliche Anordnung der Versuchsfelder (schematisch). Eine Profilgrube zur Erhebung der Bodeneigenschaften sowie eine Fläche für direktes Monitoring von Veränderungen sind für alle Bodendauerbeobachtungsflächen vorzusehen.

Schon vor der Errichtung einer Bodendauerbeobachtungsfläche ist vertraglich zu fixieren, daß der Besitzer bzw. Bewirtschafter über alle relevanten Bewirtschaftungsmaßnahmen Aufzeichnungen anfertigt. Dies betrifft v.a. Stoffein- und -austräge (vgl. Kapitel 5.1.5).

3.2.1 Einmessung und Vermarkung

Die Untersuchungsstellen müssen exakt eingemessen und dauerhaft markiert werden. Weiters ist ein genauer Lageplan zu erstellen. Der Lageplan, der aufgrund der Vermessung der Einrichtungen erstellt wird, soll am besten in einem Geoinformationssystem im Maßstab 1:100 angefertigt werden. Von der Stelle, wo die Markierung angebracht ist, sind die Koordinaten anzugeben, damit eine exakte Lokalisierung in einer Karte möglich ist.

Von der fixen Markierung aus muß jede der Einrichtungen vom Lageplan ablesbar und mittels Kompaß und Maßband auffindbar sein. Sinnvollerweise sollte die dauerhafte Markierung an einem Eckpunkt der Fläche für direktes Monitoring (nordwestlichster) verankert sein, da dadurch die Einmessung der Einstichstellen bei der wiederholten Probenahme erleichtert wird.

Die dauerhafte Vermarkung erfolgt durch Eingraben einer Metallmarke an der dafür vorgesehenen Stelle. Diese kann bei Folgebeprobungen mit einem Metalldetektor wiedergefunden werden. Diese Marke sollte je nach Bodennutzung in folgender Tiefe liegen:

- Im Wald kann die Vermarkung sichtbar oder unsichtbar erfolgen. Der Metallpflock kann entweder im Bodenniveau abschließen (Metalldetektor erforderlich), oder, falls es vom Besitzer keine Einwände gibt, daraus herausragen. Im letzten Fall ist er mit einer gut sichtbaren Rostschutzfarbe zu lackieren.
- Auf Dauergrünland, das gemäht wird, muß vor dem Einschlagen etwas aufgegraben werden, sodaß der Kopf der Marke 1 bis 2 cm unter dem

Bodenniveau zu liegen kommt, damit er durch die Bewirtschaftung nicht beschädigt werden kann. Ein späteres Auffinden kann nur mit einem Metallsuchgerät erfolgen.

- Auf Almen, auf Weiden und dort, wo nicht gemäht und geackert wird, soll der Kopf der Marke höchstens bodengleich sein.
- Auf ackerfähigen Böden hat die Vermarkung unterhalb der Pflugsohle zu erfolgen. Vorsichtshalber sollte auch außerhalb des Ackers ein Fixpunkt vermarktet werden, damit im Zweifelsfalle auch von diesem eingemessen werden kann.

3.2.2 ANLAGE VON BODENPROFILGRUBEN

Profilgruben werden zur Bodenbeschreibung und zur Probennahme für die Basisuntersuchungen angelegt. Sie sind in den Bodendauerbeobachtungsflächen so anzuordnen, daß sie einerseits für die Gesamtfläche repräsentativ sind, andererseits keine Meß- bzw. Untersuchungsflächen stören. In Hanglagen ist es daher günstig, die Profilgrube entweder unter oder seitlich von den Untersuchungsflächen auszuheben.

Die Profilgrube sollte bei tiefgründigen Böden mindestens 1 m tief sein, andernfalls eine Beurteilung des Ausgangsmaterials (C-Horizont) zulassen. Reicht das Profil nicht bis zum C-Horizont so ist dieser - falls möglich - mittels Schlagbohrer von der Grubensohle aus zu erreichen.

Die Länge der Grube muß ihrer Tiefe entsprechen. Die Breite der senkrecht abgestochenen Stirnwand sollte eine einwandfreie Bodenbeschreibung und Probenentnahme ermöglichen. Die Schauwand soll nach der Sonne gerichtet sein, die dahinterliegende Bodenfläche darf nicht betreten und nicht mit Aushubmaterial überlagert werden. Bei tieferen Gruben ist die Anlage von Stufen erforderlich. Oberboden und Unterboden sind möglichst getrennt beiderseits der Grube abzulegen.

Es empfiehlt sich, eine Hälfte der Aufnahmewand aufzurauen, sodaß die natürlichen Bodenfarben der Bruchflächen sowie Unterschiede im Bodengefüge besser erkennbar sind.

3.2.3 Einrichtung einer Fläche für Stoffflußmessungen

Auf einer Fläche für Stoffflußmessungen müssen Einrichtungen zur Erfassung folgender Parameter installiert werden:

- Qualität und Quantität der trockenen und nassen Deposition
(Freilandniederschlag / Bestandesniederschlag)
- Stammabfluß (an Buchenstandorten)

- Streufall
- Qualität und Quantität der Bodenlösung
- Qualität und Quantität des Gebietsabflusses
(kann in der Regel nicht im unmittelbaren Bereich der Bodendauerbeobachtungsfläche erfolgen)

Zur Modellierung von Wasserbewegungen im Boden sollen auf derselben Fläche Einrichtungen zur Messung des

- Wassergehaltes und der
- Saugspannung

vorgesehen werden.

Ein Schema für den Aufbau einer Meßzelle für Stoffflußmessungen ist in Abb. 3.2.3.1 dargestellt.

3.2.3.1 Erfassung des Freiland- bzw. Bestandesniederschlages

Hierzu werden Kollektoren zur quantitativen und qualitativen Bestimmung des Niederschlages installiert. Für die quantitative Bestimmung wird der Niederschlag mittels PE-Trichtern (ca. 10 cm \varnothing) mit definierter Auffangfläche aufgefangen und über Schlauchverbindungen in 1 L PE-Flaschen gesammelt. Zur Klimastabilisierung sind die PE-Flaschen im Boden zu versenken. Die Sammlung zur qualitativen Bestimmung erfolgt in verschließbaren PE-Bechern mit definierter Auffangfläche (ca. 10 cm \varnothing). Falls auch organische Verbindungen gemessen werden sollen, muß auf ein anderes Material zurückgegriffen werden. In jeder Meßfläche sollen mindestens 10 dieser Sammelvorrichtungen in ca. 1 m Höhe angebracht werden. Die Verteilung über die Fläche soll nach einem fixen Schema (z.B. wie in Abb. 3.2.3.1.1a gezeigt) erfolgen, um nicht zufällige Einflüsse auszuschalten.

Da diese Systeme nicht für die Sammlung von Schnee geeignet sind, müssen über den Winter Schneeimer (25 - 30 cm \varnothing) aufgestellt werden.

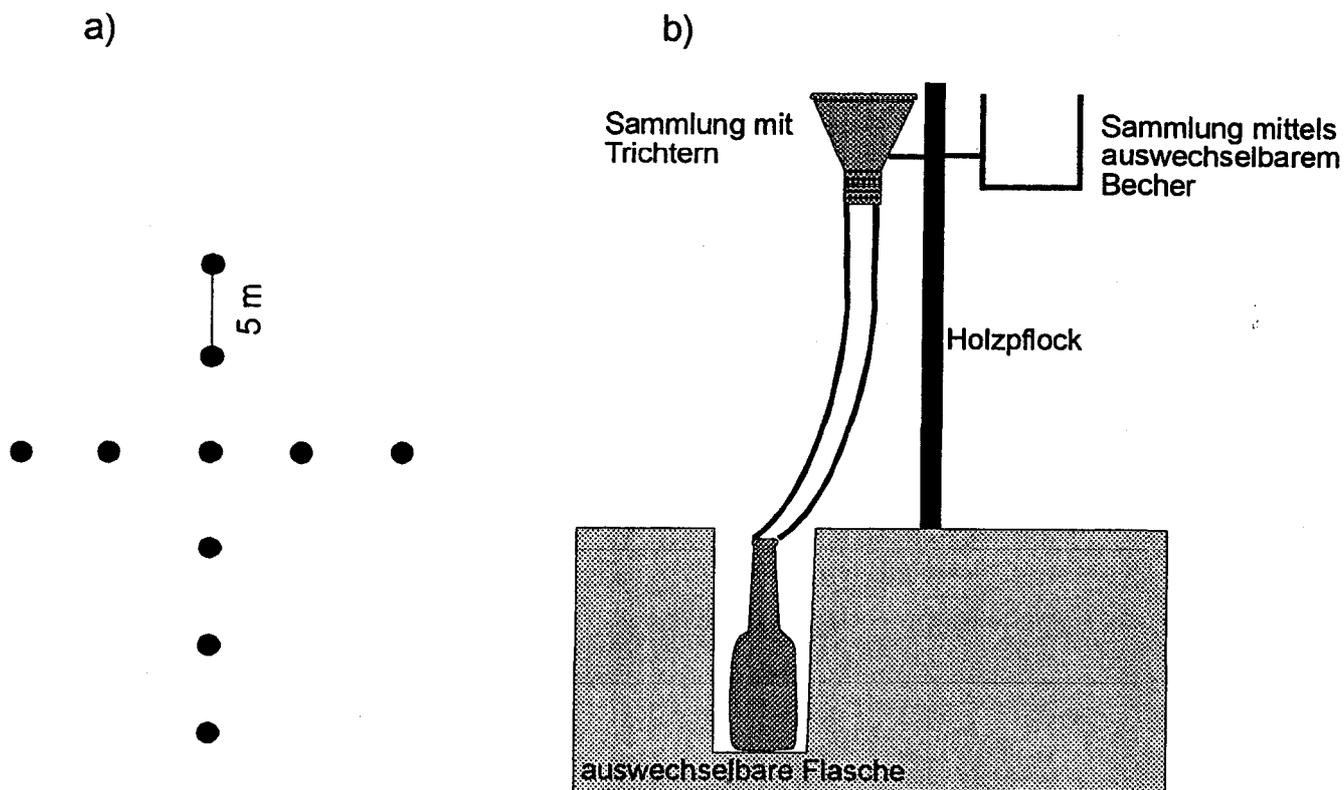


Abb. 3.2.3.1.1 a: Vorschlag zur Verteilung der Depositionskollektoren über die Fläche.
 b: Schematischer Aufbau einer Depositionssammeleinheit

3.2.3.2 Erfassung des Stammabflusses

Für Meßflächen in Buchenstandorten ist neben der Erfassung des Kronendurchlasses auch die Bestimmung des Stammabflusses notwendig. Dafür werden an den Bäumen Sammelvorrichtungen zur Erfassung dieses Teiles des Bestandesniederschlages installiert. Hierzu wird in einer Höhe von ca. 1,5 m eine Manschette dicht um den Stamm gelegt, über welche der herablaufende Niederschlag zu einem eingesetzten Trichter gelenkt wird. Von dort wird er über einen PE-Schlauch in ein Faß (100 - 200 L Volumen) geleitet (siehe Abb. 3.2.3.2.1).

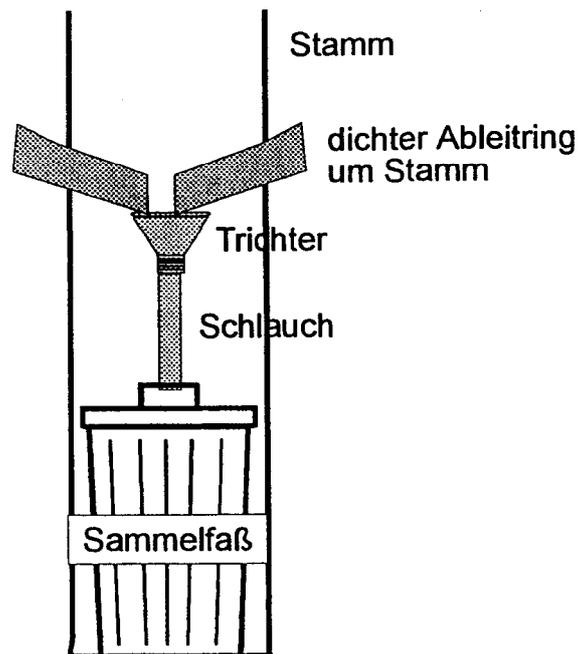


Abb. 3.2.3.2.1: Schematischer Aufbau eines Stammabflußsammlers

3.2.3.3 Erfassung des Streufalles

Die Streu wird auf allen Meßflächen im Wald mittels feinmaschiger PE-Netze, welche auf einem quadratischen Holzrahmen montiert sind, gesammelt. Der Rahmen soll ca. 20 cm hoch sein, damit die Streu quantitativ gesammelt werden kann und der Wind das Laub zwischen den Entleerungen nicht ausbläst. Die Auffangfläche eines Sammlers soll 1 m² betragen, wobei bei der Aufstellung zu beachten ist, daß diese auch in hängigem Gelände waagrecht steht. Auf jeder Meßfläche sind mindestens drei bis vier Streusammler nach einem einheitlichen Muster aufzustellen.

3.2.3.4 Gewinnung der Bodenlösung

Zur qualitativen Beurteilung der Bodenlösung werden Saugsondenanlagen eingesetzt, bei denen das Bodenwasser durch ein Filterelement abgesaugt wird. Hierbei ist zu beachten, daß die Bodenlösung in ihrer Zusammensetzung beim Durchtritt durch die Membran (Filterelement) möglichst unverändert bleibt. Sowohl für Makroelement- wie auch Spurenelementmessungen eignen sich am besten Kunststoffmembranen, während Keramiken aufgrund ihrer Sorptionseigenschaften vor allem für Spurenelemente ungeeignet sind (Wenzel und Wieshammer, im Druck). Über geeignete Membranen zur Messung von organischen Verbindungen liegen noch wenig Erfahrungswerte vor. Auch hier stellt die

Veränderung der Zusammensetzung der Bodenlösung das größte Problem dar (vgl. Guggenberger und Zech, 1992).

Die Saugsondenanlagen müssen auf einer eigens dafür vorgesehenen Fläche eingebaut werden, da im Zuge des Einbaus Aufgrabungen nötig sind. Die Sonden sind so zu setzen, daß der Wasserfluß bis zur Membran möglichst wenig gestört wird. Sie sind in drei Tiefenstufen zu installieren, wobei mindestens drei Wiederholungen pro Tiefenstufe vorzusehen sind:

- 1) in 30 cm Tiefe:
(Damit bleibt man im Acker unter dem Pflughorizont)
- 2) in 60 cm Tiefe
- 3) in 90 cm Tiefe

Von den Sonden gehen Schlauchverbindungen zum Unterdrucktopf mit den Probenahmegefäßen (vgl. Abb. 3.2.3.4.1). Diese sind so tief zu setzen, daß einerseits Frostsicherheit gewährleistet ist und es andererseits zu keinen mechanischen Beschädigungen kommen kann. Auf Ackerstandorten kann dies durch die Bodenbearbeitung problematisch werden.

Die Saugsonden sind derart zu konzipieren, daß sie für diskontinuierlichen Betrieb geeignet sind. Dies stellt zwar hohe Ansprüche an das Material und die Dichtheit, dafür kommt man danach mit geringer gerätetechnischer Ausstattung aus. Zudem wird das Saugspannungsfeld in der Umgebung der Saugsonden durch diese Betriebsart weniger beeinflusst als bei kontinuierlichem Unterdruck (vgl. Wenzel und Wieshammer, im Druck)

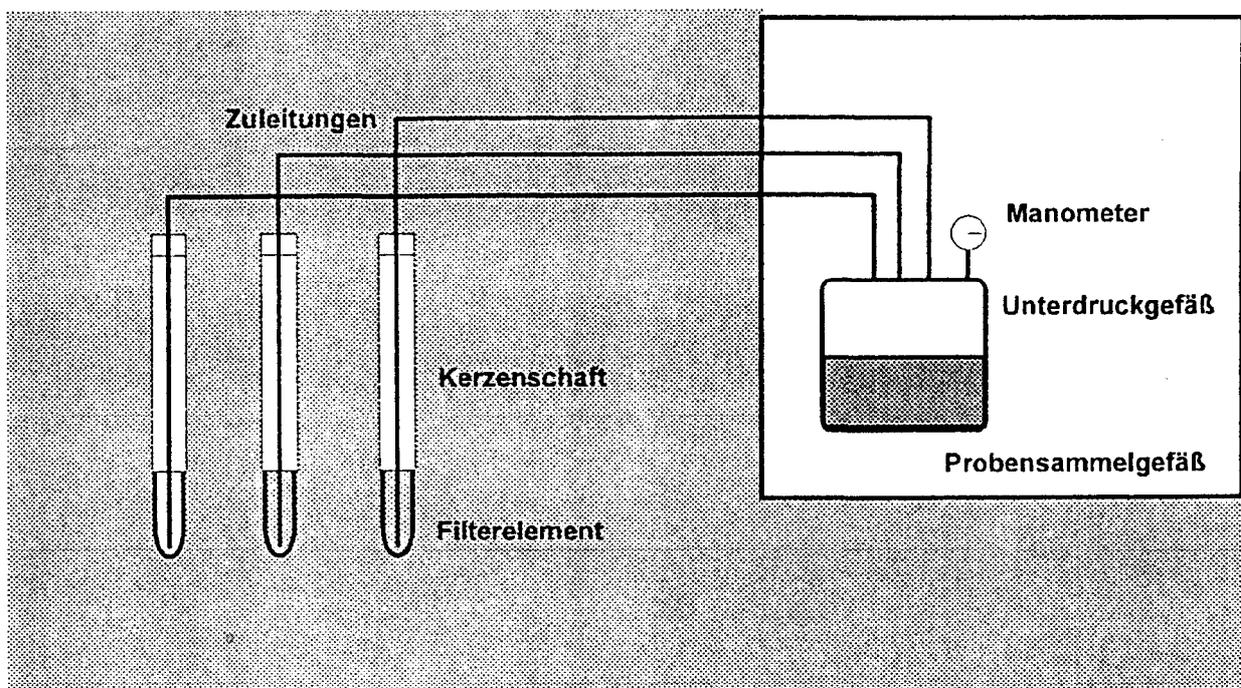


Abb. 3.2.3.4.1: Schematischer Aufbau einer Saugsondenanlage (Grafik: wenzel-pollak-alge gmbh)

3.2.3.5 Quantitative Abschätzung der Bodenwasserverhältnisse

Zur Bestimmung der Bodenwasserverhältnisse in den Meßflächen müssen die beiden Parameter Wassergehalt und Saugspannung periodisch erhoben werden. Hier sind Methoden anzuwenden, die fest installierte Geräte bzw. Anlagen benützen und eine Bestimmung über lange Zeit ohne Zerstörung der Fläche erlauben.

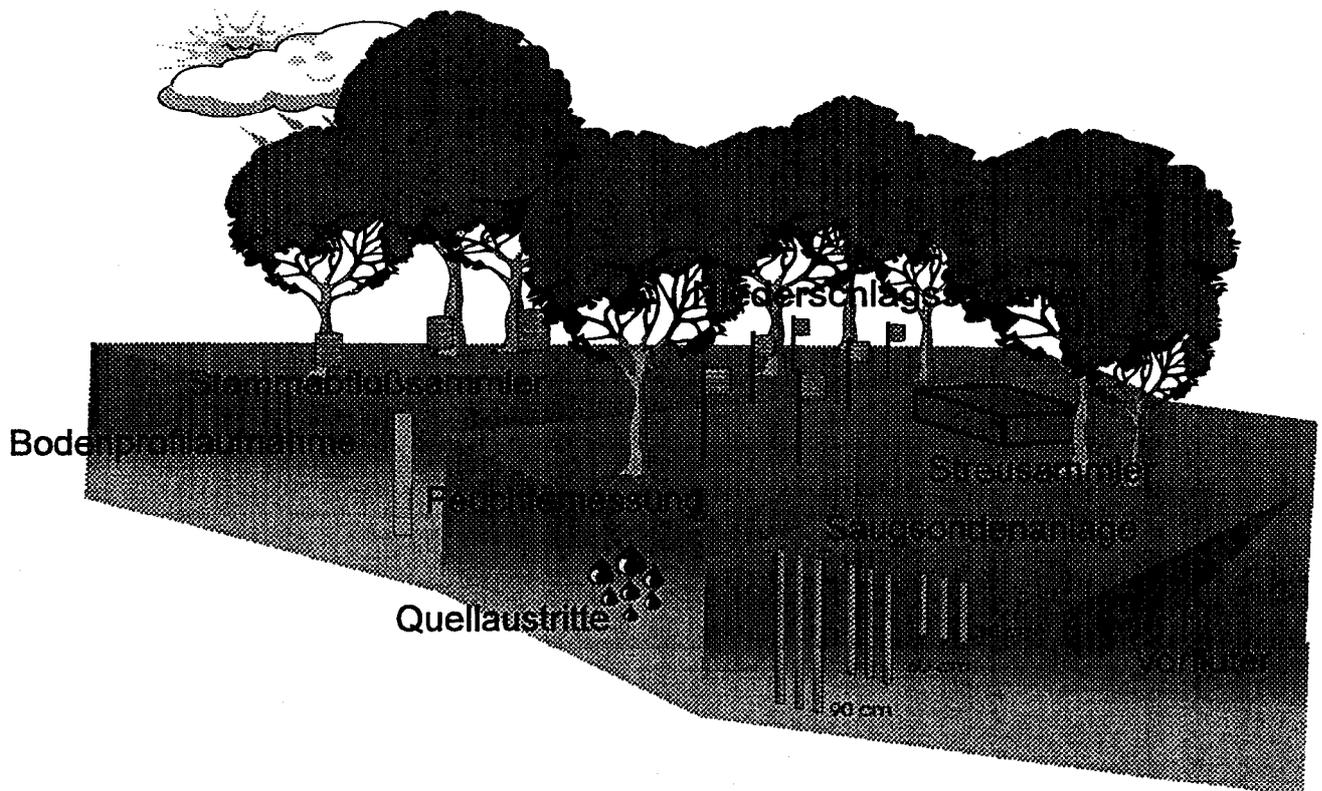
Zur Bestimmung des volumetrischen Wassergehaltes können indirekte Methoden, wie z.B. solche, die auf der Dielektrizität beruhen, angewandt werden. Hierzu gehören Time-Domain Reflectometrie (TDR) oder die Messung mit einem von Professor Kuraz entwickelten mobilen Meßgerät (Kuraz, 1981). Die Gipsblockmethode ist für derart langfristige Messungen hingegen wenig geeignet, da im Laufe der Zeit Veränderungen auftreten. Alle diese Methoden sind zu eichen.

Der Methode nach Prof. Kuraz ist kostengünstig, da hier nur Plastikrohre mit einem Innendurchmesser von 6 cm in den Boden eingebaut werden und in diesen jederzeit mit einer mobilen Sonde in allen Tiefenstufen gemessen werden kann. In jeder Meßzelle sollten mindestens vier derartige Rohre bis zu einer Tiefe von einem Meter eingebaut werden. Die Methode von Prof. Kuraz wird derzeit am Institut für Bodenforschung geprüft (Zwischenbericht zum FP BU 16, 1993).

Das Matrixpotential (Saugspannung) wird mittels Tensiometern gemessen. Sie sollten in analogen Tiefenstufen zu den Saugsonden eingebaut werden, wobei mindestens drei Wiederholungen je Tiefenstufe nötig sind. Während der Wintermonate ist auf eine Füllung mit Frostschutzmitteln zu achten. Die Messung der Saugspannung erfolgt sinnvollerweise über ein mobiles Druckmanometer, wobei eine Kanüle durch ein Septum am Tensiometer gestochen wird. Somit müssen keine teuren Meßgeräte vor Ort gelassen werden.

3.2.3.6 Erfassung des Gebietsabflusses

Zur Erfassung des Gebietsabflusses ist ein Meßwehr im Vorfluter am tiefsten Punkt des Einzugsgebietes zu installieren. In diesem Bereich sollte auch die Probenahme für Laboranalysen erfolgen.



Grafik: wenzel-pollak-alge gmbh

Abb. 3.2.3.1: Vorschlag für den Aufbau einer Meßzelle (schematisch) für Input-/Outputmessungen auf Bodendauerbeobachtungsflächen.

3.2.4 Fläche für bodenphysikalische Parameter

3.2.4.1 Messung der Bodenerosion sowie des Oberflächenabflusses

Zur direkten Messung des Bodenaustrages werden Erosionsfallen verwendet. Dazu wird die ausgewählte Fläche (20 - 40 m²) mit in den Boden getriebenen Holzbrettern abgegrenzt. Am tiefsten Punkt wird der Abfluß entweder in einen Probenteiler oder direkt ins Sammelbecken angebracht (vgl. Abb. 3.2.4.1.1). Das Sammelbecken kann als Siebbecken, in welchem sich die Feststoffe absetzen, mit angeschlossenen Wasserauffangbehälter ausgeführt sein oder als Sammelgefäß für die Suspension. Hier sind die Fest- und Flüssigphase erst bei der Probenahme zu trennen. Ein schematischer Aufbau einer Erosionsmeßanordnung ist in Abb. 3.2.4.1.1 zu sehen.

Erosionsmessungen sind auf jeden Fall mit Niederschlagsmessungen zu ergänzen.

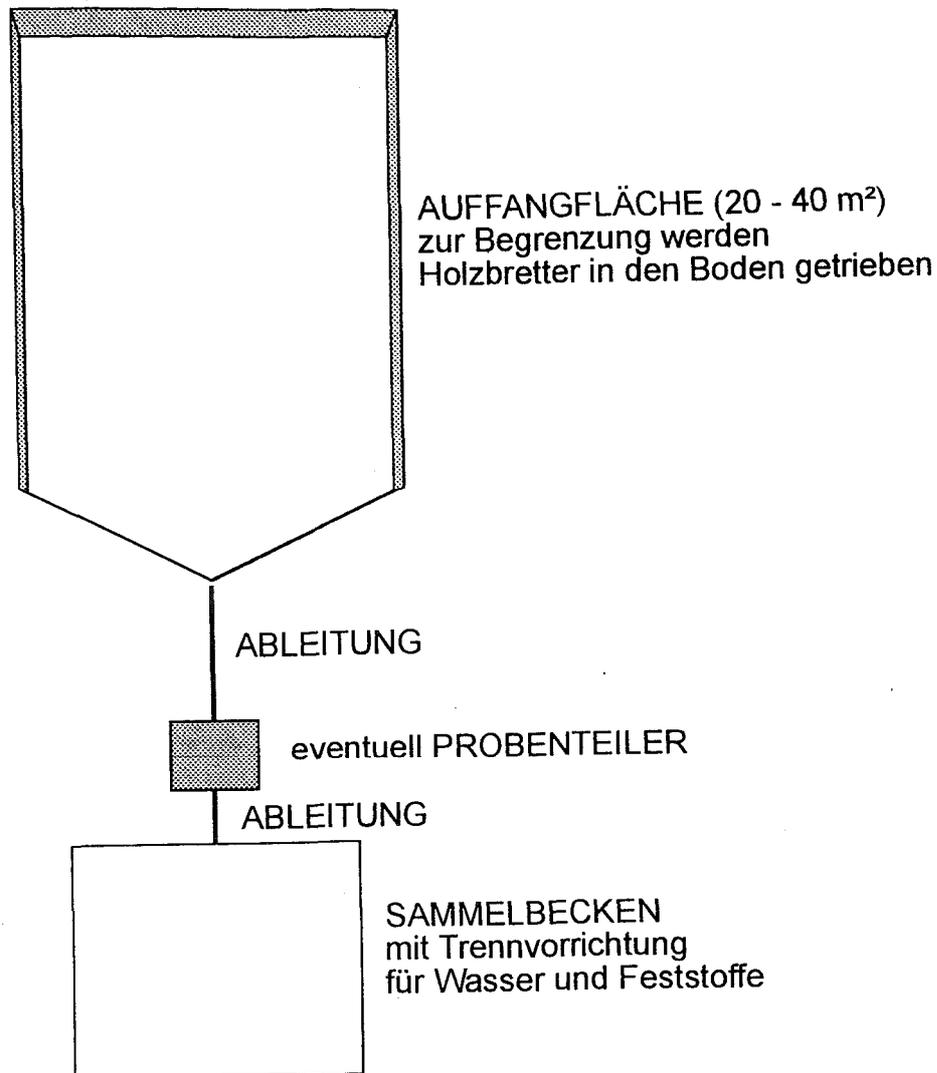


Abb. 3.2.4.1.1: Schematischer Aufbau einer Erosionsmeßanlage

3.2.4.2 Messung der hydraulischen Leitfähigkeit

Die Messung der gesättigten und ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit dient als Basisparameter zur Modellierung des Wasserhaushaltes und muß dann durchgeführt werden, wenn Stoffflußmessungen im Programm der Beobachtungsfläche stehen. Die Bestimmung erfolgt, wie die der Basisuntersuchungen, bei der Anlage auf einer repräsentativen Fläche, die später nicht beprobt wird und auch keine benachbarten Flächen beeinflussen kann.

3.2.5 Fläche für ein direktes Monitoring

Zur Kontrolle von langfristigen zeitlichen Veränderung von Bodenparametern erfolgt eine flächenbezogene Probenahme in einem vorgegebenen mehrjährigen Beprobungsrhythmus. Als prinzipielle Anforderungen sind dabei zu beachten, daß die räumliche Variabilität in der Probenahme fläche repräsentativ erfaßt wird, der Probenahme- und Analysefehler gering gehalten wird und daß die saisonal bedingte Variabilität labiler Kennwerte adäquate Berücksichtigung findet. Das Probenahmedesign und die statistische Datenauswertung sind auf diese Anforderungen auszurichten (siehe Kapitel 7.1).

Nachfolgendes Design für Dauerbeobachtungsflächen, welches die obengenannten Anforderungen an eine Probenahme erfüllt, wird daher vorgeschlagen.

Vier Parallelbeprobungen mit je 16 Einstichstellen werden pro Dauerbeobachtungsfläche und Probenahmezeitpunkt im Rahmen einer stratifizierten Zufallsprobenahme (*stratified random sampling*) durchgeführt. Dazu wird eine quadratische Fläche von 32m x 32m in 16 Strata (á 8m x 8m) aufgeteilt. Innerhalb der einzelnen Strata erfolgt eine Gliederung in vier quadratische Teilstrata, in deren Mittelpunkt eine Einstichstelle für eine bestimmte Parallelprobe liegt. Die Zuordnung der Teilstrata und damit der Einstichstellen zu den Parallelproben 1 bis 4 erfolgt durch Zufallspermutationen. Die Anordnung der Permutationen der Parallelproben in Abbildung 3.2.5.1 erfolgte mit dem Programm *procplan* des statistischen Programmpaketes SAS. Die Anordnung ist prinzipiell für alle Bodendauerbeobachtungsflächen und Probenahmezeitpunkte nur einmal vorzunehmen.

Durch die Lage der Einstichstellen im Zentrum der Teilstrata ergibt sich eine Größe des Probenahmerasters von 28m x 28m (784 m²) mit einem Abstand von 4m zwischen den Einstichstellen.

Bei Wiederholung der Probeziehung zum Zeitraum t_1, t_2, \dots, t_n wird das Probenahmedesign beibehalten, der gesamte Raster jedoch in eine der vier Haupthimmelsrichtungen um 0.5m verschoben (Abb. 3.2.5.2). Die Abfolge der Probenahmewiederholungen erfolgt im Uhrzeigersinn (Osten, Süden, Westen, Norden), ausgehend von einer Verschiebung nach Osten. Nach je vier Probenahmewiederholungen erfolgt eine Erweiterung des Abstandes vom Ursprungsraster um weitere 0.5m. 14 Probenahmewiederholungen auf ungestörten Flächen sind dadurch theoretisch möglich. Die Fläche, die insgesamt für die langfristige Probenahme vorzusehen ist, beträgt 32m x 32m (=1024m²). Durch eine Verringerung des Abstandes zwischen den Einstichstellen (z. B. auf 3m) kann die Fläche ggf. verkleinert werden (576m²), ohne das Probenahmedesign zu verändern. Einzig die Anzahl der möglichen Wiederholungen wird dadurch verringert; bei 3 m Abstand sind z.B 10 Probenahmewiederholungen möglich.

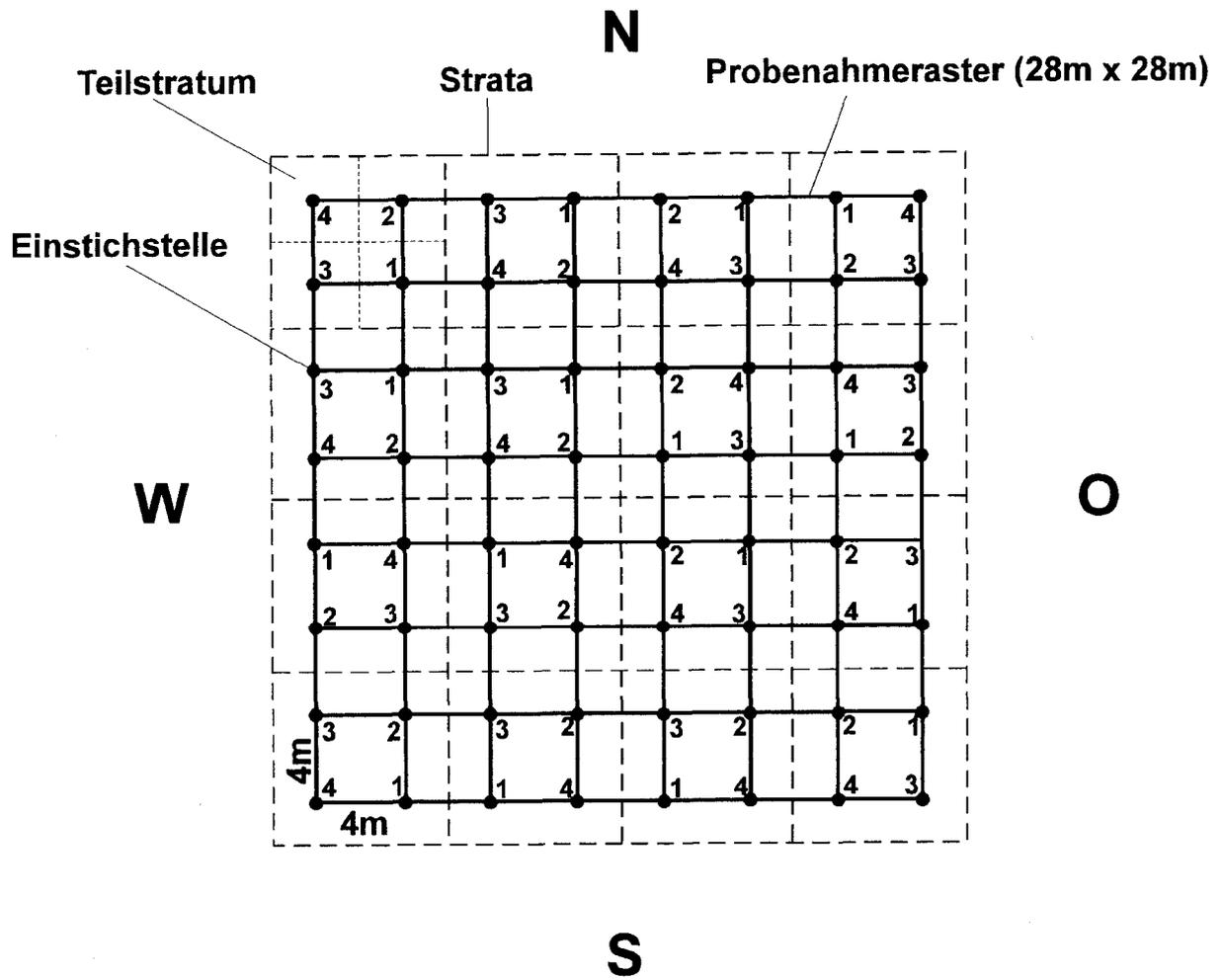


Abb. 3.2.5.1: Probenahmeplan

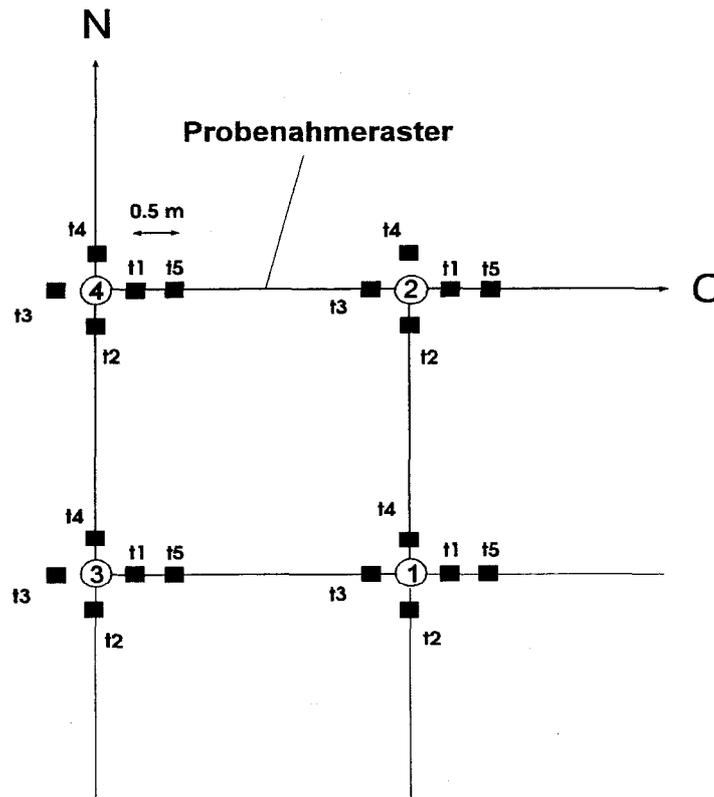


Abb. 3.2.5.2: Schiebung des Probenahmerasters bei zeitlicher Wiederholung der Probenahme

Die Probenahmefläche ist genau einzumessen und ein maßstabsgetreuer Plan davon anzufertigen. Ein Eckpunkt, am besten der nordwestliche, ist dauerhaft zu vermarken um von hier aus die Rasterpunkte einmessen zu können (siehe auch Kapitel 3.2.1).

Auf dieser Fläche sollen zwar alle wirtschaftsüblichen Arbeitsvorgänge durchgeführt werden, sie soll jedoch nicht durch Probenahmen, Aufgrabungen in und um die Fläche oder ähnliche Aktivitäten gestört werden.

4 STANDORTSEMPFEHLUNGEN FÜR EIN DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN - SYSTEM IN ÖSTERREICH

Im Hinblick auf die in Kapitel 2 dargelegten Zielsetzungen ist es einerseits wesentlich, alle bedeutenden Belastungsquellen / -situationen, Belastungspfade und Belastungsarten in die Bodendauerbeobachtung einzubeziehen, andererseits eine für Österreichs Bodenlandschaften und deren Bodenfunktionen repräsentative Verteilung der Bodendauerbeobachtungsflächen zu erzielen. Bei gleicher *Belastung* können die einzelnen Bodentypen entsprechend ihrer *Sensitivität* unterschiedlich rasch mit Veränderungen im Bodenzustand und in den hierdurch bedingten Bodenpotentialen reagieren.

Die Einrichtung von Hintergrundstationen erscheint wesentlich, um die langfristige Entwicklung des Bodenzustandes bzw. einzelner Kennwerte unter möglichst umfassendem Ausschluß menschlicher Aktivitäten und Beeinflussungen zu erfassen ("*Naturnahe Entwicklung*"). Meßflächen dieser Art könnten vor allem im Bereich von Naturschutzgebieten, Nationalparks und ähnlicher Schutzgebiete eingerichtet werden, wo sie auch zur Kontrolle der Schutzmaßnahmen herangezogen werden können. Andererseits ist es vordringlich, Bodendauerbeobachtungsflächen im Bereich sensibler Böden, die zugleich hohen Belastungen ausgesetzt sind, einzurichten. Hierdurch können maximale Raten der Bodenveränderung erfaßt werden. Derartigen Meßstellen kommt somit eine wichtige *Indikatorfunktion* zu und sie sind daher gemeinsam mit den Hintergrundstationen in einer ersten Ausbauphase eines österreichweiten Bodendauerbeobachtungs-Meßnetzes einzurichten. Allerdings geben sie für sich allein kein repräsentatives Bild der landesweiten Bodenveränderungen, sodaß in einer weiteren Ausbauphase durch die Einrichtung von BDF's an Standorten mit typischer Sensitivität und Belastungssituation für größere Landesteile Flächenrepräsentativität für eine *österreichweite Bilanzierung* von Bodenveränderungen erzielt werden sollte. Durch den Vergleich von Veränderungsdaten an extremen und typischen Standorten mit jenen von Hintergrundstationen sollte es möglich sein, den anthropogenen Einfluß von natürlichen Entwicklungstendenzen zu trennen (*Kausalanalyse*).

Die Abbildung im Anhang gibt einen Überblick über die Bodenlandschaften Österreichs. Zusätzlich sind die Klimastationen der Meteorologischen Zentralanstalt eingetragen. Mit Hilfe dieser Karte sowie unter Berücksichtigung zusätzlicher Informationen über Bodenbelastungen aus den bereits durchgeführten Bodenzustandsinventuren und regionalen / lokalen Untersuchungen (vgl. Überblick in Alge und Wenzel, 1993) werden in Tabelle 4.1 vorläufig Meßstellen für die Bodendauerbeobachtung vorgeschlagen. Zusätzlich liegen in einigen Bundesländern bereits konkrete Vorstellungen für mögliche Standorte vor.

Tabelle 4.1: Vorläufige Liste möglicher Standorte für die Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen

Nr.	Land	Standort	Bodenland- schaft	Belastungs- höhe	Belastungsart	Stationstyp ¹	Anmerkungen
1	V		A1				
2	V	Pfänder	B3	hoch ?	Ferntransport	I	Ferntransport
3	V		O2				
4	V		R2				
5	V		B6				
6	V		O1				
7	T	Innsbruck	A2	hoch		I	Ballungsraum
8	T	Karwendel	R2		Ferntransport	R	Kalkalpin
9	T	Karwendel	R1			R	Kalkalpine Hochlagen
10	T		B6			R	Mittelgebirge
11	T	Stubaital	B6	hoch		I	Brenner Autobahn
12	T	Brixlegg	A2/B6	hoch	Schwermetalle, Dioxine	I	Rohstoffgewinnung, Industrie
13	T	Zillertal	O1	gering ?		R	
14	T	Zillertal	R3	gering ?		R	
15	T	Osttirol	O1	gering		H	Nationalpark Hohe Tauern
16	T	Osttirol	R3	gering		H	Nationalpark Hohe Tauern
17	T	Kufstein	A2	hoch		H, R	Ballungsraum

¹ H = Hintergrundstation, I = Indikatorstation (hohe Belastung bei sensitivem Boden), R = Repräsentative Station für eine größere Region, Bodenlandschaft etc.

Tabelle 4.1: Vorläufige Liste möglicher Standorte für die Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen (Fortsetzung)

Nr.	Land	Standort	Bodenland- schaft	Belastungs- höhe	Belastungsart	Stationstyp ²	Anmerkungen
18	S	Kaltbrunnalm	R2		Almweide	R	Bodenversauerung
19	S	Salzburg Stadt	P2 / P3	hoch		R, I	Ballungsraum
20	S	Hohe Tauern	B6	gering		H	Höhenprofil Großglockner
21	S	Hohe Tauern	O1	gering		H	Höhenprofil Großglockner
22	S	Hohe Tauern	R3	gering		H	Höhenprofil Großglockner
23	S	Zell / See	P3	mittel		R	Tourismus
24	S	Zell / See	B6		Skipisten	I	Tourismus
25	K	Klagenfurt	A2	hoch		R, I	Ballungsraum
26	K	Krappfeld	B5/B6	mittel	Industrie, LW	R, I	gut untersuchtes Gebiet
27	K	Karawanken	R1			R	Petzen ?
28	K	Karawanken	B5			R	Petzen ?
29	K	Arnoldstein	A1 / R2	hoch	Bergbau, Ind.	I	
30	K	Lienzer Dolomiten	R3, B6			R	
31	St	Graz	B1	hoch		R, I	Ballungsraum
32	St	Leibnitzer Feld	A1, B1		LW, Nitrat		Grundwasser !
33	St	SO Graz	B8, P4	hoch	Wassererosion	R, I	Landwirtschaft
34	St	Mur / Mürz	A1	hoch	Industrie	R, I	
35	St	Ennstal	A1 / B6				
36	St	Niedere Tauern	O1 / R3	gering		H	

² H = Hintergrundstation, I = Indikatorstation (hohe Belastung bei sensitivem Boden), R = Repräsentative Station für eine größere Region, Bodenlandschaft etc.

Tabelle 4.1: Vorläufige Liste möglicher Standorte für die Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen (Fortsetzung)

Nr.	Land	Standort	Bodenland- schaft	Belastungs- höhe	Belastungsart	Stationstyp ³	Anmerkungen
37	St	Köflach-Voitsberg	B6		E-Wirtschaft, Ind., Bergbau	R, I	gut untersuchtes Gebiet
38	St	Dachstein	R1, R2		Tourismus	R	Karst
39	St	Schöckl	R2			R	Naherholungsraum
40	St	Erzberg	R1, R2	hoch	Bergbau	I	
41	St	Waldheimat	B6	gering		H	
42	OÖ	Salzkammergut	B7, P4, P3		Tourismus	R	
43	OÖ	Westliches Innviertel	P1, P2, P3, P4			R	Ranshofen, Chem, Industrie, LW
44	OÖ	Linz	A2, P2	hoch			Ballungsraum
45	OÖ	Böhmerwald	B5				FIW
46	OÖ	Mühlviertel	B8		LW	R	
47	OÖ	Totes Gebirge	R1, R2			R	
48	OÖ	Reichraming	R2			H	NP Kalkalpen
49	OÖ	Phyrn	P2, (R2)			I	Autobahn
50	NÖ	St. Pölten	A2, B1			R, I	Ballungsraum
51	NÖ	Waldviertel	P1			R	Podsol
52	NÖ	Waldviertel	B5			R	
53	NÖ	Donautal	P2			R	

³ H = Hintergrundstation, I = Indikatorstation (hohe Belastung bei sensitivem Boden), R = Repräsentative Station für eine größere Region, Bodenlandschaft etc.

Tabelle 4.1: Vorläufige Liste möglicher Standorte für die Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen (Fortsetzung)

Nr.	Land	Standort	Bodenland- schaft	Belastungs- höhe	Belastungsart	Stationstyp ⁴	Anmerkungen
54	NÖ	Flyschgebiet	B7			R	stadtfern
55	NÖ	Kalkalpin, Siedlungsnähe	R2	mittel		R	
56	NÖ	Rotwald	R2	gering		H	
57	NÖ	Rax / Schneeberg	R2			R, H	Quellschutzgebiet
58	NÖ	Wr. Neustadt	P2	hoch	Industrie	R, I	
59	NÖ	Moosbrunn	T3			R	Grundwasser
60	NÖ	Krems	B1, B5		Weinbau	R, I	
61	NÖ	Weinviertel	T4, T1, T2,		LW - Erosion	R, I	
62	NÖ	Marchfeld	T1		LW	R	
63	NÖ	Schwechat	T2	hoch	Flughafen	I	
64	NÖ	Marchauen	A1			R	Nationalpark
65	NÖ	Hainburg	A2			R	Nationalpark
66	B	Eisenstadt	T2				Ballungsraum
67	B	Günser Gebirge	B5, (P4)		Versauerung	R	Forschungsprojekt
68	B	Leithagebirge	B5, R2			R	Eichensterben
69	B	Lange Lacke	M1				NP Neusiedlersee
70	B		T2				Weinbau

⁴ H = Hintergrundstation, I = Indikatorstation (hohe Belastung bei sensitivem Boden), R = Repräsentative Station für eine größere Region, Bodenlandschaft etc.

5 BASISUNTERSUCHUNGEN

Die Basisuntersuchungen werden bei der Einrichtung einer Bodendauerbeobachtungsfläche durchgeführt. Zur Bodenbeschreibung und -Probenahme wird ein für den Standort charakteristisches Profil geöffnet (3.2.2).

5.1 Standort- und Bodenbeschreibungen

Die Standort- und Bodenbeschreibungen sollten im Hinblick auf eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Bodenzustandsinventuren nach Blum et al (1989) durchgeführt werden. Für die internationale Vergleichbarkeit wird empfohlen auch nach dem FAO-System aufzunehmen.

5.1.1 Grunddaten

5.1.1.1 Land

5.1.1.2 Bezirk/Gemeinde/Katastralgemeinde/Parzellennummer

5.1.1.3 Nummer und Name des Kartenblattes, Maßstab; Übersichtskarte (1:50.000 bzw. 1:25.000) und Detailkarte (1:5.000)

5.1.1.4 BDF-Nummer nach einheitlichem Code - Bundesinterne Numerierung sowie länderübergreifende Numerierung (ARGE Bodenschutz, 1994)

5.1.1.5. Koordinaten

5.1.1.6 Datum der Einrichtung der BDF

5.1.1.7 Name und Anschrift des Koordinators / Betreuers der BDF-Fläche

5.1.1.8 Name des Probenehmers

5.1.2 Allgemeine Standortsmerkmale

5.1.2.1 Geographische Lage

5.1.2.2 Seehöhe

5.1.2.3 Exposition

5.1.2.4 Neigung

5.1.2.5 Geländeform

5.1.2.6 Kleinrelief

5.1.3 Spezielle Standortsmerkmale

5.1.3.1 Bodenhydrologische Situationen

- Grundwasser
- Stauwasser
- Abschätzung der Bodenwasserverhältnisse bei Forststandorten

- Abschätzung der Bodenwasserverhältnisse bei landwirtschaftlich genutzten und sonstigen Standorten

5.1.3.2 Ausgangsmaterial für die Bodenbildung

5.1.3.3 Gründigkeit

5.1.3.4 Vegetation und Landnutzung

- Wald
 - Bodenvegetation
 - Baumbestand
- Landwirtschaftliche Nutzung

5.1.3.5 Emittenten

5.1.4 Bodenbeschreibung

5.1.4.1 Horizontierung

- Horizontsymbole
- Horizontmächtigkeit
- Horizontbegrenzung

5.1.4.2 Bodenart

5.1.4.3 Skelettgehalt (Grobanteil)

5.1.4.4 Bodenfarbe

5.1.4.5 Fleckung und Konkretionen

5.1.4.6 Karbonate

5.1.4.7 Bodenstruktur (Bodengefüge)

5.1.4.8 Porosität

5.1.4.9 Durchwurzelung

5.1.4.10 Biologische Durchmischung

5.1.4.11 Humus

5.1.5 Nutzung und Bewirtschaftung

Auf Bodendauerbeobachtungsflächen mit landwirtschaftlicher Nutzung sind die jährlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Abschätzung der Stoffein- und austräge in Schlagkarteien festzuhalten. Bereits bei der Flächeneinrichtung ist darüber mit dem Besitzer eine Vereinbarung zu treffen.

Auf forstlich und anderwärtig genutzten Flächen sind wesentliche Daten über Art und Ausmaß der Bewirtschaftung festzuhalten.

5.1.5.1 Landwirtschaftlich genutzte Flächen

- Betriebs- und Schlagdaten
- Fruchtart / Erntemenge

- Bodenbearbeitung
- Düngung
- Pflanzenschutz

5.1.5.2 Forstlich genutzte Flächen

- Wuchsraum / -gebiet
- Angaben zum Bestand (Nutzungsform, Bestandesklasse, Baumartenzusammensetzung, Bestandesgliederung, Alter, Waldkategorie und Waldfunktion, Bonität, Bestockungsgrad, Schlußgrad, Vegetationstyp, etc.)
- natürliche Waldgesellschaft
- Pflegezustand
- Düngung und Pflanzenschutz
- Schäden
- Sonstiges

5.2 Vegetationsaufnahmen

Schon bei der Einrichtung einer Bodendauerbeobachtungsfläche sollen Vegetationsaufnahmen durchgeführt werden. Dabei sind Art und Anteil bzw. Deckungsgrad der vorhandenen Pflanzen anzugeben.

5.3 Bodenprobenahme, -transport und -lagerung

5.3.1 MASSEPROBEN

5.3.2 VOLUMSBEZOGENE PROBEN

- Stechzylinder
- Volumersatzmethoden

5.3.3 PROBENAHMEGEFÄßE, PROBENTRANSPORT UND -LAGERUNG

5.4 Bodenanalytik

5.4.1 PROBENAUFBEREITUNG

5.4.2 PHYSIKALISCHE UND MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Feldmethoden

- Ungesättigte Wasserleitfähigkeit

- Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Labormethoden

- Lagerungsdichte
- Korngrößenzusammensetzung
- Porosität und Wasserdurchlässigkeit
- Mikromorphologie (Dünnschliffe)
- Tonminerale und Gesamtminerale (quantitativ)

5.4.3 CHEMISCHE UND BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

- pH-Wert in CaCl_2
- Organischer Kohlenstoff
- Gesamtstickstoff
- Carbonatgehalt
- Austauschbare Kationen und Kationenaustauschkapazität
- Echte Gesamtgehalte von mineralischen Nähr- und Schadelementen (z.B. Flußsäureaufschluß, XRF)
- Pedogene Oxide
- Mobile Schwermetallanteile
- Leitfähigkeit, Kationen und Anionen im Wasserauszug 1:5

- Polychlorierte Biphenyle und Organochlorpestizide
- Persistente Herbizide
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- PCDD/PCDF

- Radionuklide

- mikrobielle Biomasse
- mikrobielle Atmung
- Stickstoffmineralisation
- Xylanaseaktivität
- Bodentiere (z.B. Regenwurmpopulation)

6. INDIREKTES MONITORING VON BODENVERÄNDERUNGEN ÜBER STOFFFLUSSMESSUNGEN

6.1 Stoffeintragsmessungen

6.1.1 QUANTITATIVE UND QUALITATIVE ERFASSUNG DER DEPOSITION

6.1.2 QUANTITATIVE UND QUALITATIVE ERFASSUNG VON PFLANZEN- BZW. FUTTERRÜCKSTÄNDEN (LAUBFALL, STROH, WURZELRESTE, ETC.)

6.1.3 EINTRÄGE ÜBER DÜNGEMITTEL

6.1.4 EINTRÄGE ÜBER PFLANZENSCHUTZMITTEL

6.2 Interne Stoffumsetzungen und Stoffaustragsmessungen

6.2.1 QUALITÄT UND QUANTITÄT DER BODENLÖSUNG

6.2.2 HYDRAULISCHE BEDINGUNGEN

6.2.3 QUALITÄT UND QUANTITÄT DES GEBIETSABFLUSSES

6.2.4 ERNTEPRODUKTE

7 DIREKTES MONITORING VON BODENVERÄNDERUNGEN

7.1 Probenahme

7.1.1 Allgemeines

Bei der Probenahme für ein direktes Monitoring ist besonders zu beachten, daß die räumliche Variabilität in der Probenahmefläche repräsentativ erfaßt wird, der Probenahme- und Analysefehler gering gehalten wird und daß die saisonal bedingte Variabilität adäquate Berücksichtigung findet (vgl. Kap. 3.2.5).

Bedingungen, die darüber hinaus das Probenahmemuster des direkten Bodenmonitorings beeinflussen, sind die aus Kostengründen beschränkte Anzahl von Parallelproben je Wiederholung, die einfache Handhabung des Probenahmedesigns und die Notwendigkeit der Verlegung von Einstichstellen bei den Wiederholungsbeprobungen. Die nachhaltige Sicherung der Dauerbeobachtungsfläche darf zudem durch übermäßige oder unkontrollierte Beprobung nicht gefährdet werden, weshalb ein Kompromiß zwischen Beprobung und Flächenverbrauch zu finden ist.

7.1.2 Statistische Grundlagen:

Für den jeweiligen Untersuchungsparameter ergibt sich bei Zufallsstichprobendesign (*simple random sampling*; WEBSTER und OLIVER, 1990) sowie der Annahme einer homogenen Mischprobe und eines theoretischen Analysewertes je Einstichstelle E_i der Analysewert für die Parallelprobe P_j aus:

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{m} \quad (1)$$

mit

$i = 1, \dots, m$

mAnzahl der Einstichstellen je Parallelprobe

$j = 1, \dots, n$

nAnzahl der Parallelproben

Für die beprobte Fläche errechnet sich dadurch zu einem gegebenen Zeitpunkt der Mittelwert \bar{P} und die Varianz s^2 aus den Parallelproben des Untersuchungsparameters wie folgt:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j}{n} \quad (2)$$

und

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (P_j - \bar{P})^2}{n-1} \quad (3)$$

Die Varianz aus (3) setzt sich dabei aus einem untersuchungsparameterspezifischen Analysefehler und der Variabilität der Parallelbodenproben zusammen und beträgt für die Grundgesamtheit:

$$\sigma^2 = \sigma_{\text{Analyse}}^2 + \sigma_{\text{Parallelbodenprobe}}^2 \quad (4)$$

Die Varianz der Parallelbodenproben in (4) hängt einerseits von der Bodenvariabilität in der Beobachtungsfläche und andererseits vom Bodenprobenahmefehler ab und ergibt sich aus:

$$\sigma_{\text{Parallelbodenprobe}}^2 = \frac{\sigma_{\text{Boden}}^2 + \sigma_{\text{Bodenprobennahme}}^2}{m} \quad (5)$$

Auf Grundlage eines t-Testes können Veränderungen der Untersuchungsparameter im langfristigen Zeitintervall $t_1 - t_2$ statistisch abgesichert werden. Sind die Lokationen der Probenahmen zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 ident (Annahme, daß keine Verlegung der Einstichstellen bei der Wiederholungsbeprobung stattfindet), folgt:

$$\left| \bar{P}_{t_1} - \bar{P}_{t_2} \right| = t_{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{S_{t_1}^2 + S_{t_2}^2}{n}} \quad (6)$$

wobei

$\left| \bar{P}_{t_1} - \bar{P}_{t_2} \right|$ Minimale Differenz des Untersuchungsparameters zwischen den Probenahmezeitpunkten t_1 und t_2 , welche bei vorgegebenem Signifikanzniveau α statistisch abgesichert werden kann.

t_{α} Kritischer t-Wert bei Freiheitsgrad $2n - 2$ und Signifikanzniveau α . Ob eine einseitige oder zweiseitige Testsituation gegeben ist, hängt vom jeweiligen Untersuchungsparameter ab.

$S_{t_1}^2$ bzw. $S_{t_2}^2$ Varianz der Parallelproben zum Probenahmezeitpunkt t_1 bzw. t_2 .

Wie aus den Gleichungen 4, 5 und 6 ersichtlich ist, hängt die Sensibilität der Differenzierung zwischen den beiden Beprobungszeitpunkten, bei gegebenem Analysefehler und gegebener Variabilität der Einstichproben, von der Erhöhung der Anzahl der Parallelproben einerseits und in wesentlich geringerem Maße von der Anzahl der Einstichproben andererseits ab. Abbildung 7.1.2.1 veranschaulicht anhand eines

fiktiven Beispiels den Zusammenhang der Anzahl der Parallelproben bzw. der Anzahl der Einstichproben und der Differenzierungsgenauigkeit.

Gegeben sei:

$$s_{r1}^2 = s_{r2}^2 = 225 \text{ [mg/kg]}^2$$

$\alpha = 0.05$ (zweiseitige Testsituation)

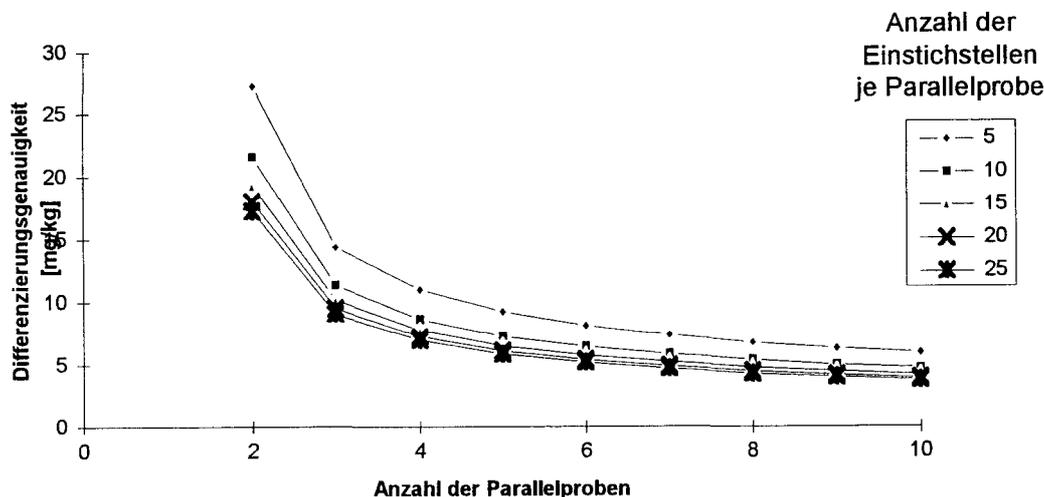


Abb. 7.1.2.1: Statistische Differenzierungsgenauigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Einstichstellen je Parallelprobe und der Anzahl der Parallelproben

Aufgrund der Mehrkosten für jede zusätzliche Parallelprobe und Einstichstelle ist im Probenahmekonzept ein Kompromiß zwischen der Anzahl der Parallelproben bzw. Einstichstellen und der Differenzierungsgenauigkeit vorzunehmen.

7.1.3 Probenahme

Ein Design für Flächen zur wiederholten Probenahme das den statistischen Anforderungen entspricht, 14 Probenahmewiederholungen auf ungestörten Flächen erlaubt sowie in der Praxis durchführbar ist, wurde in Kapitel 3.2.5 (siehe auch Abb. 3.2.5.1 und 3.2.5.2) vorgestellt.

Die Stratifizierung (*stratified random sampling*) der Fläche (vgl. 3.2.5) erhöht die Präzision der Probenahme gegenüber einem Zufallsstichprobendesign (*simple random sampling*), da die Variabilität der Parallelbodenproben (siehe Gleichung. 4 und 5) durch Unterteilung in Strata verringert wird.

$$\sigma_{\text{Parallelbodenprobe, stratif.}}^2 = \frac{\sum_{k=1}^l \left(\sigma_{\text{Boden}}^2 + \sigma_{\text{Bodenprobenahme}}^2 \right)_k m_k}{l^2} \quad (7)$$

mit

$\sigma_{\text{Parallelbodenprobe, stratif.}}^2$ Variabilität der Parallelbodenproben, in einem stratifizierten Zufallsprobenahmedesign.

$(\sigma_{\text{Boden}}^2 + \sigma_{\text{Bodenprobenahme}}^2)_k$ Variabilität im k-ten Stratum.

m_k Anzahl der Einstichstellen je Parallelprobe im k-ten Stratum. Im vorgeschlagenen Probenahmedesign ist $m_k = 1$.

l Anzahl der Strata. In vorgeschlagenen Probenahmedesign ist $l = m = 16$.

Die Variabilität der Parallelbodenproben ergibt sich somit in einem stratifizierten Probenahmedesign allein aus der gepoolten Varianz innerhalb der Strata (7). Unterschiede zwischen den Strata haben keinen Beitrag zur Variabilität der Parallelbodenproben. Im allgemeinen gilt, daß die Bodenvariabilität um so geringer ist, je kleiner die beobachtete Bodenfläche ist. Unterteilt man daher die Dauerbeobachtungsfläche in Strata, so ist normalerweise $(\sigma_{\text{Boden}}^2 + \sigma_{\text{Bodenprobenahme}}^2)_k$ aus (7) $< \sigma_{\text{Boden}}^2 + \sigma_{\text{Bodenprobenahme}}^2$ aus (5) und damit $\sigma_{\text{Parallelbodenprobe, stratif.}}^2 < \sigma_{\text{Parallelbodenprobe}}^2$.

7.1.3.1 Berücksichtigung der saisonalen Variabilität

Um die saisonale Variabilität der Untersuchungsparameter mit zu berücksichtigen, wird vorgeschlagen, die periodischen Beprobungen innerhalb einer Vegetationsperiode durchzuführen und die vier Parallelbeprobungen innerhalb dieses Zeitraumes gleichmäßig aufzuteilen. Die Varianz aus (3) setzt sich demnach wie folgt zusammen:

$$\sigma^2 = \sigma_{\text{Analyse}}^2 + \sigma_{\text{Parallelbodenprobe, stratif.}}^2 + \sigma_{\text{Saison}}^2 \quad (8)$$

Die saisonale Varianz aus (8) berücksichtigt somit die gesamte jahreszeitlich bedingte Varianz während der Vegetationsperiode.

7.1.3.2 Wiederholung der Probenahme

Durch die Verlegung der Einstichstellen bei den Wiederholungsbeprobungen wird ein Schätzfehler der Differenz induziert. Der Bias ist jedoch vernachlässigbar, wenn die Distanz die verschoben wird im Vergleich zur Größe der Dauerbeobachtungsfläche klein ist (PAPRITZ, 1993). Die regionalisierte Variablentheorie von MATHERON (1965) zeigt zudem, daß gepaarte Probenahmen innerhalb einer gewissen Reichweite (*range*) eine positive

Korrelation zwischen benachbarten Punkten aufweisen und damit nahe beieinanderliegende Probenahmepunkte eine größere Ähnlichkeit aufweisen als weiter entfernt liegende Einstichstellen. Die Varianzsumme der beiden Wiederholungsbeprobungen, wie sie im t-Test in (6) zur Anwendung kommt, entspricht bei gepaarter Probenahme (*paired sampling*) und obigem Probenahmedesign daher nicht

$$\frac{S_{t_1}^2 + S_{t_2}^2}{n}$$

sondern ist um die Kovarianz verringert und errechnet sich aus

$$\frac{S_{t_1}^2 + S_{t_2}^2 - 2S_{t_1,t_2}}{n} \quad (9)$$

wobei

$$S_{t_1,t_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{t_1,i} - \bar{P}_{t_1})(P_{t_2,i} - \bar{P}_{t_2})}{n-1} \quad (10)$$

Die Minimaldifferenz zwischen den Wiederholungsbeprobungen, welche mit Hilfe des t-Testes (6) statistisch abgesichert werden kann, wird dadurch verkleinert.

Die praktische Probeziehung im vorgestellten Probenahmedesign ist einfach. Durch Vermarkung des nordwestlichsten Rasterpunktes im Ausgangssampling sind sämtliche Rasterpunkte eindeutig definiert und können leicht mit Hilfe eines Maßbandes und eines Kompasses eingemessen werden. Die Einstichstellen sind in einem Plan maßstabsgetreu einzutragen.

Zur Erkennung von Bodenveränderungen werden Indikatorgrößen für einzelne Belastungsarten analysiert.

7.2 Physikalische Veränderungen

- Erosionsmessungen
- Eindringwiderstand
- Lagerungsdichte
- Porosität und Wasserdurchlässigkeit

7.3 Chemische Veränderungen

7.3.1 LEITSUBSTANZEN BZW.-PARAMETER

- pH-Wert
- Organischer Kohlenstoff

- Carbonatgehalt (falls bei Erstanalyse vorhanden)
- Gesamtstickstoff
- Nährstoffe (Gesamtgehalte und verfügbare Fraktionen)
- Austauschkapazität und austauschbare Kationen
- Echte Gesamtgehalte von anorganischen Schadelementen
- Verfügbare Metallanteile
- Leitfähigkeit
- Anionen

- Polychlorierte Biphenyle und Organochlorpestizide
- Persistente Herbizide
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- PCDD/PCDF

- Radionuklide

7.3.2 SPEZIALUNTERSUCHUNGEN

Eventuell Messung von Bodenausgasungen

7.4 Biologisch-biochemische Veränderungen

Bei der Erstuntersuchung der Fläche sollten alle von Kandeler et al. (1993) angegebenen Parameter untersucht werden. Für die Folgeuntersuchungen können manche Parameter für landwirtschaftliche Flächen oder Forstflächen optional sein.

Auf jeden Fall gemessen werden sollen:

- mikrobielle Biomasse
- mikrobielle Atmung
- Stickstoffmineralisation
- Xylanaseaktivität
- Bodentiere (z.B. Regenwurmpopulation)

Optional sind:

- DMSO-Reduktaseaktivität
- Ureaseaktivität
- potentielle Nitrifikation
- potentielle Denitrifikation
- Phosphataseaktivität
- Arylsulfataseaktivität
- Dehydrogenaseaktivität

8 DATENVERWALTUNG, AUSWERTUNG UND INTERPRETATION

8.1 Datenverwaltung

Zur Verwaltung der erhobenen Daten wird ein einheitliches Datenbanksystem aufgebaut, welches zentral verwaltet wird und soweit vernetzt ist, daß alle Beteiligten Informationen weitergeben und abrufen können.

8.2 Statistik

- Datentransformation bei schiefer Verteilung
- Hypothesentestung für einfache Mittelwertvergleiche
- Hypothesentestung für multiple Mittelwertvergleiche
 - Test zum globalen Niveau α (F-Test)
 - Test zum multiplen Niveau α (Bonferroni-Holm-Test)
- Einbeziehung der regionalisierten Variablentheorie

8.3 Bodenkundlich-geochemische Auswertung und Interpretation

8.4 Darstellung der Ergebnisse

9 LITERATUR

- Alge, G. und W.W. Wenzel. 1993. Statusbericht Boden. Istzustand und Entwicklungstendenzen in Österreich. Endbericht BMUJF.
- ARGE Bodenschutz von Arge Alp, Arge Alpen-Adria und Arge Donau. 1994. Empfehlung einer abgestimmten Vorgehensweise bei der Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen. Arbeitspapier der gemeinsamen Tagung vom 10.11.1993. München.
- Baccini, P. und B.v. Steiger. 1993. Die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Böden - Eine Methode zur Früherkennung von Bodenveränderungen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 156, 45-54.
- Blum, W.E.H., H. Spiegel und W.W. Wenzel. 1989. Bodenzustandsinventur. Konzeption, Durchführung und Bewertung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- Blum, W.E.H. und W.W. Wenzel. 1989. Bodenschutzkonzeption. Bodenzustandsanalyse und Konzepte für den Bodenschutz in Österreich. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- Desaules, A. 1993. Nationales Bodenbeobachtungsnetz (NABO) - Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- Deutschmann, G., V. Malessa und H. Rummenhohl. 1994. Bestimmung der Lagerungsdichte in stark skeletthaltigen Böden. Z.Pflanzenernähr.Bodenk. 157: 77-79.
- Environment Data Centre. 1994. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. 2. Annual Synoptic Report 1994. National Board of Waters and the Environment. Helsinki.
- FAO-Unesco. 1994. Soil Map of the World. Revised Legend with corrections. Published by ISRIC, Wageningen.
- Gratzer, G. 1994. Integrated Monitoring - Bodenerhebung Zöbelboden 1992. Integrated Monitoring Series. Umweltbundesamt, Wien. In Arbeit.
- Guggenberger, G. und W. Zech. 1992. Sorption of Dissolved Organic Carbon by Ceramic P 80 Suction Cups. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 155, 151-155.
- Juritsch, G. 1994. Konzept zur Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen. Entwurf. Amt der Salzburger Landesregierung.
- Kandeler, E., R. Margesin, R. Öhlinger und F. Schinner. 1993. Bodenmikrobiologisches Monitoring - Vorschläge für eine Bodenzustandsinventur. Die Bodenkultur 44: 357-377.

- Kuráz, V. 1981. Testing of a field dielectric soil moisture meter. *Geotechnical Testing Journal*, GTLODJ, Vol. 4, Nr.3, 111-116.
- Matheron, G. 1965. *Les variables régionalisées et leur estimation*; Masson, Paris.
- Mirtl, M. 1994. *Integrated Monitoring in Österreich*. *Integrated Monitoring Series*. Umweltbundesamt, Wien. In Arbeit.
- LBP. 1989. *Bodenbeobachtungsprogramm. Zwischenbericht über die Erstuntersuchungen. Erhebungszeitraum 1985-1988*. Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), Freising - München (unveröffentlicht).
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 1993. *Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg - Schwermetalle, Arsen, Organochlorverbindungen (Stand: Frühjahr 1993)*. *Materialien zum Bodenschutz, Band 2*.
- Novak, H. 1990. *Vereinfachte Landschaftsgliederung in Österreich*. *Interne Berichte*. UBA Wien.
- Papritz, A.J. 1993. *Estimating Temporal Change of Soil Properties*; Diss., Swiss Federal Institute of Technology, Zürich.
- Pylvänäinen, M. 1993. *Manual for integrated monitoring*. UN ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Published by Environment Data Centre, Helsinki, Finland.
- Scheffer, F. und P. Schachtschabel. 1989. *Lehrbuch der Bodenkunde*. 12. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schulin, R. 1993. *Contaminant Mass Balances in Soil Monitoring*. In: Schulin, Desaules, Webster and Steiger (Editors). *Soil Monitoring*. Birkhäuser Verlag. Basel-Boston-Berlin.
- Schwarz, S. 1991. *Integrated Monitoring in Österreich*. UBA-IB-323. Umweltbundesamt, Wien.
- Schweikle, V. 1991. *Bemessung von Meßintervallen für Dauerbeobachtungsflächen in Boden-Meßnetzen*. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154: 225-226.
- Sonderarbeitsgruppe Bodenschutz. 1991. *Konzeption zur Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen*. *Arbeitshefte Bodenschutz 1*. Hrsg.: SAG und Bayr. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München.
- Steiger, von B. 1990. *Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit meßbarem Ein- und Austrag*. *Nationales Forschungsprogramm Boden*, Band 38. Liebefeld-Bern.
- STLMU. 1990. *Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern - Standortauswahl, Einrichtung, Probenahme, Analytik*. Hrsg. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.

- Webster, R. und M.A. Oliver. 1990. *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*; Oxford University Press.
- Wenzel, W.W., G. Alge und H. Sattler. 1993. Environmental soil monitoring in Austria: Methodology and results. In: *Proceedings of the International Workshop on Harmonization of Soil Conservation Monitoring Systems, September 14-17, 1993*, im Druck.
- Wenzel, W.W., A. Brandstetter, M.A. Pollak, A. Mentler und W.E.H. Blum. 1994a. Seasonal changes of organic matter, pH, nitrogen and some metals in forest topsoils in Austria: A case study of two soils with and without a litter layer. In: P.M. Huang (ed.), *Proceedings of the 1st International Workshop of the ISSS Working Group MO on Impact of Interactions of Inorganic, Organic, and Microbiological Soil Components on Environmental Quality*, Lewis Publishers.
- Wenzel, W.W., G. Alge, A. Brandstetter, M.A. Pollak und Ch. Riedler. 1994b. Seasonal and spatial variation of extractable metal fractions in topsoils under mixed forest. *Europ. J. Soil Sci.*, eingereicht.
- Wenzel, W.W. und G. Wieshammer. Im Druck. Suction cup materials and their potential to bias trace metal analyses of soil solutions: A Review. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* (Im Druck).
- Zwischenbericht zum Forschungsprojekt BU 16. 1993. Vorsorgende Bodenschutzplanung Günsler Gebirge. Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur, Wien.

Anhang: Die in Tabelle 4.1 verwendeten Kurzbezeichnungen für die Bodenlandschaften Österreichs

M1	Eutri-fibric Histosols
M2	Dystri-fibric Histosols
A1	Eutric Fluvisols
A2	Calcaric Fluvisols
A3	Dystric Fluvisols
R1	Lithic Leptosols
R2	Rendzic Leptosols
R3	Dystric Leptosols
T1	Haplic Chernozems
T2	Luvic Chernozems
T3	Gleyic Chernozems
T4	Calcic Chernozems
O1	Haplic Podzols
O2	Stagnic Podzols
B1	Eutric Cambisols
B2	Calcaric Cambisols
B3	Calcaric Cambisols
B4	Calcic Cambisols
B5	Dystric Cambisols
B6	Dystric Cambisols
B7	Eutric and Dystric Cambisols
B8	Stagnic Cambisols
P1	Calci-haplic Luvisols
P2	Calcic Luvisols
P3	Dystric Luvisols
P4	Luvic Stagnosols
U	Vertic Cambisols

Anhang: Mögliche Standorte (vorläufig) zur Einrichtung von Bodendauerbeobachtungsflächen (vgl. Tab. 4.1)

