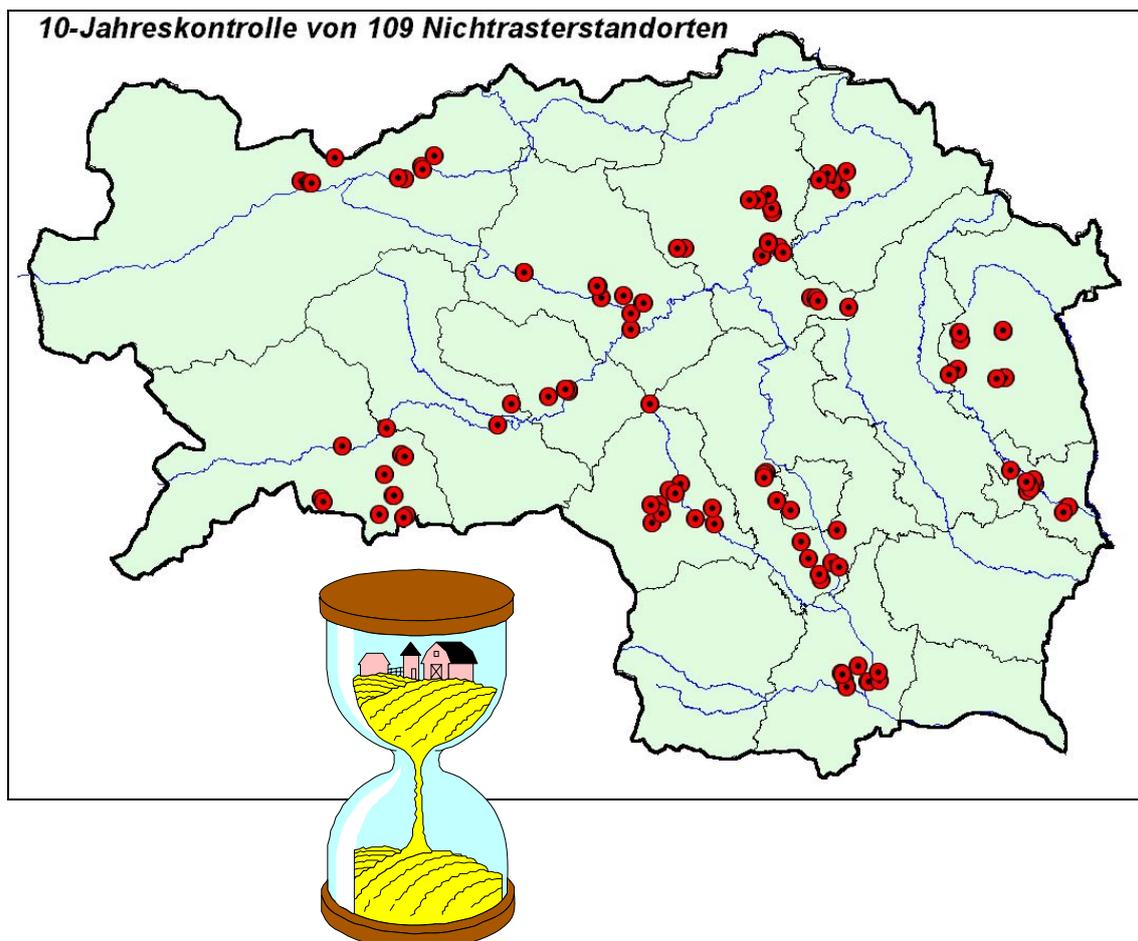




BODENSCHUTZBERICHT 2000



Zehn-Jahreskontrolle von 109 Standorten und Untersuchungen zur zeitlichen und kleinräumigen Variabilität von Bodenparametern



Vorwort

Der Bodenschutzbericht 2000 beschäftigt sich mit den zeitlichen und kleinräumigen Veränderungen von Bodenparametern.

Diese Thematik ist unter anderem eine wichtige Grundlage zur Abschätzung der Aussagekraft von Bodenuntersuchungen. Gemeinsam mit vorangegangenen Untersuchungsergebnissen entstehen so neue Möglichkeiten einer verbesserten Beurteilung von Bodendaten.



Neu ist auch die Form der Präsentation der Untersuchungsergebnisse. Das „Papier“ in Ihren Händen ist nur ein kleiner Teil der jüngsten Auswertungen des steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzprogrammes - es ist die „handliche“ Kurzfassung der Ergebnispräsentation. Weitere umfangreiche Auswertungen in Form von farbigen Diagrammen und Tabellen befinden sich auf der beiliegenden CD-ROM. Sie enthält aktualisierte Farbversionen der Bodenschutzberichte 1998 - 2000, die dazugehörigen detaillierten Analysenergebnisse, verbale Beurteilungen und bodenkundliche Profilbeschreibungen aller Untersuchungsstandorte (direkt aus Übersichtskarten anwählbar) und vieles mehr.

Durch diese Form der Präsentation der Untersuchungsergebnisse ist es nicht nur gelungen die Druckkosten des Berichtes sehr niedrig zu halten, sondern auch eine Fülle an Datenmaterial anbieten zu können, welche nur auf diesem Weg zugänglich gemacht werden kann.

Zusammen mit den Ergebnissen aus den Bodenschutzberichten 1998 und 1999 bilden die neu gewonnenen Erkenntnisse eine wichtige Basis für die künftige Interpretation von Bodenuntersuchungsdaten.

In diesem Sinne darf neben dem vielen Wissenswerten in diesem Bericht auch schon ein wenig „Geschmack“ auf die kommenden Bodenschutzberichte gemacht werden, welche sich bezirksweise mit dem aktuellen Zustand unserer Lebensgrundlage Boden befassen werden.

Inhalt

	Seite
Abkürzungen	2
Der Bodenschutzbericht 2000	3
Die Untersuchungsergebnisse von Nichttrasterstandorten 1986 - 1999	4
Standortauswahl, Fragestellungen und Interpretation der Ergebnisse aus heutiger Sicht	4
Untersuchungsergebnisse der Zehn - Jahreskontrollen	30
Untersuchungen zur zeitlichen und örtlichen Variabilität von Bodenparametern (Projekt)	56
Zusammenfassung	65
Literatur	69
Hinweise zur beiliegenden CD-ROM	70
Impressum	80
Detailauswertungen (Projekt) ... und vieles mehr !	CD-ROM

Erläuterung der Abkürzungen

Die Untersuchungsparameter:

CaCO₃	Kalziumcarbonat bzw. Kalk
P₂O₅	Phosphorpentoxid → Angabeform des Phosphor-Gehaltes
K₂O	Kaliumoxid → Angabeform des Kalium-Gehaltes
Mg	Magnesium
B	Bor
F	Wasser - extrahierbares Fluor

EDTA-Cu	EDTA - extrahierbares Kupfer
EDTA-Zn	EDTA - extrahierbares Zink
EDTA-Mn	EDTA - extrahierbares Mangan
EDTA-Fe	EDTA - extrahierbares Eisen

Ca Kat	Austauschbares Kalzium
Mg Kat	Austauschbares Magnesium
K Kat	Austauschbares Kalium
Na Kat	Austauschbares Natrium

Cu Kupfer	Ni Nickel	Hg Quecksilber
Zn Zink	Co Kobalt	As Arsen
Pb Blei	Mo Molybdän	
Cr Chrom	Cd Cadmium	

HCB	Hexachlorbenzol
PAH's, PAH	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Konzentrationsangaben:

ppm „part per million“, z. B.: mg/kg (Milligramm pro Kilogramm)

ppb „part per billion“, z. B.: ng/g (Nanogramm pro Gramm) oder µg/kg (Mikrogramm pro Kilogramm)

Der BODENSCHUTZBERICHT 2000

Nach Vorgabe des **Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzgesetzes** und der **Bodenschutzprogrammverordnung** ist in der Steiermark ein Netz ständiger Untersuchungsstandorte einzurichten und sind laufend Zustandskontrollen zu veranlassen.

Das **Ziel** ist es, den derzeitigen Belastungsgrad der Böden festzustellen und etwaige zeitliche Veränderungen zu erfassen, damit rechtzeitig wirksame Maßnahmen zum Schutz unserer Lebensgrundlage Boden getroffen werden können.

Diesem Auftrag wird wie folgt nachgekommen:

- Durch die Einrichtung eines aussagekräftigen Netzes von Untersuchungsstandorten wird es erstmals möglich sein, die Nährstoffversorgung und Schadstoffbelastung unserer Böden landesweit festzustellen. Die Bodenzustandsinventur soll an etwa 1000 Kontrollstellen durchgeführt werden, wovon derzeit schon 849 Standorte eingerichtet sind (voraussichtliches Ende 2006/07).
- Parallel dazu erfolgt eine Dauerbeobachtung der Böden in Zehn-Jahresabständen. Dadurch werden etwaige Bodenveränderungen (positive Entwicklungen, wie negative Trends) erkannt.

Bisher konnten neben einem groben, stichprobenartigen Überblick über den Bodenzustand in der Steiermark schon wesentliche, grundlegende Erkenntnisse wie zum Beispiel geogene Hintergrundbelastung durch Schwermetalle, Analysefehler, Aussagekraft der Untersuchungsparameter, potentielle Schadstoffquellen und teilweise auch das Ausmaß von Belastungen erarbeitet werden (Bodenschutzberichte 1998 und 1999).

Im vorliegenden Bericht werden diese Erkenntnisse genutzt, um die ersten Untersuchungsdaten des Bodenschutzprogrammes (Nichttrasterstandorte 1986 - 1989) entsprechend dem jetzigen Wissensstand neu zu interpretieren. Weiters werden die Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung (Zehn-Jahreskontrolle) dieser Standorte sowie die Ergebnisse eines Untersuchungsprojektes zur Bestimmung der monatlichen und kleinräumigen Variabilität von Bodenparametern präsentiert.

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden zusammen mit jenen aus den beiden vorangegangenen Bodenschutzberichten dazu genutzt werden, um ein umfassendes Bild über den Bodenzustand der einzelnen Bezirke der Steiermark präsentieren zu können.

Die Untersuchungsergebnisse von Nichttrasterstandorten 1986 - 1999

Standortauswahl, Fragestellungen und Interpretation der Ergebnisse aus heutiger Sicht

In den Bodenschutzberichten 1988 - 1991 wurden die Untersuchungsergebnisse von 119 Nichttrasterstandorten in erster Linie dokumentarisch festgehalten. Für Interpretationen - speziell der Schadstoffbelastungen - waren damals kaum brauchbare Beurteilungskriterien vorhanden. Die gesetzlich festgelegten Grenzwerte für Schwermetalle und der international übliche Richtwert für Arsen haben eher zu **Fehlinterpretationen** wie „die halbe Steiermark ist mit Arsen verseucht“, oder „es gibt kaum Belastungen mit den umweltrelevanten Schwermetallen Blei und Cadmium“ geführt.

Erst durch die statistischen Auswertungen der Rasterstandorte im Bodenschutzbericht 1998 konnten über die Definition von Normalwerten brauchbare Beurteilungskriterien für Schadstoffbelastungen in der Steiermark gefunden werden.

Definition **Normalwert**:

Unter der Annahme, dass sich anthropogene Umweltbelastungen in erster Linie im Oberboden anreichern, wurden die Schwermetallgehalte der Unterböden als unabänderliches, naturgegebenes Maß zur Berechnung herangezogen. Durch ein geeignetes statistisches Rechenmodell wurde ein Normalwert errechnet, der die durchschnittliche Obergrenze natürlicher Bodengehalte in der Steiermark darstellt. Diese Normalwerte entsprechen dem als noch „normal“ anzusehenden geogenen Hintergrundwert der naturgegebenen Bodensituation der Steiermark.

Eine Überschreitung des Normalwertes deutet daher auf eine Umweltbelastung und/oder geogene Besonderheit im Boden hin.

Eine **Gefährdung** für Mensch, Tier oder Pflanzen lässt sich daraus genauso wenig ableiten, wie aus einer Überschreitung der gesetzlichen Grenzwerte !
Derartige Aussagen sind **nur** über Wasser-, Pflanzen- bzw. Lebensmitteluntersuchungen möglich.

Richtwerte zur Beurteilung der Schwermetallgehalte in Böden:

Richtwerte (mg/kg)	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Grenzwert	100	300	100	100	60	50	10	2	2*	(20)
Normalwert	50	140	30	80	60	30	1,5	0,30	0,25	40

* Seit 29. 7. 2000 lautet der Grenzwert für Hg 1 mg/kg.

Weiters müssen bei der Interpretation von Untersuchungsergebnissen auch **Anreicherungen im Oberboden (Verdacht auf anthropogene Einflüsse)** und der **Analysenfehler** der ermittelten Werte (als Maß für die Signifikanz der Daten) mitberücksichtigt werden.

Ein weiterer nützlicher Anhaltspunkt um stärker anthropogen beeinflusste Standorte von der heute üblichen ubiquitären Umweltbelastung unterscheiden zu können ist der im Bodenschutzbericht 1998 (Seite 68) aus den Anreicherungen der Schwermetalle im Oberboden abgeschätzte **durchschnittliche anthropogene Eintrag**. Er beträgt ungefähr:

Schwermetalle	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Anreicherungen im Oberboden (in mg/kg)	10	26	12	17	8	5	0,3	0,15	0,1	5

Probleme beim Vergleich von Standorten untereinander können durch unterschiedliche Probennahmetiefen auftreten. In den ersten Jahren des Bodenschutzprogrammes erfolgte die Probennahme nämlich gemäß der genetischen (natürlichen) Horizonte. Beim Eintrag von Schadstoffen werden die Substanzen meist rasch in den obersten Zentimetern des Bodens fixiert und kaum in die Tiefe verlagert. Bei der Probennahme kommt es dann zu einer Vermischung mit dem mehr oder weniger stark geogen vorbelasteten Bodenmaterial.

Ab 1989 erfolgte eine Umstellung auf fixe Entnahmetiefen, sodass künftig bei Vergleichen von Standorten untereinander nur noch die Nutzungsform der beprobten Fläche (Acker, oder andere) beachtet werden muss.

Aus diesem Grund können Standorte mit gleicher anthropogener Belastung auch bei vergleichbarem geogenen Background durch unterschiedliche Probennahmetiefen unterschiedliche Bodengehalte vortäuschen.

Die Auswahl der Nichttrasterstandorte von 1986 - 1989:

(Aktualisierter und erweiterter Auszug aus dem Beitrag von Dr. Max Eisenhut im Bodenschutzbericht 1991)

Entsprechend der Bodenschutzprogrammverordnung vom 14. 12. 1987 galt es aus vorgegebenen Regionen der Steiermark repräsentative Standorte zu untersuchen. Folgende Kriterien wurden bei der Auswahl der Standorte berücksichtigt:

- a) Ausgangsmaterial (Muttergestein)
- b) Flächenhafte Verbreitung der Bodenformen
- c) Lage der Böden in der Landschaft (morphologische Position)
- d) Lage zu den eventuell vorhandenen Belastungsquellen (z. B.: Industrie, Verkehr)
- e) Vorherrschende Bodennutzung.

a) Ausgangsmaterial

Da aus der Fachliteratur (F. Machatschki, O. Friedrich u. a.) bekannt ist, dass Schwermetalle in vielen in der Steiermark vorkommenden Gesteinen als Nebenbestandteil enthalten sind, ist es einleuchtend, dass sie in den durch Verwitterung von Gesteinen entstandenen Böden ebenfalls vorhanden sind und zum Teil auch angereichert werden. Es ist weiters bekannt, dass Vulkangesteine und deren Umwandlungsprodukte reicher an Schwermetallen sind, als etwa magmatische Gesteine. Auch in einigen marinen Gesteinen kann es bedingt durch spezielle Sedimentationsbedingungen (z. B.: Exhalationen des submarinen Vulkanismus) oder Milieuverhältnisse zur Anreicherung von Schwermetallen kommen.

Auf Grund dieses Wissensstandes wurde versucht, möglichst viele Gesteine bzw. Sedimente und die daraus entstandenen Böden in das Beobachtungsnetz einzubeziehen.

b) Bodenformen

Die Auswahl der Standorte wurde auf der Basis der Ergebnisse der österreichischen Bodenkartierung getroffen (Bodenschutzprogrammverordnung, § 1 Abs. 2), da für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche des Bundeslandes Steiermark auf Bodenkarten im Maßstab 1: 25.000 zurückgegriffen werden konnte.

Entsprechend der Kapazität der Untersuchungsstelle kam man im Koordinations-Ausschuss für Bodenschutz überein, pro Untersuchungsregion etwa 10 Probenflächen auszuwählen.

c) Die morphologische Position

Die Lage eines Bodens in der Landschaft beeinflusst nicht nur seinen Profilaufbau, sondern auch verschiedene für die Bodenfruchtbarkeit wichtige Eigenschaften wie zum Beispiel Oberflächenwasser Zu- oder Abfluss und damit Erosionsneigung, Bo-

denwasserhaushalt sowie Überschwemmungsgefährdung. Bei der Auswahl der Standorte wurde Wert darauf gelegt, die landschaftsgestaltenden Oberflächenformen zu berücksichtigen.

d) Lage zu eventuellen Belastungsquellen

In den Industriegebieten und Großstädten wurden die vorherrschende Windrichtung (Luv- und Lee-Lagen), die Entfernung zu Emittenten, die Temperaturinversion u.a. in die Überlegungen einbezogen.

e) Bodennutzung

Der vorherrschenden Bodennutzung wurde soweit als möglich Rechnung getragen. So dominieren im Steirischen Becken die Probennahmeflächen unter Mais, im Ennstal wurden überwiegend Grünlandstandorte beprobt.

Untersuchungsregionen:

- Ennstal
- Mur - Mürz - Furche
- Inneralpine Gebiete
- Murtal (Frohnleiten bis Staatsgrenze)
- Steirischer Randgebirgszug (Raum Soboth bis Wechselgebiet)

1. Region Ennstal

Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt einerseits in den Tallagen, andererseits in den von Klima und Relief begünstigten Berglagen. Da die Böden in den Tallagen durch den Straßenverkehr, durch industriell-gewerbliche Tätigkeit wie auch durch eine intensivere landwirtschaftliche Nutzung stärker beansprucht werden, als jene in den Berglagen, wurden zwei Querschnitte über den Ennstalboden gelegt, um die verbreitetsten Bodenformen des Raumes zu erfassen. Ein Schnitt liegt im Randgebiet von Liezen (höhere Belastung), der zweite im Umland von Admont (geringere Belastung). An Böden wurden erfasst:

Kalkige Graue Auböden (LIE 4, LIE 8) auf jungem Schwemmmaterial der Enns im flußnahen Bereich mit überwiegend Wiesennutzung.

Entwässerte (LIE 2, LIE 10) Moore des Talbodenrandes die eine hohe Adsorptionsfähigkeit für Schwermetalle aufweisen mit ausschließlich Wiesennutzung.

Entwässertes Anmoor (LIE 3) als Übergangsbodenbildung von den organischen (Moore) zu den mineralischen (Gleye), hydromorphen Böden mit Wiesennutzung.

Braunerden (zum Teil vergleht) auf den Schwemmkegeln der Seitenbäche (LIE 1, LIE 6, LIE 7), Nutzung als Wechselland oder Acker. Als nicht überschwemmungsgefährdete Standorte sind sie dem Baudruck besonders ausgesetzt.

Zwecks Erfassung eines möglicherweise vorhandenen Ferntransportes von Schadstoffen wurden am Pyhrnpaß (LIE 5) und am Buchauer Sattel (LIE 9) Standorte mit Braunerden einbezogen.

Frage 1: Sind die Böden im Raum Liezen (Standorte LIE 1-4) stärker belastet, als in der Umgebung von Admont (LIE 6, 7, 8, 10) ?

⇒ Die in beiden Untersuchungsregionen festgestellten Normalwertüberschreitungen der Schwermetallgehalte im Boden lassen sich großteils geogen erklären. Ausnahmen davon findet man meist nur bei den umweltrelevanten Schadstoffen Blei und Cadmium. Bei den beiden Grauen Auböden LIE 4 und 8 ist die Cadmiumanreicherung im Oberboden von LIE 8 (Admont) etwas höher, als beim Liezener Standort LIE 4. Und auch bei den Braunerden LIE 6 und 7 findet man im Admonter Raum wider Erwarten häufiger erhöhte Werte. Sie liegen aber noch im Bereich der allgemein üblichen Umweltbelastung.

Bei den entwässerten Mooren LIE 2 und 10 hingegen sind die Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte im Bereich von Liezen (LIE 2) höher. Auch fällt auf, dass die Anreicherungen im Oberboden beider Moore deutlich höher sind als bei den anderen untersuchten Bodentypen. Inwieweit ein eventuell unterschiedliches Alter der beiden Moore für die differierenden Schwermetallgehalte verantwortlich ist, kann derzeit nicht gesagt werden.

Zusammenfassend betrachtet gibt es keinen signifikanten Hinweis auf eine stärkere Umweltbelastung im Großraum Liezen im Vergleich zur Region Admont.

Frage 2: Gibt es einen Ferntransport von Schadstoffen aus dem Raum Liezen in Richtung Pyhrnpaß (LIE 5) bzw. von Admont Richtung Buchauer Sattel (LIE 9) ?

⇒ Da weder im Raum Liezen noch bei Admont eine erhöhte Umweltbelastung gemessen werden konnte, ist a priori auch keine Schadstoffverfrachtung zu den Standorten LIE 5 und 9 anzunehmen.

Dennoch findet man am Standort LIE 9 Cadmiumgehalte im etwa vierfachen Ausmaß des Normalwertes. Auch der Bleigehalt ist dort erhöht. Der Standort LIE 5 am Pyhrnpaß hat zwar auch minimal erhöhte Cadmiumwerte, diese können aber noch aus der ubiquitären Umweltbelastung heraus gedeutet werden. Die hohen Cadmiumgehalte am Buchauer Sattel müssen eine andere Ursache haben.

Auffallend an diesem Standort ist, dass bis zu einer Tiefe von 25 cm die Cadmiumgehalte bei etwa 1,2 ppm liegen und im untersten Horizont auf etwa die Hälfte abfallen. Üblicherweise würde eine derartige Anreicherung im Oberboden auf anthropogene Einträge hinweisen, sodass anfangs eine durch die exponierte Lage im Sattel erhöhte Schadstoffimmission angenommen wurde.

Eine andere Antwort auf die Herkunft des Schadstoffes liefert jedoch die Profilbeschreibung:

Im Grobanteil des Standortes dominieren bis 25 cm Tiefe die Karbonatgesteine, darunter die Werfener Schiefer. Da das Ausgangsmaterial des Bodens feines und grobes Moränen- und Hangschuttmaterial ist, wäre es denkbar, dass der erhöhte Schadstoffgehalt trotz der ungewöhnlichen Tiefenverteilung hauptsächlich geogener Herkunft ist. Ein 1991 im fraglichen Bereich der Haller Mauern eingerichteter Verdichtungspunkt (LIB 11) bekräftigt diese Theorie. Sein Cadmiumgehalt liegt bei 2 ppm.

Inwieweit stark erhöhte, natürliche Schwermetallgehalte im kalkalpinen Bereich üblich und wie weit sie verbreitet sind, wird die derzeit in Arbeit befindliche Verdichtung des Untersuchungsnetzes zeigen.

Anmerkung zur bisherigen Wertediskussionen in der Untersuchungsregion Liezen:

Würde man sich rein an den gesetzlichen Grenzwerten und dem international üblichen Richtwert von Arsen von 20 ppm orientieren, so fände man in der Region Liezen nur Belastungen mit Arsen (Standorte LIE 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10). Die Überschreitungen sind noch dazu im als unbelastet angenommenen Raum Admont häufiger als im Industriegebiet Liezen. Die Erklärung dafür ist, dass die gefundenen Arsengehalte durchwegs geogener Herkunft und in der Steiermark keine Besonderheit sind.

→ Aussagen über anthropogen verursachte Umweltbelastungen bzw. geogene Abnormitäten sind ausschließlich über die Normalwerte der Böden in Verbindung mit einer Profilanalyse (Betrachtung aller untersuchten Bodenhorizonte) durchführbar.

2. Die Mur-Mürz-Furche

Die Mur-Mürz-Furche weist nicht nur eine bedeutende Schwerindustrie auf und ist ein bevorzugter Verkehrsträger, sondern wird vor allem im Bereich der quartären Terrassen und der tertiären Ablagerungen intensiv landwirtschaftlich genutzt. Die genannten Kriterien standen bei der Auswahl der Standorte im Vordergrund. Da Waldökosysteme von Emissionen besonders betroffen sind, wurden hier auch Waldböden in die Untersuchung einbezogen.

Für die Probennahme wurde je ein Abschnitt des Mur- und des Mürztals ausgewählt, nämlich die Bereiche Aichfeld - Murboden und Kapfenberg - St. Marein - Aflenzener Becken.

2.1. Aichfeld - Murboden (Bezirke Knittelfeld und Judenburg)

Dieses Gebiet stellt ein tertiäres Einbruchsbecken dar, das während der letzten Eiszeit mit einer mächtigen Schottermasse verfüllt wurde. Im ausklingenden Glazial wurde der Schotterkörper, der eine stark reliefierte Oberfläche aufweist, von einer dünnen, nivellierenden, lehmig-sandigen Decke überlagert. Nur am Rand des Beckens (Rattenberg - Österreiring - Hautzenbichl) sind auch tertiäre Ablagerungen erhalten geblieben.

Entsprechend der großen Verbreitung der jungeszeitlichen Sedimente (Niederterrasse) mit den darauf dominierenden mittel- bis tiefgründigen, kalkfreien Braunerden, wurden hier 6 Probennamepunkte festgelegt. Davon liegen vier westlich (KNI 1, KNI 2, KNI 3, KNI 11) und zwei östlich (KNI 4, KNI 5) von Knittelfeld. Alle Standorte außer KNI 11 (Wald) werden ackerbaulich genutzt. Es soll überprüft werden, ob es durch die vorherrschende Westströmung zu einer Änderung der Schadstoffbelastung (industrielle Emissionen aus dem Bereich Judenburg) in den Böden von West nach Ost kommt.

Zur Feststellung eventuell geogen bedingter Unterschiede in den Schadstoffgehalten wurde auf dem jüngsten, sandigen Schwemmmaterial der Mur ein kalkiger Grauer Auboden (KNI 6) und auf dem lehmig-schluffigen Tertiärmaterial ein Pseudogley (KNI 7) beschrieben und beprobt.

Drei Standorte liegen im Bergland und es sind hier Braunerden aus Amphibolit anzutreffen. KNI 8 liegt in der nördlichen Beckenrahmung und die Standorte KNI 9 und KNI 10 nahe dem Gleinalmschutzhaus südöstlich von Knittelfeld. Ein Standort liegt auf einer Almwiese, der andere in unmittelbarer Nähe im Wald. Es soll neben der Gesamtbelastung die unterschiedliche Entwicklung bei verschiedener Kulturart erhoben werden.

Frage 1: Kommt es im Raum Knittelfeld wegen der vorherrschenden Westströmung zu einer Änderung der Umweltbelastungen ?

⇒ Die Standorte KNI 1-3 westlich von Knittelfeld weisen minimal erhöhte Bleigehalte um 30 ppm auf, die Standorte KNI 4 und 5 (östlich von Knittelfeld) haben normale Werte um 20 ppm Blei. Der Unterschied ist als gering einzustufen. Die übrigen Schwermetalle unterscheiden sich überhaupt nicht.

Vergleicht man die für anthropogene Einflüsse typischen Anreicherungen von Blei in den Oberböden, so findet sich kein Unterschied zwischen den beiden betrachteten Räumen. Die Umweltbelastung ist also westlich und östlich von Knittelfeld ähnlich gering.

Frage 2: Gibt es geogen bedingte Unterschiede zwischen Schwemm- und Tertiärmaterial ?

⇒ Der Standort KNI 6 (Schwemmmaterial der Mur) weist im Vergleich zum Untersuchungspunkt KNI 7 (Tertiärmaterial) speziell beim Arsen höhere Gehalte auf. Vor allem bei einem Vergleich der Schwermetallanreicherungen im Oberboden erkennt man bei fast allen Elementen im Schwemmmaterial höhere Einträge. Ein derartiger Befund könnte anthropogene Umweltbelastungen vortäuschen, ist aber offensichtlich vorwiegend auf natürliche Einträge aus Überschwemmungsereignissen zurückzuführen.

Auch die Gehalte der organischen Schadstoffgruppe der PAH's sind im Schwemmmaterial deutlich höher als am Standort KNI 7.

Frage 3: Gibt es Unterschiede in der Bodenbelastung hinsichtlich der Nutzungsart Grünland und Wald ?

⇒ Die beiden Standorte KNI 9 (Hochalmfläche) und KNI 10 (Wald) sind 35 m voneinander entfernt und weisen beim Vergleich ihrer absoluten Schwermetallgehalte bzw. Oberbodenanreicherungen keine signifikanten Unterschiede auf. Dieses Ergebnis widerspricht den Erwartungen, da üblicherweise Schadstoffimmissionen im Wald wegen der größeren Filterwirkung angereichert werden.

Ursache könnte sein, dass eingetragene Schadstoffe im Wald durch den ca. 5 cm dicken Feinmoder und aufliegende Fichtennadelstreu abgefangen und fixiert werden.

Auch die Hochalmfläche weist einen ca. 2 cm dicken Wurzelfilz auf, sodass die beiden untersuchten Oberböden nur denselben geogenen Background widerspiegeln können. Eine Charakterisierung von Umweltbelastungen ist - wie an den Waldstandorten bei Donawitz noch gezeigt werden wird - besser über eine Untersuchung des Auflagehumus durchführbar.

2.2. Bezirk Bruck/Mur

Das Mürztal mit seinen rahmenden Bergzügen zeichnet sich durch eine beachtliche geologische Vielfalt aus. Bei der Auswahl der 10 Probennahmeflächen galt es daher, neben der Berücksichtigung des flächenhaften Eintrags von Schadstoffen aus der Industrie, einen Überblick über die, die differenzierten geologischen Verhältnisse widerspiegelnde geogene Grundbelastung der Böden zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurden entlang einer Linie Standorte angelegt, die von den jüngsten Ablagerungen in der Mürztaue bei St. Marein über den Pogusch-Sattel ins Aflenz-Turnauer-Becken reichen. Dabei wurden die wesentlichen geologischen Einheiten und die am verbreitetsten darauf vorkommenden Böden erfasst. Es sind dies:

- junges Schwemmmaterial der Mürz (vergleyter kalkiger grauer Auboden): BRU 1 und Ersatzstandort BRU 11
- Schwemmfächer der Seitengerinne (kalkfreie Braunerde): BRU 2
- lehmbedeckte eiszeitliche Terrassen (Pseudogley): BRU 3
- Tertiär von Parschlug (kalkfreie Braunerde: BRU 4, Hangpseudogley: BRU 5)
- Paragneise des Troiseckzuges (kalkfreie Braunerden), hier wurde je ein Standort südlich (BRU 6) und nördlich (BRU 7) des Kammes beprobt (Luv- und Leeseite), um einen eventuellen Transport von Schadstoffen zu erfassen.
- jungeszeitliche Schotter (kalkige Braunerde) bei Turnau: BRU 8
- Tertiär des Aflenz-Turnauer-Beckens (Hangpseudogley: BRU 9, pseudovergleyte, kalkfreie Braunerde: BRU10).

Frage: Gibt es hier anthropogen bzw. geogen bedingte Schadstoffbelastungen ?

Würde man die Beurteilung der Schadstoffbelastung der Region rein auf Basis der gesetzlichen Grenzwerte und des international üblichen Richtwertes von Arsen (20 ppm) durchführen, so fände man am Großteil der untersuchten Standorte Arsenbelastungen und im Unterboden des Standortes BRU 10 einen minimal erhöhten Nickelgehalt. Sämtliche Belastungen sind geogen erklärbar.

Eine derartige Interpretation ist nach dem heutigen Wissensstand nicht nur unzureichend, sondern falsch und irreführend.

Tatsache ist, dass in der Untersuchungsregion bei allen Elementen außer Kobalt Überschreitungen des Normalwertes gefunden werden. Mit Ausnahme der umweltrelevanten Schadstoffe Cadmium, Blei und Molybdän kann aber immer eine überwiegend geogene Herkunft angenommen werden. Es liegen also in der untersuchten Region sehr häufig geogene Abnormitäten neben Umweltbelastungen vor.

Bei Blei und Cadmium sind die Einträge eher geringfügig, beim Molybdän aber sind im Oberboden - vor allem an den Standorten BRU 1 und 2 - deutliche Anreicherungen, welche vermutlich auf Emissionen des VEW-Werkes bei Pötschach zurückzu-

führen sind, festzustellen. Diese Vermutung konnte 1997/98 bei Verdichtungen des Untersuchungsnetzes erhärtet werden (Bodenschutzbericht 1999).

Auffallend hoch sind auch die überwiegend geogen erklärbaren Cadmiumgehalte an den Standorten BRU 8 und 9.

Mäßig hohe Arsenbelastungen natürlicher Herkunft findet man an den Standorten BRU 2, 4 und 5. Sie liegen nur wenig über dem Normalwert. Ähnliches gilt für Kupfer am Standort BRU 5 sowie für Zink an den Untersuchungspunkten BRU 6, 8 und 9.

3. Inneralpine Gebiete

Neben den tektonisch vorgezeichneten Längstälern finden sich in der Obersteiermark Tal- und Passlandschaften, die zum Teil von bedeutenden Verkehrsadern durchzogen werden und fallweise bedeutende Bergbau- und Industriestandorte beherbergen. Einige dieser Landschaften wurden deshalb ebenfalls in das Bodenschutzprogramm einbezogen. Es sind dies:

3.1. Die Magnesitindustrie

Die Täler mit Magnesitbergbau und -verarbeitung: Veitsch (IND 1, IND 2, IND 3, IND 4, IND 5), Breitenau (IND 6, IND 7, IND 8, IND 9) und St. Katharein an der Laming (IND 10, IND 11, IND 12) wurden 1987 und 1988 beprobt. Durch den Abbau und die Verhüttung von Magnesit werden vor allem Stäube mit einem hohen Magnesiumgehalt freigesetzt. Außerdem besteht ein hoher Energiebedarf, dadurch wurden vor dem Einbau von Filtern auch bedeutende Mengen von den im Erdöl enthaltenen Schadstoffen emittiert und von den Luftströmungen verfrachtet.

Bei der Auswahl der Standorte waren die Windverhältnisse und die Entfernung von der Emissionsquelle die wichtigsten Kriterien. Es wurde aber auch die geologische Situation und die Bodenverbreitung in die Betrachtung einbezogen. Bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse muss bedacht werden, dass einige Gesteinsserien des Grazer Paläozoikums und der Grauwackenzone reich an Metallen (z. B.: Arsen, Zink, Blei, Quecksilber) sind.

Frage: Gibt es in den Gebieten der Veitsch (IND 1-5), der Breitenau (IND 6-9) und bei St. Katharein an der Laming (IND 10-12) anthropogen bzw. geogen bedingte Schadstoffbelastungen ?

Über die Ergebnisse der Untersuchungen wurde bereits im Bodenschutzbericht 1994 (Seiten 33 ff) berichtet. Dabei wurden vor allem beim Magnesitwerk in der **Veitsch** - fallweise massive (IND 3) - Umweltbelastungen festgestellt.

Die flächenhafte Abgrenzung der Belastungen durch das Magnesitwerk konnte in einem Projekt (Bund/Bundesländer-Kooperation) mit dem Institut für Geophysik der Montanuniversität Leoben über eine Messung der magnetischen Suszeptibilität der Böden ermittelt werden. Die Fläche mit den höchsten Belastungen im Bereich des Werkes beträgt etwa 3 km², der Einfluss der Emissionen lässt sich aber viel weiter verfolgen.

Leitelemente für Werksemissionen sind in der Veitsch neben Magnesium die Schwermetalle Arsen, Chrom, Blei und Cadmium, die PAH's und das wasserlösliche Fluor.

Am Standort IND 8 in der Breitenau deuten die Elemente Molybdän und Blei auf Werksemissionen hin.

Beim Magnesitwerk bei **St. Katharein an der Laming** sind keine auffälligen Schwermetalleinträge zu beobachten.

Hohe geogene Schadstoffbelastungen, welche aus Vererzungen im Boden herrühren, findet man vor allem am Standort IND 8 in der **Breitenau** für alle Schwermetalle außer Blei, Zink und Cadmium. Extrem sind dort die Quecksilbergehalte im Unterboden (20-30 ppm).

3.2. Die Neumarkter Sattelregion

Diese Region wird von den Gesteinen des Murauer Paläozoikums aufgebaut. Es handelt sich hierbei um Phyllite, Quarzite, Kieselschiefer, Kalke, Kalk- und Dolomitmarmore sowie um Vulkanite (Diabase, Metadiabase, Grünschiefer und Tuffe). Da aus der Fachliteratur bekannt ist, dass manche Gesteine des Paläozoikums reich an Vererzungen sind, musste von Haus aus mit lokal erhöhten, geogen bedingten Schwermetallgehalten gerechnet werden.

Während der letzten Eiszeit wurde die Neumarkter Sattelregion von einem Ast des mächtigen Murgletschers überflossen und überprägt. Daher finden sich - besonders im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen - weit verbreitet eiszeitliche Ablagerungen (Grund- und Seitenmoränen, Schotter, Sande und Seetone) als Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Bei der Auswahl der Standorte für das Bodenschutzprogramm wurde versucht, die verbreitetsten Gesteine und die für sie charakteristischen Bodenbildungen zu erfassen. Daneben wurden drei Wiesen- und Waldstandorte in unmittelbarer Nachbarschaft und mit gleichem Muttergestein sowie gleicher Bodenbildung ausgewählt, um die unterschiedliche Belastung von Wald und landwirtschaftlicher Nutzfläche zu ermitteln. Zuletzt wurden noch zwei Standorte im Murtal mitbeprobte, ein vergleyter kalkiger Grauer Auboden im jungen Schwemmland der Mur bei Scheifling (NEU 1) und eine kalkfreie Braunerde auf einer niederen Terrasse bei Frojach (NEU 11). Diese beiden Standorte sollten Aussagen über die Veränderung von Schwermetallgehalten im Verlauf des Murtales ermöglichen.

In der Neumarkter Sattelregion liegen drei Standorte auf eiszeitlichen Sedimenten (Braunerde: NEU 2 und NEU 3, Hangpseudogley: NEU 8), zwei auf Phyllit (schwach entwickelte Braunerde: NEU 4, Ranker: NEU 5), einer auf Kalk (Pararendsina: NEU 6) und einer auf organischen Sedimenten (entwässertes Übergangsmoor: NEU 7). Weiters zwei Braunerden, wovon eine im Murauer Paläozoikum (NEU 9), eine in quartärem Kolluvium (NEU 10) liegt und ein Waldstandort (NEU 12) aus Hangschutt (Felsbraunerde, Murauer Paläozoikum).

Die ursprüngliche Annahme fallweiser Schwermetallbelastungen auf Grund der geologischen Gegebenheiten der Untersuchungsregion hat sich an den Standorten NEU 5, 9 und 10 bewahrheitet. Man findet dort erhöhte Gehalte von Chrom, Nickel und Kobalt, welche an Hand der Profilanalyse (Gehaltsverteilung in den untersuchten Bodenhorizonten) eindeutig geogener Herkunft sind.

Ungeklärt ist derzeit noch die Herkunft des im Oberboden angereicherten Arsens und Blei am Grünlandstandort NEU 7. Da es sich bei dieser Untersuchungsstelle um ein entwässertes Übergangsmoor handelt, wäre die Schadstoffanreicherung eventuell durch eine jahrhundertlange Fixierung der Schwermetalle am hohen Humusgehalt des Bodens aus dem Hangwasser denkbar. Aber auch Einträge aus einer mittelalterlichen Erzverarbeitung (Arsen kies und silberreiche Bleierze) wie sie aus dem Raum St. Blasien - Karchau bekannt ist (Bodenschutzbericht 1999), sind hier nicht völlig auszuschließen.

Frage 1: Gibt es Unterschiede in der Umweltbelastung des Bodens hinsichtlich land- und forstwirtschaftlicher Nutzung ?

Da prinzipiell die Umweltbelastung in der Region sehr gering ist, sind meist nur beim Blei in den Waldböden leicht höhere Gehalte feststellbar als in den korrespondierenden landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Auch im Auflagehumus der vier Waldstandorte NEU 3, 4, 9 und 12 sind keine Schadstoffeinträge, welche auf eine erhöhte Umweltbelastung hindeuten würden erkennbar. Fallweise leicht höhere Schwermetallgehalte an den beiden Standorten NEU 9 und 12 lassen sich aus dem erhöhten geogenen Background und einer damit offensichtlich stärkeren Aufnahme über die Wurzeln erklären.

Frage 2: Wie ändern sich Schwermetallgehalte im Verlauf des Murtales ?

Die hier betrachteten beiden Standorte NEU 1 (Scheifling) und NEU 11 (Frojach) unterscheiden sich in ihren Schwermetallgehalten nur leicht. Zwar finden sich bei fast allen Elementen im Auboden NEU 1 leicht höhere Gehalte (dort sind die Normalwerte von Blei und Cadmium auch geringfügig überschritten), ein Zusammenhang mit veränderten Umweltbelastungen ist daraus nicht abzuleiten. Die Schwermetallgehalte beider Standorte sind überwiegend natürlicher Herkunft. Die leicht erhöhten Schwermetallgehalte am Standort NEU 1 stammen aus dem bodenbildenden Schwemmmaterial der Mur.

3.3. Das Liesingtal

Diese Standorte wurden auf Wunsch der Kammer für Land- und Forstwirtschaft und der Bezirksforstbehörde in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, da in diesem Tal sowohl Belastungen durch den Verkehr, als auch durch die vom Hüttenwerk Donawitz ausgehenden Emissionen zu erwarten sind. Es wurde eine Kette von Standorten ausgewählt, die in der Aue der Mur bei St. Michael beginnend bis nach Kalwang reicht. Da die landwirtschaftliche Nutzung auf den Talboden konzentriert ist, wurden hier 5 Probennahmeflächen platziert. Sie erfassen alle wesentlichen geologisch-morphologischen Einheiten: Die Aue der Mur und der Liesing, die Schwemmfächer und die würmkaltzeitlichen Schotterterrassen. Die Standorte liegen zumeist im Nahbereich der Verkehrsträger.

Folgende Standorte wurden beschrieben und beprobt:

- Ortsbodenähnlicher Grauer Auboden aus jungem Schwemmmaterial der Mur: LEO 1
- Kalkfreie Braunerden auf Terrassenschottern der Liesing: LEO 2, LEO 4
- Vergleyter kalkfreier Grauer Auboden aus jungem Schwemmmaterial der Liesing: LEO 6
- Kalkfreie Braunerde (ortsbodenähnlich) aus Schwemmmaterial, auf einem Schwemmfächer gelegen: LEO 7

Jeweils an zwei Stellen wurde ein Wiesen- und ein Waldstandort miteinander verglichen und zwar auf dem Rücken westlich der Hütte Donawitz (kalkfreie Braunerden auf Hangschutt aus Phyllit: LEO 3, LEO 8) sowie am Unterhang nördlich von Dirnsdorf (kalkige Braunerden auf Hangschutt aus Kalk über tertiärem Feinsediment: LEO 5, LEO 10). Ein zusätzlicher Waldstandort (kalkfreie Braunerde aus Phyllit: LEO 9) ist auf dem Rücken östlich des Tannkogels situiert. Die Waldstandorte wurden von der Bezirksforstbehörde ausgewählt und tragen der mit zunehmender Entfernung von der Emissionsquelle geringer werdenden Schädigung der Bäume Rechnung.

Würde man sich rein an den gesetzlichen Grenzwerten und dem international üblichen Richtwert von Arsen (20 ppm) orientieren, so fände man in der Region nur Belastungen mit Arsen (Standorte LEO 1, 5, 6, 8, 10). Die gefundenen Arsengehalte sind jedoch durchwegs geogener Herkunft und in der Steiermark keine Besonderheit. Eine Beurteilung der Umweltsituation ist ausschließlich über die Normalwerte - man könnte sie auch geogene Hintergrundwerte nennen - und eine eingehende Profilanalyse der untersuchten Bodenhorizonte möglich.

Frage 1: Wie steht es mit Umweltbelastungen aus dem Straßenverkehr im Liesingtal (Standorte LEO 1, 2, 4, 6 und 7) ?

Die umweltrelevanten Schwermetalle Blei, Cadmium, Molybdän und Zink zeigen bei einer Profilanalyse fast immer eine leichte Anreicherung im Oberboden. Diese ist für die Schadstoffe Blei und Cadmium aber so gering, dass sie rein über die heute übliche ubiquitäre Umweltbelastung der Böden erklärt werden kann. Ein merklicher Einfluss aus dem Straßenverkehr ist daraus nicht abzuleiten, da auch straßenferne Standorte Belastungen in dieser Größenordnung aufweisen.

An den Standorten LEO 2 und 4 findet man für die Elemente Zink und Molybdän etwas größere Anreicherungen im Oberboden als sie für die ubiquitäre Umweltbelastung anzunehmen wären. Da die Unterschiede aber bereits stark im Einflussbereich des Analysenfehlers sind, ist die zusätzliche Belastung derzeit als nicht gravierend einzustufen. Über die Herkunft der Schwermetalle kann nur spekuliert werden (z. B.: Fernverfrachtung aus Donawitz). Die in Arbeit befindliche Verdichtung des Untersuchungsnetzes sollte hier Klarheit schaffen.

Eine weiters festgestellte geringfügige Normalwertüberschreitung am Standort LEO 1 beim Element Kupfer ist geogen bedingt.

Frage 2: Wie weit lassen sich Emissionen aus der Hütte Donawitz in Richtung Liesingtal verfolgen und gibt es Unterschiede in der Umweltbelastung des Bodens hinsichtlich land- und forstwirtschaftlicher Nutzung ?

Die charakteristischen Leitsubstanzen der Werksemissionen sind in erster Linie die Elemente Blei, Cadmium, Molybdän, Zink, Quecksilber, Eisen und Fluor, sowie die organische Schadstoffgruppe der PAH's.

Um den Lufttransfer dieser Stoffe verfolgen zu können wurde vom Traidersberg bei Donawitz beginnend Richtung Dirnsdorf bei Kammern im Liesingtal eine Linie mit 5 Untersuchungsstandorten gelegt, wobei in der Nähe von zwei der insgesamt drei Waldstandorte auch ein landwirtschaftlich genutzter Standort eingerichtet wurde.

Die Nutzung der Standorte und ihre ungefähre Entfernung zum Werk Donawitz betragen etwa:

Standort	Nutzung	Entfernung in km
LEO 8	Wald	2
LEO 3	Acker	2
LEO 9	Wald	6
LEO 10	Wald	11
LEO 5	Grünland	11

Eine deutliche Abhängigkeit der Bodengehalte zur Entfernung zum Werk findet man beim EDTA-extrahierbaren Eisen und dem wasserlöslichen Fluor. Die Anreicherungen der Oberböden im Wald (aus der Differenz Ober- minus Unterboden berechnet) von LEO 8, 9 und 10 für das **EDTA-extrahierbare Eisen** betragen etwa:

3600 – 1600 – 700 ppm Eisen.

Beim **wasserlöslichen Fluor** findet eine Anreicherung im Oberboden nicht in dem Maße wie bei den Schwermetallen statt, sodass hier besser die absoluten Gehalte der Oberböden verglichen werden. Sie lauten für die 3 Waldstandorte etwa:

3,5 – 1,6 – 0,5 ppm Fluor.

Bei den übrigen Schwermetallen findet man zwar auch häufig höhere Werte als es normalen Bodengehalten entsprechen würde, bei einem Vergleich der Anreicherungen im Oberboden ist aber keine signifikante Entfernungsabhängigkeit mehr erkennbar. Für eine derartige Fragestellung ist die Einrichtung von landwirtschaftlich genutzten, werksnahen Untersuchungsstandorten zielführender. 1997/98 wurden daher speziell auf die Problematik abgestimmte neue Standorte eingerichtet (siehe Bodenschutzbericht 1999).

Eine bessere Korrelation der Schwermetallgehalte zur Entfernung des Emittenten an Waldstandorten kann aus den Analyseergebnissen des **Auflagehumus** erkannt werden.

Zur genaueren **flächenhaften Abgrenzung** der Bodenbelastungen wurde wie beim Magnesitwerk in der Veitsch die Messung der magnetischen Suszeptibilität des Bodens durchgeführt.

Die am stärksten belasteten Flächen erstrecken sich demnach vom Süden Trofaiachs über das Stadtgebiet von Leoben murabwärts bis Proleb. Nordöstlich und süd-

westlich des Werksbereiches von Donawitz begrenzen die überwiegend bewaldeten Erhebungen den Bereich der Belastungen, wobei die morphologische Grenzlinie bei 720 Höhenmetern liegt. Darüber nimmt der Schadstoffeinfluß sprunghaft ab.

Nutzungsabhängigkeit: Bei Einbeziehung der statistischen Streuungen der Analyseergebnisse und einer Normierung auf dieselben Probennahmetiefen ist es nur selten möglich signifikante Unterschiede zu erkennen.

Bei den beiden Standorten LEO 3 (Acker) und LEO 8 (Wald) findet man im Wald etwa doppelt so hohe Anreicherungen an EDTA-extrahierbarem Eisen und Quecksilber, als in der vergleichbaren Ackerfläche.

An den Untersuchungsstellen LEO 5 (Grünland) und LEO 10 (Wald) ist beim Blei eine unterschiedlich starke Anreicherung im Oberboden feststellbar. Auch hier sind die Einträge im Wald etwa doppelt so hoch.

Die Hauptursache für die schlechte Vergleichbarkeit von Böden verschiedener Nutzungsart ist:

- Unterschiedlich starke Auflagen von organischem Material (Nadelstreu, Moder, Mull und Wurzelfilz) bewirken eine unterschiedlich starke Adsorption der eingebrachten Substanzen und verhindern damit einen direkten Vergleich von Oberböden unterschiedlicher Nutzungsart. Vor allem im Wald findet man (auch innerhalb eines Untersuchungsstandortes) häufig starke Schwankungen in der Mächtigkeit des Auflagehumus vor.

Aus diesem Grund ist auch eine Beurteilung der Entfernungsabhängigkeit zu einem Emittenten über eine Untersuchung des **Auflagehumus** zielführender, als ein Vergleich des Bodens bei welchem zusätzlich der geogene Elementanteil berücksichtigt werden muss.

An den 3 Waldstandorten LEO 8 - 10 betragen die **Schwermetallgehalte** des Auflagehumus im Vergleich zum Oberboden (0-5 cm): Gerundete Mittelwerte bzw. Ausreißer-bereinigte Einzelwerte in ppm (mg/kg) bezogen auf die Trockensubstanz (Auflagehumus) bzw. lufttrockenen Feinboden (Oberboden).

LEO 8	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Auflagehumus	40	450	420	80	30	8	9,0	1,8	5,8	23
Oberboden (0-5 cm)	20	150	50	25	20	7	1,0	0,3	0,6	26

LEO 9	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Auflagehumus	20	200	200	50	20	5	5,0	0,8	3,7	11
Oberboden (0-5 cm)	20	70	50	20	20	7	3,0	0,1	0,5	15

LEO 10	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Auflagehumus	20	230	110	60	30	12	1,6	1,2	1,6	13
Oberboden (0-5 cm)	30	110	60	40	40	16	1,4	0,5	0,5	23

In diesen Tabellen erkennt man aus der Entfernungsabhängigkeit zum Werk (Gehaltsabnahme im Auflagehumus von LEO 8 nach LEO 10) und der Anreicherung im Auflagehumus gegenüber dem Oberboden sehr deutlich jene Elemente, welche

hauptsächlich geogener Herkunft sind (As, Co, Ni, teilweise auch Cr und Cu) und die schon eingangs erwähnten Leitelemente der Industrieemissionen (Hg, Cd, Mo, Pb, Zn).

Besonders interessant ist auch die Tatsache, dass bestimmte Schadstoffe, wie Quecksilber oder Cadmium offensichtlich viel weiter verfrachtet werden (erkennbar am hohen Anreicherungsfaktor aus Gehalt-Auflagehumus : Gehalt-Oberboden), als etwa Molybdän oder Chrom. Das vermutlich nur im geringen Maße emittierte Kupfer scheint auch rasch deponiert zu werden.

Arsen, Kobalt und größtenteils auch Nickel zählen hier als hauptsächlich geogen vorkommende Elemente.

Auch die **PAH-Gehalte** des Auflagehumus weisen eine deutliche Entfernungsabhängigkeit auf:

LEO 8 – 9 – 10: ca. 700 – 500 – 150 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$) PAH-Summe.

Die PAH-Gehalte der Oberböden im Wald sind diesbezüglich nicht signifikant.

Anders verhalten sich die **Gesamtgehalte an Fluor** im Auflagehumus. Sie weisen im Gegensatz zum wasserlöslichen Fluor des Oberbodens keine entfernungsabhängigen Unterschiede auf.

Der durchschnittliche Gehalt im Auflagehumus aller bisher untersuchten Waldstandorte liegt ohne offensichtliche Abhängigkeit zu Umweltbelastungen bei etwa 200 ppm Gesamtfluor. Für dieses Element ist bei Umweltfragen die Bestimmung des wasserlöslichen Fluoranteils im Boden der einzig sinnvolle Weg.

4. Das Murtal (Frohnleiten bis Staatsgrenze)

4.1. Leibnitzer Feld

Das Leibnitzer Feld und seine Rahmung zählen zu den dichtest besiedelten und intensivsten genutzten Regionen der Steiermark. Es weist eine mehr als 2.000 Jahre währende Siedlungskontinuität auf. Bei der Auswahl der Standorte stand die Frage nach dem zur Zeit der Probennahme bestehenden Bodenzustand (Grundbelastung) im Vordergrund. Es wurde ein Querschnitt, ausgehend von der Mur, über die Niederterrasse in das tertiäre Hügelland und die aus kristallinen Schiefen bestehende Sausalscholle gelegt. Dabei galt es, die wesentlichen Ausgangsmaterialien und die für sie charakteristischen Böden, aber auch die vorherrschende Bodennutzung samt der von ihr ausgehenden Bodenbelastung zu berücksichtigen.

Die Aue der Mur lässt sich in einen jüngeren, regelmäßig überschwemmten (LEI 3) und einen älteren, nur bei Katastrophenhochwässern überfluteten (LEI 4) Bereich gliedern. Hier stellt sich die Frage, wie weit die Überschwemmungen zu einer Akkumulation von Schadstoffen führen.

Die Niederterrasse bildet die Hauptfläche des Leibnitzer Feldes. Sie besteht aus einem mächtigen Schotterkörper mit einer sehr unruhigen Oberfläche und einer dieses Relief nivellierenden, lehmig-sandigen Feinsedimentdecke. Die Gründigkeit der Böden (kalkfreie Braunerden) und damit das Puffer-, Speicher- und Filtervermögen

schwankt engräumig. Es wird hier überwiegend Ackerbau betrieben. Zur Beprobung wurden eine tiefgründige kalkfreie Braunerde (LEI 1) und ein Ranker (LEI 2) herangezogen.

Die Hochterrasse ist im Raum Gabersdorf - Lind und Jöß - St. Margarethen verbreitet. Über dem Schotterkörper liegt eine mehrere Meter mächtige Schluff-Lehm-Decke. Die verbreitetsten Böden sind hier eine tiefgründige, tief humose Braunerde (LEI 5) und ein Pseudogley (LEI 6). Der Maisbau dominiert hier besonders.

Das tertiäre Hügelland wird von Mergeln, Kalken und Sanden aufgebaut. Der engräumige Substratwechsel sowie das starke Relief führen zu einem kleinstrukturierten Bodenformenmosaik. Neben der Ackernutzung findet sich hier verbreitet Erwerbsobstbau. Dieser Tatsache wurde bei der Standortauswahl Rechnung getragen:

- Braunerde mit Ackernutzung (sandiges Ausgangsmaterial): LEI 7
- Hangpseudogley in einer Obstanlage (Spielfelder Schlier): LEI 8

Auf den Schiefergesteinen des Sausal ist der Weinbau weit verbreitet, daher wurden ein Weingarten (kalkfreier Rigolboden: LEI 9) und eine Nussanlage (kalkfreie Braunerde aus Phyllit: LEI 10) beprobt. Es galt zu klären, wie stark die Anreicherung des Bodens durch die jahrzehntelange Anwendung kupferhaltiger Spritzmittel ist.

Frage 1: Wie ist die derzeitige Grundbelastung in dieser landwirtschaftlich intensiv genutzten Region ?

Schwermetalle: Die häufigsten Überschreitungen der Normalwerte findet man an den beiden Auböden LEI 3 und 4 (siehe nächste Fragestellung). Die Herkunft der Schadstoffe ist vermutlich größtenteils geogen aus dem Schwemmmaterial der Mur.

An den Standorten LEI 9 und 10 findet man erhöhte Kupfergehalte im Boden, welche zum Teil auf die Anwendung von kupferhaltigen Spritzmitteln zurückzuführen sind (siehe Frage 3).

An den Standorten LEI 1, 2, 6 und 7 findet man fallweise leicht erhöhte Gehalte der umweltrelevanten Schadstoffe Blei, Cadmium und Molybdän, welche der heute üblichen ubiquitären Umweltbelastung zuzurechnen sind.

Noch nicht erklärbar ist die Herkunft der relativ starken Quecksilberanreicherung im Oberboden des Standortes LEI 2. Auch am Standort LEI 1 wurde in einem Untersuchungsjahr ein ähnlich hoher Bodengehalt festgestellt. Durch die in Arbeit befindliche Verdichtung des Untersuchungsnetzes wird derzeit abgeklärt, ob eine größerflächige Belastung vorliegt, oder ob die Belastung nur punktuell auftritt. Dann wäre die frühere Verwendung von Saatgut mit quecksilberhaltigen Beizmitteln eine denkbare Erklärung. Heute sind derartige Beizmittel verboten.

Fluor: An den Standorten LEI 3, 6, 7, 8, 9 und 10 findet man Bodengehalte welche über dem als noch normal anzusehenden Wert an wasserlöslichem Fluor von 1,2 ppm (mg/kg) liegen. Als Ursache ist hier vermutlich der Einsatz von mineralischen Düngemitteln anzusehen.

Es konnte nämlich in begleitenden Zusatzuntersuchungen festgestellt werden, dass Mineraldünger oft einen relativ hohen Anteil an wasserlöslichem Fluor beinhalten. So enthielten Stichproben von Blaukorn und Superphosphat zum Beispiel rund 600 ppm wasserlösliches Fluor.

Negative Auswirkungen (Pflanzenschädigungen durch Fluorosen, Grundwasserbelastungen, etc.) sind bei den festgestellten Bodengehalten von einigen ppm derzeit nicht bekannt.

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH's): Extrem hohe Bodengehalte über 1000 ppb findet man an den beiden Standorten LEI 3 und 4 (Eintrag vermutlich über das Schwemmmaterial der Mur) und am Untersuchungspunkt LEI 9. An letzterem ist die Herkunft noch unklar (Hausbrand, Brandrodung, Brauchtumsfeuer, Ascheausbringung).

Atrazin: Dieses bis 1995 im Maisanbau häufig verwendete Herbizid wurde bei Bodenuntersuchungen 1990/91 noch an allen Ackerstandorten in teilweise extrem hohen Gehalten gefunden. Der höchste in der Steiermark je gemessene Wert lag am Standort LEI 3 bei 1070 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$). An dieser Untersuchungsstelle wurde daraufhin ein mehrjähriges Beobachtungsprogramm gestartet dessen Ergebnisse bereits im Bodenschutzbericht 1998 (Seite 137) präsentiert wurden.

Heute ist Atrazin im Boden meist nur mehr rein qualitativ in Spuren unter der Bestimmungsgrenze von 10 ppb, oder überhaupt nicht mehr nachweisbar.

DDT: Dieses früher vor allem im Kartoffelanbau häufig verwendete Insektizid ist auf Grund seiner Langlebigkeit auch heute noch fallweise im Boden nachzuweisen. So fand man am Standort LEI 1 bei der Basisuntersuchung 1986/87 rund 150 ppb dieses Schadstoffes. Mittlerweile ist der Standort jedoch verbaut, sodass weitere Kontrollen über den Abbau der Chemikalie nicht mehr möglich sind.

An den Standorten LEI 6 und 9 wurden auch Spuren von DDT im Bereich der Bestimmungsgrenze von 15 ppb festgestellt. Weitere Untersuchungsergebnisse werden im Abschnitt über die bisherigen Ergebnisse der 10-Jahreskontrollen besprochen.

Frage 2: Wie weit führen Überschwemmungen zu einer Akkumulation von Schadstoffen ?

Zur Klärung dieser Frage werden die Untersuchungsergebnisse eines jüngeren, regelmäßig überschwemmten (LEI 3) und eines älteren, nur bei Katastrophenhochwässern überfluteten (LEI 4) Standortes gegenübergestellt.

Beide Standorte weisen leicht erhöhte Gehalte an Kupfer, Zink, Blei, Molybdän, Cadmium und Quecksilber auf. Auffällig ist, dass alle Schwermetallgehalte am Standort LEI 4 etwas höher sind und dort Anreicherungen im Oberboden aufweisen. Am Untersuchungspunkt LEI 3 hingegen ist die Verteilung der Schwermetalle innerhalb des Bodenprofils weitestgehend gleichmäßig.

Beim Standort LEI 3 reicht der maximale Grundwasserstand bis an die Pflugsohle bei 30 cm heran, am Punkt LEI 4 liegt er mit 80 cm unter den untersuchten Bodenschichten. Es liegt nahe anzunehmen, dass hierin eine der Ursachen für die unterschiedliche Schwermetallverteilung innerhalb der Bodenhorizonte zu suchen ist.

Auffallend hoch sind an beiden Standorten auch die Belastungen mit der Schadstoffgruppe der PAH's, wobei der Untersuchungspunkt LEI 3 etwa doppelt so hoch kontaminiert ist als LEI 4.

Insgesamt betrachtet bestätigen diese Untersuchungsergebnisse einmal mehr die Tatsache, dass **Böden aus Schwemmmaterial** eine stärkere geogene Schwermetallbelastung aufweisen, als Standorte mit anderen bodenbildenden Ausgangsmaterialien. Die ebenfalls erhöhten PAH-Gehalte könnten eventuell auf sehr alte Brand-Ereignisse, ja sogar eine Fernverfrachtung vulkanischer Tätigkeiten zurückzuführen sein.

Wie groß der anthropogene Schadstoffanteil ist, welcher unter Umständen auch über den Wasserweg eingetragen werden kann, ist unbekannt.

Frage 3: Wie stark ist die Kupferanreicherung im Boden bei jahrzehntelanger Anwendung von kupferhaltigen Spritzmitteln im Weinbau ?

Am Weinbaustandort LEI 9 findet man deutlich erhöhte Bodengehalte an Kupfer. Auf Grund der relativ guten Wasserlöslichkeit der Kupferspritzmittel und des Rigolierens am Standort ist das Kupfer ziemlich gleichmäßig über die untersuchten Bodenhorizonte verteilt.

Der nahe gelegene Standort LEI 10 wird zwar schon seit vielen Jahren als Grünland (mit Nussbäumen) genutzt, trotzdem erkennt man im Boden bis zu einer Tiefe von etwa 30 cm noch eine minimale Anreicherung von Kupfer gegenüber dem natürlichen Background, welche aus früheren Spritzmittelanwendungen herrühren dürfte.

Negative Auswirkungen der erhöhten Kupfergehalte im Boden sind derzeit nicht bekannt.

Kupfereinträge in Böden findet man aber nicht nur in Weinanlagen, sondern auch in Obst- oder Hopfenkulturen.

In der ebenfalls untersuchten relativ jungen Apfelanlage (bis 1995 Hohlkrone) LEI 8 sind die Kupfergehalte des Bodens noch normal.

4.2. Das Grazer Feld

Das Grazer Feld wird - gleich dem Leibnitzer Feld - von einer letzteiszeitlichen Schotterflur aufgebaut, in die sich die Mur im Holozän eingetieft hat. Allerdings werden die Niederterrassenschotter an den Außenrändern des Feldes von bindigem Schwemmmaterial der Seitenbäche (GRA 1) oder von Kolluvien (GRA 11) überlagert. Der Standort GRA 12 westlich des Plabutsch-Buchkogel-Zuges ist ein Hangpseudogley aus Decklehm.

Die Kriterien, die bei der Standortauswahl angewandt wurden, unterscheiden sich jedoch von jenen, die für das Leibnitzer Feld galten. Eine Stadt in der Größe und Wirtschaftsstruktur von Graz stellt für ihr Umland eine Belastungsquelle dar, da sie bedeutende Emissionen abgibt. Der Schadstoffeintrag in die Böden nimmt mit zunehmender Entfernung von der Stadt ab. Dieser Tatsache trug auch die Platzierung der Probennamepunkte auf der Niederterrasse - sie wurden selbstverständlich nach den vorherrschenden geologisch-pedologischen Verhältnissen ausgesucht - Rechnung (GRA 3). Drei Punkte liegen zusätzlich im Nahbereich der Autobahn (GRA 4, GRA 5, GRA 6).

Um die Kontamination durch Überschwemmungen zu erfassen, wurde je ein Standort in der jüngsten Aue (vergleyter kalkiger Grauer Auboden: GRA 7) und in der höheren Aue (vergleyter entkalkter Brauner Auboden: GRA 2) beprobt.

Zusätzlich wurden auf Wunsch der Landesforstdirektion drei Standorte auf den Generalkogel bei Straßengel gelegt, wobei jeweils ein Standort am Unterhang (GRA 8), am Mittelhang (GRA 9) und auf der Kuppe (GRA 10) beprobt wurden, um die Auswirkungen des Schadstoffeintrags von der nahegelegenen Papierfabrik zu erheben.

Frage 1: Gibt es bedingt durch die Nähe zur Großstadt bzw. Autobahn nennenswerte Umweltbelastungen ?

An den Standorten GRA 1-7 sowie GRA 11 und 12 findet man fallweise geringfügig erhöhte Bodengehalte an Blei, Cadmium und Quecksilber. Diese lassen aber keine Rückschlüsse auf eine Belastung durch Straßenverkehr oder die Nähe von Graz zu. Sie sind der heute ubiquitären Umweltbelastung zuzuschreiben.

An den beiden Auböden GRA 2 und 7 sind einige Schwermetallwerte geringfügig höher als bei den übrigen Untersuchungsstellen, was - wie schon diskutiert - durch das bodenbildende Schwemmmaterial im Zusammenhang mit Überschwemmungsereignissen erklärt werden kann.

Zusammenfassend weisen alle Standorte hinsichtlich einer Umweltbelastung durch Schwermetalle ein durchaus positives Bild auf.

Frage 2: Wie groß ist die Umweltbelastung an den 3 Waldstandorten GRA 8-10 (Generalkogel bei Straßengel) ?

Die drei Untersuchungsstellen weisen Überschreitungen der Normalwerte bei den umweltrelevanten Schadstoffen Blei, Cadmium, Molybdän, Zink und Quecksilber auf und haben außerdem höhere Gehalte als die landwirtschaftlich genutzten Standorte des Grazer Feldes.

Wie jedoch schon bei der Wertediskussion der Waldstandorte im Bezirk Leoben angesprochen, sollte bei der Beurteilung der Umweltsituation im Wald mehr Augenmerk auf den **Auflagehumus** gelegt werden:

Von wenigen Ausnahmen abgesehen weisen alle 3 Standorte annähernd gleiche Schwermetall- und auch PAH-Gehalte auf. Es ist also keine signifikante Abhängigkeit hinsichtlich der Seehöhe der Standorte zu erkennen.

Die Schadstoffgehalte im Auflagehumus liegen mit Ausnahme des Quecksilber, des Molybdän und der PAH's in einer Größenordnung, welche man auch in Regionen ohne offensichtlichen Emittenten findet. Sie können also großteils der ubiquitären Umweltverschmutzung zugeordnet werden.

Ob jedoch die beiden Schwermetalle Quecksilber und Molybdän ins Emissionsmuster der nahegelegenen Papierfabrik passen, müsste erst durch zusätzliche Untersuchungen abgeklärt werden.

5. Der Steirische Randgebirgszug

Das Steirische Becken bietet sowohl im Hinblick auf das Ausgangsmaterial für die Bodenbildungen, als auch auf die Oberflächenausformung eine große Vielfalt. Man findet, ausgehend von den Sanden, Schottern, Schluffen, Lehmen, Tonen, Mergeln und Kalken sowie Vulkangesteinen einen engräumigen Wechsel an Sedimenten. Die Oberflächenausformung ist vielfältig und kleinstrukturiert. Daraus ergibt sich ein Mosaik unterschiedlichster Böden.

Im allgemeinen dominiert im Steirischen Becken die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung und ein auf die Verarbeitung der aus der bäuerlichen Wirtschaft stammenden Produkte ausgerichtetes Gewerbe. Nur im Raum Köflach-Voitsberg ist auf Grund des Kohlebergbaues eine Agglomeration von Siedlungen, Industrie und Gewerbe entstanden, die zu einer erhöhten Emission von Schadstoffen führt.

Das Steirische Becken wurde auf Grund der geologisch-pedologischen Verhältnisse in ein west- und oststeirisches Teilbecken untergliedert. Als Regionen für die Beprobung wurden im westlichen Teil der als belastet angenommene Raum Voitsberg, im östlichen Teil die kaum belasteten Räume Ilz-Fürstenfeld und Pöllauer Bucht ausgewählt.

5.1. Voitsberg

Zur Erhebung der Belastung der Böden in Bereichen mit konzentrierter industriell-gewerblicher Nutzung wurden der Raum Voitsberg-Köflach und sein Umland herangezogen. Als Kriterien für die Auswahl der Probenstandorte galten die im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzfläche verbreitetsten Sedimente, die charakteristischen Bodenbildungen sowie die Entfernung von den Emittenten.

Der größere Teil der Probennahmeflächen liegt im Köflach-Voitsberger Becken selbst, der kleinere im Umland. So wurde etwa, um Erkenntnisse über den Einfluss der Industrie- und Siedlungsabwässer auf die Auböden zu erlangen, der Standort VOI 1 an der Kainach vor deren Eintritt in das Siedlungsgebiet (nördlich Bärnbach) angelegt, ein zweiter nordwestlich von Krottendorf (VOI 2). Im zentralen Teil des Beckens wurde neben den gewachsenen Böden (VOI 3, VOI 4, VOI 9, VOI 10) auch ein landwirtschaftlich genutzter Haldenboden (VOI 6) in das Programm aufgenommen. Zusätzlich wurde auf Wunsch der Landesforstdirektion ein Waldstandort bei Piberstein (VOI 11) untersucht. In der Beckenrahmung liegen drei Standorte: zwei kalkfreie Braunerden (Arnstein: VOI 7, Edelschrott: VOI 8) und ein Kulturrohboden (Thal-lein: VOI 5). Sie sollen die Erfassung eines eventuellen Ferntransportes von Schadstoffen ermöglichen.

Frage: Wie groß ist die Umweltbelastung im Raum Voitsberg-Köflach ?

Man findet an den Standorten VOI 1-12 zwar fallweise Überschreitungen der Normalwerte für alle Schwermetalle außer Kobalt, diese sind jedoch als geringfügig zu beurteilen und überwiegend geogen bedingt. Nur bei Cadmium, Blei und Quecksilber sind minimale anthropogene Beiträge zum natürlichen Background festzustellen. Diese sind jedoch so gering, dass sie ohne weiteres durch die übliche ubiquitäre Umweltbelastung, wie man sie in der Steiermark fast überall antrifft, erklärbar sind.

Auch die Schadstoffgehalte im Auflagehumus des Waldstandortes VOI 12 lassen nicht auf eine nennenswerte Umweltbelastung schließen.

Zusammenfassend bieten die Böden der untersuchten Standorte in dieser doch bedeutenden Industrieregion der Steiermark ein durchwegs positives Bild.

5.2. Fürstenfeld

Der untersuchte Bereich weist mit Ausnahme einer Ziegelei und der Tabakfabrik in Fürstenfeld nur einige Gewerbebetriebe auf. Es war daher zu erwarten, dass bei den untersuchten Bodenproben im wesentlichen die geogene Grundbelastung erfasst werden kann. Aus diesem Grunde wurden die verbreitetsten Sedimente und die für sie charakteristischen Böden in die Untersuchung einbezogen, wobei die am intensivsten landwirtschaftlich genutzten Landschaftsräume den Schwerpunkt bilden.

Ausgehend von den Tallagen an der Feistritz und Ilz: jüngstes, flußnahes, sandiges Schwemmmaterial (entwässerter, kalkfreier Grauer Auboden: FUE 1), mittlere Talbodenzone mit lehmig-schluffigem Schwemmmaterial (entwässerter kalkfreier Gley: FUE 2) und Talbodenrandzone mit Aulehmen (entwässerter kalkfreier Gley: FUE 3), wurde ein Profil über die Schluff-Lehm-bedeckten mittel- (entwässerter Pseudogley: FUE 4) und alteiszeitlichen Terrassen (typischer Pseudogley: FUE 8) ins tertiäre Hügelland (FUE 5) gelegt. Hier wurde sandiges (kalkfreier Kulturrohboden: FUE 6), sandig-lehmiges (kalkfreier Kulturrohboden: FUE 7) und lehmiges (pseudovergleyte kalkfreie Braunerde: FUE 9) Sediment beprobt. In die Untersuchung wurde schließlich auch ein Braunlehm aus vulkanischem Tuff einbezogen (FUE 10).

Frage: Welche Bodenbelastungen (geogen, anthropogen) gibt es ?

Schwermetalle: Die nur vereinzelt über den Normalwerten liegenden Schwermetallgehalte sind entweder rein geogen bedingt (Kupfer bzw. Chrom im Unterboden von FUE 3+9), oder weisen minimale anthropogene Einträge auf (Cadmium in FUE 1+2 und Blei bzw. Quecksilber in FUE 5).

Insgesamt betrachtet sind die Schwermetallgehalte im Bezirk Fürstenfeld erwartet niedriger und zählen die dortigen Böden somit - was den Eintrag von umweltrelevanten Emissionen betrifft - zu den unbelastetsten Böden der Steiermark.

Die ursprünglich auf Grund irrelevanter Beurteilungskriterien (Richtwert von 20 ppm für Arsen) festgestellten Bodenbelastungen der Standorte FUE 1, 2 und 3 mit Arsen sind rein geogener Herkunft und in der Steiermark als durchaus üblich anzusehen.

Fluor: An den Ackerstandorten FUE 1-6 findet man Bodengehalte, welche über dem als noch normal anzusehenden Wert von 1,2 ppm (mg/kg) an wasserlöslichem Fluor liegen. Als Ursache ist hier vermutlich der Einsatz von mineralischen Düngemitteln anzusehen.

Negative Auswirkungen (Pflanzenschädigungen durch Fluorosen, Grundwasserbelastungen, etc.) sind bei den festgestellten Bodengehalten von einigen ppm derzeit nicht bekannt.

DDT: An den Standorten FUE 5, 6 und 8 wurden Rückstände des früher verwendeten Insektizids DDT festgestellt. Weitere Untersuchungsergebnisse werden im Abschnitt über die bisherigen Ergebnisse der 10-Jahreskontrollen besprochen.

5.3. Die Pöllauer Bucht

Sie wird durch die weit gegen Süden streichenden Ausläufer der Fischbacher Alpen gegen Westen (Rabenwald, 1280 m), Norden (Hintereck/Zeiseleck, 1078 m) und gegen Osten (Masenberg, 1261 m / Annenkogel, 860 m) gut abgeschirmt und ist nur gegen Süden offen. Die Bodennutzung ist überwiegend semiintensiv, d.h., es herrscht eine naturnahe Wirtschaftsweise vor. Dieses Untersuchungsgebiet bildet daher im intensiv genutzten Steirischen Becken eine Ausnahme.

Die Ausläufer der Fischbacher Alpen werden von Grobgneisen, Schiefergneisen und Glimmerschiefern aufgebaut; sie bilden - meist in Form von Wanderschuttdecken (periglazialer Solifluktionsschutt) - das Ausgangsmaterial für den größeren Teil der Böden des Raumes. Daher sind von den zehn Standorten auch sechs auf Kristallin platziert. Als Auswahlkriterien galten Exposition, Höhenverteilung, morphologische Position, Bodenverhältnisse und Nutzung. Von den sechs Probennahmeflächen auf Kristallin werden drei als Wechselland mit weiterer Fruchtfolge (POE 4, POE 8, POE 9), einer als Wiese (POE 10) und zwei forstwirtschaftlich (POE 5, POE 7) genutzt.

Der zentrale Bereich der Bucht, der Raum um Pöllau, wird von jungtertiären (Karpat) Schottern und Grobschottern in einer lehmigen Packung aufgebaut. Hier wurde eine kalkfreie Braunerde - die auf diesem Sediment dominierende Bodenform - beschrieben (POE 6). Auf den breiten, sanftgeformten Rücken aus dem Jungtertiär dominiert das Wechselland.

Komplettiert wird die Reihe der Untersuchungsstandorte durch einen vergleyten Grauen Auboden aus feinem Schwemmmaterial der Saifen (POE 3) und zwei Böden auf tertiärem Feinsediment (Pannon). Es sind dies eine kalkfreie Braunerde (POE 2) und ein Pseudogley (POE 1). Der Auboden und der Pseudogley werden ackerbaulich genutzt (maisdominierte Fruchtfolgen), die Braunerde liegt im Wald. Die Standorte POE 1 und POE 3 liegen am Ausgang der Pöllauer Bucht, die Nutzung ist auf Grund der günstigeren Standortverhältnisse (Klima und ebene Lage) wesentlich intensiver als in den Berglagen.

Frage: Welche Bodenbelastungen (geogen, anthropogen) gibt es ?

Schwermetalle: Ähnlich wie bei den Untersuchungsstandorten in Fürstenfeld, findet man auch hier nur in Ausnahmefällen geringfügig erhöhte Schwermetallgehalte im Boden.

An den drei Waldstandorten POE 2, 5 und 7 und am Wechselland-Standort POE 4 sind minimale anthropogene Bleieinträge festzustellen. Bei den Standorten POE 4 und 5 gibt es zusätzlich noch geringfügige Quecksilberanreicherungen im Oberboden.

Diese Belastungen sind - wenn auch in sehr geringem Ausmaß - Teil der heute üblichen ubiquitären Umweltverschmutzung. Umwelttoxikologisch sind sie vernachlässigbar.

Auch die Schwermetallgehalte im Auflagehumus der drei Waldstandorte entsprechen durchaus dem Bild eines fast unbelasteten Reinluftgebietes.

Fluor: Fallweise findet man an den Ackerstandorten Bodengehalte welche über dem als noch normal anzusehenden Wert von 1,2 ppm (mg/kg) an wasserlöslichem Fluor liegen. Als Ursache ist hier vermutlich der Einsatz von mineralischen Düngemitteln anzusehen.

Hexachlorbenzol (HCB): Dieser sehr selten im Boden nachzuweisende organische Schadstoff wurde am Wechselland-Standort POE 4 mit einem Gehalt von rund 30 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$) im Oberboden festgestellt.

HCB war früher als Fungizid in Verwendung und kommt als Verunreinigung in diversen Chemikalien vor. Seine Verbreitung in die Umwelt findet fallweise auch heute noch statt (Müllverbrennung, Industrie). Die Herkunft des Schadstoffes am Standort POE 4 ist noch ungewiss. Ein Eintrag über den Luftpfad ist eher unwahrscheinlich, da am nahegelegenen Waldstandort POE 5 keine HCB-Rückstände feststellbar sind.



Vergleich: Wertediskussion „Gestern und Heute“

1.) Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach den gesetzlichen Grenzwerten und dem Arsen-Richtwert von 20 ppm (Bodenschutzberichte 1988-1991):

⇒ An 49 von 119 Untersuchungsstandorten (41 %) findet man Überschreitungen dieser Grenz/Richtwerte. 82 % der so als belastet angenommenen Böden weisen erhöhte Gehalte beim Element **Arsen** auf.

Entsprechend der gesetzlichen Vorgabe wurden an den betreffenden Standorten Pflanzenproben untersucht und ein Gutachten über die „Ursachen und Auswirkungen erhöhter Schwermetallkonzentrationen in steirischen Böden“ erstellt (1993).

Im Zuge dieser Untersuchungen wurde festgestellt, dass die „Belastungen“ weitestgehend natürlich-geogener Herkunft und kaum pflanzenverfügbar sind. Eine Gefährdung konnte damit für den Großteil der Standorte ausgeschlossen werden.

Eine Erfassung von Umweltbelastungen ist auf Grund dieser Beurteilungskriterien nicht möglich. Dazu sind die Grenzwerte der umweltrelevanten Schadstoffe, wie **Cadmium** und **Blei** aus heutiger Sicht viel zu hoch gegriffen.

2.) Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach den naturgegebenen Schwermetallgehalten über die neu definierten Normalwerte (Bodenschutzbericht 1998):

⇒ An 98 von 119 Untersuchungsstandorten (82 %) findet man Überschreitungen dieser Normalwerte. Das ursprüngliche „Problemelement“ **Arsen** hat daran nur einen Anteil von 10 %. Die Elemente, welche nun den Großteil der Bodenbelastungen ausmachen sind **Cadmium**, **Blei** und andere umweltrelevante Schadstoffe.

Vergleicht man nun diese Aussagen mit den ursprünglichen Annahmen, so erkennt man nun Umweltbelastungen und geogene Abnormitäten, welchen früher keine Beachtung geschenkt wurde. Naturgegebene Elementgehalte in üblichen Gehaltsbereichen werden nicht als Belastung gewertet.

Eine **Gefährdung** von Mensch, Tier oder Pflanzen ist aus keiner der beiden Interpretationen abzuleiten !

Der Vergleich beider „Ergebnisse“ macht jedoch deutlich, wie wichtig die Wahl geeigneter Beurteilungskriterien für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen ist.

Überlegungen zum Thema Richtwerte als Beurteilungskriterium

- ☞ Untersuchungsergebnisse sind je nach Wahl der Beurteilungskriterien als „gut“ oder „schlecht“ zu interpretieren !

Grundvoraussetzung für eine sinnvolle Interpretation ist zuerst die Klärung der Frage:

„Was ist die Intention der Untersuchungen?“

→ Sie wurde für das Bodenschutzprogramm mit dem Ziel anthropogene Belastungen und geogene Abnormitäten im Boden erkennen zu wollen beantwortet.

Die derzeit zur Beurteilung verwendeten **Normalwerte** tragen dieser Zielsetzung weitaus besser Rechnung als die zuvor verwendeten Grenzwerte, da sie auf den Gehalten des hiesigen naturgegebenen Schwermetall-Backgrounds basieren.

Die alten Richtwerte (speziell jener des Arsen) hingegen wurden offensichtlich in Gegenden mit einer völlig anderen geogenen Ausgangssituation und vermutlich auch aus anderen Zielsetzungen heraus ermittelt. Der „Vater“ dieser häufig verwendeten Orientierungsdaten für die Bewertung von Schadstoffen in Böden ist Prof. Dr. Adolf Kloke vom Institut für wassergefährdende Stoffe an der Technischen Universität Berlin. Diese Grenzwerte haben letztlich Eingang in die Klärschlamm-Richtlinien vieler Länder - auch der Steiermark - gefunden. Doch im Bodenschutzprogramm gelten, wie schon angedeutet, andere Zielsetzungen.

Die derzeit verwendeten Normalwerte sind zwar nach dem heutigen Wissensstand die beste Grundlage zur Interpretation der Schwermetallgehalte des Bodenschutzprogrammes, sie stellen aber kein "unabänderliches Tabu" dar. So ist nach Vervollständigung des Untersuchungsnetzes in der Steiermark (Datenauswertung voraussichtlich im Bodenschutzbericht 2008) die Möglichkeit zur Verfeinerung und Korrektur des jetzigen Beurteilungsmodells gegeben.

Dementsprechend steht es auch jederzeit offen, **neue oder zusätzliche Richtwerte** auf andere Zielsetzungen hin zu entwickeln. Denkansätze dazu wären:

- Berechnung von gebietsspezifischen oder geologischen Regionen entsprechenden Hintergrundwerten. Hierzu ist ein entsprechend großer Datenpool pro Region Voraussetzung.
- Ein weiterer derzeit in Fachkreisen diskutierter Vorschlag geht dahin, die heutigen Schadstoffanreicherungen im Oberboden als unabänderliches Faktum zu akzeptieren und diesen Durchschnittsgehalt als „normal“ zu definieren. Derartige Richtwerte wären dann als Beurteilungsgrundlage für die Bodendauerbeobachtung der nächsten Jahrzehnte denkbar. Eine Interpretation der aktuellen Bodenbelastung im Zuge einer ersten Bodenzustandsinventur ist damit aber weniger aussagekräftig.
- Auch könnte man Richtwerte dahingehend modifizieren, indem man Stoffeigenschaften wie Pflanzenverfügbarkeit oder Toxizität berücksichtigt. Zum Beispiel: Erhöhte Gehalte von stark toxischen Schwermetallen wie Cadmium sind kritischer

zu beurteilen, als solche von Kobalt oder Molybdän. Auch hinsichtlich der Pflanzenverfügbarkeit ist Cadmium bedenklicher einzustufen als Blei und Arsen.

Ein eigenes Kapitel in der Dateninterpretation sind die Bodengehalte an organischen Schadstoffen. Hier gelten für jede Substanz bzw. Substanzklasse eigene Kriterien.

Bei Rückständen von **chlorierten Kohlenwasserstoffen** wie DDT, HCB und Lindan ist als Richtwert Null (genauer die Bestimmungsgrenze) anzunehmen.

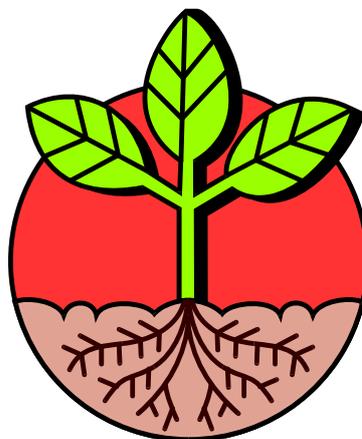
Für die **polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH)** ist eine den Ergebnissen der Bodenzustandsinventur angepasste Klassifizierung sinnvoll.

Und bei relativ schnell abbaubaren Substanzen wie **Atrazin** sind aktuelle Erfahrungswerte als vergleichendes Maß geeignet.

Aus diesen nur beispielhaft angeführten Überlegungen lässt sich die Problematik einer sinnvollen und zielgerechten Erstellung von Beurteilungskriterien für Bodenergebnisse erkennen.

Die Voraussetzung für aussagekräftige Richtwerte ist jedoch immer eine möglichst genaue Kenntnis über den Boden, welche um so besser ist, je mehr Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Und hier gilt es einen Kompromiss zu finden zwischen der wissenschaftlichen Optimalvorstellung des Untersuchungsausmaßes und den ökonomischen Möglichkeiten (vergleiche Bodenschutzbericht 1997, Seiten 3 ff) - einen Kompromiss, der letztlich die Wichtigkeit widerspiegelt, welche der Erforschung unserer Lebensgrundlage **BO-DEN** beigemessen wird.



Untersuchungsergebnisse der Zehn - Jahreskontrollen

Allgemeines:

Das Ziel der **Bodendauerbeobachtung** der Untersuchungsstandorte in Zehn-Jahresabständen ist es, folgende essentielle Fragestellungen des Bodenschutzes zu klären:



- Findet an bisher unbelasteten Standorten ein Schadstoffeintrag statt?
- Wie verhalten sich bestehende Schwermetallbelastungen?
⇒ Abnahme, Zunahme, Stagnation oder Tiefenverlagerung.
- Können bisher nicht pflanzenverfügbare Schwermetalle durch geringe Änderungen von Bodenparametern (z. B. pH-Wert) mobil werden und somit eine Gefährdung des Grundwassers bzw. des Pflanzenbewuchses bewirken?
- Wie verhalten sich die langlebigen Altlasten früher verwendeter Schädlingsbekämpfungsmittel aus der Gruppe der chlorierten Kohlenwasserstoffe (DDT)?
⇒ Abbau, Stagnation oder Tiefenverlagerung.
- Wie lange werden Atrazinrückstände im Boden feststellbar sein?
- Wie ist das Langzeitverhalten der krebserregenden PAH's im Boden?
- In welchen Gegenden kann es langfristig gesehen zu einer Nährstoffverarmung der Böden kommen?
- Wie schnell regenerieren sich überdüngte Böden?

Vorgangsweise:

Ausgehend von einer Basisuntersuchung (Erstprobennahme und Wiederholungsuntersuchung im Folgejahr) werden alle Standorte in 10-jährigen Abständen kontrolliert.

Der Abstand von 10 Jahren ist für die meisten Schadstoffe im Boden ausreichend, sodass bereits nach 2-3 Untersuchungsdekaden Trends ausreichend dokumentiert und erkennbar sein müssen.

Im folgenden werden nun die ersten Zwischenergebnisse der Zehn-Jahreskontrolle der Nichttrasterstandorte, welche in den Jahren 1986 bis 1989 eingerichtet wurden, diskutiert.

Von den ursprünglich 119 untersuchten Standorten waren nach zehn Jahren nur mehr 109 Punkte einer Wiederholungsuntersuchung zugänglich.

Die ausgefallenen 10 Standorte haben die Bezeichnung:

LEI 1, FUE 8, KNI 1, 2, 8 + 10, BRU 1, LIE 3, VOI 6 und IND 11.

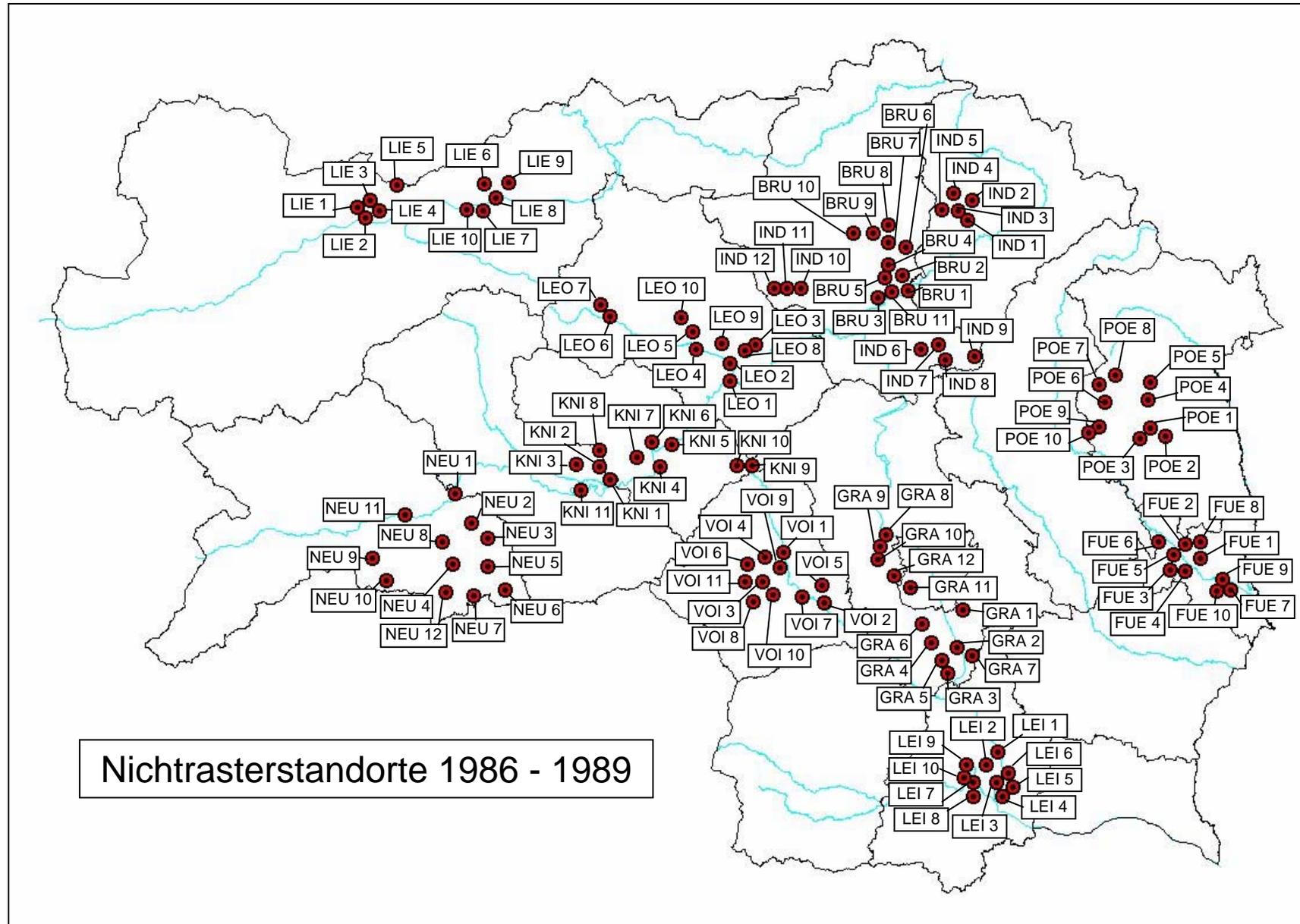
Die Tatsache, dass in nur zehn Jahren 8,4 % der Untersuchungsstandorte ausgefallen sind, spiegelt den raschen Verlust an landwirtschaftlicher Nutzfläche durch Verbauung und Aufforstung wieder.

Die nachstehende Tabelle zeigt, in welchen Jahren die Probennahmen an den Nicht-rasterstandorten durchgeführt wurden:

Basis-Untersuchung		Zehn-Jahres-kontrolle	Standorte
1. Jahr	2. Jahr		
1986	1987	1996	LEI 1-10, FUE 1-10, KNI 1-10, BRU 1- 10, LIE 1-10, VOI 1-10
1987	1988	1997	IND 1-12
1988	1989	1998	POE 1-10, NEU 1-11
1989	1990	1999	GRA 1-12, LEO 1-10, NEU 12, VOI 11, KNI 11, BRU 11

Bei der Erstbeprobung wurden an jedem Untersuchungsstandort mehrere (meist 3) Bodenhorizonte untersucht, bei der Wiederholungsbeprobung im Folgejahr zumindest der Oberboden. Im Rahmen der 10-Jahreskontrolle wurde prinzipiell nur der Oberboden untersucht, an Standorten mit Grenzwertüberschreitungen in den unteren Bodenschichten jedoch auch diese.

Die ungefähre Lage der Standorte ist der folgenden Übersichtskarte zu entnehmen (aus Gründen der Darstellbarkeit wurde die Position zu nah beieinander liegender Punkte leicht verändert):



Grundlagen für die Ergebnisinterpretation:

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen der Basisuntersuchung und der Kontrolle nach zehn Jahren führt nur dann zu verwertbaren Aussagen, wenn Probenahme- und Analysebedingungen in Einklang gebracht werden und die Untersuchungsergebnisse fachkundig interpretiert werden.

Grundlage für eine vergleichende Beurteilung muss ein statistisches Rechenmodell sein, welches mit ausreichender Sicherheit in der Lage ist, echte Veränderungen in den Bodengehalten vom Analysenfehler zu differenzieren.

Als **Analysenfehler** wird hier die Summe aller möglichen Fehlerquellen von der Probenahme über die Aufarbeitung und Messung bis zum in einer Datei gespeicherten Wert verstanden. Details zu diesem Thema wurden bereits im Bodenschutzbericht 1998, Seiten 26-30, besprochen. Die dort angeführten Analysenfehler sind jedoch nur für die im Bericht 1998 präsentierten Rasterstandorte gültig. Für die Interpretation der 10-Jahreskontrollen müssen aktuelle - der damaligen Untersuchungsmethodik angepasste - Analysenfehler berechnet werden. Sie sind aus folgenden Gründen meist höher:

- Die **Probennahme** erfolgte in den Anfangsjahren nur an den Seitenwänden einer Profilgrube. Erst mit Beginn der Rasteruntersuchungen 1990 wurde auf Grund der Empfehlungen des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft zur Vereinheitlichung von Bodenzustandsinventuren in Österreich auf eine Probenwerbung an vier Profilgruben umgestellt. Dadurch werden Bodeninhomogenitäten besser korrigiert. Wie groß der Einfluss der inhomogenen Verteilung der Bodeninhaltsstoffe auf den Analysenfehler ist, wird in diesem Bericht bei der Besprechung des Projektes über die lokale Variabilität der Untersuchungsparameter dargestellt.
- Eine weitere Änderung betrifft die Umstellung der Probennahme von genetischen Horizonten auf fixe **Tiefenstufen**. In den ersten drei Jahren der Untersuchungen der Nicht rasterstandorte erfolgte die Probennahme nach den natürlichen, genetischen Bodenhorizonten. Diese Methode kann nur unter Anleitung eines Bodenkundlers durchgeführt werden. Außerdem ergäbe sich bei der Herstellung einer Mischprobe aus vier Einzelproben das Problem, dass bei Schwankungen der Mächtigkeit der Horizonte Teilproben aus verschiedenen Tiefen zusammengemischt werden müssen. Die seit 1989 angewandte Probenwerbung nach fixen Tiefenstufen hingegen ist von jedermann durchführbar und bei umweltthematischen Fragestellungen aussagekräftiger.
- Weitere Probleme haben sich durch anfängliche Ungenauigkeiten bei der **Vermessung** der Standorte im Gelände ergeben. Seit 1990 werden Metallmarken und magnetische Markierungen verwendet, sowie Dokumentarfotos der Standorte angefertigt, was die Wiederauffindbarkeit deutlich verbessert hat.
- Fortschritte gab es natürlich auch in der **Analysentechnik**, sodass die Messgenauigkeit im Labor im Laufe der Jahre besser wurde.
- Eine deutliche Verbesserung in der Fehlervermeidung gegenüber den Anfangsjahren konnte durch den vermehrten Einsatz von **computerunterstützten Arbeitsschritten** erzielt werden. Die Anwendung der EDV reicht dabei von der On-

line-Datenübernahme, über selbsterstellte Anwender-orientierte Programme bis zur Datenverwaltung.

All diese Einflussfaktoren auf die Qualität der Untersuchungsergebnisse sind Teil eines Lern- und Entwicklungsprozesses, welcher bei langfristigen Untersuchungsprogrammen unvermeidlich ist.

Die nachstehende Tabelle zeigt die aktuellen Analysenfehler im Vergleich zu jenen der Rasteruntersuchungen des Bodenschutzberichtes 1998 (Seite 30):

Analysenfehler der Untersuchungsparameter: **Absolutwerte** für niedrige und mittlere Gehalte.

Parameter	Einheit	Analysenfehler (Raster 1990-98)	Analysenfehler (Nichtraster 1986-89)
Humus	%	0,57	0,71
P2O5	mg/100g	2,83	4,24
K2O	mg/100g	4,24	4,24
pH-Wert	---	0,14	0,28
CaCO ₃ > 0	%	0,14	0,57
CaKat	mg/100g	22,63	50,91
MgKat	mg/100g	3,39	3,39
KKat	mg/100g	3,54	4,10
NaKat	mg/100g	0,28	0,42
Mg	mg/100g	1,41	2,83
Bor	mg/kg	0,14	0,28
EDTA-Cu	mg/kg	0,71	0,99
EDTA-Zn	mg/kg	1,56	1,70
EDTA-Mn	mg/kg	31,11	56,57
EDTA-Fe	mg/kg	103,24	125,87
Fluor	mg/kg	0,11	0,21
Cu	mg/kg	3,25	2,69
Zn	mg/kg	6,93	15,27
Pb	mg/kg	2,69	5,66
Cr	mg/kg	4,81	4,95
Ni	mg/kg	2,55	3,54
Co	mg/kg	1,27	1,56
Mo	mg/kg	0,08	0,23
Cd	mg/kg	0,03	0,08
Hg	mg/kg	0,03	0,03
As	mg/kg	1,27	2,55
PAH-Summe	µg/kg	15,56	24,04
DDT > 10	µg/kg	14,85	21,21

Dieser Analysenfehler ist auf Grund seiner Berechnungsweise nur bei Werten in der Größenordnung des durchschnittlichen Gehaltes jedes Parameters gültig. Bei hohen Werten liegt er natürlich prozentuell gesehen höher. Bei niedrigen Gehalten steigt

der analytische Messfehler üblicherweise ohnedies an, sodass der absolute Analysenfehler besser die zu erwartenden Schwankungen wiedergibt als der prozentuelle.

Analysenfehler der Untersuchungsparameter: Prozentuelle Werte für hohe Gehalte.

Parameter	Analysenfehler in % (Raster 1990-98)	Analysenfehler in % (Nichtraster 1986-89)
Humus	11	18
P2O5	51	53
K2O	24	30
pH-Wert	3	5
CaCO3 > 0	140	143
CaKat	9	27
MgKat	14	19
KKat	28	43
NaKat	24	53
Mg	9	19
Bor	47	70
EDTA-Cu	14	19
EDTA-Zn	24	30
EDTA-Mn	11	21
EDTA-Fe	20	23
Fluor	22	29
Cu	13	10
Zn	7	19
Pb	11	19
Cr	12	13
Ni	9	13
Co	10	11
Mo	10	23
Cd	13	28
Hg	25	20
As	11	20
PAH-Summe	34	40
DDT > 10	47	40

Bei allen Vergleichen zwischen Basisuntersuchung und 10-Jahreskontrolle wurden sowohl der absolute, als auch der prozentuelle Analysenfehler der beiden Tabellen (Nichtraster) herangezogen.

Alle Gehaltsangaben verstehen sich in der Form: **Wert ± Analysenfehler**

Kriterien für statistisch sichere Veränderungen der Bodenparameter:

- Beide Untersuchungsergebnisse der Basisuntersuchung müssen sich um mehr als den doppelten Analysenfehler (absolut und prozentuell) vom Wert der 10-Jahreskontrolle unterscheiden.
- Ist dies der Fall, so werden die Proben der Basisuntersuchung und der Zehn-Jahreskontrolle nochmals untersucht und ihre Ergebnisse verifiziert.
- Ergeben sich dabei Hinweise auf einen positiven oder negativen Trend der betrachteten Bodenparameter, so wird noch der Einfluss aus einer eventuell geänderten Entnahmetiefe der Proben berücksichtigt.
- Zu beachten ist in einigen Grenzfällen auch die pH-Abhängigkeit der Untersuchungsmethoden bei der Bestimmung des pflanzenverfügbaren Kaliums, Phosphats (DL- und CAL-Methode) und der austauschbaren Kationen (Extraktion mit gepufferter oder ungepufferter BaCl₂-Lösung). Sinnvolle Vergleiche sind hier nur bei gleicher Untersuchungsmethodik zu erwarten.

Erst Bodengehalte, welche sich hinsichtlich all dieser Kriterien als stabil erweisen, werden als gesicherte Bodenveränderungen angesehen !

Primär wurden zur Feststellung von Trends nur die Oberböden herangezogen, bei den Schwermetallen und beim wasserlöslichen Fluor jedoch wurden auch die fallweise untersuchten Unterböden in die Beurteilung miteinbezogen.

Änderungen in der Beurteilung von Bodengehalten hinsichtlich Richtwerten, Belastungsklassen oder anderen Bewertungskategorien (Nährstoffe laut „Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft) passieren unabhängig von statistischen Sicherheitsabständen. Oft genügt eine vernachlässigbar minimale Gehaltsschwankung um eine andere Beurteilung zu erwirken. Derartige Grenzfälle können nur durch eine fachkundige Beurteilung der Analysenwerte ins rechte Licht gerückt werden.

Bei der folgenden Detailbesprechung der Ergebnisse werden beide Varianten von Bodenveränderungen (statistisch abgesicherte Gehaltsänderungen und Grenzfälle, welche sich rein aus der durch geringfügige Schwankungen verursachten Neubewertung ergeben) diskutiert.



Allgemeine Bodenparameter und Nährstoffe:

Sand, Schluff, Ton:

Die Bestimmung dieser drei Korngrößenfraktionen erfolgt laut Bodenschutzprogramm-Verordnung nur im Erstbeprobungsjahr, sodass bisher keine Bestimmung des Analysenfehlers der Untersuchungsparameter möglich war. Im Zuge der Zehn-Jahreskontrollen wurden jedoch zumindest die Gehalte der Oberböden kontrolliert, sodass diese Werte zur Bestimmung der Analysenschwankungen herangezogen werden konnten. Eine Änderung dieser sehr stabilen allgemeinen Bodenparameter ist nach zehn Jahren nicht zu erwarten.

Analysenfehler der Untersuchungsparameter:

Korngrößen	Sand	Schluff	Ton
Absoluter Analysenfehler (in % des Feinbodens)	4,24	5,66	4,24
Prozentueller Analysenfehler	13	11	35
Mittelwerte (%) im Oberboden (Nichtrasterstandorte)	34	52	12

Wie eingangs besprochen, ist der absolute Analysenfehler ungefähr bis zu den Mittelwerten der einzelnen Parameter sinnvoll anwendbar, bei höheren Gehalten ist die prozentuelle Schwankungsbreite realistischer.

Der wichtigste Parameter der Korngrößenverteilung ist der Anteil der Tonfraktion. Er bestimmt maßgeblich das Rückhaltevermögen des Bodens für Nähr- und Schadstoffe, den Wasserhaushalt und die **Bodenschwere**. Auch die Klassifizierung der Parameter Humus, pH-Wert und der pflanzenverfügbaren Anteile an Kalium, Magnesium und Bor erfolgt in Abhängigkeit des Tongehaltes des Bodens.

Beim Vergleich des Tonanteils zwischen Basisuntersuchung und 10-Jahreskontrolle zeigt sich an etwa einem Drittel der Standorte eine Änderung der Bodenschwere. Ursache sind meist geringfügige analytische Schwankungen bei der Bestimmung der Korngrößenverteilung und der anschließenden Zuordnung zu den drei Bewertungsklassen (leichter, mittlerer und schwerer Boden).

Fallweise bewirken diese Änderungen auch eine andere Bewertung bei den von der Bodenschwere abhängigen allgemeinen Bodenparametern und Nährstoffen.

Auch bei der Bewertung der **Verdichtungsgefährdung** der Böden wird neben der landwirtschaftlichen Nutzung die Bodenschwere zur Beurteilung herangezogen. Durch die Neubewertung bei der 10-Jahreskontrolle ergibt sich an 20 Standorten eine höhere und bei 3 Punkten eine niedrigere Verdichtungsgefährdung als ursprünglich bei der Basisuntersuchung angenommen.

Humus:

Der Humusgehalt ist definiert als die Summe der abgestorbenen organischen Materie im Boden. Er nimmt mit zunehmender Tiefe rasch ab. Diese Tatsache kann bei vergleichenden Untersuchungen mit unterschiedlichen Probennahmetiefen zu Fehlinterpretationen führen und muss daher unbedingt beachtet werden.

Aus den Untersuchungsergebnissen der 392 Rasterstandorte in der Steiermark wurde bei unterschiedlicher Nutzung folgende Tiefenabhängigkeit festgestellt:

Humusgehalt des Bodens in % nach Nutzung und Tiefe: Medianwerte

Tiefe	Grünland	Hochalm	Sonderkultur	Tiefe	Acker
0 - 5 cm:	6,45	18,67	4,05	0 - 20 cm:	2,65
5 - 20 cm:	3,00	8,20	2,00	20 - 50 cm:	1,20
20 - 50 cm:	1,30	4,20	0,90	50 - 70 cm:	0,60

An den Waldstandorten **GRA 8 + 9** und **VOI 11** weisen die Bodenproben der Zehn-Jahreskontrolle trotz gleicher Entnahmetiefen deutlich niedrigere Humusgehalte auf als in den beiden ersten Untersuchungsjahren.

Ursache dürfte aber keine Humusabnahme sein, sondern die im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Flächen ungleich schwierigere Probennahme. Eine Trennung des Bodens von organischem Material (Moder, Mull, etc.) ist je nach Durchfeuchtung besser oder schlechter durchführbar. Und manchmal verleitet ein erhöhter Feinmodgehalt zu einer falschen Horizontierung, sodass die Entnahme des obersten Bodenhorizontes zu tief angetragen wird.

Bei Waldstandorten ist daher generell bei allen Untersuchungsparametern mit größeren Streuungen zu rechnen.

Beim **Humusgehalt der Böden** konnten bei der 10-Jahreskontrolle der Nicht-rasterstandorte gegenüber der Basisuntersuchung keine statistisch signifikanten Veränderungen festgestellt werden.

An drei Ackerstandorten (**FUE 5 + 7** und **GRA 12**) ist gegenüber der Basisuntersuchung eine Verbesserung hinsichtlich des anzustrebenden Humusgehaltes („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft) festzustellen. Verschlechterungen gab es keine.

pH-Wert:

Der pH-Wert oder Säuregrad des Bodens zeigt keine generell gültige Abhängigkeit zur Probennahmetiefe. Er korreliert aber eng mit dem Kalkgehalt. So ist auch der Anstieg des pH-Wertes am Ackerstandort **LEO 4** auf eine Kalkung zurückzuführen. An diesem Standort ist der pH-Wert von 5,6 bzw. 5,9 in den Jahren 1989 und 1990 auf 6,5 (1996) angehoben worden. Der Kalkgehalt ist im selben Zeitraum von Gehalten kleiner als 0,5 auf 1,1 % angestiegen.

Statistisch gesicherte Hinweise auf eine eventuell zunehmende großflächige **Bodenversauerung** konnten nicht festgestellt werden.

Hinsichtlich des anzustrebenden Säuregrades („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft) sind im Vergleich zur Basisuntersuchung an 6 Standorten Verbesserungen (Erhöhungen des pH-Wertes) festzustellen. An 16 Untersuchungsstellen ist der pH-Wert gesunken, wobei in 10 Fällen jedoch die Änderung nur vom basischen Bereich hin zum anzustrebenden Optimalbereich erfolgte. Bei den restlichen 6 Böden, wo im Zuge der Zehn-Jahreskontrollen ein Absinken in den sauren Bereich festgestellt wurde, ist meist eine andere Bewertung der Bodenschwere und/oder eine geänderte Probennahmetiefe schuld an der Beurteilungsänderung. Nur an den beiden Ackerböden **VOI 10** und **POE 9** sind neue Bodenversauerungen innerhalb der letzten zehn Jahre festzustellen. Hier ist als bodenverbessernde Maßnahme eine Kalkung notwendig.

Kalk (berechnet als CaCO₃)

Wegen des großen Analysenfehlers dieses Parameters von (absolut) $\pm 0,57\%$ sind keine statistisch sicheren Veränderungen im Boden festzustellen.

Ursache dieser Schwankungen sind aber meist nicht - wie man annehmen könnte - Kalkungsmaßnahmen, sondern geogene Bodeninhomogenitäten. Wie sich bei den Untersuchungsergebnissen des Projektes zur monatlichen und lokalen Variabilität herausstellte, findet man auch im von anthropogenen Maßnahmen unbeeinflussten Unterboden Schwankungen von 0 - 0,4 % im Kalkgehalt. In diesem Gehaltsbereich liegen rund 70 % der untersuchten Nichttrasterstandorte.

Die derzeit üblichen fünf Bewertungsklassen des Kalkgehaltes („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft) erscheinen in diesem Sinne zu stark differenziert und sollten zu folgenden drei Klassen vereinfacht werden:

Kalkgehalt in %	Kalkgehalt (derzeit)	Vorschlag für neue Klassifizierung
0	kein	weitestgehend kalkfrei
0 - 0.5	niedrig	
0.6 - 1.5	mittel	mittlerer Kalkgehalt
1.6 - 5.0	hoch	stark kalkhaltig
über 5.0	sehr hoch	

Betrachtet man jene Standorte, wo sich nach zehn Jahren die Bewertungsklasse hin zu niedrigeren Gehalten geändert hat (Verdacht auf Bodenversauerung), so fällt vor allem der Standort **VOI 4** auf. Hier ist der Kalkgehalt von 0,8 auf 0,1 % abgesunken. Da aber der pH-Wert des Bodens in Ordnung ist, ist derzeit noch keine Kalkung notwendig. Eine genauere Abklärung im Sinne einer Düngeuntersuchung mit entsprechender flächenhafter Probennahme ist jedoch anzuraten.

Phosphor / Phosphat (berechnet als P₂O₅):

Wie im Bodenschutzbericht 1998 gezeigt, liegen die Phosphorgehalte in der Steiermark generell niedrig. Überdüngungen sind sehr selten. Rund 70 % der untersuchten Rasterstandorte liegen in den beiden niedrigsten von fünf Gehaltsstufen.

Bei der 10-Jahreskontrolle der Nicht rasterstandorte wurden wegen der relativ hohen Schwankungsbreite des Untersuchungsparameters keine statistisch sicheren Trends festgestellt.

Unabhängig davon kommt es in Grenzfällen schon durch minimale Gehaltsänderungen zu einer Änderung in der Gehaltsstufe („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft), was unter Umständen die Düngemaßnahmen beeinflusst.

Betrachtet man jene Standorte, wo sich nach zehn Jahren die Zuordnung zur Gehaltsstufe geändert hat, so sind bei den markantesten und nicht durch Tiefeneffekte (geänderte Probennahmetiefe) verursachten Gehaltsänderungen nur Abnahmen zu beobachten (BRU 8+11, LIE 10, VOI 4+11, POE 5+7, NEU 4+7, GRA 11 und KNI 11).

Insgesamt gesehen hat die Zahl der mit Phosphor überversorgten Flächen in den letzten zehn Jahren von 18 % auf 11 % abgenommen. Die Anzahl der nährstoffarmen Standorte hat von 60 % auf 66 % zugenommen.

Die Änderungen der Phosphorgehalte sind zwar derzeit nicht statistisch signifikant, eine Tendenz zu einer **Nährstoffverarmung** ist aber dennoch erkennbar.

Genauere Aussagen sind vermutlich erst nach der nächsten Untersuchungsdekade (2006 – 2009) möglich.

Kalium (berechnet als K₂O):

Im Vergleich zum Phosphor ist die Nährstoffversorgung der Böden mit Kalium deutlich höher. Von den 392 Rasterstandorten der Steiermark liegen nur rund 20 % in den beiden niedrigsten von fünf Gehaltsstufen. Fast ein Drittel der Standorte liegt in den beiden oberen Gehaltsklassen. Überdüngungen sind beim Kalium also häufiger anzutreffen als beim Phosphor.

Da der Untersuchungsparameter Kalium eine starke Tiefenabhängigkeit aufweist, ist bei den Auswertungen der 10-Jahreskontrolle großes Augenmerk auf vergleichbare Probennahmetiefen zu legen.

Aus den Untersuchungsergebnissen der 392 Rasterstandorte in der Steiermark wurde bei unterschiedlicher Nutzung folgende Tiefenabhängigkeit festgestellt:

Kaliumgehalt des Bodens in mg K₂O pro 100g Boden nach Nutzung und Tiefe: Medianwerte

Tiefe	Grünland	Hochalm	Sonderkultur	Tiefe	Acker
0 - 5 cm:	15,0	18,8	38,5	0 - 20 cm:	19,0
5 - 20 cm:	6,0	5,0	17,0	20 - 50 cm:	9,0
20 - 50 cm:	5,0	3,0	11,0	50 - 70 cm:	6,5

Die Auswertungen der 10-Jahreskontrolle zeigen bei den Standorten **FUE 9**, **KNI 5** und **LEO 7** signifikante Zunahmen und am Standort **LEO 3** eine deutliche Abnahme des Kaliumgehaltes im Boden. Dabei liegen die Standorte LEO 3 und 7 derzeit in der mittleren Gehaltsklasse - sind also optimal versorgt. Die Standorte FUE 9 und KNI 5 befinden sich in den oberen beiden Gehaltsstufen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei den Kaliumgehalten der landwirtschaftlichen Nutzflächen eher **Überdüngungen** festzustellen sind, als dies beim Phosphor der Fall ist. Ein Trend zu einer noch stärkeren Überversorgung mit Kalium in den letzten zehn Jahren ist aber nicht zu erkennen.

Im Vergleich zwischen der Basisuntersuchung und der 10-Jahreskontrolle zeigt sich hinsichtlich der fünf Gehaltsstufen („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft), dass ursprünglich etwa 34 % der Standorte in den oberen beiden Bewertungsklassen waren und 39 % im nährstoffarmen Bereich.

Zehn Jahre später sind etwa 30 % der Standorte in den oberen beiden Bewertungsklassen und 41 % im nährstoffarmen Bereich. Es lassen sich also auch aus dieser Betrachtungsweise heraus keine gravierenden Änderungen erkennen. Im Detail sind in Bezug auf die Basisuntersuchung 20 Standorte einer höheren und 29 Punkte einer niedrigeren Bewertungsklasse zuzuordnen. Neben Änderungen in der Bewertung der Bodenschwere und Tiefeneffekten durch unterschiedliche Probennahmen ist gegenüber der Basisuntersuchung an 8 neuen Flächen eine Überdüngung feststellbar. Alle Grundstücksbesitzer bzw. Pächter werden von den Untersuchungsergebnissen informiert und haben so die Möglichkeit ihre Düngemaßnahmen zu ändern.

Magnesium (Mg):

Die Versorgung der steirischen Böden mit diesem Nährstoff ist generell sehr gut und liegt überwiegend in den oberen Gehaltsbereichen.

Bei der 10-Jahreskontrolle wurden **keine** statistisch signifikanten Änderungen der Magnesiumgehalte im Boden festgestellt.

Änderungen in der Zuordnung zu den Gehaltsstufen („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft):

An 21 Standorten hat sich in Bezug auf die Basisuntersuchung die Gehaltsstufe geändert. Mögliche Ursachen sind:

- Änderung in der Zuordnung der Bodenschwere
- Geänderte Probennahmetiefen
- Düngemaßnahmen
- Ackerung tiefer als 20 cm (Verdünnung oder Anreicherung des Oberbodens mit Material aus tieferen Bodenschichten)
- Emissionsbedingter Eintrag
- Analysenfehler

Insbesondere der natürliche Analysenfehler bei der Bestimmung des Magnesiumgehaltes von ca. ± 3 mg/kg bewirkt oft eine Neuordnung in den Gehaltsstufen, ohne dass sich eine reale Änderung des Gehaltes ereignet hätte.

Hier wäre es notwendig die Anzahl der Gehaltsstufen von derzeit fünf auf drei zu reduzieren, damit ein ausgewogeneres Verhältnis der Gehaltsbereiche zum unvermeidlichen Analysenfehler entsteht.

Bor (B):

Die Versorgung der steirischen Böden mit diesem Nährstoff ist generell gesehen in Ordnung und liegt überwiegend im mittleren Gehaltsbereich.

Bei der 10-Jahreskontrolle wurden **keine** statistisch signifikanten Änderungen der Borgehalte im Boden festgestellt.

Änderungen in der Zuordnung zu den Gehaltsstufen („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft):

An 7 Standorten hat sich in Bezug auf die Basisuntersuchung die Gehaltsstufe geändert. Mögliche Ursachen sind:

- Änderung in der Zuordnung der Bodenschwere
- Geänderte Probennahmetiefen
- Analysenfehler

Auch hier hat ähnlich wie beim Magnesium der Analysenfehler großen Einfluss auf die Zuordnung zu den Gehaltsstufen, die Auswirkungen sind aber, da es beim Bor nur drei Gehaltsbereiche gibt, nicht so deutlich.

Die EDTA-extrahierbaren Spurenelemente Kupfer, Zink, Mangan und Eisen:

Am Waldstandort **NEU 12** wurde eine signifikante Abnahme des Gehaltes an pflanzenverfügbarem **Mangan** im Oberboden festgestellt.

EDTA-extrahierbares Mangan in mg/kg: Waldstandort NEU 12

NEU 12	1989	1990	1999
0-5 cm	469	593	195
5-20 cm	189	---	111
20-50 cm	253	---	212

Die Ursache dieser Nährstoffverarmung ist derzeit noch ungeklärt. Als eine mögliche Erklärung (neben einem erhöhten Analysenfehler) wurde eine zunehmende Bodenversauerung angenommen, welche aber derzeit nicht schlüssig nachzuweisen ist. Der pH-Wert des Oberbodens hat in den 3 Untersuchungsjahren von 4,7 und 4,5 bei der Basisuntersuchung nur geringfügig auf 4,3 (1999) abgenommen. Diese Werte liegen zwar alle im sauren Bereich, sind aber für Waldstandorte durchaus üblich. Die pH-Werte der bisher untersuchten Waldstandorte liegen zwischen 3,3 und 4,8 im Oberboden (Medianwert: 3,7).

Ebenfalls statistisch abgesicherte Zunahmen der Gehalte an EDTA-extrahierbarem **Zink** an den Standorten FUE 3, KNI 9, BRU 10, LIE 5 und IND 5 könnten mit einem anthropogenen Eintrag dieses Elementes in Zusammenhang gebracht werden, sind aber wegen der geänderten Probennahmetiefen derzeit nicht eindeutig zu verifizieren.

Genauere Aussagen sind vermutlich erst nach der nächsten Untersuchungsdekade (2006 – 2009) möglich.

Bei den Elementen **Kupfer** und **Eisen** wurden keine Trends festgestellt.

Außer einer Abnahme des Mangangehaltes am Waldstandort NEU 12 sind bei den Spurenelementen Kupfer, Zink, Mangan und Eisen derzeit **keine** eindeutigen Veränderungen in den Bodengehalten feststellbar.

Fallweise Änderungen in der Zuordnung zu den drei Gehaltsstufen der Spurenelemente („Richtlinien für sachgerechte Düngung“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft) sind meist Folgen von geänderten Probennahmetiefen und/oder dem Analysenfehler. Die Änderungen sind aber von untergeordneter Bedeutung und wurden daher nicht explizit ausgewertet.

Die austauschbaren Kationen Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium:

Nur am Waldstandort **NEU 9** konnte ein eindeutiger Trend zu einer höheren Kationen-Austauschkapazität (vergleiche Bodenschutzbericht 1998, Seite 59) in allen Bodenschichten festgestellt werden. Dies betrifft vor allem die gesteigerten Werte an austauschbarem Kalzium und Magnesium. Die Ursache dieser für die Nährstoffversorgung des Bodens positiven Entwicklung ist unbekannt.

Außer einer Zunahme der Kationenaustauschkapazität am Waldstandort NEU 9 wurden **keine** Veränderungen im Bodenzustand festgestellt.

Fallweise Änderungen in der Zuordnung zu den drei Gehaltsklassen der Summe der austauschbaren Kationen (Bodenschutzbericht 1998, Seite 59 ff) sind meist Folgen von geänderten Probennahmetiefen und/oder dem Analysenfehler. Die Änderungen sind aber von untergeordneter Bedeutung und wurden daher nicht explizit ausgewertet.

Das wasserlösliche Fluor (F):

Wenn signifikante Bodenveränderungen bei diesem Element festzustellen sind, dann nur in Form von Gehaltszunahmen. Bei 5 Standorten (FUE 9, VOI 5, GRA 1, KNI 11 und BRU 11) waren Erhöhungen im Oberboden festzustellen, beim Standort IND 3 ist der positive Trend nur im zweiten Horizont (5-20 cm) statistisch signifikant.

Als Ursachen werden derzeit zwei Möglichkeiten in Betracht gezogen:

- Eintrag über Verunreinigungen in Düngemitteln
- Industrielle Staubimmissionen

Die Herkunft des wasserlöslichen Fluor am Waldstandort **KNI 11** ist praktisch nur durch Einträge über den Luftpfad denkbar, doch werden bei Waldböden auch oft starke Schwankungen der Untersuchungsergebnisse beobachtet. Diese sind wahrscheinlich auf analytische Probleme wegen des hohen Humusgehaltes und die schwierigere Probenahme zurückzuführen. Bei dieser Problemstellung ist der aktuelle Datenpool einfach zu klein und es müssen die Ergebnisse weiterer Untersuchungen abgewartet werden.

An den Ackerstandorten **FUE 9, VOI 5, GRA 1** und **BRU 11** sind Düngemaßnahmen als Hauptursache der Fluorzunahmen anzunehmen.

An der Untersuchungsstelle **IND 3** ist als Verursacher die **Staubbelastung** durch das **Veitscher Magnesitwerk** anzunehmen. Besonders auffallend sind dort die sehr hohen Fluorgehalte in den unteren Bodenschichten (als noch normale Bodengehalte gelten Werte bis 1,2 mg/kg Fluor). Die eingetragenen Fluorverbindungen sind offenbar besonders gut wasserlöslich.

Die Bodengehalte an wasserlöslichem Fluor (mg/kg) an Standort IND 3 betragen:

IND 3	1987	1988	1997
0-3/5 cm	1,04	1,33	1,65
3/5-20 cm	2,46	4,42	9,25
20-70/50 cm	8,82	---	12,09

Negative Auswirkungen (z. B. Pflanzenschädigungen durch Fluorosen) von erhöhten Fluorgehalten in diesem Konzentrationsbereich sind derzeit nicht bekannt. Beim Menschen gilt Fluor prinzipiell als essentielles Spurenelement.

Im Boden wird daher derzeit der Gehalt an wasserlöslichem Fluor nur als zusätzlicher Indikator für andere Umweltbelastungen verwendet.



Schwermetalle:

Beim Versuch Veränderungen der Bodengehalte zwischen der Basisuntersuchung und der Kontrolle nach zehn Jahren festzustellen, ist es meist sehr schwer Effekte durch die teilweise geänderte Probennahmetiefe und Einflüsse aus kleinräumigen Verzerrungen von echten zeitlichen Trends zu unterscheiden.

Insbesondere weil der Datenpool nach nur einer Untersuchungsdekade zu klein ist und derzeit bestenfalls einen Hinweis auf mögliche Trends zulässt. Erst nach zwei bis drei Kontrollperioden sind fundiertere Ergebnisse über eventuelle Veränderungen derartig langlebiger Schadstoffe, wie die Gruppe der Schwermetalle, zu erwarten.

Unter diesen Einschränkungen konnten derzeit in den Oberböden der kontrollierten Standorte folgende Veränderungen festgestellt werden:

Gehaltsabnahmen:

BRU 10: Co
 VOI 4: Cu, Co
 NEU 5: Cu
 GRA 8: Mo
 GRA 9: Mo, Hg
 GRA 10: Cu, Zn
 VOI 11: Cd, Hg

Gehaltszunahmen:

BRU 6: Cr
 LIE 10: Cu

Auch bei einigen der untersuchten Unterböden wurden Gehaltsänderungen festgestellt.

Eine Deutung der beobachteten Effekte ist beim derzeitigen geringen Wissensstand über mittelfristige Bodenveränderungen nur spekulativ möglich. Neben einer erhöhten Bodeninhomogenität könnten Auswaschungen, Tiefenverlagerungen oder biogene Transportvorgänge genauso als Ursache herangezogen werden, wie immissionsbedingte Umwelteinflüsse. Wie jedoch im Projekt über die zeitlichen und kleinräumigen Variabilitäten erkannt wurde, sind Bodeninhomogenitäten als die wahrscheinlichste Variante anzunehmen.

Aus heutiger Sicht handelt es sich bei den festgestellten Veränderungen der Schwermetallgehalte im Boden um kleinräumige, naturgegebene Schwankungen und nicht um zeitliche Trends.

Die Untersuchung von Pflanzenproben an Standorten mit überhöhten Schwermetallgehalten (§ 3 der Bodenschutzprogramm-Verordnung)

Es wurden insgesamt 220 Pflanzenproben von 51 Standorten auf jene Schwermetalle untersucht, bei denen die Grenzwerte bzw. der Arsen-Richtwert im Boden überschritten werden.

Etwa vier Fünftel der Pflanzenuntersuchungen erfolgte wegen Überschreitungen des Arsen-Richtwertes von 20 ppm. Eine Aufnahme des Schadstoffes vom Boden in die Pflanzen ist wegen der geringen Mobilisierbarkeit des **Arsen** vernachlässigbar gering.

Die Tatsache, dass in etwa 10 % der untersuchten Pflanzen trotzdem Arsengehalte über dem als „normal“ angesehenen Bereich von 0,1 - 1 ppm Arsen in der Trockensubstanz gefunden wurden, ist höchstwahrscheinlich auf eine Kontamination des Pflanzenmaterials mit Bodenpartikeln zurückzuführen. Wiederholungsuntersuchungen - welche normale Pflanzengehalte aufweisen - erhärten diese Annahme.

Standorte mit Grenzwertüberschreitungen bei den übrigen Schwermetallen sind:

Standort	Grenzwertüberschreitung
LEI 4	Ni
LEI 9	Cu
FUE 3	Ni
FUE 10	Ni
BRU 10	Ni
VOI 4	Cr, Ni
VOI 7	Ni
IND 7	Ni
IND 8	Cr, Ni, Co, Hg
NEU 1	Pb
NEU 5	Cr, Ni
NEU 6	Ni
NEU 9	Cr, Ni
NEU 10	Cr, Ni
GRA 8	Pb
GRA 10	Zn, Pb
LEO 8	Pb

Die Schwermetallgehalte in den Pflanzen dieser Standorte weisen vor allem beim **Chrom** und **Nickel** fallweise höhere Werte als normal auf. Dies betrifft die beiden Standorte **NEU 5** und **NEU 10**, an denen ein Schadstofftransfer vom Boden in die Pflanze angenommen wird. Die Herkunft der Schwermetalle ist geogen bedingt. Futtermittel-Richtwerte existieren nicht.

Am von der Magnesitindustrie in der Breitenau beeinflussten Standort **IND 8** ist vor allem das Element Chrom in den untersuchten Grasproben erhöht. Vergleiche zwi-

schen alten und frischen Grasproben zeigen, dass der Eintrag über Staubimmissionen noch immer andauert. Gleiches gilt für das Veitscher Magnesitwerk.

Bei den in Pflanzen nur fallweise untersuchten Schwermetallen **Kupfer**, **Zink**, **Blei**, **Kobalt** und **Quecksilber** gibt es kaum auffällige Belastungen. Ausnahme sind die Bleigehalte der Fichtennadeln am Waldstandort **LEO 8**, welche wegen der Emissionen aus der Eisenindustrie in Donawitz erhöht sind.

Untersuchungen über Pflanzengehalte von **Cadmium** und **Molybdän** wurden nicht durchgeführt. Grund ist die Tatsache, dass hier auf Grund zu niedriger Grenzwerte keine Bodenbelastungen erkannt werden. Doch gerade diese beide Schadstoffe (und natürlich auch Blei und Quecksilber) sind wegen ihrer Umweltrelevanz besonders interessant.

Um dieser auf Grund der derzeitigen Gesetzeslage unbefriedigenden Situation zu entgegen, wurde ab dem Jahr 2000 im Zuge der Zehn-Jahreskontrollen begonnen an allen Standorten Pflanzenproben auf alle im Boden kontrollierten Schwermetalle zu untersuchen - eine Vorgangsweise, welche bereits in vorangegangenen Bodenschutzberichten vorgeschlagen wurde.

Nur dadurch ist es möglich Zusammenhänge zwischen Bodenbelastungen und Pflanzen zu erkennen und **Gefährdungen** besser abzuschätzen.

Organische Schadstoffe:

Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH's):

Die organische Schadstoffgruppe der PAH's besteht aus vielen Einzelsubstanzen von denen im Rahmen des Bodenschutzprogrammes zehn untersucht werden. Zum schnellen Vergleich der Untersuchungsergebnisse wird die Summe aus acht Einzelsubstanzen ohne Phenanthren und Anthracen herangezogen.

Statistisch abgesicherte Anreicherungen im Oberboden findet man an den Standorten **BRU 6, IND 3+4, NEU 4, LEO 2** und **KNI 11**.

Die PAH-Gehalte (dargestellt als Summe der untersuchten Einzelsubstanzen ohne Phenanthren und Anthracen) in µg/kg lauten:

Standorte	Horizont	1. Jahr	2. Jahr	10-Jahreskontrolle
BRU 6	0-15/5* cm	40	32	277
IND 3	0-3/5* cm	1012	1630	5868
IND 4	0-20/5* cm	136	181	1368
NEU 4	0-5 cm	42	42	94
LEO 2	0-5 cm	119	137	360
KNI 11	0-5 cm	22	11	123

* 1. Jahr + 2. Jahr (Basisuntersuchung) / 10-Jahreskontrolle

Außer an den Standorten IND 3+4 liegen die Schadstoffmengen trotz der Anreicherungen noch in relativ moderaten Gehaltsbereichen. Ein eindeutiger Verursacher steht bei der derzeitigen geringen Dichte des Untersuchungsnetzes noch nicht fest.

Anders bei den beiden Standorten **IND 3+4**, welche im Einflussbereich des **Veitscher Magnesitwerkes** stehen. Die Ergebnisse der Zehn-Jahreskontrollen beweisen, dass es auch in letzter Zeit noch zu deutlichen Schadstoffemissionen kommt.

Obwohl das Abbauverhalten der PAH's im Boden noch unerforscht ist, kann auf Grund der chemischen Inertheit der Substanzen angenommen werden, dass es bei kontinuierlichen Neueinträgen zu einer Akkumulation der Schadstoffe kommt.

Die Mobilität der Stoffe im Boden ist vor allem bei den höhermolekularen Vertretern dieser Schadstoffgruppe - und das sind auch die weitaus toxischeren - sehr gering, sodass eine Pflanzenaufnahme über die Wurzeln bzw. eine Grundwasserbelastung unwahrscheinlich ist. Wohl aber stellt die Inhalation der an Rußpartikel gebundenen Schadstoffe ein Gesundheitsrisiko dar, welches von der Art der Schadstoffe her mit dem Einatmen von Dieselabgasen im Straßenverkehr oder Zigarettenrauchen verglichen werden kann.

Da sich beim Veitscher Magnesitwerk außer den PAH's auch noch einige Schwermetalle im Boden angereichert haben, ist dringend eine Reduktion der Schadstoffemissionen anzustreben.

Fallweise Änderungen in der Zuordnung zu den drei Gehaltsklassen der PAH-Summe (Bodenschutzbericht 1998, Seite 131 ff) sind meist Folgen von geänderten Probennahmetiefen und/oder dem Analysenfehler. Die Änderungen sind aber von untergeordneter Bedeutung und wurden daher nicht explizit ausgewertet. Umwelteinflüsse sind über die statistische Auswertung der Daten besser erkennbar.

Natürliches Vorkommen von Perylen in Moorböden

PAH's sind heutzutage in der Natur überall anzufinden, man sagt sie sind ubiquitär verbreitet. Ihre Herkunft dürfte hauptsächlich anthropogen bedingt sein (diverse Verbrennungsvorgänge). Natürliche Vorkommen von PAH's waren bisher nur durch Inkohlungsprozesse bei der Kohlenentstehung bekannt. Inwieweit natürliche Brandereignisse, welche unter Umständen schon sehr lange her sein können (eventuell auch Vulkanausbrüche), schuld an den heute messbaren Bodengehalten sind, ist nicht bekannt.



Charakteristisch für die PAH's ist ihre stets ähnliche Gehaltsverteilung im Oberboden (**PAH-Profil**). Bei den hier untersuchten Substanzen zeigt sich ungefähr folgende prozentuelle Verteilung:

PAH's	%
Phenanthren	22
Anthracen	2
Fluoranthren	16
Pyren	11
Summe Triphenylen + Chrysen	10
Summe Benzo(b+k+j) Fluoranthren	18
Benzo(e) Pyren	6
Benzo(a) Pyren	7
Perylen	2
Benzo(ghi) Perylen	7

Der Anteil an **Perylen** ist bezogen auf die Summe aller PAH's am niedrigsten und liegt im Mittel bei nur **2 %**.

In Moorböden - wie LIE 2, 3 + 10 und NEU 7 - steigt der Perylenanteil im Unterboden auf bis zu 98 % an!

Dabei handelt es sich auch absolut gesehen um teilweise extreme Gehalte (zum Beispiel: LIE 10 > 1000 µg/kg Perylen).

Auch im Haldenboden des ehemaligen Kohleabbaus **VOI 6** findet man im Unterboden 60 % Perylen bezogen auf die Summe aller PAH's.

Über die natürlichen Entstehungsmechanismen des mutagenen und eventuell karzinogenen Schadstoffes ist nichts bekannt. Seine Mobilität dürfte wie generell bei den PAH's sehr gering sein. Es wird eine starke Fixierung an den hohen Humusgehalt des Moors angenommen, sodass ein Übergang in Pflanzen oder Wasser unwahrscheinlich ist.

Eine untersuchte **Torfprobe** der Torfstecherei **NEU 7** enthielt rund 900 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$) Perylen, was bezogen auf die Summe aller PAH's 96 % ausmacht. Torf wird meist für Salat- und Gemüsesetzlinge, sowie in Gärtnereien verwendet.

[Offene Fragen](#) wie „Die Genese von Perylen in Moorböden“ oder „Grundwasser- und Pflanzenkontrolle im Bereich von heute entwässerten und landwirtschaftlich genutzten Moorböden“ könnten im universitären Forschungsbereich und im Rahmen der Lebensmittelkontrolle weiter verfolgt werden.

Die chlorierten Kohlenwasserstoffe (HCB, Lindan und DDT):

Rückstände aus dieser Schadstoffgruppe sind selten im Boden nachzuweisen und treten normalerweise nur in lokal stark begrenztem Ausmaß auf. **Lindan** konnte an keinem der Untersuchungsstandorte nachgewiesen werden.

Belastete Standorte weisen auch meist nur Rückstände im Oberboden auf - tiefere Bodenschichten sind wegen der äußerst geringen Mobilität der Substanzen üblicherweise rückstandsfrei. Nur bei tiefer Ackerung oder beim Rigolen des Bodens ist eine Kontamination des Unterbodens in seltenen Fällen festgestellt worden.

Rückstände des früher verwendeten Insektizids **DDT** findet man an den Ackerstandorten **FUE 5+6, BRU 2, IND 1, NEU 10** und **GRA 3, 11+12**, sowie in der Weinanlage **LEI 9** (nur in einem Untersuchungsjahr und in geringen Mengen). Ungewöhnlich sind die DDT-Rückstände im Auflagehumus des Waldstandortes **LEO 8** (ca. 20 µg/kg). Der Waldboden selbst ist rückstandsfrei. Eventuell wurde an diesem Standort früher eine Borkenkäferbekämpfung mit DDT durchgeführt.

Die Mengen der gefundenen Rückstände variieren sehr stark. Sie liegen zwischen Null (Bestimmungsgrenze 15 µg/kg) und 410 µg/kg.

Häufig sind die DDT-Rückstände nur in einem oder zwei Untersuchungsjahren nachzuweisen. Dies muss nicht auf einen zeitlichen Trend hinweisen, sondern beruht eher auf der extremen kleinräumigen Variabilität des Schadstoffes. Auf dieses Thema wird bei der Besprechung der Ergebnisse des Projektes zur monatlichen und lokalen Variabilität der Untersuchungsparameter noch zurückgekommen.

Markante zeitliche Trends sind wegen der Langlebigkeit des Schadstoffes nach zehn Jahren auch noch nicht zu erwarten gewesen.

Der chlorierte Kohlenwasserstoff **HCB** (Hexachlorbenzol) wurde an folgenden drei Ackerstandorten nachgewiesen: **FUE 1, BRU 3** und **POE 4**.

Auch hier konnte nach zehn Jahren noch keine Verringerung des Schadstoffes festgestellt werden.

HCB war früher als Fungizid in Verwendung und kommt als Verunreinigung in diversen Chemikalien vor. Seine Verbreitung in die Umwelt findet fallweise auch heute noch statt (Müllverbrennung, Industrie).

Die Herkunft des Schadstoffes an den drei Standorten ist ungeklärt.

Da sich HCB in Ölsaaten - speziell in Kürbiskernen - anreichert und dort oft Probleme bereitet, ist von einem **Kürbisanbau** an belasteten Standorten ohne weitere Untersuchungen (flächenhafte Bodenuntersuchung; testweiser Anbau von Kürbispflanzen und Kontrolle der Kerne) abzuraten.

Triazin - Rückstände:

Von den fünf in Ackerböden kontrollierten Triazinen Atrazin, Simazin, Cyanazin, Terbutylazin und Propazin wurden bisher nur fallweise Rückstände des bekannten Maisherbizids **Atrazin** gefunden.

Seit 1995 ist die Anwendung von Atrazin verboten, sodass heute nur mehr selten Rückstände im Boden anzufinden sind. In den Jahren davor wurden jedoch mitunter extrem hohe Bodengehalte festgestellt. Die höchsten Werte erreichte 1990 der Standort **LEI 3** mit 1070 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$) Atrazin im Oberboden.

An dieser Untersuchungsstelle wurde deshalb ein mehrjähriges Projekt zur Kontrolle des Abbaus der Substanz begonnen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen von 1990 bis 1998 wurden bereits im Bodenschutzbericht 1998 (Seite 137) präsentiert. In den Untersuchungsjahren 1998 bis 2000 stagnieren die Atrazinrückstände an diesem Standort bei etwa 20-30 ppb. Ein weiterer Abbau wird offensichtlich wegen ungünstiger Bodeneigenschaften verzögert.

An den übrigen Ackerstandorten der 109 Nichttraster-Untersuchungsstellen liegen die Gehalte der Atrazinrückstände im Oberboden heute meist unter der Bestimmungsgrenze von 10 ppb in der Trockensubstanz. Die Böden sind also hinsichtlich dieses Schadstoffes weitestgehend **rückstandsfrei**.

Untersuchungen zur zeitlichen und örtlichen Variabilität von Bodenparametern (Projekt)

Die Probennahmen an den Untersuchungsstandorten des Bodenschutzprogrammes erfolgen meist im Zeitraum März bis Oktober des betreffenden Untersuchungsjahres. Da nicht a priori angenommen werden kann, dass alle Untersuchungsparameter im Lauf der Monate eines Jahres konstant bleiben, wurden 1997 an 3 Testflächen ein Jahr lang monatlich Proben gezogen und die zeitliche Variabilität der Untersuchungsparameter ermittelt. Um den Einfluss kleinräumiger Schwankungen weitestgehend auszuschalten, erfolgten die Probennahmen innerhalb eines kleinen markierten Bereiches von 180 x 180 cm:

Jänner	Juli
Februar	August
März	September
April	Oktober
Mai	November
Juni	Dezember

Probennahmeskizze zur Ermittlung der **monatlichen Variabilität** der Untersuchungsparameter.

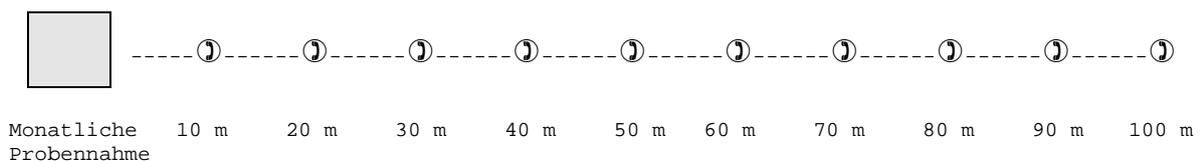
Der für die Probennahme pro Monat zur Verfügung stehende Bereich betrug 90 x 30 cm, sodaß es möglich war monatlich nebeneinander drei Einstiche mit dem Probenbohrer (\varnothing 7cm) zu machen und diese Proben zu einer Mischprobe zu vereinen.

Als Testflächen standen ein Maisacker, eine Dauergrünlandfläche und eine Apfelanlage zur Verfügung. Die Bodenproben wurden entsprechend der Bodenzustandsinventur aus folgenden drei Tiefen entnommen:

0-20, 20-50 und 50-70 cm: Acker
0- 5, 5-20 und 20-50 cm: Grünland, Sonderkultur Apfel

Der zweite Teil dieses Untersuchungsprojektes versucht die kleinräumige Schwankungsbreite der Untersuchungsparameter zu erfassen.

Dazu wurden ausgehend von den oben beschriebenen drei Untersuchungsflächen entlang einer 100 m langen Gerade alle 10 m eine Profilgrube (①) gegraben und ebenfalls aus drei Tiefen Bodenproben entnommen (siehe Skizze). Die Probennahmen erfolgten am 6. März 1997.



Probennahmeskizze zur Ermittlung der **lokalen Variabilität** der Untersuchungsparameter.

Untersuchungsergebnisse des Projektes

Monatliche und lokale Schwankungen im Gehalt der Untersuchungsparameter:

Schon bei den bisherigen Auswertungen des Bodenschutzprogrammes hat sich gezeigt, dass sich der Analysenfehler der Untersuchungsparameter verringern lässt, wenn bei der Probennahme anstelle einer Einzelprobe (Bodenuntersuchungen der Jahre 1986 - 1989), eine Mischprobe aus 4 Profilgruben (Bodenuntersuchungen ab 1990) zur Analyse verwendet wird. Ursache sind kleinräumige Schwankungen der Bodengehalte der Untersuchungsparameter.

Als „Analysenfehler“ betrachtet wurde dabei der aus den Untersuchungen zweier aufeinanderfolgender Jahre errechnete Summenfehler aus Probennahme (zeitliche und kleinräumige Variabilität), Probenaufbereitung und analytische Messung (Details siehe Bodenschutzbericht 1998, Seite 26 ff). Die Charakterisierung des Analysenfehlers erfolgte rechnerisch durch den Wert der zweifachen relativen Standardabweichung.

- Um im gegenständlichen Untersuchungsprojekt die festgestellten lokalen und temporären Variabilitäten mit den bisher im Bodenschutzprogramm ermittelten Analysenfehlern vergleichen zu können, wird daher auch hier zur Gegenüberstellung der festgestellten Schwankungsbreite die jeweils **zweifache relative Standardabweichung** verwendet.

Es zeigte sich, dass bei den meisten Untersuchungsparametern die örtliche Variabilität deutlich größer ist, als die eventuell durch die Zeit beeinflusste Schwankungsbreite. Im Durchschnitt sind durch lokale Inhomogenitäten verursachte Schwankungen etwa doppelt so groß, als die aus der monatlichen Probennahme errechneten Fehler (diese korrelieren auch gut mit den bisher im Bodenschutzprogramm festgestellten Analysenfehlern).

□ Die Ergebnisse des Bodenschutzprogrammes haben nur im unmittelbaren Bereich der Probennahmefläche des Untersuchungsstandortes (ca. 0,1 ha) Gültigkeit. Es handelt sich also um keine flächenhaften Erhebungen. Der Anspruch auf eine flächenhafte Erfassung des Bodenzustandes in der Steiermark zu Überblickszwecken ergibt sich nur aus einer möglichst großen Anzahl stichprobenartig durchgeführter Untersuchungen!

Bei den **Bodennährstoffen** kann die monatliche Schwankungsbreite ebenfalls Größenordnungen der örtlichen Variabilität erreichen. Gehaltsschwankungen von $\pm 50\%$ und mehr sind keine Seltenheit. Ursache können Düngereignisse sein. Häufiger dürften aber kleinräumige Bodeninhomogenitäten Ursache der Schwankungen sein. Oft erscheint die prozentuelle Angabe der relativen Standardabweichungen auch nur auf Grund der niedrigen Absolutgehalte als hoch. Auch der Einfluss durch den wachstumsbedingten Nährstoffentzug erscheint von untergeordneter Bedeutung. Die bei den Bodennährstoffen fallweise beobachtete hohe zeitliche Variabilität muss bei der Interpretation der Daten von Bodenzustandsinventuren berücksichtigt werden. Zu Zwecken einer Düngberatung sind diese Daten wegen der mangelnden flächenhaften Aussagekraft ohnedies nur bedingt nutzbar.

Bei den **Schwermetallgehalten** ist die örtlichen Variabilität deutlich höher als der aus der monatlichen Probennahme errechnete Fehler. Der Analysenfehler ist aber generell niedriger als bei den pflanzenverfügbaren Bodennährstoffen.

Örtliche Schwankungen der Gehalte von Untersuchungsparametern stellen die größte Fehlerquelle in der Bodenanalytik dar.

Zeitlich abhängige Gehaltsschwankungen treten - wenn überhaupt - nur bei den leicht löslichen Bodennährstoffen auf. Sie sind meist geringer als die sie überlagernden kleinräumigen Inhomogenitäten.

Der wichtigste Schritt zur **Fehlerminimierung** bei flächenhaften Bodenuntersuchungen (z. B.: Düngeberatung) ist daher die Gewinnung einer Mischprobe aus „ausreichend vielen“ Einzelproben. Die Anzahl der Einzelproben und auch der beste Zeitpunkt für Probennahmen wird durch diverse Ö-Normen geregelt.

Bei den **Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes** wird die Fehlerquelle der lokalen Bodeninhomogenität insofern umgangen, als die Analysenergebnisse wie schon erwähnt, nur für die eingemessene und nach einem vorgegebenen Probenahme-Design beprobte Fläche von ca. 0,1 ha Geltung haben.

Zielrichtung ist bei diesen Untersuchungen - neben einer ersten überblicksmäßigen Erfassung des steirischen Bodenzustandes durch eine ausreichend große Anzahl von Stichproben - die Bodendauerbeobachtung.

→ **Ersterfassung und Erkennen von Veränderungen** des Bodenzustandes.

Größe der Variabilitäten unterschiedlicher Untersuchungsparameter:

Gruppe 1 (Gehaltsschwankungen bis $\pm 10\%$):

Der Parameter mit der kleinsten Variabilität ist der **pH-Wert**. Er konnte unabhängig von der Jahreszeit mit einer Genauigkeit von ca. $\pm 5\%$ bestimmt werden. Höhere lokale Schwankungen ($\pm 10\%$) wurden nur am Ackerstandort festgestellt.

Inwieweit Kalkungsmaßnahmen einen Einfluss auf den pH-Wert nehmen, konnte in diesem Untersuchungsprojekt nicht festgestellt werden.

Auch die monatlichen Variabilitäten der Parameter **austauschbares Kalzium**, **pflanzenverfügbares Magnesium** und **Arsen** fallen bei allen untersuchten Nutzungsformen in diese Kategorie.

Gruppe 2 (Gehaltsschwankungen $\pm 10 - 30\%$):

Hierzu zählen die monatlichen Schwankungen des **austauschbaren Magnesium**, sowie des **EDTA-extrahierbaren Kupfer** und **Mangan**. Auch die lokale Variabilität des **pflanzenverfügbaren Magnesium** fällt in diese Kategorie. Die Schwankung des **Humusgehaltes** liegt bei den monatlichen Untersuchungen etwa bei 11% und die lokale Variabilität ist etwa doppelt so hoch.

Die Variabilität der **Schwermetalle** bei den monatlichen Messungen bewegt sich ebenso meist in dieser Größenordnung. Sie ist vermutlich auf kleinste geologisch bedingte Bodeninhomogenitäten und den analytischen Messfehler zurückzuführen und zeitlich unabhängig.

Wie gravierend der Einfluss von naturgegebenen geogenen Inhomogenitäten auf den Schwermetallgehalt des Bodens sein kann, wurde vor allem am Ackerstandort bei der Bestimmung der lokalen Variabilitäten im Horizont 20 - 50 cm deutlich. Dort ändern sich alle Schwermetallgehalte mit Ausnahme des Arsen innerhalb der beiden Messstellen „50 m“ und „60 m“ um etwa einen Faktor 2 - 3 ! Derartig sprunghafte Änderungen können natürlich auch unter Umständen innerhalb des Probennahmekreises des Bodenschutzprogrammes vorkommen und so zu stark schwankenden Ergebnissen bei Wiederholungsanalysen führen.

Gruppe 3 (Gehaltsschwankungen größer als $\pm 30\%$):

In diese Kategorie fallen fast alle von den lokalen Bodeninhomogenitäten beeinflussten Parameter, sowie die restlichen Elemente mit erhöhtem Einfluss der zeitlichen Komponente (Details siehe Tabelle Seite 61).

Die örtliche Variabilität der Schadstoffgruppe der **polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe** (PAH) ist vor allem in der Apfelanlage sehr hoch. Ursache sind klein- und kleinräumige anthropogene Einflüsse (alte Feuerstelle, Brandrodung, Aschenaufbringung ?). Im Bereich der Messstellen „70 m“ und „80 m“ springt der Gehalt der PAH-Summe im Oberboden von 234 auf 1266 ppb.

Auch die hohe Schwankung der monatlichen Messreihe dürfte auf kleinräumige Bodeninhomogenitäten zurückzuführen sein.

Bei den nur fallweise gefundenen Rückständen von **DDT** (weitere Rückstände von chlorierten Kohlenwasserstoffen wie Lindan und HCB konnten an keiner der Untersuchungsstellen festgestellt werden) wurde ebenfalls eine sehr hohe Variabilität festgestellt, welche extrem kleinräumig begrenzt ist. Belastete Bereiche können innerhalb eines halben Meters auf rückstandsfreie Werte absinken.

Auch für diesen zeitlich weitestgehend persistenten Schadstoff sind kleinräumige Bodeninhomogenitäten die Ursache der großen Schwankungsbreite bei der monatlichen Untersuchungsreihe. Wegen der hohen Variabilität der Untersuchungsergebnisse sind die statistischen Auswertungen als nicht repräsentativ zu betrachten.

Aus den bisherigen Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes wird ein Analysenfehler von etwa **40-50 %** errechnet. Bestimmungsschwankungen in dieser Größenordnung sind für organische Parameter als durchaus normal zu bezeichnen.

Der **Kalkgehalt** liegt bei allen 3 Nutzungsformen des Projektes unter 0,5 %, die Standorte sind also als weitestgehend kalkfrei einzustufen. In diesem niedrigen Wertebereich ist die Streuung der Untersuchungsergebnisse so groß, dass jedes Ergebnis möglich ist.

Auch bei den bisherigen Auswertungen des Bodenschutzprogrammes hatte der Kalkgehalt mit $\pm 140\%$ den größten Analysenfehler aller Untersuchungsparameter. Bei der Berechnung dieses Wertes wurden alle Werte > 0 in die Berechnung einbezogen. Rechnet man nur über die Standorte mit Gehalten $> 0,5\%$, so erhält man für die Rasteruntersuchungen ab 1990 einen Analysenfehler von $\pm 24\%$ und für die Nichttraster-Untersuchungen davor eine analytische Schwankung von $\pm 43\%$ (zwei-

fache relative Standardabweichung). Eine derartige Bestimmungsunsicherheit ist zwar auch noch hoch, aber mit anderen Nährstoffparametern vergleichbar.

Der Bodenparameter mit der geringsten Variabilität ist der **pH-Wert** oder Säuregrad des Bodens.

Bei den für die Dokumentation von Schadstoffbelastungen wesentlichen **Schwermetallen** konnte kein zeitlicher Einfluss auf die Schwankungsbreite festgestellt werden. Ihre lokale Variabilität ist jedoch geologisch bedingt sehr hoch.

Die nächste Tabelle gibt einen Überblick über die relativen Standardabweichungen (RSTA in %) der monatlichen und örtlichen Variabilitäten im Vergleich mit den bisher im Bodenschutzprogramm festgestellten Analysenfehlern der einzelnen Bodenparameter. Der prozentuelle Wert von 2x RSTA entspricht dabei dem Analysenfehler.

Auf eine Angabe der Analysenfehler für Kalkgehalt und DDT wurde verzichtet, da beim Untersuchungsprojekt keine verwertbaren Ergebnisse erhalten wurden.

Weitere detaillierte Auswertungen mit Tabellen und Diagrammen für jeden einzelnen Parameter des Untersuchungsprojektes befinden sich auf der beiliegenden CD-ROM.



Grünlandstandort zur Bestimmung der lokalen Variabilität von Bodenparametern.

Vergleich der Analysenfehler aus Bodenzustandsinventur (BZI) und Projekt: 2-fache relative Standartabweichung in %

Parameter	BZI (2x RSTA)		Projekt - Monat			Projekt - Ort		
	Proben- nahmen ab 1990	Proben- nahmen 1986-1989	2x RSTA Grünland	2x RSTA Acker	2x RSTA Apfelanlage	2x RSTA Grünland	2x RSTA Acker	2x RSTA Apfelanlage
Humus	11	18	13	11	10	22	22	27
P2O5	51	53	54	52	18	54	86	64
K2O	24	30	76	22	22	80	30	98
pH-Wert	3	5	6	5	5	5	10	5
CaKat	9	27	10	8	8	28	39	36
MgKat	14	19	12	14	13	28	36	56
KKat	28	43	84	23	25	103	32	141
NaKat	24	53	30	33	31	29	35	42
Mg	9	19	10	10	4	23	30	24
Bor	47	70	58	74	18	54	94	32
EDTA-Cu	14	19	28	20	17	22	41	51
EDTA-Zn	24	30	30	86	52	64	52	34
EDTA-Mn	11	21	22	14	10	44	26	56
EDTA-Fe	20	23	52	36	32	26	22	58
Fluor	22	29	31	26	38	32	53	26
Cu	13	10	15	5	7	30	43	38
Zn	7	19	13	5	14	38	31	36
Pb	11	19	17	9	22	29	27	38
Cr	12	13	22	10	22	39	32	18
Ni	9	13	17	10	17	34	39	36
Co	10	11	15	12	21	46	26	32
Mo	10	23	8	15	33	26	39	34
Cd	13	28	8	12	13	23	31	34
Hg	25	20	29	11	14	24	50	67
As	11	20	9	8	9	23	39	41
PAH-Summe	34	40	72	106	20	57	68	137

Profilbeschreibung – Grünland, Messstelle „20 m“

Kalkfreie Lockersedimentbraunerde aus feinem und groben Tertiärsediment
Mittelhang 7° Nordwest

A1 0-15 cm: Sandiger Lehm mit mäßigem Grobanteil (Kies und Schotter), stark humos (Mull), kalkfrei, deutlich mittelkrümelig strukturiert, mittelporös, leicht zerdrückbar, sehr dunkles Graubraun (10 YR 3/2), stark durchwurzelt, mäßig belebt, übergehend;

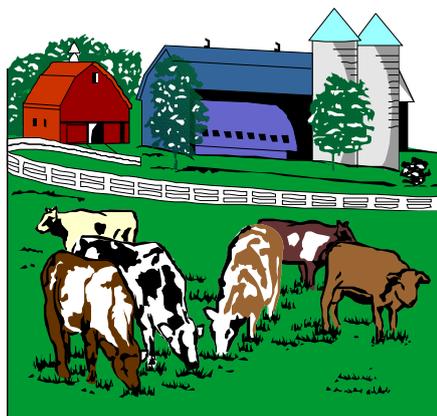
A2 15-40 cm: Sandiger Lehm mit mäßigem Grobanteil (Kies und Schotter), humos (Mull), kalkfrei, deutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, mittelporös, leicht zerdrückbar, sehr dunkles Gelblichbraun (10 YR 3/3), mäßig belebt, allmählich übergehend;

B 40-55 cm: Sandiger Lehm mit hohem Grobanteil (Kies und Schotter), deutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, mittelporös, leicht zerdrückbar, dunkles Gelblichbraun (10 YR 4/4), gering belebt, allmählich übergehend;

BC 55-70 cm: Lehm mit mäßigem Grobanteil (Kies und Schotter), undeutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, schwer zerdrückbar, gelblichbraun (10 YR 5/6), mehrere undeutliche kleine Verwitterungsflecken, allmählich übergehend;

C ab 70 cm: Schluffiger Lehm mit geringem Grobanteil (Kies und Schotter), deutlich mittelblockig-scharfkantig strukturiert, mittelporös, schwer zerdrückbar, viele deutliche große Verwitterungsflecken (marmoriert).

Anmerkung: Der Hauptanteil der Probenamelinie (Punkte „10-50 m“) wird von der beschriebenen kalkfreien Lockersedimentbraunerde eingenommen. Es folgen ein kalkfreier Kulturrohboden (Punkte „60-70 m“) und in einer flachen Senke (aufgefüllte Quellmulde) ein entwässerter Hangley (Punkte „80-100 m“).



Profilbeschreibung – **Acker**, Messstelle „20 m“

Kalkfreier Kulturrohboden aus feinem und groben Tertiärsediment
Mittelhang 6° Nordwest

Apg 0-25 cm: Lehmiger Schluff mit mäßigem Grobanteil (Kies und Quarzschotter), humos (Mull), kalkfrei, undeutlich mittelblockig-scharfkantig (verpresst) strukturiert, feinporös, schwer zerdrückbar, dunkelgraubraun (10 YR 4/2), mehrere undeutliche mittlere Rost- und Fahlflecken, wenig durchwurzelt, mäßig belebt, absetzend;

C ab 25 cm: Lehmiger Schluff, kalkfrei, undeutlich grobblockig-scharfkantig strukturiert, mittelporös, leicht zerdrückbar, verwitterungsfleckig marmoriert, wenig durchwurzelt bis 50 cm, gering belebt bis 70 cm.

Anmerkung: In der Fläche dominiert ein kalkfreier Kulturrohboden, wobei die Punkte „70-90 m“ (schwacher Riedel) einen höheren Grobanteil (3-4) aufweisen. Die Punkte „30-40 m“ tragen eine schwach entwickelte Braunerde.



Ackerstandort zur Bestimmung der lokalen Variabilität von Bodenparametern.

Profilbeschreibung – **Apfelanlage**, Messstelle „30 m“

Kalkfreier Hangpseudogley aus feinem und groben Tertiärsediment
Verebnung 4° Nordwest

A1 0-10 cm: Sandiger Lehm mit mäßigem Grobanteil (Kies und Schotter), stark humos (Mull), kalkfrei, deutlich mittelkrümelig, mittelporös, leicht zerdrückbar, sehr dunkles Graubraun (10 YR 3/2), stark durchwurzelt, mäßig belebt, übergehend;

A2 10-30/40 cm: Sandiger Lehm mit hohem Grobanteil (Kies und Schotter), kalkfrei, humos (Mull), undeutlich mittelkrümelig und blockig-kantenrund strukturiert, mittelporös, leicht zerdrückbar, sehr dunkles Gelblichbraun (10 YR 3/2,5), mehrere undeutliche kleine Rost- und Fahlflecken, gut durchwurzelt, gering belebt, welliger Übergang;

CS ab 30/40 cm: Lehmiger Schluff mit geringem Grobanteil (Kies und Schotter), kalkfrei, undeutlich groblockig-scharfkantig strukturiert, rost- und gleyfleckig marmoriert, Wurzeln auslaufend bei 60 cm.

Anmerkung: Der untersuchte Bereich wird vorwiegend von einem Hangpseudogley, mit einer unterschiedlich mächtigen (30-50 cm) Humusaufgabe, eingenommen.

Von den Planierungsarbeiten der sechziger Jahre ist ein Großteil der Anlage betroffen; daher sind kaum ungestörte Bodenprofile anzutreffen.



Graben der Profilgruben zur Bestimmung der lokalen Variabilität in der Apfelanlage.

Zusammenfassung

In den Jahren 1986 - 1989 wurden in der Steiermark 119 Untersuchungsstandorte des Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzprogrammes eingerichtet. Die Auswahl dieser Nichttrasterstandorte hat reinen Stichprobencharakter und sollte einen ersten Überblick über die Nähr- und Schadstoffsituation für verschiedenste Bodentypen, bodenbildende Ausgangsmaterialien, Nutzungsformen, Geländemorphologie und den Einfluss einiger potentieller Schadstoffemittenten liefern.

Die ersten Interpretationsversuche dieser Untersuchungsergebnisse wurden in den Bodenschutzberichten 1988 - 1991 präsentiert. Als Beurteilungskriterien standen damals nur Richtwerte aus Untersuchungsergebnissen anderer Länder zur Verfügung, welche teilweise zu **Fehlinterpretationen** führten.

So sind Grenzwerte für Cadmium und Quecksilber von 2 mg/kg vielleicht ein Hinweis auf die analytischen Möglichkeiten vor 15 Jahren, zur Beurteilung von Umwelteinflüssen sind sie völlig ungeeignet. Und ein international üblicher Richtwert für Arsen von 20 mg/kg mag für viele Länder der Welt sinnvoll sein, in der Steiermark (möglicherweise im gesamten Ostalpenbereich) sind Bodengehalte bis 40 mg/kg als normaler, geogener und naturgegebener Background anzusehen.

Basis für diese Erkenntnisse bilden derzeit die statistischen Auswertungen von 392 Standorten im 4x4 km - Raster in der Steiermark (Bodenschutzbericht 1998, Seiten 65 ff). Dort wurden erstmals **Normalwerte** definiert, welche die Obergrenze des noch als naturgegeben, geogenen Hintergrundgehaltes in der Steiermark darstellen.

Überschreitungen dieser Gehalte lassen den Schluss auf das Vorliegen einer Umweltbelastung und/oder einer besonderen geologischen Situation zu. Eine mögliche **Gefährdung** für Menschen, Pflanzen, oder Tiere bei Überschreitung dieser Richtwerte ist daraus genauso wenig ableitbar, wie aus den alten Grenzwerten. Hier lassen nur Lebensmittel-, Wasser- oder Futtermitteluntersuchungen weitere Folgerungen zu. Bodenuntersuchungen sollen dafür ein Anstoß sein.

Alte Schlagzeilen wie „Die Steiermark ist mit **Arsen** verseucht“ relativieren sich so zur simplen Tatsache, dass im Bereich der Ostalpen der natürliche Gehalt an Arsen im Boden höher ist, als in anderen Gegenden. Weder eine Pflanzenaufnahme noch eine Kontamination des Grundwassers konnte auf Grund dieser Tatsache festgestellt werden. Eine Gefährdung durch diese höheren Bodengehalte an Arsen ist beim derzeitigen Wissensstand nicht gegeben.

Auf der anderen Seite konnten durch die neuen Beurteilungskriterien Anreicherungen im Oberboden mit umweltrelevanten Schwermetallen wie **Cadmium** und **Blei** festgestellt werden, welche den Verdacht auf Umweltbelastungen nahe legen. Früher wurde diesen beiden Schadstoffen auf Grund der zu hohen Grenzwerte keine Beachtung geschenkt.

Fazit: Grenz- oder Richtwerte zur Beurteilung von Bodenuntersuchungen sind nicht beliebig von anderen Ländern übernehmbar, sondern müssen der geogenen Situation und den jeweiligen Auswertungsintentionen einer Region angepasst werden.

Der vorliegende Bericht befasst sich neben einer kurzen Interpretation der ehemaligen Untersuchungsergebnisse aus heutiger Sicht, mit dem noch völlig unerforschten Thema der Veränderung von Bodenparametern in längeren Zeitabschnitten. Begleitend werden die Ergebnisse eines Projektes über die lokale und monatliche Variabilität der untersuchten Bodenwerte besprochen.

1996 wurde begonnen in 10-Jahresabständen die alten Untersuchungsstandorte des Bodenschutzprogrammes erneut zu kontrollieren. Das Zwischenergebnis der ersten Untersuchungsdekade (Zehn-Jahreskontrolle) der Nichttrasterstandorte von 1986 bis 1989 liefert folgende Erkenntnisse:

- Generell kann gesagt werden, dass Böden ein sehr stabiles und sich nur langsam veränderndes System darstellen. Bodendaten sind daher viel länger „aktuell“, als Untersuchungsdaten von Wasser oder Luft, welche meist Momentaufnahmen darstellen. Dies gilt nicht nur für Schwermetallgehalte und andere persistente Schadstoffe im Boden, sondern auch für die im Bodenschutzprogramm untersuchten allgemeinen Bodenparameter und pflanzenverfügbaren Nährstoffe (kurzfristige Ausnahmen findet man natürlich unmittelbar nach Düngemaßnahmen).
- Mittelfristige Veränderungen - und als solche sind in der Geschichte eines Bodens Veränderungen über einige Jahrzehnte anzunehmen - sind ein noch völlig unerforschtes Gebiet. Die derzeit festgestellten Gehaltsänderungen innerhalb von zehn Jahren können also nur einen ersten Hinweis dazu darstellen. Sie sind mit einer großen statistischen Unsicherheit behaftet, welche nur durch eine konsequente Weiterführung der Bodendauerbeobachtung zu verbessern ist.

Bodenschwere: Der bei der Bestimmung der Korngrößenfraktionen (Sand, Schluff, Ton) maßgebende Anteil der Tonfraktion ist von Natur aus eine sehr konstante Größe. Änderungen in der Beurteilung der Bodenschwere und damit verbunden auch einige Bewertungen allgemeiner Bodenparameter, Nährstoffe und der Gefahr von Bodenverdichtung ergeben sich meist nur durch geringfügige Schwankungen bei der analytischen Bestimmung des Tonanteiles. Der Analysenfehler des prozentuellen Anteils der drei Korngrößenfraktionen am untersuchten Feinboden (Korngröße < 2 mm) liegt bei rund $\pm 5\%$.

Humusgehalt: Es konnten bei der 10-Jahreskontrolle der Nichttrasterstandorte gegenüber der Basisuntersuchung keine statistisch signifikanten Veränderungen festgestellt werden.

pH-Wert, Kalkgehalt: Es gibt derzeit keinen Hinweis auf eine eventuell zunehmende großflächige Bodenversauerung.

Phosphor: Die Gehalte dieses Nährstoffes liegen in steirischen Böden generell niedrig. Es gibt derzeit Hinweise auf eine weitere Abnahme.

Kalium: Bei den Kaliumgehalten der landwirtschaftlichen Nutzflächen sind eher Überdüngungen festzustellen, als dies beim Phosphor der Fall ist. Ein Trend zu einer noch stärkeren Überversorgung mit Kalium in den letzten zehn Jahren ist aber nicht zu erkennen.

Magnesium, Bor: Bei der 10-Jahreskontrolle wurden keine statistisch signifikanten Änderungen der Gehalte im Boden festgestellt.

Die EDTA-extrahierbaren Spurenelemente Kupfer, Zink, Mangan und Eisen: Außer einer Abnahme des Mangangehaltes am Waldstandort NEU 12 konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Die Ursache dieser Nährstoffverarmung ist noch unbekannt.

Die austauschbaren Kationen: Außer einer Zunahme der Kationenaustauschkapazität am Waldstandort NEU 9 wurden keine Veränderungen im Bodenzustand festgestellt. Die Ursache dieser für die Nährstoffversorgung des Bodens positiven Entwicklung ist unbekannt.

Das wasserlösliche Fluor: An den vier Ackerstandorten FUE 9, VOI 5, GRA 1 und BRU 11 wurden Zunahmen der Bodengehalte festgestellt. Ursache sind vermutlich Einträge über Düngemittel.

Am Untersuchungsstandort IND 3 in der Nähe des Veitscher Magnesitwerkes haben die ohnedies schon hohen Fluorgehalte im Boden weiter zugenommen, was auf andauernde Staubemissionen rückschließen lässt.

Schwermetalle: Es wurden bei verschiedenen Elementen Veränderungen festgestellt, wobei an sieben Standorten Abnahmen und nur an zwei Standorten Zunahmen der Bodengehalte gemessen wurden. Aus heutiger Sicht handelt es sich um kleinräumige, naturgegebene Schwankungen und nicht um zeitliche Trends. Aussagen über zeitliche Trends sind erst nach 2-3 Untersuchungsperioden zu erwarten.

Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH's): Es wurden an sechs Standorten Zunahmen in den Bodengehalten nachgewiesen, darunter auch bei den zwei Untersuchungsstellen IND 3 und 4 im Einflussbereiches des Veitscher Magnesitwerkes.

Die chlorierten Kohlenwasserstoffe: Die schon bei den ersten Untersuchungen fallweise festgestellten Rückstände des früher verwendeten Insektizids **DDT** sind wegen der hohen Persistenz des Schadstoffes auch weiterhin nachweisbar.

An drei Ackerstandorten (FUE 1, BRU 3, POE 4) wurden auch Rückstände von **Hexachlorbenzol (HCB)** festgestellt, deren Gehalte ebenfalls während der letzten zehn Jahre unverändert blieben. Da sich HCB in Kürbiskernen anreichert, ist an diesen Standorten von einem Kürbisanbau abzuraten.

Atrazin: Die Rückstände dieses Maisherbizids im Boden haben in der Zeit seit dem Anwendungsverbot im Jahr 1995 ständig abgenommen. Heute sind die früher belasteten Böden weitestgehend rückstandsfrei.

Das wesentlichste Ergebnis des Projektes über die **Variabilität der Bodenparameter** im Laufe eines Jahres und hinsichtlich ihrer kleinräumigen Schwankungsbreite ist die Tatsache, dass lokale Inhomogenitäten im Boden hauptverantwortlich für Fehler bei Bodenuntersuchungen sind. Temporäre Abhängigkeiten sind in den meisten Fällen von untergeordneter und vernachlässigbarer Bedeutung.

Der Bodenschutzbericht 2000 bildet speziell im Hinblick auf Schadstoffbelastungen zusammen mit den beiden vorangegangenen Berichten 1998 und 1999 eine gute Ausgangsbasis zur Interpretation von Bodenuntersuchungen:

- **Bodenschutzbericht 1998** (Bodenzustandsinventur im 4x4 km - Raster):
⇒ Grundlagen für Beurteilungskriterien (Normalwerte, Analysenfehler).
- **Bodenschutzbericht 1999** (Potentielle Kontaminationsflächen):
⇒ Extreme Bodenbelastungen auf Grund von geologischen Besonderheiten und Umweltbelastungen als Grundlage für die Themen „ Herkunft von Bodenbelastungen“ und „Worst Case“.
- **Bodenschutzbericht 2000** (Die Variabilität von Bodenparametern):
⇒ Erste Ergebnisse zur Bodendauerbeobachtung und die Thematik der Aussagekraft von Bodenuntersuchungen.

Die folgenden Bodenschutzberichte werden sich bezirksweise mit der jeweils abgeschlossenen Bodenzustandsinventur befassen und neben allgemeinen landwirtschaftlichen Themen ein möglichst umfassendes Bild über die Nähr- und Schadstoff-situation der Böden präsentieren.

Der Bodenschutzbericht 2001 wird dem [Bezirk Radkersburg](#) gewidmet werden.

Abweichend von der Besprechung der einzelnen Bezirke wird nach Abschluss der Bodenzustandsinventur der Steiermark wieder ein zusammenfassender Bericht über die Auswertungen aller ca. 1000 Untersuchungsstellen der Steiermark erfolgen, ähnlich wie es beim Bericht 1998 für die 392 Rasterstandorte geschehen ist.

Literatur

Einsatz geophysikalischer Messmethoden als ökonomische Indikatoren für geogene und anthropogene Schwermetallanreicherung in Böden der Steiermark - Endbericht der Bund/Bundesländer-Kooperation auf dem Gebiet der Rohstoff-, Energie- und Umweltforschung (Projekt StU 97/99), Robert Scholger / Monika Hanesch, 2000.

Die Vererzung der Ostalpen, Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen, Leoben, Friedrich O., 1968.

Spezielle Mineralogie auf geochemischer Grundlage, Springer-Verlag Wien, Machatschki F., 1953.

Mikroskopisch-lagerstättenkundliche Charakteristik ausgewählter Erzparagenesen aus dem Altkristallin, Paläozoikum und Mesozoikum der Ostalpen; Verh. Geol. BA, Jg. 1978, Heft 3, Tufar W., 1979.

Feldreinkarten 1 : 25.000 mit Erläuterungen der Österreichischen Bodenkartierung, BA. für Bodenkunde, Wien.

Lehrbuch der Bodenkunde - 11. Auflage, Scheffer / Schachtschabel, 1984.

Metalle in der Umwelt, Ernest Merian, 1984.

Richtlinien für sachgerechte Düngung - 5. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 1999.

Bodenzustandsinventur - Konzeption, Durchführung und Bewertung - Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich - 2. Auflage, Blum / Spiegel / Wenzel, 1996.

Bodenschutzkonzeption - Bodenzustandsanalyse und Konzepte für den Bodenschutz in Österreich, Blum / Wenzel, 1989.

Steirische Bodenschutzberichte 1988 - 1999.

Das „Drei-Bereiche-System“ für die Bewertung von Böden mit Schadstoffbelastung, A. Kloke, VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil II.

Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden, Th. Eikmann und A. Kloke, VDLUFA-Mitteilungen, Heft 1, 1991.

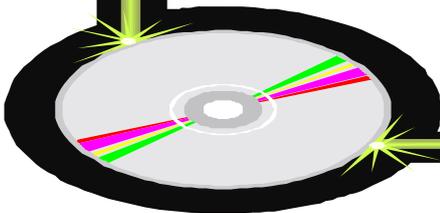
Die verwendeten Grafik-Clips wurden den Programmen „Clipart“, „Masterclips“ und „ClickART“ entnommen.

Hinweise zur beiliegenden CD-ROM

→ **Dieser Bericht beinhaltet mehr als nur Papier:**

Um die Auswertungen der großen Datenmengen des Projektes „Untersuchungen zur zeitlichen und örtlichen Variabilität von Bodenparametern“ übersichtlich präsentieren zu können, war es notwendig viele Farbgrafiken in den Bericht einzubauen. Das Endprodukt erwies sich jedoch als so umfangreich, dass es im Sinne allgemeiner Sparmaßnahmen als nicht verantwortlich erschien, den gesamten Bodenschutzbericht als Farbdruck zu veröffentlichen.

Als zweckmäßige Lösung wurde der Gesamtbericht (und noch vieles mehr) auf einer dem Bericht beiliegenden **CD-ROM** gespeichert und konnten so nicht nur die Veröffentlichungskosten um ein Vielfaches gesenkt, sondern auch noch eine Fülle an Daten und Information beigefügt werden, welche in mehreren Berichten nicht Platz gefunden hätte.



Vorteile der digitalen Präsentation des Untersuchungsberichtes:

- **Mehr Information:** Die CD beinhaltet die Farbversionen der drei Bodenschutzberichte 1998, 1999 und 2000.
- **Individuelle Auswertungsmöglichkeiten:** Die auf der CD gespeicherten Analysedateien machen eigene Auswertungen möglich, welche weit über die bisher in den Bodenschutzberichten durchgeführten hinausreichen können.
- **Hyperlinks:** Für alle Standorte der drei Bodenschutzberichte ist es aus Übersichtskarten heraus möglich per Mausklick direkte Abfragen von Untersuchungsdaten zu erhalten.

CD-Info:



- Systemanforderungen
- Starten der CD-ROM
- Inhalt
- Nutzungsmöglichkeiten
- Abkürzungen
- Untersuchungssystematik
- Help

Systemanforderungen:

Die CD-ROM stellt keine besonderen Anforderungen an die Hardware ihres Computers und ist faktisch auf jedem heute gängigen PC mit einem Betriebssystem ab Windows 95 mit Internetexplorer verwendbar.

Die Präsentation der Bodenschutzberichte (pdf-Files) erfordert das Programm **Acrobat Reader 4.0**, welches als Download auf der CD-ROM enthalten ist.

Um die Datenfiles öffnen zu können ist das Programm **Microsoft Excel 97** (oder höher) erforderlich.

Starten der CD-ROM:

Für optimalen Bedienungskomfort empfiehlt es sich die **Bildschirmauflösung** auf **1024 x 768 Pixel** einzustellen (vom Desktop mit rechter Maustaste zu den „Eigenschaften“ und dort unter „Einstellungen“ den Anzeigebereich ändern).

Die CD-ROM ist mit einem **Autostart** ausgestattet, sodass sie nach dem Einlegen selbständig zur Seite mit dem Hauptmenü führt.

Sollte diese Funktion ausnahmsweise nicht funktionieren, so starten Sie die CD-ROM aus dem Explorer durch einen Doppelclick des Programmes „**Default.htm**“:

Inhalt:

Berichte (in Farbe)

- ⇒ **Bodenschutzbericht 1998:** Ergebnisse der Bodenzustandsinventur der Steiermark im 4x4 km - Rastersystem.
- ⇒ **Bodenschutzbericht 1999:** Ergebnisse von Untersuchungen an potentiellen Kontaminationsflächen (ehemalige Bergbaugebiete, Industrieregionen, Verkehrsbelastungen, Tontaubenschießplätze).
- ⇒ **Bodenschutzbericht 2000:** Untersuchungen zur zeitlichen und kleinräumigen Variabilität von Bodenparametern (10-Jahreskontrolle von 109 Nichttrasterstandorten und Ergebnisse eines Untersuchungsprojektes zur Erfassung der jahreszeitlichen und lokalen Schwankungen von Bodenparametern).
- ⇒ **Alte Berichtsbeiträge:** Eine Zusammenstellung ausgewählter Beiträge aus den Bodenschutzberichten 1991 - 1997 (größtenteils schwarz-weiß).

Daten

Die Analysenwerte aller untersuchten Bodenproben aus 2 Untersuchungsjahren der 392 Standorte im 4x4 km - Rastersystem (Bericht 1998).

⇒ Datei: **BSR.xls**

Die Analysenwerte aller untersuchten Bodenproben aus 2 Untersuchungsjahren der Untersuchungen an potentiellen Kontaminationsflächen (Bericht 1999).

⇒ Datei: **BSVF.xls**

Die Analysenwerte aller untersuchten Bodenproben von 119 Nichttrasterstandorten mit Erstbeprobung in den Jahren 1986-1989 inklusive der ersten Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung nach zehn Jahren (Bericht 2000).

⇒ Datei: **BSN1.xls**

Die Analysenwerte aller untersuchten Bodenproben aus dem Projekt über die zeitliche und örtliche Variabilität von Untersuchungsparametern (Bericht 2000).

⇒ Datei: **BSh.xls**

Die Analysenwerte aller untersuchten Bodenproben, wobei die Ergebnisse der Oberböden aus den beiden ersten Untersuchungsjahren jedes Standortes gemittelt wurden („Basisuntersuchung“).

⇒ Dateien: **BSR_MW.xls, BSVF_MW.xls, BSN1_MW.xls**

Nutzungsmöglichkeiten:

Information über den Bodenzustand an einem konkreten Standort

Unter dem Menüpunkt „Daten“ befindet sich ein Untermenü „**Kartenauswahl**“, welches entsprechend der Themenbereiche der drei Bodenschutzberichte 1998, 1999 und 2000 zu Übersichtskarten mit der ungefähren Lage der betreffenden Untersuchungsstandorte führt. Diese sind per Mausklick einzeln anwählbar und man erhält folgende Informationen:

- Analysendaten (alle Horizonte und Untersuchungsjahre)
- Verbale Beurteilung des Oberbodens bei Basisuntersuchung
- Bodenkundliche Profilbeschreibung

Individuelle Auswertungen

Die unter dem Menüpunkt „**Daten**“ anwählbaren Dateien können im Programm Excel individuellen Ansprüchen entsprechend bearbeitet werden.

! Falls Teile des auf der CD-ROM angebotenen Datenmaterials für **Veröffentlichungen** verwendet werden, wird zwecks Zustimmung um vorherige Kontaktnahme mit dem Datenurheber (Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark) ersucht.

Abkürzungen:Allgemeines:

BS	Labornummer
JAHR	Jahr der Probennahme
BKENN	Dreibuchstaben-Code der Probenkennung
LNR	Laufende Nummer der Probenkennung
HORIZONT	Horizontnummer (1 = Oberboden, 2 = Mittelboden, 3 = Unterboden)
PTYP	Probentyp (1 = Erstprobennahme, 2 = Wiederholungsprobe, 3 = Zehn-Jahreskontrolle)
STYP	Standortnutzung (G = Grünland, A = Acker, H = Hochalm, S = Sonderkultur, W = Wald)
HBEZ	Probennahmetiefen in cm (von - bis)
VON	Probennahmetiefe in cm, obere Begrenzung
BIS	Probennahmetiefe in cm, untere Begrenzung

Die **Probenkennung der Rasterstandorte** besteht aus einem Dreibuchstaben-Code, welcher dem Auto - Kurzkennzeichen des Bezirkes (Ausnahme: Graz = **GZ**) in dem der Standort liegt entspricht, plus einem Buchstaben aus dem laufenden Alphabet zur weiteren Unterteilung. Zum Beispiel: DLB bedeutet Standort im Bezirk Deutschlandsberg im willkürlich vergebenen Unterbereich B.

Die Kurzkennzeichen der einzelnen Bezirke lauten:

BM	Bruck / Mur	HB	Hartberg	LI	Liezen
DL	Deutschlandsberg	JU	Judenburg	MZ	Mürzzuschlag
FB	Feldbach	KN	Knittelfeld	MU	Murau
FF	Fürstenfeld	LB	Leibnitz	RA	Radkersburg
GU	Graz - Umgebung	LE	Leoben	VO	Voitsberg
WZ	Weiz				

Die **Probenkennung der Nicht rasterstandorte** besteht ebenfalls aus einem Dreibuchstaben-Code, der bis auf einige Ausnahmen (Hinweise auf thematische Fragestellungen) auch meist die ein Kurzkennzeichen des Bezirkes oder der Region beinhaltet.

Analysendaten:

Eine „-1“ bei den Analysendaten zeigt an, dass diese Messung nicht durchgeführt werden konnte.

Eine „-2“ bei den Analysendaten zeigt an, dass diese Messung prinzipiell nicht durchgeführt wird (z. B.: Korngrößen im ersten Wiederholungsjahr).

Abkürzungen in den Datenbanken (*.xls):**SAND, SCHLUFF, TON** Korngrößen in %

HUMUS Humusgehalt in %
PH_WERT pH-Wert, Säuregrad
CACO3 Kalziumcarbonat bzw. Kalk in %
P2O5 Phosphorpentoxid → Angabeform des Phosphor-Gehaltes in mg/100g
K2O Kaliumoxid → Angabeform des Kalium-Gehaltes in mg/100g
MG Magnesium in mg/100g
BOR Bor in mg/kg
FLUOR Wasser - extrahierbares Fluor in mg/kg

CU EDTA - extrahierbares Kupfer in mg/kg
ZN EDTA - extrahierbares Zink in mg/kg
MN EDTA - extrahierbares Mangan in mg/kg
FE EDTA - extrahierbares Eisen in mg/kg

CAKAT Austauschbares Kalzium in mg/100g
MGKAT Austauschbares Magnesium in mg/100g
KKAT Austauschbares Kalium in mg/100g
NAKAT Austauschbares Natrium in mg/100g

Schwermetalle aus dem Königswasserextrakt in mg/kg

KWCU	Kupfer	NI	Nickel	HG	Quecksilber
KWZN	Zink	CO	Kobalt	AS	Arsen
PB	Blei	MO	Molybdän		
CR	Chrom	CD	Cadmium		

HCB Hexachlorbenzol in ng/g
DDT DDT in ng/g
LINDAN Lindan in ng/g

TERBUTYL Terbutylazin in ng/g

PH Phenanthren in ng/g
AN Anthracen in ng/g
FA Fluoranthren in ng/g
PY Pyren in ng/g
TC Summe Triphenylen + Chrysen in ng/g
BF Summe Benzo(b+k+j) Fluoranthren in ng/g
BA Benzo(a) Pyren in ng/g
BE Benzo(e) Pyren in ng/g
PE Perylen in ng/g
BP Benzo(ghi) Perylen in ng/g

PAH_SUM Summe Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in ng/g
ohne PH und AN

Die Untersuchungssystematik des steiermärkischen Bodenschutzprogrammes

Untersuchungsphase 1: Erster grober, stichprobenartiger Überblick in ausgewählten Regionen (Nichttrasterstandorte).

Entsprechend der gesetzlichen Grundlage wurde die Steiermark dazu in Untersuchungsregionen eingeteilt und an 119 Standorten eine Erst- und Wiederholungsuntersuchung durchgeführt.

Nichttrasterstandorte der Untersuchungsphase 1

Jahr	Σ Punkte	Σ Bodenproben*	Standorte
1986	60	176	LEI 1-10, FUE 1-10, KNI 1-10, BRU 1-10, LIE 1-10, VOI 1-10
1987	12	36	IND 1-12
1988	21	56	POE 1-10, NEU 1-11
1989	26	76	GRA 1-12, LEO 1-10, NEU 12, VOI 11, KNI 11, BRU 11
Σ	119	344	---

* nur Erstuntersuchung

Untersuchungsphase 2: Der 4 x 4 km - Raster über die gesamte Steiermark.

In den Jahren 1990 bis 1997 (Wiederholungsprobennahmen 1998) wurde die Bodenzustandsinventur der Steiermark gemäß den bundesweiten Empfehlungen der Arbeitsgruppe "Bodenzustandsinventur" der Österreichischen bodenkundlichen Gesellschaft nach einem Rastersystem fortgeführt. Das Rasternetz (ca. 4 x 4 km) wurde von der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur übernommen und ergänzt dieses an den Nicht-Waldstandorten.

Rasterstandorte der Untersuchungsphase 2

Jahr	Σ Punkte	Σ Bodenproben*	Standorte
1990	9	26	LIA 2, LIB 4, LIC 1, 2, 6+10, LID 2, 9+10
1991	75	218	FFA 1-10, HBA 1-12, HBB 1-12, HBC 1-9, WZA 1-10, WZB 1-10, WZC 1-10, LIC 11, LID 3
1992	72	207	JUA 1-10, JUB 1-8, KNA 1-10, KNB 1-5, MUA 1-10, MUB 1-10, MUC 1-10, MUD 1-7, WZA 11, HBC 10
1993	74	219	LBA 1-10, LBB 1-10, LBC 1-8, FBA 1-11, FBB 1-11, FBC 1-11, RAA 1-7, RAB 1-6
1994	54	151	VOA 1-8, VOB 1-7, LEA 1-8, LEB 1-6, MZA 1-8, MZB 1-4, BMA 1-7, BMB 1-6
1995	78	234	DLA 1-11, DLB 1-10, GUA 1-10, GUB 1-10, GUC 1-8, GZA 1-5, VOB 8, LBC 9, FBD 1, HBD 1-4, WZD 1-4, MZB 5-9, BMB 7-8, KNB 6, MUD 8-12
1996	29	84	LIF 1-10, LIG 1-10, LIH 1-9
1997	1	3	LIH 10
Σ	392	1.142	---

* nur Erstuntersuchung

Untersuchungsphase 3: Vervollständigung des Untersuchungsnetzes zur Klärung von Herkunft und flächenhafter Verbreitung von Schadstoffbelastungen durch Nicht-rasterstandorte.

Die Einrichtung dieser Verdichtungsstandorte wird seit 1997 (vereinzelt auch schon 1990 - 1992) durchgeführt.

Für eine aussagekräftige und mit den anderen Bundesländern Österreichs vergleichbare Dichte an ständigen Untersuchungsstellen wird eine Mindestanzahl von 1.000 Standorten für die Steiermark als notwendig erachtet. Nach Abschluss dieser Untersuchungsphase in den Jahren 2006/2007 ist derzeit keine weitere Verdichtung des Untersuchungsnetzes vorgesehen.

Nichtrasterstandorte der Untersuchungsphase 3 (Stand 2000)

Jahr	Σ Punkte	Σ Bodenproben*	Standorte
1990	31	92	LIA 1, 3-11, LIB 1-3, 5-10, LIC 3-5, 7-9, LID 1, 4-8
1991	1	3	LIB 11
1992	6	20	IND 13-16, KNI 12, LID 11
1997	87	250	VFA 1-6, VFB 1-12, VFC 1-10, VFD 1-7, VFE 1-20, VFF 1-7, VFG 1-11, VFH 1-10, VFI 1-4
1998	79	230	RAX 1-11, FBX 1-17, LBX 1-15, LIX 1-30, DLX 1-3, GUX 1, VOX 1-2
1999	74	221	FFX 1-6, DLX 4-31, MUX 1-23, MZX 1-17
2000	60	176	WZX 1-30, BMX 1-30
Σ	338	992	---

* nur Erstuntersuchung

In Summe wurden bisher **849 Untersuchungsstellen** eingerichtet und **2.478 Bodenproben** (nur Erstuntersuchung) entnommen. Berücksichtigt man auch die Wiederholungsuntersuchungen im Folgejahr der Erstprobennahmen, so wurden bis Ende des Jahres 2000 **3.275 Bodenproben** gewonnen.

Hinzu kommen noch **34 Auflagehumus-** und **553 Pflanzenproben**, sowie die Proben der Zehn-Jahreskontrollen (**224 Boden-**, **15 Auflagehumus-** und **200 Pflanzenproben**).

Zusammengefasst ergibt sich für die Jahre 1986 bis 2000 ein Untersuchungsvolumen von 3.499 Boden-, 49 Auflagehumus- und 753 Pflanzenproben.

Bodendauerbeobachtung in der Steiermark:

Seit dem Jahr 1996 erfolgt in Zehn-Jahresabständen eine Kontrolle aller Standorte - also im Jahr 1996 die Kontrolluntersuchung der in den Jahren 1986 erstbeprobten Bodenschutzpunkte usw..

Es ist anzunehmen, dass nach 2-3 Untersuchungsdekaden erstmals konkrete Aussagen über Bodenveränderungen (Trends von Schadstoffgehalten und Nährstoffversorgung) gemacht werden können.

Die im Bodenschutzbericht 2000 präsentierten 1. Zwischenergebnisse liefern erste Basiserkenntnisse für derartige Auswertungen.

Das weitere Vorgehen

Prinzipiell kann gesagt werden, dass eine aussagekräftige Bodenzustandsinventur im wesentlichen auf folgenden zwei Schienen laufen muss:

- Ausreichende **Meßpunktdichte** des Untersuchungsnetzes und
- Bodendauerbeobachtung durch **periodische Wiederholungen**.

1.) Fertigstellung eines aussagekräftigen Untersuchungsnetzes ständiger Prüfstandorte in der Steiermark:

Dabei gilt es einen **Kompromiss zwischen minimaler Standortanzahl und möglichst hoher Aussagekraft** zu finden.

Für die Steiermark wird eine Anzahl von ca. **1.000** Untersuchungsstandorten angestrebt, wovon derzeit rund 85 % eingerichtet sind.

Zeitplan:

Jahr	Anzahl Standorte
2001	24
2002	22
2003	26
2004	46
2005	22
2006	11
Summe:	151

2.) Bodendauerbeobachtung durch periodisch wiederholte Untersuchungen:

Die 1996 begonnene Wiederholungsuntersuchung aller Bodenschutzstandorte in Zehn-Jahresabständen wird konsequent weiter verfolgt.

Der Abstand von 10 Jahren ist für die meisten Schadstoffe im Boden ausreichend, sodass bereits nach 2-3 Untersuchungsdekaden Trends ausreichend dokumentiert und erkennbar sein müssen.

Help:



Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:

Dr. Mag. Wolfgang **KRAINER** (Leiter Bodenschutzabteilung)

0316 - 877 - 2825

E-Mail: wolfgang.krainer@stmk.gv.at

Dr. Mag. Gertrude **BILLIANI** (Stellvertretung)

0316 - 877 - 2418

E-Mail: gertrude.billiani@stmk.gv.at

Herr Herbert **MROSEK** (EDV)

0316 - 877 - 2527

E-Mail: herbert.mrosek@stmk.gv.at

IMPRESSUM

Herausgegeben von:

Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark
Direktor: Hofrat Univ. Prof. Dr. Ing. Michael KÖCK,
Burggasse 2, 8010 Graz

Redaktion, Layout und Inhalt:

Mag. Dr. Wolfgang KRAINER
Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark
(Bodenschutzabteilung)

Unter Mitarbeit von:

Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft
Institut für Bodenwirtschaft - Außenstelle Graz
(Bodenkundliche Betreuung)

MROSEK Herbert (EDV)
Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark
(Bodenschutzabteilung)

Druck:

LAD – Zentralkanzlei, Burgring 4, 8010 Graz