LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern

8

2005

Schriftenreihe

ISSN 1611-4159

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL),
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: http://www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroekologie@LfL.bayern.de
Tel.: 08161/71-3640

1. Auflage Oktober / 2005

Druck: Direkt Marketing & Digitaldruck, 85356 Freising / Attaching

© LfL

LfL
Agrarökologie

Zwischenbilanz der wichtigsten Ergebnisse 1985-2005

4. Kulturlandschaftstag der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

am 26. Oktober 2005 in Freising-Weihenstephan

Tagungsband

Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Eröffnungsrede „20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern“ 11

2 Die Europäische Monitoring-Direktive – Aktueller Stand der Diskussion 17

2.1 Einleitung 17

2.2 Ergebnisse der Technical Working Group Monitoring 18

2.2.1 Task Group „Existing Monitoring Sites“ 18

2.2.2 Task Group „Parameters and Indicators” 19

2.2.3 Task Group „Harmonization” 20

2.2.4 Task Group „Variability of Soils” 20

2.3 Zusammenfassung von Eckpunkten für den Aufbau eines EU-Bodenmonitorings 21

2.4 Literaturverzeichnis 22

3 Boden-Dauerbeobachtung in Bayern – Konzept und Auswertung der Bewirtschaftungsdaten 23

3.1 Konzept der Boden-Dauerbeobachtung in Bayern 23

3.1.1 Anlass 23

3.1.2 Ziele und Funktionen 23

3.1.3 Einrichtung und Untersuchungsumfang 23

3.2 Archivierung und Auswertung der Bewirtschaftungsdaten 25

3.2.1 Dokumentation und Archivierung 25

3.2.2 Auswertung und Veränderungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung 25

3.2.3 Fazit 26

3.3 Literaturverzeichnis 26

4 Anorganische, organische Schadstoffe 27

4.1 Einleitung 27

4.2 Material und Methoden 27

4.3 Ergebnisse 28

4.3.1 Stoffbestand des Bodens - Schwermetalle 28

4.3.2 Stoffbestand des Bodens – Organische Schadstoffe 29

4.3.3 Entwicklung der Schwermetall-Einträge in den letzten 20 Jahren 29

4.4 Bewertung und Ausblick 34

4.5 Literaturverzeichnis 34

5 Veränderung der Radionuklidgehalte auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen 35

5.1 Einleitung 35

5.2 Gehalte von Radiocäsium im Boden nach dem Unfall 1986 35
5.3 Ergebnisse 36
5.3.1 Radiocäsiumgehalte (Cs 137) im Boden – die Situation heute 36
5.3.2 Radiostrontiumgehalte (Sr 90) im Boden – die Situation heute 37
5.3.3 Radiocäsiumgehalte in Wirtschaftsdüngern 38
5.4 Fazit 39
5.5 Literaturverzeichnis 39
6 Zeitliche Veränderungen der Regenwurm-Taxozönosen auf Grünland- und Ackerflächen 41
6.1 Regenwürmer als Bioindikatoren 41
6.2 Material und Methode 41
6.3 Ergebnisse 41
6.3.1 Entwicklung der Regenwurm-Taxozönosen auf Grünland-BDF 41
6.3.2 Entwicklung der Regenwurm-Taxozönosen auf Acker-BDF 44
6.4 Diskussion 46
6.5 Ausblick 48
6.6 Literaturverzeichnis 48
7 Entwicklung der Acker- und Grünlandvegetation 49
7.1 Einleitung 49
7.2 Material und Methoden 49
7.3 Ergebnisse 49
7.3.1 Gesamtartenzahlen 49
7.3.2 Artenzahl pro Aufnahme 50
7.3.3 Veränderungen im Artenspektrum auf Ackerstandorten 50
7.3.4 Veränderungen im Artenspektrum im Grünland 50
7.3.5 Arten der 'Roten Listen' 51
7.4 Literaturverzeichnis 51
8 Humus- Gehalts- und Qualitätsveränderungen seit 1985 53
8.1 Einleitung und Ziel der Untersuchungen 53
8.2 Probenahme 53
8.3 Humusparameter, Methoden 53
8.4 Statistik 53
8.5 Ergebnisse 53
8.6 Schlussfolgerungen 56

9 Bodengefüge – Status und Veränderungen 57
9.1 Bedeutung des Bodengefüges 57
9.2 Einfluss der Bewirtschaftung 57
9.3 Rahmenbedingungen 57
9.4 Probenahme und Untersuchungsmethoden 57
9.5 Ergebnisse 58
9.5.1 Unterboden 58
9.5.2 Krume 60
9.6 Diskussion und Fazit 60
9.7 Schlussfolgerungen 60
9.8 Literaturverzeichnis 60

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 1: Die acht Gefährdungen unserer Böden 17

Abb. 2: Häufigkeitsverteilungen (rechts) von Bodentyp/Landnutzungskombinationen als Ergebnis einer Repräsentanzprüfung (links, schematisch) für ein rasterbasiertes Bodenmonitoring (16 x 16 km) mit Bezug zu EU-weit vorliegenden Flächeninformationen zu Bodenformen und Landnutzungen (Quelle: King & Montanarella, 2002) 21

Abb. 3: Lage und Nutzung der Bodenbeobachtungsflächen und Erosionsmessstellen 24

Abb. 4: Entwicklung der Boden-Bearbeitungstiefe auf den Acker-BDF seit 1985 25

Abb. 5: Entwicklung der organischen Düngung auf den Acker-BDF seit 1986 26

Abb. 6: Schwermetallgehalte der BDF (Daten Oberböden 1996-1998) – Vergleich zu Vorsorgewerten der BBodSchV 28

Abb. 7: Veränderung der Pb-, Mn-, Zn- und Cu-Immissionen 1985-2004 30

Abb. 8: Veränderung der Cd-, Cr- und Ni-Immissionen 1985-2004 30

Abb. 9: Veränderung der Cd-Einträge durch P-Dünger verschiedener Herkünfte 1985-2004 32

Abb. 10: Veränderung der Pb- und Cr-Einträge durch P-Dünger verschiedener Herkünfte 1985-2004 32

Abb. 11: Radioaktive Kontamination der Böden in Bayern. Zusätzliche Deposition von Cs 137 infolge des Unfalls von Tschernobyl nach StMLU und StMELF (1987) 35

Abb. 12: Mittlere prozentuale Zusammensetzung der Radionuklide, die 1986 im Raum München niedergegangen sind (HAISCH, A., MAYER, J., HENKELMANN, G. (2000)) 36

Abb. 13: Kontamination von **Grünlandböden** in der obersten Bodenschicht (0-10 cm) in Süd- und Nordbayern durch **Cäsium 137** in Bq/ m² (1987-2004) 37

Abb. 14: Kontamination von **Grünlandböden** des BDF-Programms mit **Strontium 90** in Bq/m² (1995-2004) (n = 16) 38

Abb. 15: Kontamination von **Wirtschaftsdüngern** aus ganz Bayern mit **Cäsium 137** und **Cäsium 134** in Bq/kg Trockenmasse (TM) 38

Abb. 16: Mittlere Individuendichte der Regenwürmer auf **Grünland-BDF**, Erstuntersuchung, 1. und 2. Folgeuntersuchung 42

Abb. 17: Mittlere Individuendichte der Regenwürmer auf **Acker-BDF**, Erstuntersuchung, 1. und 2. Folgeuntersuchung 42

Abb. 18: Veränderung der Regenwurm-Individuendichte auf **Grünland-BDF** im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und 1. Folgeuntersuchung sowie zwischen der 1. und 2. Folgeuntersuchung 43

Abb. 19: Veränderung der Regenwurm-Individuendichte auf **Grünland-BDF** im Zeitraum zwischen der Erstuntersuchung und 2. Folgeuntersuchung. (Vergleich über die gesamte Beobachtungszeit) 43

Abb. 20: Veränderungen der Regenwurm-Individuendichte im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und der 1. Folgeuntersuchung auf **Acker-BDF** 44

Abb. 21: Vergleich der Regenwurm-Individuendichte auf **Acker-BDF** im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und 1. Folgeuntersuchung bzw. 1. und 2. Folgeuntersuchung 45

Abb. 22: Vergleich der Regenwurm-Individuendichte auf **Acker-BDF** im Zeitraum zwischen der Erstuntersuchung und der 2. Folgeuntersuchung (Vergleich über die gesamte Beobachtungszeit) 45

Abb. 23: Zu- und Abnahme der Regenwurm-Individuendichte **auf Grünland- und Acker-BDF** im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und 1. Folgeuntersuchung, 1. Folgeuntersuchung und 2. Folgeuntersuchung sowie Erstuntersuchung und 2. Folgeuntersuchung 47

Abb. 24: Artenreiches Grünland mit Wiesenpippau, einer Charakterart der Glatthaferwiesen.....51

Abb. 25: Veränderung der **C_{org}-Gehalte** der Acker-BDF (1. zur 3. Untersuchung) 54

Abb. 26: Veränderung der **N_t-Gehalte** der Acker-BDF (1. zur 3. Untersuchung) 54

Abb. 27: Veränderung des **C/N-Verhältnisses** der Acker-BDF (1. zur 3. Untersuchung) 55

Abb. 28: Luftkapazität von 29 Acker-BDF in der „Pflugsohle“ bei ca. 30 cm Tiefe (linke Säule) und in 40 bis 50 cm Tiefe (rechte Säule) differenziert nach Bodenartenhauptgruppen (gelb: Sand; braun: Schluff/Lehm, violett: Ton).....58

Abb. 29: Luftkapazität von 29 BDF in der Pflugsohle bei ca. 30 cm Tiefe (linke Säule) und in 40 bis 50 cm Tiefe (rechte Säule) differenziert nach Fruchtfolgetypen (gelb: Getreide ohne Hackfrucht; grün: mit Mais; rot: mit Zuckerrüben).....59

Abb. 30: Veränderungen der Luftkapazität von 17 Acker-BDF in ca. 30-35 cm Tiefe zwischen der 1. und 2. Untersuchungsserie differenziert nach Fruchtfolgetypen (gelb: Getreide ohne Hackfrucht; grün: mit Mais; rot: mit Zuckerrüben).....59

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: ΣPCB_6, ΣPAK_{15}, B(a)P in Oberböden der Acker- und Grünland-BDF (µg/kg) im Vergleich zu Vorsorgewerten der BBodSchV (NG = 1 µg/kg) 29

Tab. 2: Nährstoffaufwand in Bayern 1985-2004 (Daten ILB) 31

Tab. 3: Veränderung der Cu- und Zn-Gehalte in Schweinegülle 1985-1999 33

Tab. 4: Veränderung der Cu- und Zn-Gehalte in Rindergülle 1985-1999 33

Tab. 5: Regenwurm-Individuendichte und landwirtschaftliche Maßnahmen; aufgenommen wurden alle **Acker-BDF,** auf denen in der 1. oder 2. Folgeuntersuchung die Individuendichte > 150 Ind./m² war 48

Tab. 6: Zahl der in den Vegetationsaufnahmen 1986-2004 gefundenen, spontan auftretenden Pflanzenarten bzw. Arten der Wildkrautflora 50

1 Eröffnungsrede „20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern“

Josef Miller, Bayerischer Staatsminister für Landwirtschaft und Forsten

Zum 4. Kulturlandschaftstag der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) mit dem Thema *„20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern“* heiße ich Sie sehr herzlich willkommen.

Boden ist der wichtigste, nicht erneuerbare und nicht vermehrbare **Produktionsfaktor der Landwirtschaft**. Er ist auch die Grundlage für sauberes Trinkwasser und gesunde Futter- und Lebensmittel.

Ein **Markenzeichen Bayerischer Agrarpolitik** ist, dass sie **vorausschauend und zukunftsweisend ist**. Unsere wesentlichen **Ziele** sind:

1. Die heimische Land- und Ernährungswirtschaft muss auch weiterhin einen **verlässlichen Beitrag zur Sicherung der Ernährung mit hochwertigen und sicheren Lebensmitteln** leisten. Dabei legen wir großen Wert auf die Erfüllung der gesellschaftlichen Anforderungen im **Tier-, Umwelt- und Verbraucherschutz**.
2. Wir wollen eine **möglichst große Zahl wettbewerbsfähiger bäuerlicher Betriebe erhalten, die flächendeckend das Land bewirtschaften** und damit die **attraktive Kulturlandschaft** sichern.
3. Wir wollen die **natürlichen Ressourcen Boden, Wasser und Luft für künftige Generationen sichern**.

Unsere besondere Aufmerksamkeit gilt dem Boden als Grundlage jeglicher Landbewirtschaftung. Denn **Bodenschutz ist praktizierter und vorausschauender Umwelt- und Verbraucherschutz** und dient unserem Lebensraum im wahrsten Sinne des Wortes.

Bayern hat vor 20 Jahren als erstes Land eine langfristige Boden-Dauerbeobachtung eingeführt. Anlass für die Einrichtung des **Bodenmonitorings** war die zunehmende Versauerung und Kontamination von Waldböden Mitte der 80er Jahre sowie die Befürchtungen einer nachhaltigen Schädigung des Bodenlebens. Es häuften sich die Berichte über Schadstoffeinträge aus der Luft sowie durch Dünge- und Pflanzenschutzmittel. Damals gab es keine ausreichenden Informationsgrundlagen über den Eintrag und das Langzeitverhalten von Fremdstoffen.

Die **Initiative,** Boden-Dauerbeobachtungsflächen einzurichten, geht auf den Beschluss der 24. Umweltministerkonferenz am **24. April 1985** zurück.

Bayern hat damals sehr schnell gehandelt. Schon 5 Tage nach dem Beschluss der Umweltministerkonferenz wurde die damalige Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau angewiesen, **ein landesweites Netz von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in der Landwirtschaft zu installieren**. Ziel war es, Kenntnisse über den **Zustand unserer landwirtschaftlich genutzten Böden** zu erlangen. Entsprechend den unterschiedlichen

geologischen, bodenkundlichen und klimatischen Bedingungen und Nutzungsformen haben wir **133 repräsentative landwirtschaftlich genutzte Standorte für Bodendauerbeobachtungen** ausgewählt.

Bayern hat damit als erstes Bundesland die Initiative für den vorbeugenden Bodenschutz ergriffen. Heute verfügt **kein anderes Bundesland über längere Messreihen**. Durch unsere langjährigen Messungen ist die Risikoabschätzung in Bayern in vielen Fällen sehr viel einfacher und sicherer geworden.

Mit der **späteren bundesweiten Etablierung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen** auf landwirtschaftlich genutzten Böden entstand ein **repräsentatives Messnetz** für verschiedene Umweltschutzaufgaben. Der Datenbestand soll künftig auch für europaweite Auswertungen herangezogen werden.

Die mittlerweile von den Ländern installierten **Bodeninformationssysteme** basieren auf dem **Bundes-Bodenschutzgesetz** von 1999. Eine wesentliche Datengrundlage ist dabei die Boden-Dauerbeobachtung.

Ziel und Funktion der Boden-Dauerbeobachtung

Ziel der Boden-Dauerbeobachtung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist es,

- den **aktuellen Zustand** der Böden zu erfassen und zu dokumentieren,
- **Veränderungen** langfristig zu überwachen und
- **Entwicklungstendenzen** abzuleiten.

Dadurch wird es erforderlichenfalls möglich, rechtzeitig Maßnahmen zum Schutz der Böden treffen zu können.

Über die Erfassung von Bodenveränderungen hinaus dient das Bodenmonitoring auch der **Erfolgskontrolle von umweltpolitischen Maßnahmen sowie als Grundlage für Trendaussagen**. Damit lassen sich Fragen beantworten wie z. B.:

- Hat sich die Förderung von Bodenschutzmaßnahmen, wie z. B. der Mulchsaat, positiv auf das Bodenleben, den Humusgehalt und die Reinhaltung der Gewässer ausgewirkt?
- Oder gibt es neue Gefahren, die zu einer Belastung der Böden führen können?

Die Arbeit des **Instituts für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz** ist im Rahmen der institutsübergreifenden, praxisorientierten staatlichen Forschung an der LfL dabei die unersetzliche Basis für

- **agrarpolitische Entscheidungen,**
- eine **sachgerechte Durchführung von Hoheitsaufgaben** sowie
- eine **kompetente staatliche Landwirtschaftverwaltung und -beratung.**
- Darüber hinaus bietet die LfL mit ihren Merkblättern und den Informationen im Internet eine wichtige **Entscheidungsgrundlage für unsere Landwirte.**

Ergebnisse und Auswirkungen auf den Schutz des Bodens

Im Rahmen der Bodendauerbeobachtung werden an der LfL **viele Faktoren untersucht**, **auch solche, die außerlandwirtschaftliche Ursachen** haben.

So haben sich die Beobachtungsflächen nach dem **Reaktorunfall von Tschernobyl** im Jahr 1986 als sehr wertvoll erwiesen. Da die Dauerbeobachtung bereits vor dem Unfall in Betrieb genommen worden war, konnte man durch die kontinuierlichen Messungen den **langsamen Rückgang der radioaktiven Belastung über die einzelnen Landesteile hinweg** in Boden und Pflanze verfolgen und dokumentieren.

Wir haben z. B. auch festgestellt, dass sich die Gehalte der in unserer Umwelt überall vorkommenden **polychlorierten Biphenyle** und **polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe** durchwegs **weit unter den Vorsorgewerten** der Bundes-Bodenschutzverordnung bewegen.

Auch für die **praktische Landwirtschaft** ist die Boden-Dauerbeobachtung wichtig. Wir können die Landwirtschaft gegebenenfalls auf **Schwachstellen in der Produktionstechnik** hinweisen. Die Landwirte können rechtzeitig Gegenmaßnahmen treffen. Vorrangig ist dabei die **Erhaltung der Filterfunktion und Pufferwirkung des Bodens**. Denn ein **gesunder Boden** ist die **beste Voraussetzung** für **gesunde Nahrungsmittel** und eine **intakte Umwelt**.

Wir haben festgestellt, dass der größte Teil der heute zugelassenen Wirkstoffe in **Pflanzenschutzmitteln** nach Ablauf eines Jahres in den Böden nicht mehr nachweisbar ist. **Moderne Wirkstoffe** zeichnen sich durch **niedrige Aufwandmengen, kurze Abbauzeiten, geringe Toxizität** und damit durch eine **hohe Umweltverträglichkeit** aus. Wegen dieser positiven Eigenschaften gingen nicht nur die **Verunreinigungen der Gewässer durch Pflanzenschutzmittel erheblich zurück,** sondern **auch die Anreicherung der Rückstände in den Böden und Nahrungsketten.**

Auch die **Schwermetall-Gehalte** der Böden bewegen sich meist weit unter den Vorsorgewerten der Bayerischen Bodenschutzverordnung. Bei Mineraldüngern führte v. a. der **Rückgang des Phosphat-Düngereinsatzes in den letzten zwei Jahrzehnten zu einer Abnahme des Schwermetall-Eintrags um über 50 %**. Aber auch freiwillige Vereinbarungen mit der Industrie zur Verwendung cadmiumarmer Rohphosphate trugen zu einem Rückgang der Cadmiumgehalte in den Düngemitteln bei.

Humus ist wichtig für das **Speicher-, Filter und Puffervermögen der Böden**. Bei etwa zwei Dritteln der Acker-Dauerbeobachtungsflächen haben sich die Humusgehalte gegenüber der Ausgangsuntersuchung von 1986 nicht signifikant verändert. Etwa ein Viertel zeigt eine signifikante Abnahme der Humusgehalte und ein Zehntel eine signifikante Zunahme.

Die **Humusuntersuchung stellt für die Beratung eine aussagekräftige Grundlage** dar. Auf dieser Basis kann der **Landwirt seine Bewirtschaftung anpassen** und schließlich den **Humusgehalt und die Humusqualität optimieren**.

Regenwürmer sind gute Bioindikatoren. Sie gelten als **Anzeiger nachhaltiger natürlicher Bodenfruchtbarkeit**. Auf den Grünland-Dauerbeobachtungsflächen halten sich Zu- und Abnahme des Regenwurmbestandes auf hohem Niveau die Waage. Der Regenwurmbestand auf den Acker-Dauerbeobachtungsflächen hat im ersten Untersuchungsintervall von 1986 bis 1995 auf mehr als der Hälfte der Acker-Dauerbeobachtungsflächen signifikant zugenommen. Im zweiten Untersuchungsintervall ab 1996 ist sogar noch eine weitere Steigerung zu beobachten. Sie hat sich in diesem Zeitraum nochmals mehr als verdoppelt.

Gründe für die Zunahme der Regenwurmpopulation auf den Acker-Dauerbeobachtungsflächen sind die **verminderte Intensität der Grund-Bodenbearbeitung**, der **vermehrte Zwischenfruchtanbau**, der **verstärkte Einsatz von Mulchsaat**, der **überlegte**

Einsatz von Wirtschaftsdüngern und **vor allem die hohe Akzeptanz von Extensivierungsprogrammen**.

Die Untersuchungen auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen zeigen deutlich: **Unsere Böden sind heute ertragreicher als je zuvor! Die Bodenfruchtbarkeit hat in Bayern in den letzten Jahrzehnten nicht ab-, sondern zugenommen!** Den Landwirten ist am Erhalt ihrer Böden und der Bodenfruchtbarkeit gelegen! Denn sie wollen ihren wichtigsten Produktionsfaktor, den fruchtbaren Boden, den kommenden Generationen vererben und nicht durch Raubbau verderben!

Bayerische Agrarumweltpolitik

Dies alles belegt, dass

- einerseits die **konsequente Ausbildung und Beratung der Landwirte** durch unsere Ämter und
- andererseits **unsere Fördermaßnahmen** im Rahmen des **Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms** Früchte tragen.

Mit dem **Bayerischen Kulturlandschaftsprogramm honorieren wir** auf 50 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche **freiwillige ökologische Leistungen der Landwirtschaft**. Wir haben die jährliche Gesamtfördersumme von ca. 20 Mio. € im Jahr 1988 **auf gut 180 Mio. € im Jahr 2004** gesteigert! Der **Bundesagrarbericht 2005** belegt: **Bayern** steht mit **71 €/ha LF und Jahr** bei der Honorierung der umweltgerechten Agrarerzeugung mit an der Spitze der deutschen Bundesländer.

Dies zeigt deutlich: Die **Politik in Bayern nutzt die Forschungsergebnisse**, um die **Belange der Landwirtschaft und der Gesellschaft** bei Handlungsbedarf rasch und **erfolgreich mit Konzepten und Fördermaßnahmen in Einklang zu bringen.**

Perspektiven für die Boden-Dauerbeobachtung

Unser Ziel ist es, die **wirtschaftliche Nutzungs- und ökologische Leistungsfähigkeit** unserer landwirtschaftlich genutzten **Böden nachhaltig zu sichern**. Dazu ist eine genaue Kenntnis der **vielfältigen stofflichen Eigenschaften der Böden in ihrer zeitlichen Entwicklung auch künftig erforderlich**. Bodenanalysen, wie sie die Landwirte zur Ermittlung des Düngebedarfs durchführen lassen, sagen dagegen in der Regel nur wenig aus über Belastungen und Veränderungen, denen die Böden ausgesetzt sind.

Seit 1985 sind zu den ursprünglichen Fragestellungen **neue hinzugekommen**. Hierzu zählt z. B. der Eintrag von neuen organischen Fremdstoffen. Zur Klärung dieser Fragen ist eine **langfristige Betrachtung notwendig**.

Auch die **gesetzlichen Grundlagen sprechen für eine Fortführung**. Um die Berichtspflichten gegenüber dem Bund und der EU in Zukunft erfüllen zu können, ist die **Fortsetzung des Bayerischen Untersuchungsprogramms im Bereich der Landwirtschaft erforderlich**.

Schluss

Ich danke allen, die in den vergangenen 20 Jahren an der Erstellung der Ergebnisse der Boden-Dauerbeobachtung mitgewirkt haben:

- den **Landwirten** dafür, dass sie ihre Flächen zur Verfügung stellen,
- den **Ämtern** für die Auswahl der Betriebe und die Probeziehungen und
- der **Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)** für die Probenuntersuchung sowie die Aus- und Bewertung der Ergebnisse.

Mein Dank gilt der LfL und insbesondere dem Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz mit **Herrn Rippel** an der Spitze auch für die **Organisation der jährlich stattfindenden Kulturlandschaftstage**.

Die Erkenntnisse aus 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung zeigen, dass sie fortgesetzt werden muss, damit im Bedarfsfall im Sinne einer wohlverstandenen Vorsorge die richtigen Entscheidungen getroffen werden können. Die **Erfassung langfristiger Bodenveränderungen ist und bleibt eine Daueraufgabe!**

2 Die Europäische Monitoring-Direktive – Aktueller Stand der Diskussion

Dr. Jens Utermann, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

2.1 Einleitung

Im Zuge eines wachsenden Bewusstseins für die Gefährdungen unserer Böden verfolgt die Europäische Kommission seit Mitte der 90er Jahre Bestrebungen zur Implementierung einer Europäischen Bodenschutzstrategie. Wichtige Meilensteine in diesem Kontext sind zunächst die Verabschiedung des 6. Umweltaktionsprogramms (Januar 2001) und die Mitteilung der Kommission „Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie“ (vom 16.04.2002) an den Rat, das europäische Parlament und die Ausschüsse. In Art. 6 (2) des 6. Umweltaktionsprogramms wird die Kommission verpflichtet, bis 2005 eine thematische Strategie zum Bodenschutz als eine von insgesamt sieben Strategien zu entwickeln. In der Mitteilung „Hin zu einer europäischen Bodenschutzstrategie“ wurden schließlich die in Abbildung 1 zueinander in Beziehung gesetzten acht wesentlichen Gefährdungen unserer Böden identifiziert. Unter den genannten Gefährdungen werden die Erosion, der Verlust an organischer Substanz und die diffuse/lokale Kontamination von Böden als derzeit besonders dringlich zu behandelnde Degradationsursachen betrachtet.

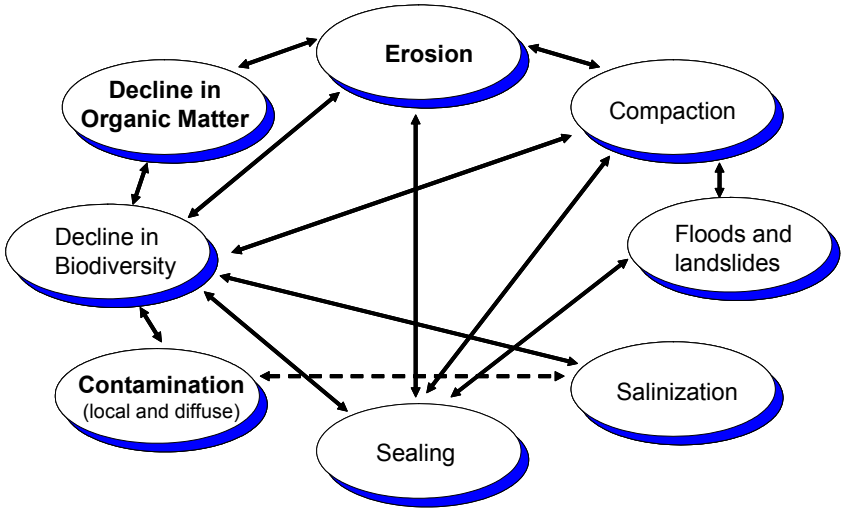


Abb. 1: Die acht Gefährdungen unserer Böden

Im Rahmen eines partizipativen Abstimmungsprozesses wurden in 2003/2004 unter Einbeziehung zahlreicher national/europäisch ausgerichteter Interessensvertretungen aus der Wirtschaft, den Verbänden und der Administration wesentliche inhaltliche Eckpunkte einer Bodenschutzstrategie erarbeitet. Hierzu wurden entsprechend der Schwerpunktsetzung bei den Bodengefährdungen drei thematische Technical Working Groups (TWG) (*Erosion, Organische Substanz, Kontamination*) und zwei übergreifende TWGs (*Monitoring, Forschung*) eingerichtet. Die Behandlung der übrigen fünf Bodengefährdungen (Abb. 1) wurde auf die drei thematischen TWGs aufgeteilt. Die mit jeweils 30 bis 50 Experten besetzten TWGs haben die gestellten Aufgaben in mehreren Unterarbeitsgruppen („task groups“) bearbeitet. Allen TWGs wurden gemeinsame und spezifische Mandate übertragen. Als gemeinsames Mandat wurde die Erarbeitung von Empfehlungen zur Ausgestaltung einer

Monitoring Direktive (Parameter/Indikatoren) festgeschrieben, wobei jede Empfehlung i) fachlich begründet, ii) mit einer Abschätzung zu möglichen Auswirkungen und Kosten und iii) mit einer zeitlichen Perspektive unter Einbeziehung anderer Maßnahmen/Direktiven verknüpft werden sollte. Alle Empfehlungen waren zudem unter Beachtung des Subsidiaritätsprinzips zu formulieren, indem fachlich/administrativ sinnvolle Interventionsebenen für alle Erhebungen/Parameter zu definieren waren.

2.2 Ergebnisse der Technical Working Group Monitoring

Der TWG Monitoring wurden insgesamt fünf spezifische Mandate übertragen. Mandate, Ergebnisse und Empfehlungen aller fünf TWGs sind mittlerweile von der Kommission in sechs Bänden veröffentlicht worden (Van-Camp et al., 2004). Ausgewählte Ergebnisse der Task Groups werden im Folgenden erläutert:

2.2.1 Task Group „Existing Monitoring Sites“

Die Auswertung der Task Group „Existing Monitoring Sites“ erfolgte für die drei Informationsebenen i) Bodenkarten, ii) Inventuren und iii) Monitoringsysteme.

Bodenkarten als Grundvoraussetzung für ein Bodenmonitoring sind in unterschiedlichsten Maßstäben digital verfügbar. EU-weit liegt die EU-Soil Map im Maßstab 1:1 Mio. vor (ESBN, 2004). Für größere Maßstäbe wird ein Harmonisierungsbedarf bezüglich der zugrunde liegenden nationalen Nomenklaturen gesehen.

Inventuren im Sinne einmaliger Bestandsaufnahmen von Bodeneigenschaften und –zuständen folgen entweder rasterbasierten oder stratifizierten Ansätzen mit regionaler, nationaler oder EU-weiter Ausdehnung. Als EU-weit angelegte Programme wurden LUCAS (Flächenstichprobe Land Use/Cover Area System) und das Forest Soil Inventory identifiziert.

Echte ***Monitoringsysteme*** im Sinne wiederholter Erhebungen (analog der Boden-Dauerbeobachtung) sind derzeit in den Mitgliedsstaaten kaum verwirklicht. Zumeist handelt es sich um Inventuren, die analog der zurzeit in Deutschland geplanten Wiederholung der Bodenzustandserhebung Wald zu einem Monitoringsystem weiterentwickelt werden.

Die Auswertungen zu bestehenden Inventuren/Monitoringsystemen unterstreichen die Erkenntnis, dass Veränderungen im Bodenzustand i.d.R. nur langfristig nachweisbar sind. Zeitliche Veränderungen von Bodenzuständen sind dabei unter Einbeziehung von Aspekten der räumlichen Variabilität und Unsicherheit zu bewerten. Erfahrungen aus laufenden Programmen unterstreichen zudem die Notwendigkeit von Bodenprobenbanken zum rückwärtigen Ergebnis- und Methodenvergleich. Vorliegende Informationen/Daten sind aus europaweiter Sicht wegen methodischer Unterschiede kaum vergleichbar. Thematisch decken sie nur wenige Aspekte der acht Bodengefährdungen ab (Fokus auf Schwermetalle). Forschungsbedarf wird insbesondere im Hinblick auf die Biodiversität und die bodenphysikalische Degradation gesehen.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird empfohlen, als ersten Schritt in Richtung eines EU-weiten Monitoringprogramms eine Grundinventur („baseline“) zu verwirklichen. Hierzu sind sowohl allgemeine Parameter als auch gefahrenbezogene, spezifische Parameter festzulegen. Für alle Standorte eines EU-Monitoring Netzwerkes sollte ein minimaler Satz gemeinsamer Parameter festgelegt werden. Zudem sind EU-weit standardisierte Verfahren und Methoden verpflichtend vorzugeben und eine regelmäßige Qualitätssicherung einzufordern.

2.2.2 Task Group „Parameters and Indicators"

Die Task Group „Parameters and Indicators" schlägt zunächst die folgende Stratifizierung von Monitoring-Standorten vor:

- **Level 1**: Grundinventur mit obligatem Mindestdatensatz (systematische Beobachtungsnetze vorzugsweise für großflächige Prozesse (z. B. diffuse Kontamination)
- **Level 2**: Ausgewählte Standorte (ca. 10 % von Level 1) mit spezifischen Parametern für höhere Monitoringintensität (z. B. Wasser-/Stoffflüsse)
- **Level 3**: Ausgewählte Standorte für spezielle Fragestellungen (z. B. Radio-Nuklide)

Empfehlungen zu *allgemeinen Parametern* (Level 1) umfassen das in Deutschland übliche Spektrum an Standort-/Profilbeschreibungen (hier nach internationaler Nomenklatur (z. B. World Reference Base)) sowie bodenphysikalische und bodenchemische Grundcharakterisierungen. Die Festlegung von *spezifischen Parametern* erstreckt sich (auch unter Kostengesichtspunkten) zurzeit auf nur wenige Kenngrößen, die in ihrer Bedeutung zur Beobachtung spezifischer Bodengefahren weitgehend unumstritten sind.

Für das Themenfeld **Verlust an organischer Substanz/Biodiversität** wurden für Level 1 organischer Kohlenstoff und Stickstoff sowie die Lagerungsdichte vorgeschlagen. Auf Level 2/3 umfasst das Spektrum an Untersuchungen u. a. Fraktionen & Pools der organischen Substanz, Bioverfügbarkeit/Toxizität von Nähr- und Schadstoffen, Mikroflora (z. B. mikrobielle Biomasse) und Fauna (z. B. Nematoden).

Für die **Bodenerosion** erscheint es im Rahmen einer Inventur auf Level 1 nicht sinnvoll, standort-/bodenspezifische Parameter über die im Rahmen der allgemeinen Standort-/Profilbeschreibung hinausgehenden Erhebungen festzulegen. Stattdessen wird ein Indikator basierter Modellansatz favorisiert, der Gebiete mit hoher Erosionsdisposition zu identifizieren und unter Nutzung von regelmäßig erhobener Information zur Landnutzung (z. B. LUCAS) Veränderungen in der Erosionsgefährdung abzuschätzen vermag. Auf ausgewählten Level 2/3 Standorten sind auch on/off-site Messungen u. a. zur Modellvaliderung vorzusehen.

Die Gefährdung durch **diffuse Kontamination** soll auf Level 1 zunächst durch die Liste der in der EU-Klärschlamm-Richtlinie aufgeführten, königswasserlöslichen Gehalte von As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn sowie Phosphor und Stickstoff charakterisiert werden. Auf Level 2/3 sind ausgewählte persistente Organika (POPs) sowie verfügbare Fraktionen der genannten Schadstoffe vorgeschlagen.

Zur Erfassung der Bodendegradation durch **Flächenversiegelung** sind zunächst europaweit einheitliche Definitionen zu Art, Ausmaß und Intensität der Bodenversiegelung erforderlich. Das Monitoring der Flächenversieglung soll durch Auswertung geeigneter Statistiken (u. a. EUROSTAT) in Verbindung mit Verfahren der Fernerkundung erfolgen.

Zur Erfassung der **Bodenverdichtung** wird die Lagerungsdichte als spezifischer Parameter vorgeschlagen. Für ein Monitoring von **Erdrutschen** und **Überflutungen** sind staatenübergreifende Indikator basierte Ansätze erforderlich. Dies setzt zunächst einheitliche Definitionen im Hinblick auf Ausmaß, Dauer und ökonomische Effekte dieser Phänomene voraus.

Die stichwortartig aufgeführten allgemeinen und gefahrenspezifischen Parameter sind sicherlich zunächst sehr unvollständig und im Zuge der weiteren Diskussion zu konkretisieren bzw. zu ergänzen. Mindestens ebenso bedeutsam wie Art und Umfang der zu erhebenden Parameter ist aus EU-Sicht die Vergleichbarkeit von Daten, was unmittelbar zu den Empfehlungen der Task Group „Harmonization" überleitet.

2.2.3 Task Group „Harmonization"

In Fortführung der auf EU-Ebene begonnenen Aktivitäten sollten in einem ersten Schritt vorliegende Daten mittels Experteneinschätzung und transnationaler Vergleiche soweit möglich harmonisiert werden. Ein EU-weites Monitoring setzt zudem einheitliche Arbeitsanleitungen u. a. für die Auswahl, Einrichtung und Betrieb von Monitoringflächen, Standort- und Bodenansprache, Probenahmestrategie, Analysenverfahren und Datenhandling voraus. Für die Entwicklung weiterer internationaler Normen (z. B. CEN/ISO Standards) ist eine ausreichende finanzielle Unterstützung erforderlich. Neben der Entwicklung von Normen erscheint v. a. die Festschreibung der Verbindlichkeit von internationalen Standards mit angemessener Übergangszeit zwingend geboten. Die EU-weite Auswertung verfügbarer Daten hat gezeigt, dass auch in den Fällen, wo internationale Standards verfügbar sind, i.d.R. mit abweichenden nationalen Normen gearbeitet wird (Utermann et al., 2003).

2.2.4 Task Group „Variability of Soils"

Arbeitsgrundlage für die Task Group "Variability of Soils" ist die Erkenntnis, dass die Böden aus EU-weiter Sicht in ihrer Ausformung und in ihren Eigenschaften sehr variabel sind. Gefragt ist folglich eine Monitoringstrategie, die mit einer minimalen Anzahl von Untersuchungsstandorten die Vielfalt der Böden im europäischen Maßstab hinreichend repräsentiert. Hierzu empfiehlt die Task Group zunächst EU-weite Stratifizierungen von Flächeninformationen für alle acht Bodengefährdungen. Diese sollten im Zuge von Repräsentanzuntersuchungen mit den Boden-/Standortinformationen der in den Staaten bereits eingerichteten Monitoringstandorte verschnitten werden, um Datenlücken bzw. den Bedarf für ergänzende Monitoringflächen aus EU-Sicht zu identifizieren.

Das Joint Research Centre in Ispra hat unter Verwendung der EU-Soil Map und Informationen zur Landnutzung (CORINE Land Cover, 2004) eine derartige Repräsentanzstudie beispielhaft durchgeführt (King & Montanarella, 2002). Hierzu wurden die Boden- und Landnutzungsinformationen mit einem rasterbasierten Ansatz für ein hypothetisches EU-Bodenmonitoring verschnitten. Die Rasterweite des EU-Monitoringnetzes wurde solange variiert, bis die auf EU-Ebene vorliegende flächenbezogene Boden-/Landnutzungsinformation durch die Monitoringstandorte hinreichend genau repräsentiert wurde. In Abb. 2 wird das Vorgehen und das Ergebnis dieser Repräsentanzbetrachtung für die Fragestellung Variabilität von Boden-/Landnutzungsformen beispielhaft visualisiert.

Die JRC-Studie kommt auf Grundlage der derzeit vorliegenden Flächeninformationen zu Bodenformen und Landnutzung zu dem Schluss, dass eine Rasterweite von 16 x 16 km für ein EU-weites Bodenmonitoring die Vielfalt der Böden/Landnutzungen am besten repräsentiert. Legt man das Ergebnis dieser Auswertungen für ein EU-weites Bodenmonitoring auf Level 1 zugrunde, so wären EU-weit ca. 20.000 Standorte bzw. in Deutschland ca. 1.900 Standorte erforderlich. Derartige Untersuchungen können an dieser Stelle naturgemäß nur exemplarischen Charakter haben. In der TWG Monitoring wurden alternative Strategien zur Auswahl von Monitoringstandorten im europäischen Maßstab (rasterbasierter vs. stratifizierter Ansatz) kontrovers und keineswegs abschließend behandelt. Zudem ist auch die Qualität der Flächeninformationen verbesserungswürdig, da z. B. die Differenzierung der Bodenkarte in Skandinavien deutlich von Mittel- und Südeuropa abweicht.

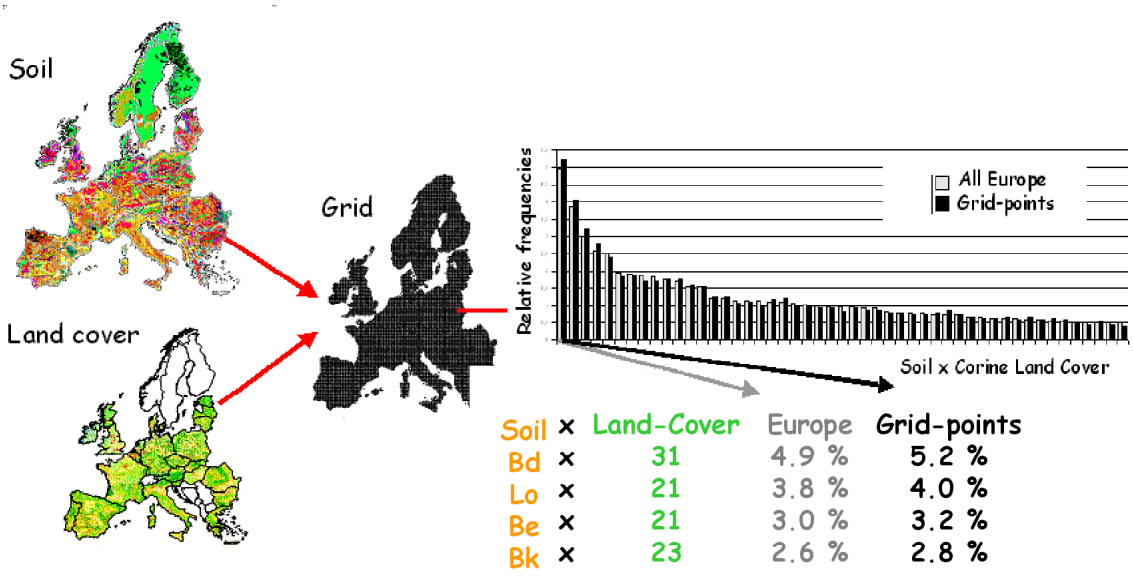


Abb. 2: Häufigkeitsverteilungen (rechts) von Bodentyp/Landnutzungskombinationen als Ergebnis einer Repräsentanzprüfung (links, schematisch) für ein rasterbasiertes Bodenmonitoring (16 x 16 km) mit Bezug zu EU-weit vorliegenden Flächeninformationen zu Bodenformen und Landnutzungen (Quelle: King & Montanarella, 2002)

2.3 Zusammenfassung von Eckpunkten für den Aufbau eines EU-Bodenmonitorings

Aus den Ergebnissen der TWG Monitoring lassen sich die folgenden Eckpunkte für den Aufbau eines EU-Bodenmonitorings festhalten:

- Es werden zunächst Grundinventuren („baseline“) für alle acht Bodengefährdungen benötigt. Hierzu sind geeignete Parameter, Indikatoren und Maßstäbe erforderlich.
- Ein EU-weites Bodenmonitoring sollte stratifizierte Auswertungsansätze verfolgen: EU-weite Gefährdungen, wie z. B. diffuse Kontamination oder Verlust an organischer Substanz/Biodiversität erfordern großflächige (EU-weite) Monitoringansätze, regionale/lokale Gefährdungen (z. B. Altlasten) erfordern punktuelle Schwerpunktsetzungen.
- Der Aufbau eines EU-Bodenmonitorings sollte schrittweise erfolgen:
  - Festlegung von detaillierten Anforderungen (u. a. Zahl/Lokation von Probenahmepunkten basierend auf Repräsentanzanalysen) für alle Bodengefährdungen,
  - Identifikation von Regionen mit erhöhten Gefährdungen auf Basis der national/EU-weit existierenden Daten/Karten (Stratifizierung von Bodengefährdungen),
  - Nutzung bestehender Monitoringsysteme/Informationen (kurz-/mittelfristig keine signifikanten zusätzlichen Kosten), bis 2006 Festlegung geeigneter Parameter/Indikatoren/Skalen/Methoden.
- Offene Fragen, fakultative Methoden einschließlich Forschungsbedarf sollten im Rahmen einer Soil Strategy (also außerhalb einer Monitoring-Richtlinie) behandelt werden.

Bei der Konkretisierung von Eckpunkten für ein EU-weites Bodenmonitoring handelt es sich um einen derzeit nicht abgeschlossenen Diskussionsprozess mit verschiedenen Optionen sowohl im Hinblick auf den Inhalt als auch die Form einer Monitoring-Richtlinie.

Nach heutigem Kenntnisstand wird es keine gesonderte Monitoring-Richtlinie geben. Stattdessen ist vorgesehen, eine Boden-Rahmenrichtlinie voraussichtlich noch in 2005 in den Abstimmungsprozess zu geben. Ein Ansatzpunkt wird sein, die Mitgliedsländer aufzufordern, nach zuvor festgelegten Kriterien/Verfahren Gebiete zu identifizieren, in denen mit einer erhöhten Bodengefährdung durch ausgewählte Einflussgrößen zu rechnen ist. Für diese Gebiete sollen dann geeignete Gegenmaßnahmen entwickelt und umgesetzt werden. Hierzu soll der Kommission in regelmäßigen Abständen berichtet werden.

2.4 Literaturverzeichnis

ESBN (2004): The European Soil Database, Version V2.0. – EUR 19945 EN, Ispra, Italy.

King, D. & Montanarella, L. (2002): Inventaire et surveillance des sols en Europe. Etude et Gestion des Sols, Volume 9 (2), 137-148.

Utermann, J., Düwel, O., Nagel, I. (2003): Trace element and organic matter contents of European soils - results of a JRC-Co-ordinated survey on background values. Final report to the European Commission Joint Research Centre, 225 pp.

Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, Cl., Selvaradjou, S.-K. (2004): Reports of the Technical Working Groups established under the thematic strategy for soil protection. EUR 21319 EN/1, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Adresse:

Dr. Jens Utermann
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover
Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. 0511/ 643 2839
Fax 0511/ 643 2304
Jens.Utermann@bgr.de

3 Boden-Dauerbeobachtung in Bayern – Konzept und Auswertung der Bewirtschaftungsdaten

Dr. Karlheinz Pawlizki und Ulrike Heim, LfL, Agrarökologie, Freising

3.1 Konzept der Boden-Dauerbeobachtung in Bayern

3.1.1 Anlass

Bereits 1985 hatte Bayern mit der Einrichtung **eines landesweiten Netzes von 133 Boden-Dauerbeobachtungsflächen** (BDF) als erstes Bundesland die Initiative für den vorsorgenden Bodenschutz ergriffen. Aktueller Anlass war die Häufung von Berichten Mitte der 80er Jahre über die Versauerung und Kontamination der Böden durch Schadstoffeinträge aus der Luft sowie durch Verunreinigungen von Siedlungsabfällen (Klärschlamm, Kompost), Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln. Die Boden-Dauerbeobachtung ist nicht nur ein wichtiges Instrument **des vorsorgenden Bodenschutzes**, sondern gleichzeitig ein zentraler Bestandteil des **Umweltmonitorings** und der **Daseinsvorsorge**.

3.1.2 Ziele und Funktionen

Die **Ziele** der Boden-Dauerbeobachtung sind:

- die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden,
- die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden und
- die Ableitung von Prognosen für die zukünftige Entwicklung.

Die Boden-Dauerbeobachtung fungiert hauptsächlich als **Frühwarnsystem** für schädliche Bodenveränderungen durch **Umwelteinflüsse und Bewirtschaftungsmaßnahmen**, um ggf. **Abhilfemaßnahmen** einleiten zu können.

Weitere wesentliche **Funktionen** sind:

- Kontrollinstrument für umweltpolitische Maßnahmen (KULAP, Cross-Compliance),
- Schaffung von Grundlagen für Trendaussagen,
- Referenz für Bodenbelastungen (Hintergrundwerte),
- Umweltmonitoring.

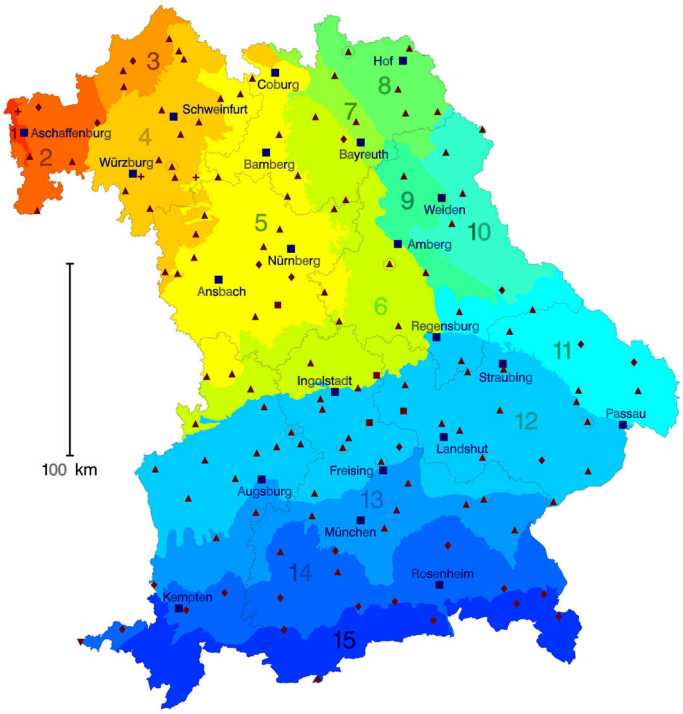
3.1.3 Einrichtung und Untersuchungsumfang

Die Auswahl der Flächen erfolgte auf der Grundlage der **standortkundlichen Landschaftsgliederung** von Bayern unter Berücksichtigung der Repräsentanz für Landschaften, Klima, Böden, Nutzungen und Belastungen. Von den 133 Beobachtungsflächen waren 2005 **97 Acker-, 29 Grünland- und 7 Sonderkulturflächen**. Auf 6 Ackerflächen wurden zusätzlich **Erosionsmessstellen** eingerichtet.

Alle Flächen liegen auf Praxisbetrieben bzw. Staatsgütern und werden betriebsüblich bewirtschaftet. Die Eckpunkte der 1000 m² großen Parzellen wurden in 60 cm Tiefe durch Magnetenversenkung markiert (die Bewirtschaftung der Fläche ist damit weiterhin möglich) und die Koordinaten mittels Global Positioning System (GPS) bestimmt.

Die **133 Untersuchungsflächen der Landwirtschaft** sind Teil eines landesweiten Bayerischen Boden-Dauerbeobachtungs-Programms, an dem die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft mit **77 Waldflächen** und das Bayerisches Landesamt für Um-

welt (bis 31.07.2005 GLA) mit **61 Sonderflächen** in Naturschutzgebieten, Nationalparks, Park- und Gartenflächen u. a. beteiligt sind.



1 Rhein-Main-Niederung
2 Spessart-Odenwald
3 Rhön
4 Fränkische Platten
5 Fränkisches und Schwäbisches Keuper-Lias-Land
6 Fränkische und Schwäbische Alb
7 Obermain-Schollenland
8 Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland
9 Oberpfälzer Becken- und Hügelland
10 Oberpfälzer Wald
11 Bayerischer Wald
12 Tertiärhügelland, Iller-Lechplatte und Donautal
13 Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft
14 Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molasse-vorberge
15 Bayerische Alpen

Abb. 3: Lage und Nutzung der Bodenbeobachtungsflächen und Erosionsmessstellen

Die Erfassung signifikanter Bodenveränderungen sowie die Ableitung von Trendaussagen erfolgt durch Vergleich der Erstuntersuchungsergebnisse mit den Wiederholungsuntersuchungen. Dazu werden **Flächenmischproben** jeweils aus Ober- und Unterboden gezogen und analysiert und/oder **Bilanzierungen des Stoffhaushaltes** vorgenommen. Die Intervalle für die meisten Untersuchungen betrugen 5-7 Jahre.

Die wichtigsten **Untersuchungsparameter** sind:

- Stoffbestand des Bodens
- Stoffeinträge und Stoffausträge
- Bodenbiologie und Vegetation
- Bodenstruktur.

Von den **biologischen Verfahren** wird erwartet, dass sie Veränderungen des Bodenzustandes und der Eintragssituation aus der Luft schneller und empfindlicher anzeigen als dies bei ausschließlich bodenchemischen und bodenphysikalischen Untersuchungen der Fall wäre. Entscheidend für das Boden-Dauerbeobachtungs-Programm ist jedoch die **Langfristigkeit der Untersuchungen**, um erste Veränderungen absichern und bewerten zu können und langsamer verlaufende Entwicklungen nicht zu übersehen.

3.2 Archivierung und Auswertung der Bewirtschaftungsdaten

3.2.1 Dokumentation und Archivierung

Für jede Boden-Dauerbeobachtungsfläche wurde ein Nutzungsvertrag mit dem Flächeneigentümer bzw. -pächter abgeschlossen sowie die **Führung einer Schlagkartei** verlangt. Diese enthält Angaben über Haupt- und Zwischenfrüchte, Bodenbearbeitungs- und Pflegemaßnahmen, Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen sowie über die Höhe der Ernteerträge. Die jährlichen Aufzeichnungen sind erforderlich, um **Stoffein- und -austräge** sowie **mechanische Belastungen bei der Bodenbearbeitung** nachvollziehen und ggf. quantifizieren zu können. Die regelmäßige Dokumentation der Schlagkarteidaten erfolgt durch den bewirtschaftenden Landwirt, die Archivierung und Auswertung mit Hilfe einer **Access-Datenbank**, die Herr Dr. Filipinski, Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, entwickelt und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Verfügung gestellt hat.

3.2.2 Auswertung und Veränderungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung

Wichtige **Indikatoren** für die nachhaltige Gesunderhaltung des Bodens als Produktionsfaktor für die Landwirtschaft sowie als Lebensraum für Mensch, Tier und Pflanzen sind **der Humus** und **das Bodenleben**. Beide Parameter sind durch Bewirtschaftungsmaßnahmen in Umfang und Zusammensetzung beeinflussbar. **Positive Effekte haben** vor allem**:** Rotationsbrachen mit Kleegras, Flächenstilllegung, Grünland (Bodenruhe, ständiges Angebot an Pflanzenmaterial), Mähdruschfruchtfolgen (hoher Anteil an Ernterückständen), Gründüngung, die Verminderung der Bodenbearbeitungsintensität sowie der Einsatz von Wirtschaftsdüngern. **Ackerflächen, die 5 Jahre in Folge als Klee, Kleegras oder Luzerne genutzt wurden, gelten als Dauergrünland**.

Der Vergleich der **Ackerflächennutzung** von 1986 mit 2004 ergab, dass 9 Parzellen in **Grünland-BDF umgewandelt** wurden, der **Getreide- und Hackfruchtanteil** (Kartoffel/Zuckerrüben) leicht zurückging von 66 auf 54 % bzw. von 10 auf 7 %, während der **Raps- und Maisanteil** geringfügig zunahm von 7 auf 12 % bzw. von 12 auf 18 %.

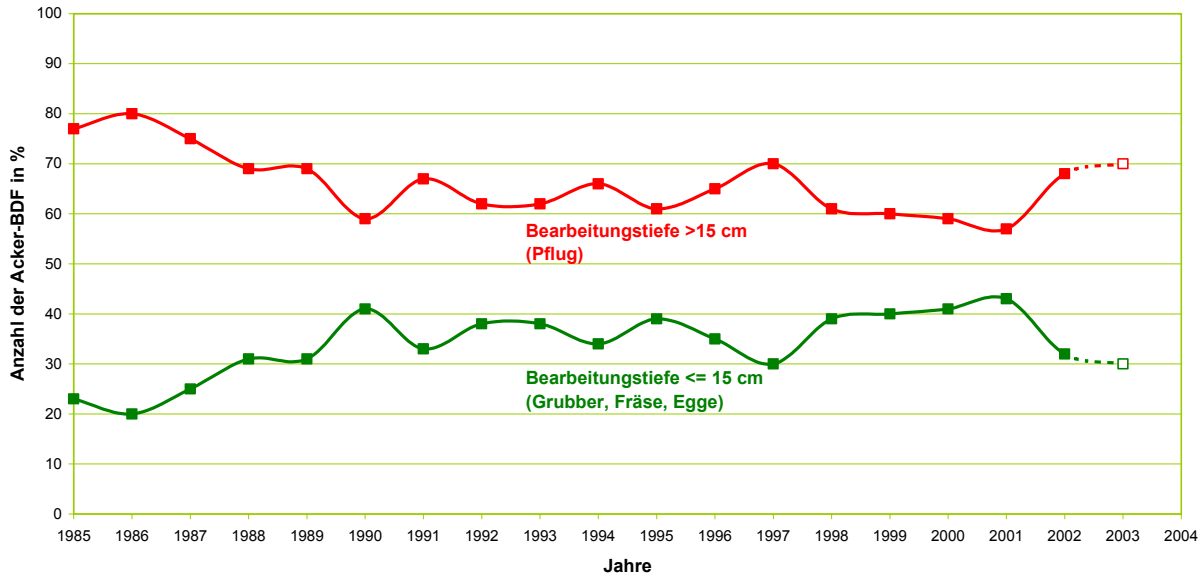


Abb. 4: Entwicklung der Boden-Bearbeitungstiefe auf den Acker-BDF seit 1985

Auch bei der **Bodenbearbeitung** waren keine gravierenden Veränderungen erkennbar. So kamen auf 60-70 % der Flächen der Pflug mit einer Bearbeitungstiefe > 15 cm und auf 30-40 % Grubber, Fräse und Egge mit einer Bearbeitungstiefe < 15 cm zum Einsatz (Abb. 4).

Obwohl die **Viehhaltung** in den Ackerbaubetrieben kontinuierlich abnahm, hatte diese Entwicklung keine nennenswerte Auswirkung auf die Versorgung der Böden mit **organischer Substanz**. Wie Abb. 5 zeigt, blieb der Anteil der Acker-BDF mit **Zwischenfrüchten**, **Wirtschaftsdünger bzw. Ernterückständen** nahezu unverändert.

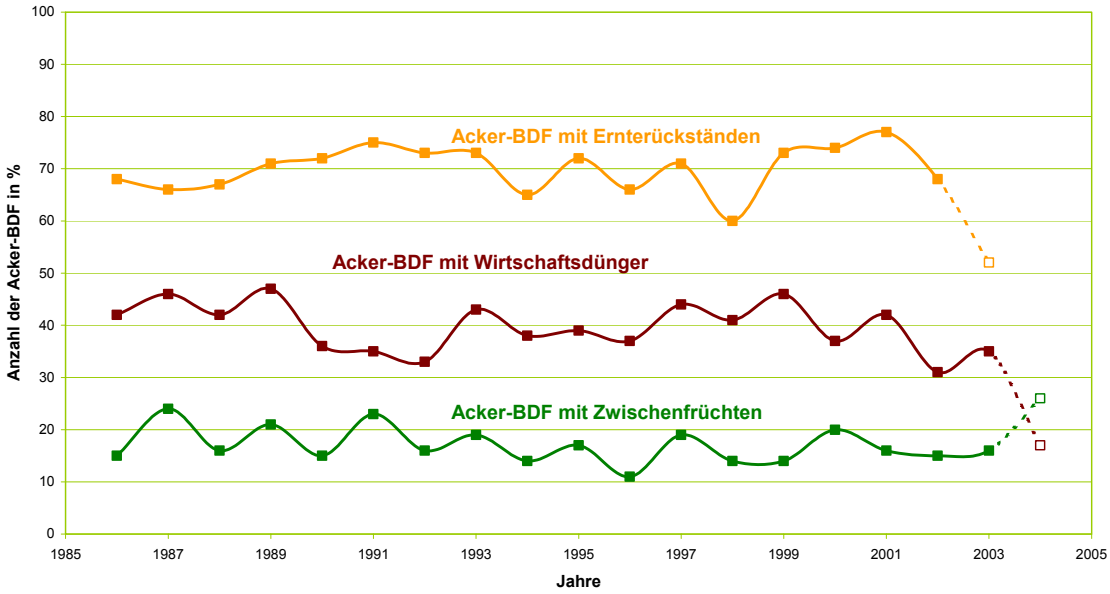


Abb. 5: Entwicklung der organischen Düngung auf den Acker-BDF seit 1986

Auf **Grünland** ging die **Gülleausbringung** von 65 % der Beobachtungsflächen im Jahre 1986 auf 50 % im Jahre 2003 zurück, während der Einsatz zu **Mais** im gleichen Zeitraum von 75 auf 94 % der Anbauflächen anstieg.

3.2.3 Fazit

Gravierende Veränderungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung waren in den 20 Jahren der Boden-Dauerbeobachtung mit Ausnahme der Umwandlung von 9 Ackerflächen in Dauergrünland nicht feststellbar. Dies gilt insbesondere für die Fruchtfolgegestaltung, die Bodenbearbeitung sowie für die Versorgung der Böden mit organischer Substanz.

3.3 Literaturverzeichnis

BARTH et al. (2000): Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – Bodenschutz – Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, 32. Lfg. XI/00, Ordnungsnummer 9152.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (1997): Boden-Dauerbeobachtungsflächen; Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985-1995. – Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, **4-6/97**, 253 Seiten, Freising.

4 Anorganische, organische Schadstoffe

Christa Müller, Dr. Anton Wurzinger, Dr. Johann Lepschy, Titus Ebert, LfL Freising

4.1 Einleitung

Sind unsere landwirtschaftlich genutzten Böden in Bayern mit anorganischen und organischen Schadstoffen belastet? Welche Schadstoffe gelangen in welcher Menge aus der Luft und durch praxisübliche landwirtschaftliche Bewirtschaftung auf unsere Böden? Gibt es einen zeitlichen Trend? Antworten auf diese Fragen soll das Bayerische Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF)-Programm liefern.

Aufgrund der regelmäßigen Durchmischung der Krume können Stoffeinträge und mögliche Stoffanreicherungen vor allem auf Ackerflächen durch periodische Bodenuntersuchungen allenfalls nur sehr langfristig nachgewiesen werden. Um dennoch Aussagen zur Höhe der Stoffeinträge über die Zeit und zu Auswirkungen gesetzlicher Änderungen zu erhalten, werden auf landwirtschaftlich genutzten BDF zusätzlich die Stoffeinträge durch verschiedene Eintragspfade erfasst.

4.2 Material und Methoden

Boden
Die Bodenuntersuchungen auf Schadstoffe werden auf 133 BDF durchgeführt.

- Proben: 1985/86 und 1996-1998, pro BDF 4 Wiederholungen
- Untersuchungsparameter:
  - anorganische Stoffe: Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Fe, Al, Mn, As
  - organische Stoffe: PCB, PAKs, CKW wie DDT, Lindan, HCB u. a.
- Untersuchungsmethoden:
  - *Schwermetalle*: KW-Aufschluss, trockene Veraschung des Rückstandes (550°C), Entfernen des Silikats durch mehrmaliges Abrauchen mit HF
  - *PCB, CKW*: Kapillargaschromatographie mit ECD an 2 Säulen unterschiedlicher Polarität (DB-5, DB-1701); *PAKs* in Anlehnung an DIN 38407 Bestimmung von 15 PAK durch HPLC mit Fluoreszenzdetektion

Stoffeinträge Luft
Nasse und trockene Freilanddeposition mittels Bulk-Sammler (Bergerhoff-Verfahren, VDI 2119 BL 2)

- Proben: 2 Sammler je BDF Messung 1985-1995 monatlich, seit 1996 (Einstellung der Messungen an BDF aus Kapazitätsgründen) Daten der 6 Dauerbeobachtungsstationen des Bayer. Landesamtes für Umweltschutz
- Untersuchungsparameter: Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn
- Untersuchungsmethode: Eindampfrückstand HNO_3-Aufschluss, Abrauchen mit HF

Stoffeinträge Wirtschafts- und Mineraldünger

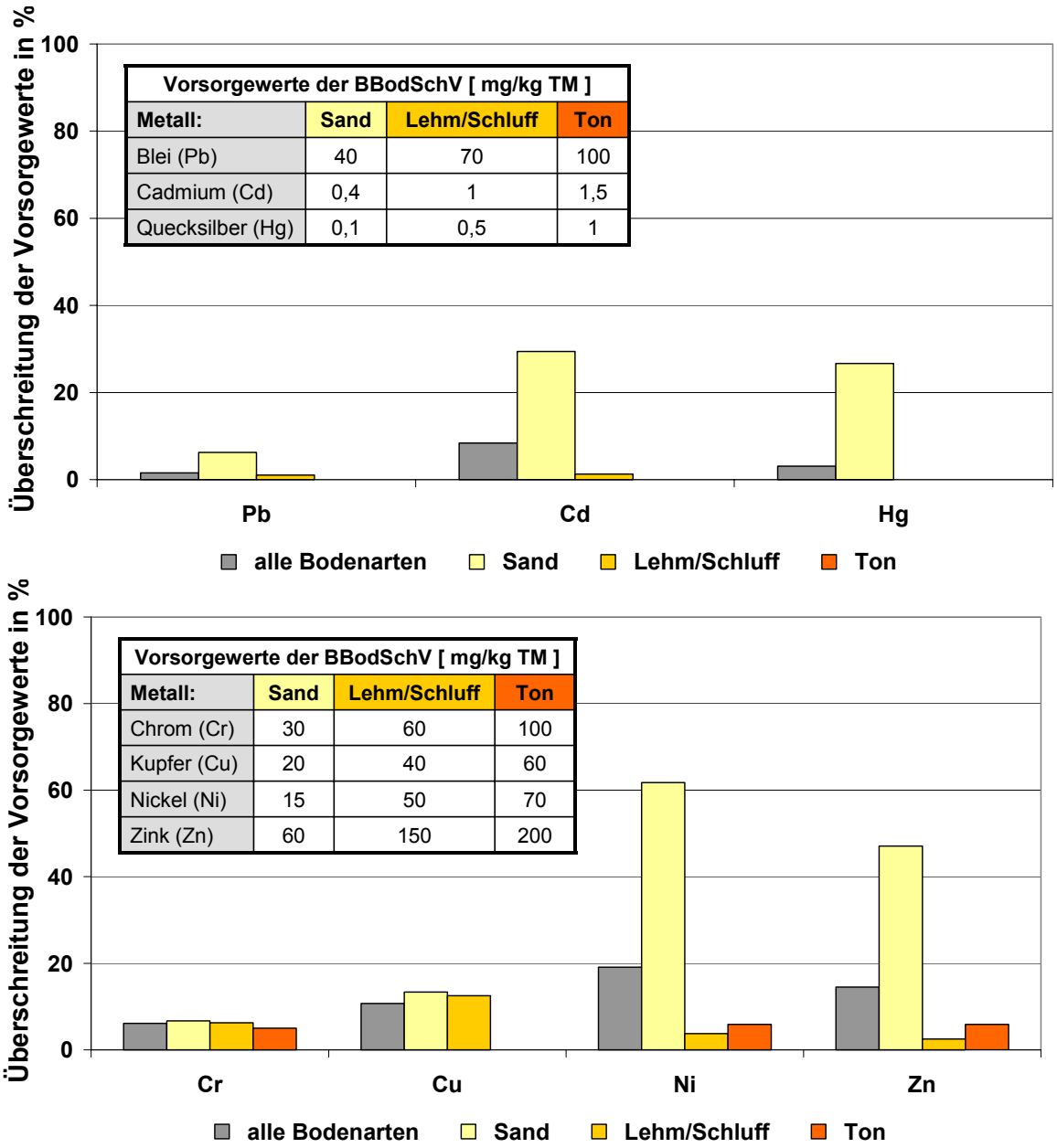
- Wirtschaftsdünger von BDF-Betrieben mit Schweine- und Rinderhaltung 1986/87, 1993, 1999; 1993 und 1999 zusätzliche Schweinemast- und -zuchtbetriebe; Auswahl von N-, P-, K-, Ca-Einzel- und Mehrnährstoffdüngern von BDF
- Untersuchungsparameter: Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Mn, As, Fe
- Untersuchungsmethode: KW-Aufschluss

Einzelheiten zu Standortauswahl und zu Methodik sind in [1] und [2] beschrieben.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Stoffbestand des Bodens - Schwermetalle

Abb. 6 zeigt die Schwermetall-Gehalte der BDF in Bezug zu den Vorsorgewerten der BBodSchV für alle Bodenarten und jeweils bezogen auf Böden mit Bodenart S, L/U und T. Den Vorgaben der BBodSchV entsprechend wurden Cadmium, Nickel und Zink bei L/U-Böden mit pH-Werten < 6 wie Bodenart S bewertet, bei T-Böden wie Bodenart L/U. Für Blei erfolgte die Zuordnung bei Böden mit pH-Werten < 5 analog.



Vorsorgewerte der BBodSchV [mg/kg TM]

Metall:	Sand	Lehm/Schluff	Ton
Blei (Pb)	40	70	100
Cadmium (Cd)	0,4	1	1,5
Quecksilber (Hg)	0,1	0,5	1

Vorsorgewerte der BBodSchV [mg/kg TM]

Metall:	Sand	Lehm/Schluff	Ton
Chrom (Cr)	30	60	100
Kupfer (Cu)	20	40	60
Nickel (Ni)	15	50	70
Zink (Zn)	60	150	200

Abb. 6: Schwermetallgehalte der BDF (Daten Oberböden 1996-1998) – Vergleich zu Vorsorgewerten der BBodSchV

Die Schwermetall-Gehalte der untersuchten landwirtschaftlich genutzten Böden bewegen sich meist weit unter den Vorsorgewerten der BBodSchV. Die meisten Überschreitungen treten erwartungsgemäß auf Sandböden und hier v. a. bei Nickel und Zink gemeinsam (z. T. auch vergesellschaftet mit Cadmium) auf.

4.3.2 Stoffbestand des Bodens – Organische Schadstoffe

Auch die Gehalte der ubiquitär vorkommenden *Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKs)* bewegen sich durchwegs weit unter den Vorsorgewerten der BBodSchV. Grünlandböden weisen etwas höhere PAKs- und Benzo(a)pyren (B(a)P)-Gehalte als Ackerböden auf. Die *Polychlorierten Biphenyle (PCB)* erreichen maximal 1/10 der Vorsorgewerte (Tab. 1).

Tab. 1: ΣPCB_6, ΣPAK_{15}, B(a)P in Oberböden der Acker- und Grünland-BDF (µg/kg) im Vergleich zu Vorsorgewerten der BBodSchV (NG = 1 µg/kg)

Stoff	Nutzung	n	n < NG	Median	90 %der Werte	Vorsorgewert (Humus)	
						≤ 8 %	> 8 %
ΣPCB_6	Acker	102	65	3	1 - 4	50	100
	Grünland	13	8	2	2 - 5		
ΣPAK_{15}	Acker	98	-	184	69 - 621	3.000	10.000
	Grünland	25	-	363	138 - 1796		
B(a)P	Acker	98	2	6	2 - 41	300	1.000
	Grünland	25	-	13	4 - 129		

Aus der Gruppe der *chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW)* in Spuren nachgewiesen wurden DDT, Lindan und Hexachlorbenzol. Die Anwendung der meisten Mittel wurde bereits Mitte der 70er bis Anfang der 80er Jahre aufgrund ihrer hohen Persistenz in biotischen Systemen verboten. Bei den Funden handelt es sich daher um Altlasten früherer Anwendungen als Insektizide oder Beizmittel.

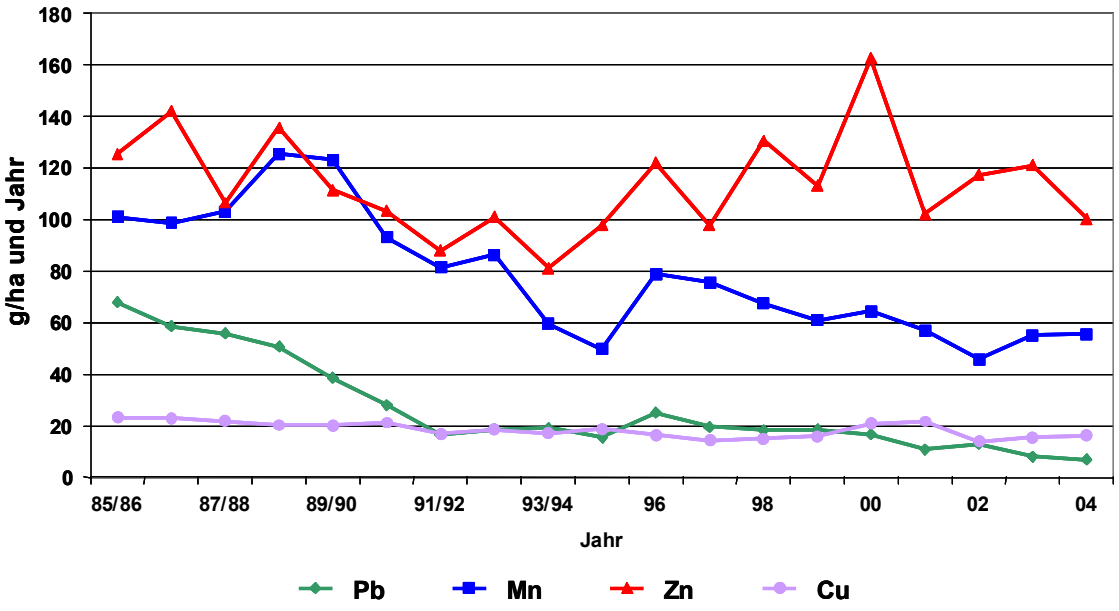
4.3.3 Entwicklung der Schwermetall-Einträge in den letzten 20 Jahren

Nach bisherigen Messungen ist seit Mitte der 80er Jahre für fast alle Eintragspfade ein **Rückgang der Schwermetall-Einträge messbar.**

Luft

In den ländlichen Gebieten Bayerns kann die Schwermetallbelastung durch Immissionen insgesamt als gering eingestuft werden. Abb. 7 zeigt die mittleren jährlichen Blei-, Mangan-, Zink- und Kupfer-Immissionen von 1985 bis 2004.

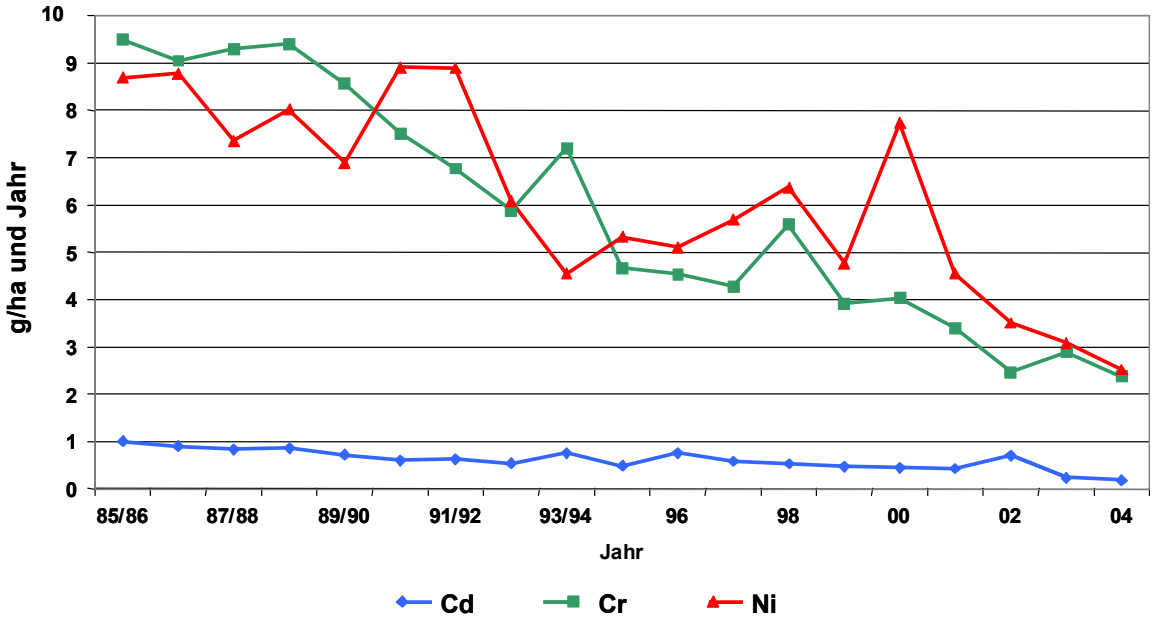
Besonders stark ist der Rückgang der jährlichen *Blei*-Einträge von 1985-2004 um 90 %, von knapp 70 (1985) auf 16 (1993) und nur mehr 7 g/ha 2004. Mitte der 80er Jahre wurden auf 90 % der BDF jährlich noch zwischen 47 und 101, Mitte der 90er Jahre als Folge des Benzin-Blei-Gesetzes (1988) nur mehr zwischen 12 und 29 g Blei/ha aus der Luft eingetragen.



1985-1995: Daten 132 BDF Mittelwerte [Messzeitraum: 01.09 bis 31.08]
ab 1996: Daten 6 DBS (LfU) Mittelwerte [Messzeitraum: 01.01 bis 31.12]

Abb. 7: Veränderung der Pb-, Mn-, Zn- und Cu-Immissionen 1985-2004

Die jährlichen *Cadmium*-Einträge (Abb. 8) liegen im gesamten Messzeitraum fast durchwegs < 1g/ha mit ebenfalls rückläufiger Tendenz (2004: 0,2g/ha). In den letzten 20 Jahren etwa auf die Hälfte zurückgegangen sind die Einträge an *Mangan,* auf 1/4 die von *Chrom.* Nur leicht rückläufig sind die Werte von *Kupfer* und *Zink*. Nickel, Chrom und Zink weisen im gesamten Beobachtungszeitraum erhebliche jährliche Schwankungen auf.



1985-1995: Daten 132 BDF Mittelwerte [Messzeitraum: 01.09 bis 31.08]
ab 1996: Daten 6 DBS (LfU) Mittelwerte [Messzeitraum: 01.01 bis 31.12]

Abb. 8: Veränderung der Cd-, Cr- und Ni-Immissionen 1985-2004

Mineraldünger

Die Höhe des Schwermetall-Eintrags durch Mineraldünger ergibt sich aus der Höhe der Mineraldüngung mit einzelnen Nährstoffen und den eingesetzten Düngemitteltypen bzw. ihren Herkünften.

Die **Schwermetall-Einträge** durch **Stickstoff-, Kali- und Kalk-Dünger** sind vernachlässigbar. Bei Ansatz einer durchschnittlichen N-, K_2O- und CaO-Mineraldüngung in Bayern (Tab. 2) lagen 1985 die jährlichen Einträge an *Blei* durchwegs unter 10 g/ha, an *Chrom, Kupfer, Nickel* und *Zink* unter 5 g/ha. An *Cadmium* wurden dem Boden jährlich zwischen 0,01 - 0,1 an *Quecksilber* < 0,01g/ha zugeführt. Durch den Rückgang des N- und K_2O-Einsatzes (- 24 bzw. - 67 %) liegen die Werte für 2004 noch darunter.

Tab. 2: Nährstoffaufwand in Bayern 1985-2004 (Daten ILB)

Jahr	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**CaO**
	kg/ha LF in Bayern			
1985/86	113	66	79	84
2003/04	86	19	26	131
Δ 1985 - 2004	- 24 %	- 72 %	- 67 %	+ 55 %

Hauptquelle für Schwermetalle sind die **P-Dünger** (P-Einzel- und P-Mehrnährstoffdünger: NP, PK, NPK-Dünger), wobei die Herkunft des Phosphats Höhe und Art des Schwermetalleintrags entscheidend beeinflusst.

Bei Ansatz einer durchschnittlichen P_2O_5-Düngung in Bayern von 66 kg/ha (Tab. 2) wurden 1985 bei ausschließlicher Deckung des P-Düngebedarfs durch Triplephosphat oder weicherdiges Rohphosphat jährlich 4-5 g *Cadmium*/ha eingetragen (Abb. 9), durch Thomasphosphat nur < 0,1. Schlackedünger wie Thomasphosphat waren jedoch Mitte der 80er Jahre mit einem Anteil von 9 % am P-Düngereinsatz ein bedeutender Eintragspfad v. a. für *Chrom* (> 2 kg/ha) und *Mangan* (11 kg/ha) (Abb. 10).

Vor allem durch den **Rückgang des P-Dünger-Einsatzes** in Bayern um > 70 % in den vergangenen zwei Jahrzehnten (vgl. Tab. 2) sind **die Schwermetall-Einträge in Böden durch Mineraldünger stark zurückgegangen**. Auch freiwillige Vereinbarungen mit der Industrie zur Verwendung cadmiumarmer Rohphosphate (1984 < 90 mg, 1999 < 40 mg Cd/kg P_2O_5) trugen zur Verringerung des *Cadmium*-Eintrags durch Düngemittel bei. Die jährlichen Cadmium-Einträge durch P-Einzel- und NP-, PK- und NPK-Mehrnährstoffdünger schwanken derzeit zwischen 1 und 2 g/ha. Der Einsatz von Thomasphosphat ging bis 1995 auf 1,5 % zurück, seit 1998 wird es nicht mehr eingesetzt. Analog dazu besitzt der zu Beginn der Beobachtungen hohe *Chrom*- und *Mangan*-Eintrag durch diesen Schlackedünger für die landwirtschaftlichen Böden keine Relevanz mehr.

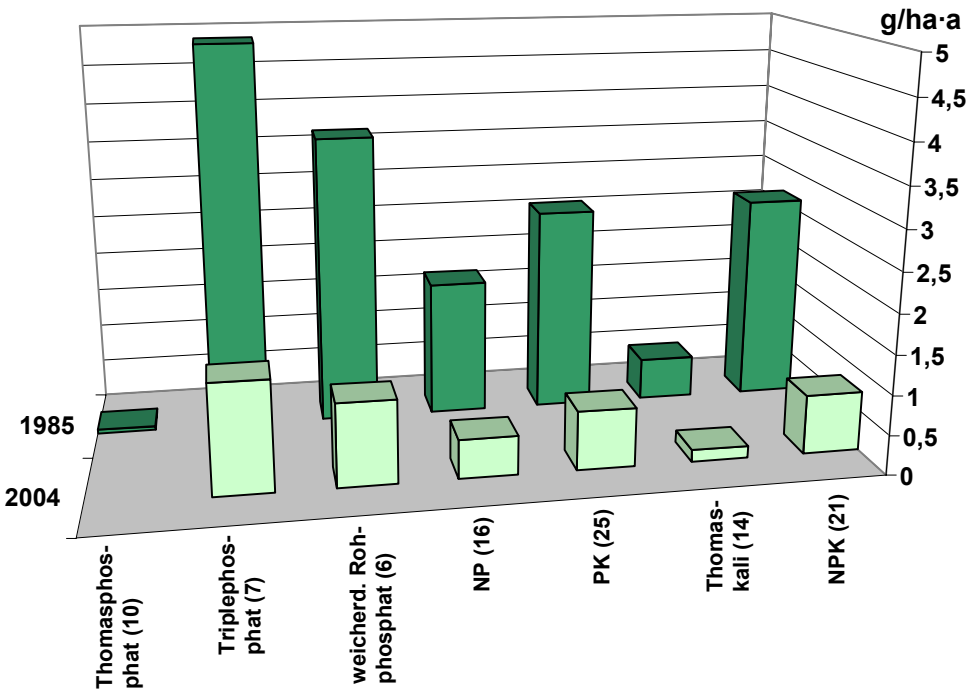


Abb. 9: Veränderung der Cd-Einträge durch P-Dünger verschiedener Herkünfte 1985-2004

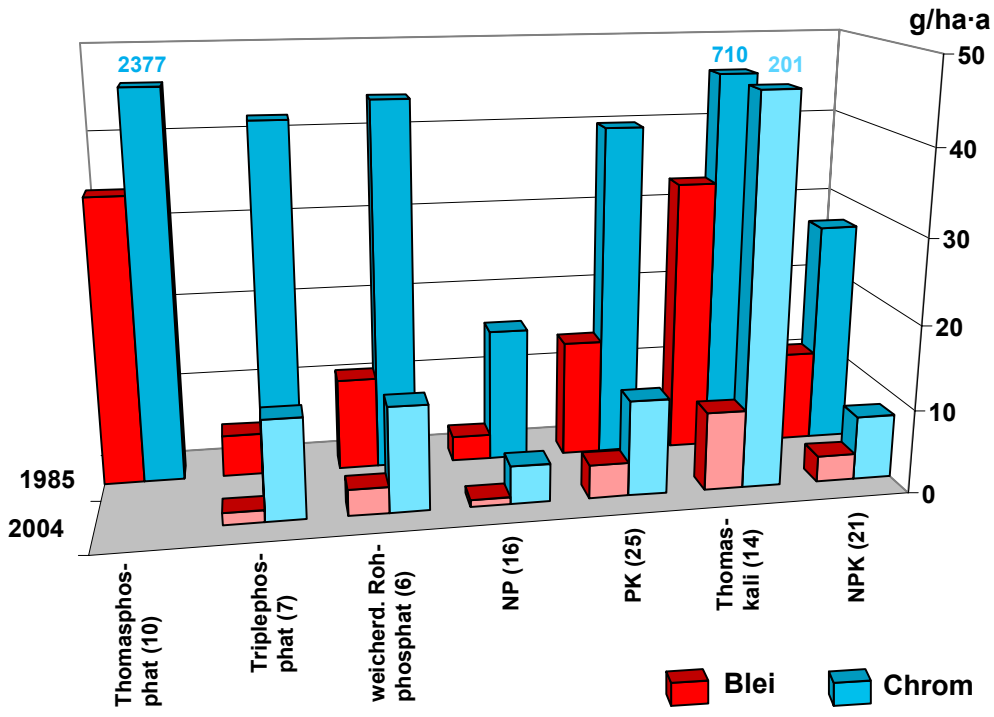


Abb. 10: Veränderung der Pb- und Cr-Einträge durch P-Dünger verschiedener Herkünfte 1985-2004

Wirtschaftsdünger

Durch Wirtschaftsdünger werden meist nur sehr geringe Mengen an toxischen Schwermetallen wie *Blei*, *Cadmium* und *Quecksilber* eingetragen. Bei Rinder- und Schweinegülle ist im bisherigen Beobachtungszeitraum eine weitere Halbierung der Cadmium- und Quecksilber-Einträge messbar. Die *Chrom*- und *Nickel*werte sind auf niedrigem Niveau nahezu unverändert.

Aufgrund der hohen Kupfer- und Zinkgehalte wird Schweinegülle im Hinblick auf mögliche stoffliche Bodenbelastungen als besonders kritisch eingestuft. Für die Spurenelemente Kupfer und Zink stellt die Fütterung den wichtigsten Eintragspfad in Wirtschaftsdünger dar, jedoch können auch Einstreu und Desinfektionsmittel sowie Medikamente eine wesentliche Quelle bilden.

Tab. 3 zeigt die Entwicklung der **Kupfer- und Zinkgehalte in Schweinegülle**.

Zwischen 1986 und 1993 nahmen die *Kupfer*gehalte in der Schweinegülle um > 60 % ab, als Folge einer Absenkung des maximal zulässigen Kupfer-Zusatzes in Futtermitteln (Futtermittel-Verordnung). 1999 wurde bei > 5 % der Schweinegülle wieder ein deutlicher Anstieg gemessen, im Mittel blieben die Werte jedoch deutlich unter denen von 1986.

Tab. 3: Veränderung der Cu- und Zn-Gehalte in Schweinegülle 1985-1999

	Kupfer (mg/kg)			**Zink (mg/kg)**		
	1986/87	**1993**	**1999**	**1986/87**	**1993**	**1999**
Median	663	216	353	1070	425	1150
90 % der Werte	327-834	126-457	136-766	803-1573	40-866	497-1802
Anzahl	8	27	25	8	27	25

Da Kupfer und Zink mit dem Mineralfutter meist gemeinsam verabreicht werden, verläuft die Entwicklung der Kupfer- und *Zink*gehalte in der Schweinegülle weitgehend parallel. Für Zink geht jedoch der Anstieg zwischen 1993 und 1999 im Mittel über den Ausgangswert von 1986 hinaus mit einer stärkeren Streuung der Werte.

Für **Rindergülle** ergibt sich ein anderes Bild (Tab. 4):

Tab. 4: Veränderung der Cu- und Zn-Gehalte in Rindergülle 1985-1999

	Kupfer (mg/kg)			**Zink (mg/kg)**		
	1986/87	**1993**	**1999**	**1986/87**	**1993**	**1999**
Median	38	38	48	189	191	319
90 % der Werte	22-64	21-80	25-80	120-349	107-467	139-608
Anzahl	41	43	35	41	43	35

Zwischen 1986 und 1993 blieben die *Kupfer*- und *Zink*gehalte praktisch gleich, bis 1999 war bei etwa 2/3 der Proben eine leichte Zunahme bei Kupfer und ein deutlicher Anstieg bei Zink messbar. 1999 lagen die Zink-Werte bei mehr als 2/3 der Rindergülle über denen von 1986.

Der erneute Anstieg dieser Spurenelementgehalte zwischen 1993 und 1999 ist in ursächlichem Zusammenhang mit dem Wegfall antibiotischer Leistungsförderer zu sehen (Anfang der 90er Jahre noch 10 zugelassen, seit 1999 nur mehr 3).

Nach den vorliegenden Daten muss bei Betrieben mit Schweinehaltung die Aufbringung von Wirtschaftsdüngern langfristig zu einer schleichenden Erhöhung der Kupfer- und Zinkgehalte im Boden führen. Aus den Bodenwerten der beiden Untersuchungsserien lässt sich jedoch bisher keine signifikante Erhöhung der Bodengehalte ableiten.

4.4 Bewertung und Ausblick

Die auf den BDF gewonnenen Daten geben einen guten Überblick über die Gehalte an Schwermetallen und organischen Schadstoffen (Umweltchemikalien) praxisüblich bewirtschafteter landwirtschaftlicher Böden. Darüber hinaus können sie als Referenzwerte für die Bewertung schädlicher Bodenveränderungen im Rahmen des Bodenschutz-Vollzugs herangezogen werden**.** Eine Gefahr für die landwirtschaftliche Nutzung geht von den gefundenen Werten in keinem Falle aus.

Die pfadbezogenen Messungen zeigen einen deutlichen Rückgang der Schadstoffeinträge durch Immissionen und Mineraldünger in den letzten zwei Jahrzehnten. Verschärfungen von Gesetzen (Benzin-Bleigesetz, Futtermittel-Verordnung, Verbot einiger Antibiotika) konnten direkt erfasst werden.

Nach wie vor problematisch sind die hohen Kupfer- und Zink-Gehalte v. a. in Schweinegülle. Mit der Absenkung der zulässigen Höchstgehalte von Kupfer und Zink in Futtermitteln in der seit 26.01.2004 gültigen EU-Verordnung und der Festlegung von Schwermetall-Grenzwerten in der neuen Düngemittel-Verordnung hat der Gesetzgeber klar den Weg des vorsorgenden Bodenschutzes beschritten.

4.5 Literaturverzeichnis

MÜLLER C. (1997a): Schwermetalle in: Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF) – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985-1995 Teil I Einführung, Stoffbestand des Bodens – Nährstoffe, Schadstoffe. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 4/97, 1.Jg., 21-31.

MÜLLER C. (1997b): Immissionen, Wirtschaftsdünger in: Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF) – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985-1995 Teil II Stoffeinträge – Stoffausträge –Schwermetallbilanzierung verschiedener Betriebstypen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 5/97, 1.Jg., 87-117.

5 Veränderung der Radionuklidgehalte auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Günter Henkelmann, Michaela Uhlmann, Reinhard Kolb, Elisabeth Wojtynek,
LfL, Agrarökologie, München

5.1 Einleitung

Am Institut für Agrarökologie wurde schon vor der Einrichtung der **Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF)** im Jahr 1985 begonnen, landwirtschaftliche Erzeugnisse, Importfuttermittel, Dünger- und Bodenproben auf Radionuklidbelastungen zu untersuchen. Aber auch Bayerns spezifische Sonderkulturen, wie z. B. Wein, Hopfen und Tabak, wurden im Laufe der folgenden Jahre Bestandteile des Untersuchungsprogramms.

Dies war vor dem Hintergrund der Ereignisse von **Tschernobyl** für die Messungen der Radioaktivität ein Glücksfall. Aufgrund dieser Hintergrundwerte können so bis heute lückenlos der Verbleib der seit 1986 hinzugekommenen Radionuklide verfolgt werden und die Entwicklung von Belastungen der Futtermittel analysiert werden.

5.2 Gehalte von Radiocäsium im Boden nach dem Unfall 1986

Der **Kraftwerksunfall von Tschernobyl** am 26. April 1986 verursachte am 31. April und 1. Mai radionuklidbelastete Niederschläge in Bayern. Sie kamen von Nordosten nach Bayern und zogen nach Südwesten weiter. In manchen Gebieten Bayerns (Abb. 11) wurden **mehr als 400 000 Bq/m^2** abgeregnet (LENGFELDER E. 1988).

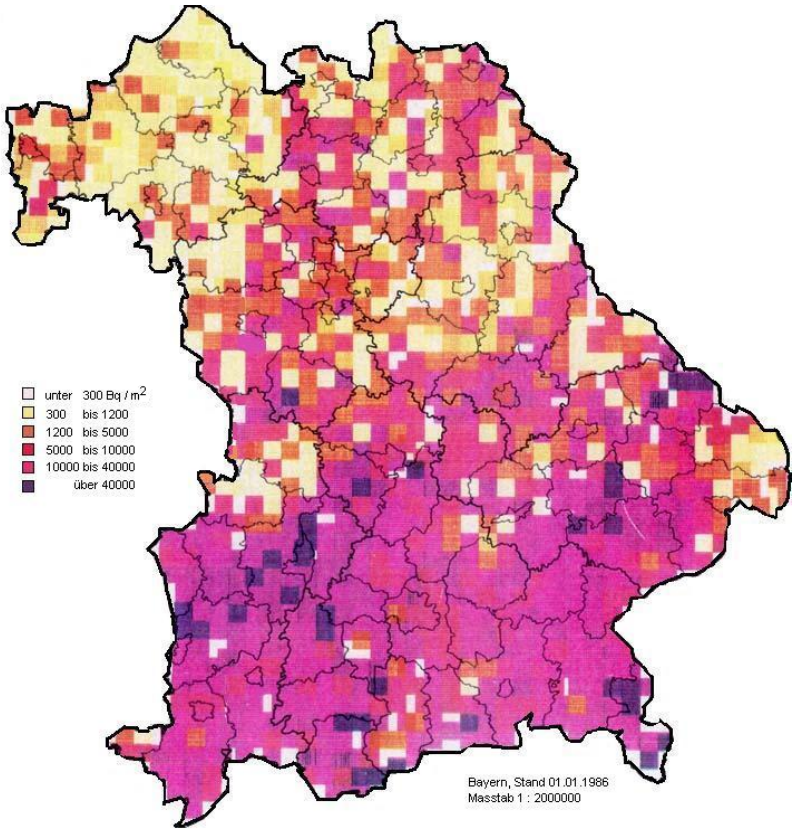


Abb. 11: Radioaktive Kontamination der Böden in Bayern. Zusätzliche Deposition von Cs 137 infolge des Unfalls von Tschernobyl nach StMLU und StMELF (1987)

Die aus den Kernwaffenfallouts der 60er Jahre stammende **Hintergrundkontamination** lag im Boden im Bereich von etwa **5 bis 25 Bq Cs 137/ kg Boden**.

Da im südbayerischen Raum die Ablagerung von Cäsium 137 etwa 6 % der Gesamtradioaktivität betrug, kann man rechnerisch von einer **zusätzlichen Deposition** von Cäsium 137 mit etwa **24 000 Bq/ m²** ausgehen (ca. **160 Bq/kg Boden**).

Dies entspricht in etwa einer Verzehnfachung der Messergebnisse von vor Tschernobyl (HAISCH A., MAYER J., HENKELMANN G. 2000).

Abb. 12 zeigt den prozentualen Anteil der einzelnen Nuklide in den Niederschlägen im Mai 1986 in München.

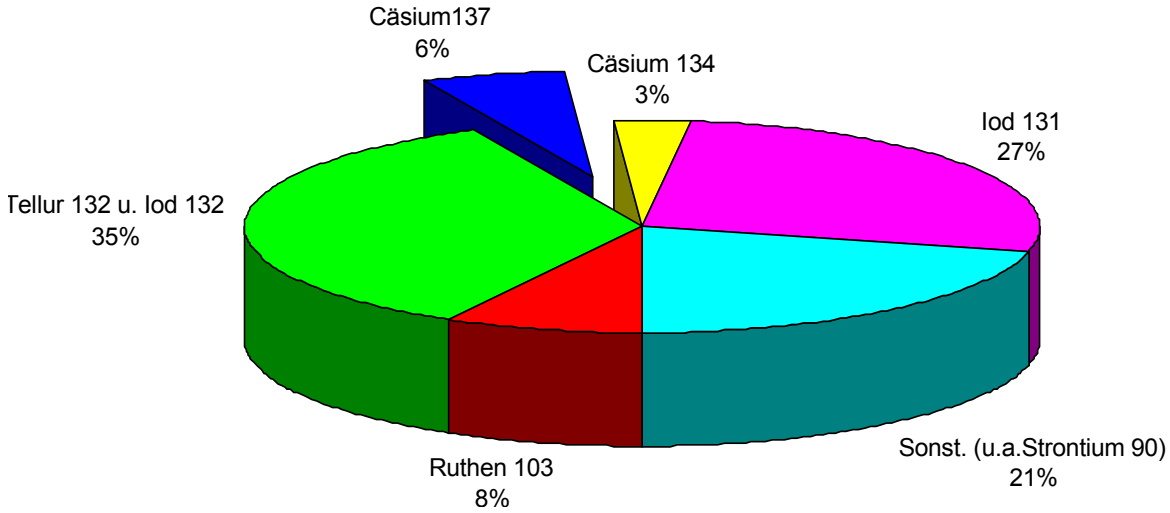


Abb. 12: Mittlere prozentuale Zusammensetzung der Radionuklide, die 1986 im Raum München niedergegangen sind (HAISCH, A., MAYER, J., HENKELMANN, G. (2000))

Auch wenn in manchen Gegenden Bayerns die Belastungen sehr hoch waren, so enthielt der Niederschlag doch auch sehr viele **„kurzlebige" Radionuklide**. Von allen Radionukliden haben heute nur noch das **Cäsium 137 und das Strontium 90** eine große Bedeutung, da diese nur langsam zerfallen.

5.3 Ergebnisse

Die Messungen auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen ergeben durch die **jährliche Beprobung** eine lückenlose Historie der radioaktiven Kontamination der Böden wie auch einen Überblick über die Belastungssituation der Nahrungs- und Futterpflanzen in Bayern. Wegen der zeitlich engen Beprobung befinden sich die Radionukliduntersuchungen derzeit im **Zwanzigsten Untersuchungsturnus** und weisen damit eine deutlich höhere Untersuchungshäufigkeit auf als die übrigen Parameter des BDF-Programms. Durch die hohe Intensität der Untersuchungen soll ausgeschlossen werden, dass pflanzliche Produkte mit überhöhten Radionuklidgehalten in die **Nahrungskette** von Mensch und Tier gelangen.

5.3.1 Radiocäsiumgehalte (Cs 137) im Boden – die Situation heute

Die Belastung der Böden mit **Cäsium 137** hat sich in den vergangenen 19 Jahren nach Tschernobyl rechnerisch **nur um etwa ein Drittel reduziert**. Die Kontamination der **Ernteprodukte** ist aber durch die feste Sorption des Radiocäsiums im Boden und den geringen Transfer in die Pflanze heute nur noch sehr gering.

Der Medianwert von Cäsium 137 liegt z. Zt. bei **Grünlandböden** (0-10 cm) in **Südbayern bei etwa 13 200 Bq/m^2 Boden, in Nordbayern bei 4 300 Bq/m^2**.

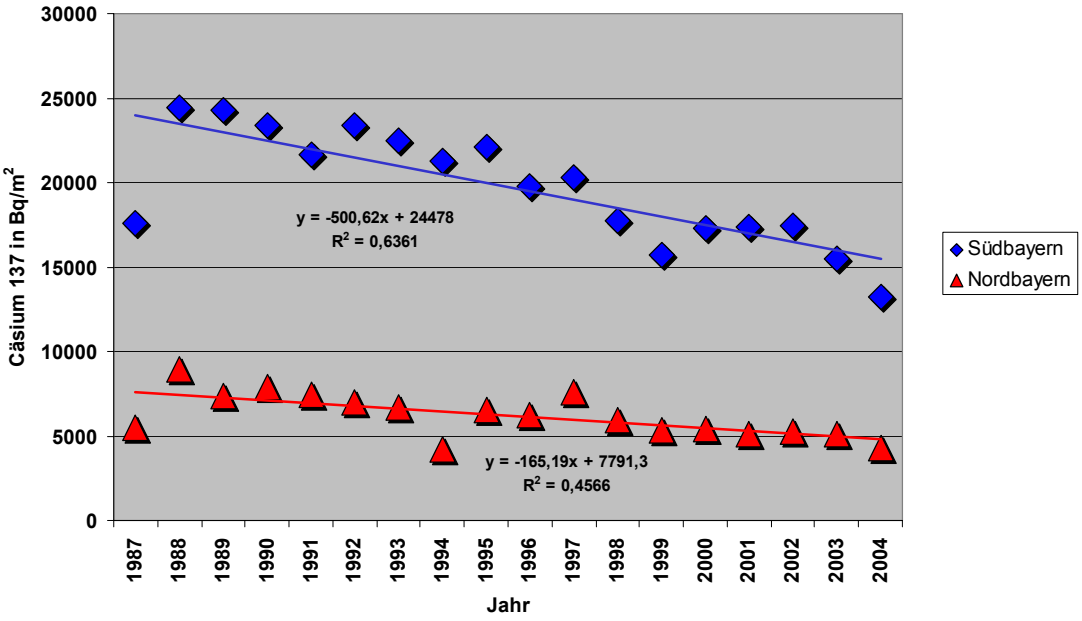


Abb. 13: Kontamination von **Grünlandböden** in der obersten Bodenschicht (0-10 cm) in Süd- und Nordbayern durch **Cäsium 137** in Bq/ m² (1987-2004)

Die Zeitreihen für die Radiocäsiumkonzentrationen unterscheiden sich in Nord- und Südbayern deutlich im Niveau. In Südbayern hatte es im Mai 1986 stärkere Niederschläge gegeben. Die Einzelverläufe sind unruhig. Dieses leichte Auf und Ab ist auf die Probenahme zurückzuführen.

Im Unterschied zu Grünlandböden **weisen Ackerflächen** eine deutlich geringere Kontamination mit Radiocäsium auf. Diese liegt rechnerisch für die obersten 10 cm Bodenschicht in **Südbayern bei etwa 5 200 Bq/m^2 Boden, in Nordbayern bei 2 300 Bq/m^2**. Bei den Messergebnissen gibt es aber wie schon bei den Grünlandböden regional sehr große Unterschiede (HENKELMANN, G. 1999).

5.3.2 Radiostrontiumgehalte (Sr 90) im Boden – die Situation heute

Gemessen werden an der Landesmessstelle im Routinemessprogramm auch die Belastungen mit **Strontium 90 (Sr 90)**, das vor allem den radioaktiven Fallouts der Kernwaffenexperimente der 60er Jahre entstammt. Das Strontium genießt dabei eine besondere Aufmerksamkeit, da es sich analog dem Kalzium über die Nahrungskette in den Knochen anreichert und dort als radioaktives Element eine ständige Quelle ionisierender Strahlung darstellt.

Der Medianwert der Belastungen von 16 Grünland- und 4 Ackerböden (0-10 cm) mit **Strontium 90** erbrachte für das Jahr 2004 etwa **186 Bq/m^2**. Dies entspricht dem normalen physikalischen Zerfallsprozess von Strontium 90. Die Halbwertszeit von Strontium 90 beträgt 28,8 Jahre.

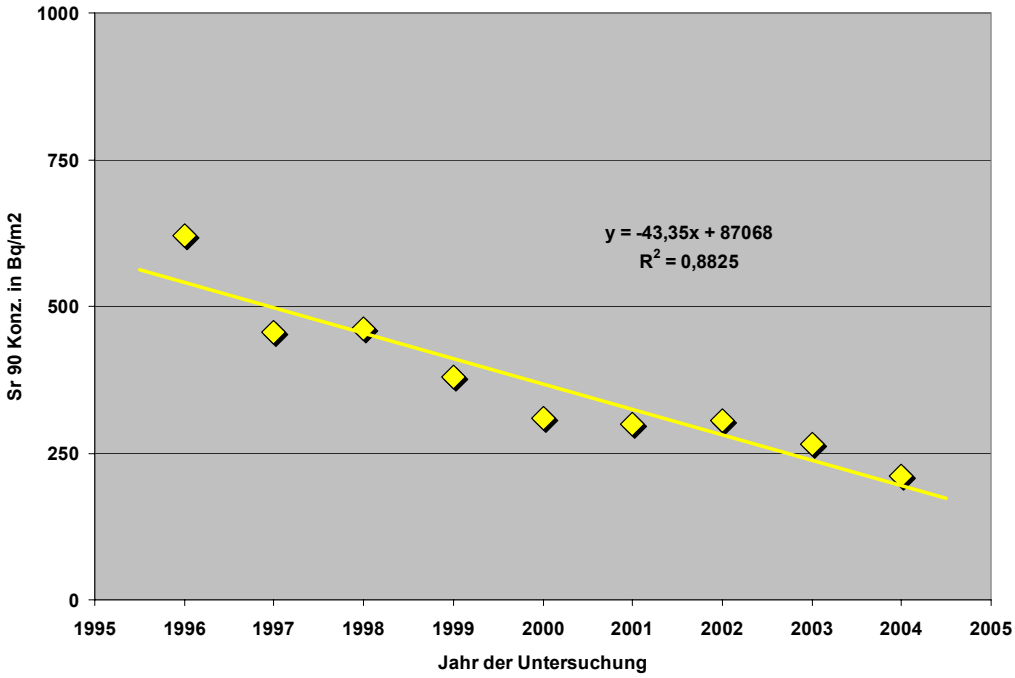


Abb. 14: Kontamination von **Grünlandböden** des BDF-Programms mit **Strontium 90** in Bq/m² (1995-2004) (n = 16)

5.3.3 Radiocäsiumgehalte in Wirtschaftsdüngern

Turnusmäßig werden etwa alle fünf bis acht Jahre im Boden-Dauerbeboachtungsprogramm die Wirtschaftsdünger auf Radionuklidbelastungen untersucht. Nach dem Vorfall von Tschernobyl wies das wirtschaftseigene Futter eine erhöhte Radioaktivität auf, die mit den Exkrementen ausgeschieden und im Wirtschaftskreislauf wieder auf die Felder ausgebracht wurde. Bei den Messungen von **Wirtschaftsdüngern** aus ganz Bayern ist deutlich die Abnahme von Radiocäsium (Cäsium 134 und Cäsium 137) seit 1987 zu erkennen.

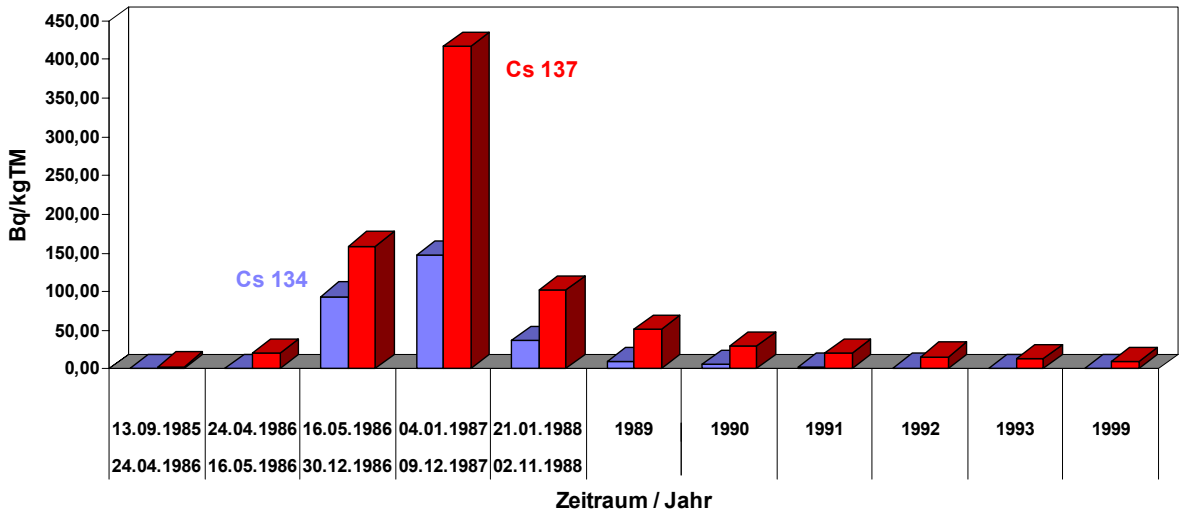


Abb. 15: Kontamination von **Wirtschaftsdüngern** aus ganz Bayern mit **Cäsium 137** und **Cäsium 134** in Bq/kg Trockenmasse (TM)

Im Vergleich der Jahre 1987 bis 2005 ist die ursprünglich starke Belastung **von etwa 417 Bq/kg TS auf einen Messwert unter 10 Bq/kg TS zurückgegangen**. Die Anzahl der untersuchten Proben pro Zeitabschnitt lag bei etwa 50. Die nächste Messung ist für das Jahr 2006 geplant. Die meisten der Proben bestanden aus Rindergülle, -jauche und -mist. Etwa 10 % der Proben war ein Güllegemisch aus Rinder-, Kälber- und/oder Schweinegülle, -jauche oder -mist.

5.4 Fazit

Von den Radionukliden des Kraftwerksunfalls von Tschernobyl sind im Jahr 2004 rechnerisch **noch etwa 65 %** der zusätzlichen Deposition von Cäsium 137 und Strontium 90 auf bayerischen Böden vorhanden.

Der Medianwert von **Cäsium 137** liegt z. Zt. bei Grünlandböden (0-10 cm) in **Südbayern bei etwa 13 200 Bq/m^2 Boden, in Nordbayern bei 4 300 Bq/m^2**. Die Halbwertszeit von Cäsium 137 beträgt 30,1 Jahre. Der Medianwert der Belastungen von 16 Grünland- und 4 Ackerböden (0 - 10 cm) mit **Strontium 90** erbrachte für das **Jahr 2004 etwa 186 Bq/m^2**. Die Halbwertszeit von Strontium 90 liegt bei 28,8 Jahren.

Durch die langen Halbwertszeiten von Cäsium 137 und Strontium 90 haben diese jedoch für die Erzeugung der **Nahrungs- und Futtermittel** noch immer eine große Bedeutung. Durch den geringen Transfer von Radiocäsium und Radiostrontium in die erzeugten Nutzpflanzen ist, mit Ausnahme von Heu, eine nennenswerte Belastung mit Cäsium 137 in Mais, Getreide und Sonderkulturen aber nicht mehr zu verzeichnen.

Die **Wirtschaftsdünger** weisen durch die geringe Kontamination der Futtermittel kaum mehr eine Belastung mit Radionukliden auf.

Die Ergebnisse der jährlichen Untersuchungen der 133 BDF und weitere radioökologische Arbeiten zum **Transfer und zur Verlagerung** von Radionukliden bilden das Fundament der Arbeit der Messstelle, die im Ereignisfall (wie z. B. einem nuklearen Störfall) neben den Messaufgaben auch beratend für die Landwirtschaft und die Ministerien tätig werden muss. Dadurch können **Einträge in die Nahrungspfade** im voraus abgeschätzt und minimiert werden, um im Ereignisfall eine nachhaltige Versorgung der Bevölkerung mit unbelasteten Nahrungsmitteln sicherzustellen.

5.5 Literaturverzeichnis

Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen und für Ernährung; Landwirtschaft und Forsten (1987): Radioaktive Kontamination der Böden in Bayern.

Haisch A., Mayer J., Henkelmann G. (2000): Strahlenschutzvorsorge in der Landwirtschaft – Organisation, Ergebnisse und Maßnahmen. - Bodenkultur und Pflanzenbau, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 2/00, 4. Jg., ISBN 3-933457-03-3.

Henkelmann G. (1999): Bodenschutz und Strahlenschutzvorsorge in der Landwirtschaft – Tschernobyl und Ergebnisse des Jahres 1998. - Tagungsband zu den Marktredwitzer Bodenschutztagen, Bodenschutz und Altlastensanierung, Band 1, 10/1999, 89-93.

Lengfelder E. (1988): Strahlenwirkung – Strahlenrisiko: Ergebnisse, Bewertung und Folgerungen nach dem kerntechnischen Unfall aus ärztlicher Sicht, Heinrich Hugendubel Verlag 1988, ISBN 3-88034-414-0.

6 Zeitliche Veränderungen der Regenwurm-Taxozönosen auf Grünland- und Ackerflächen

Johannes Bauchhenß, LfL, Agrarökologie, Freising

6.1 Regenwürmer als Bioindikatoren

Nach dem Bodenschutzgesetz soll die Funktion des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen erhalten bleiben.

In einer Hand voll Boden leben etwa 10 Milliarden Organismen. Das sind weit mehr Lebewesen als Menschen auf der Erde. Diese **Bodenorganismen sind wichtig** für die Umwandlung von **organischer Substanz** zu Pflanzennährstoffen und die **Verbesserung der Bodenstruktur.**

Stellvertretend für diese Vielzahl von Bodenorganismen werden zur Charakterisierung der Böden auf den BDF die **Regenwurm-Taxozönosen** untersucht. Sie haben einen **hohen Indikatorwert**, da sie chemische Veränderungen, wie zum Beispiel Schadstoffbelastungen aus der Landwirtschaft und Umwelt und physikalische Veränderungen, wie tiefes, wendendes Pflügen oder Bodenverdichtungen anzeigen. Darüber hinaus können sie vor allem auch biologische Veränderungen, wie zum Beispiel eine Verminderung oder Qualitätsänderung des Nahrungsangebotes oder Artkonkurrenz, durch Veränderung der Populationsstruktur sichtbar machen. Die **lange Lebensdauer der Regenwürmer** bewirkt, dass Umwelteinflüsse über Jahre hin kontinuierlich aufgenommen werden können.

6.2 Material und Methode

Auf jeder BDF werden pro Probenahmetermin, im Frühjahr bzw. Herbst randomisiert, an visuell ungestörten Stellen, **10 Stichproben** gezogen. Die Stichprobenfläche umfasst auf **Grünland- 0,25 und auf Acker- BDF 1 m^2**. Die Regenwürmer werden mittels einer 0,2 %igen Formalinlösung (2 x 20 l) ausgetrieben. Die Artbestimmung und die Messung der Biomasse (Berechnung aus dem Volumen) erfolgt im Labor (Herr & Bauchhenß, 1987, Wilcke, 1967). Da in der Regel keine Normalverteilungen vorliegen, wird für die statistische Auswertung der U-Test bzw. der H-Test ($n = 10$; $p = 0,05$) angewandt (Sachs, 1992).

Die erste Probenserie wurde von 1985 bis 1988, die zweite von 1988 bis 1994, die dritte von 1994 bis 2005 gezogen.

6.3 Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf **Veränderungen der Individuendichte** auf Grünland- und Acker-BDF.

6.3.1 Entwicklung der Regenwurm-Taxozönosen auf Grünland-BDF

Generell ist die Individuendichte von Regenwürmern auf **Grünlandflächen höher als auf Ackerflächen (**Abb. 16**,** Abb. 17**).** Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass Grünlandflächen meist in niederschlagsreichen Gebieten und auf frischen Böden (Aueböden) liegen und zum anderen darauf, dass auf Grünlandflächen der Boden nicht bearbeitet wird und vielfältige Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche liegen bleiben, Umstände, die für Regenwürmer günstige Lebensbedingungen schaffen.

Von den meisten Grünlandflächen liegen mittlerweile drei Untersuchungsdurchgänge vor. **Der Mittelwert über alle Grünland-BDF** und alle Untersuchungsdurchgänge beträgt **174 Ind./m²**, selbst für Grünlandflächen ein sehr hoher Wert. Die Durchschnittswerte aus Erstuntersuchung, und den beiden Folgeuntersuchungen (Abb. 16) sind statistisch nicht zu trennen (t-Test, p = 0,05).

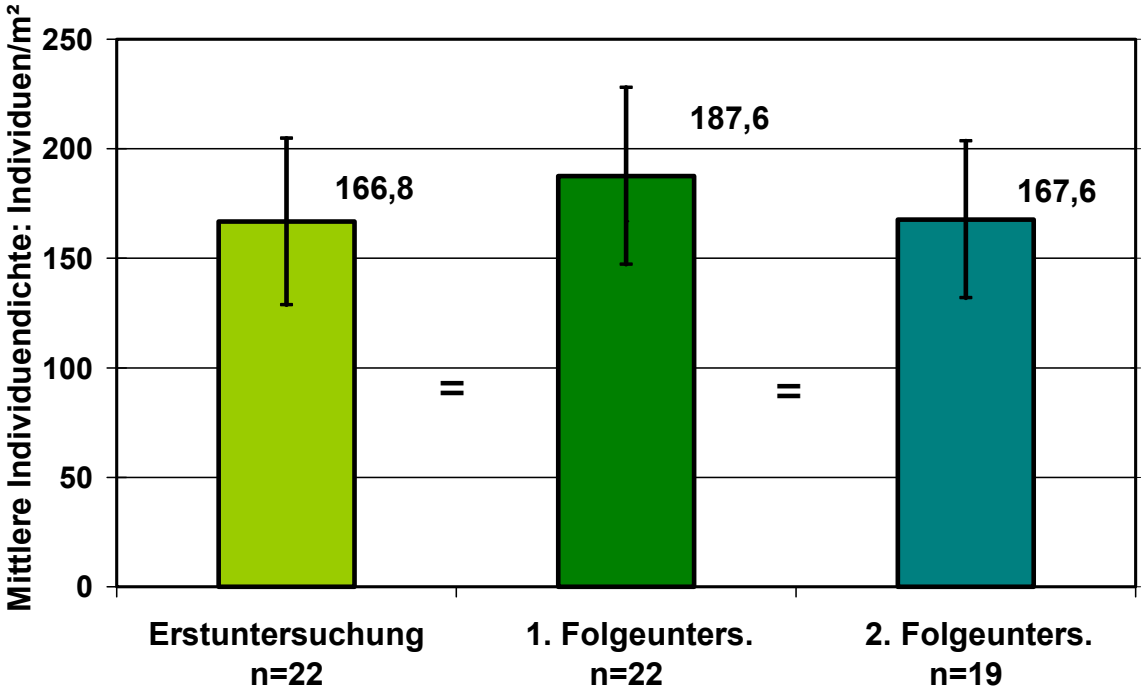


Abb. 16: Mittlere Individuendichte der Regenwürmer auf **Grünland-BDF**, Erstuntersuchung, 1. und 2. Folgeuntersuchung

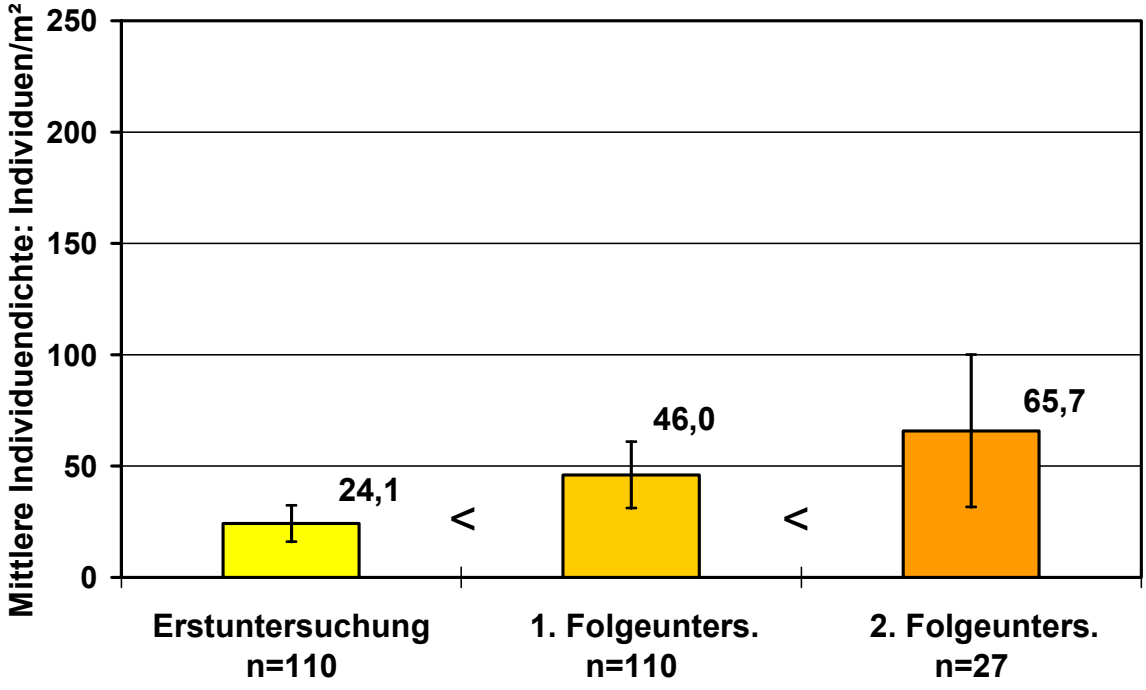


Abb. 17: Mittlere Individuendichte der Regenwürmer auf **Acker-BDF**, Erstuntersuchung, 1. und 2. Folgeuntersuchung

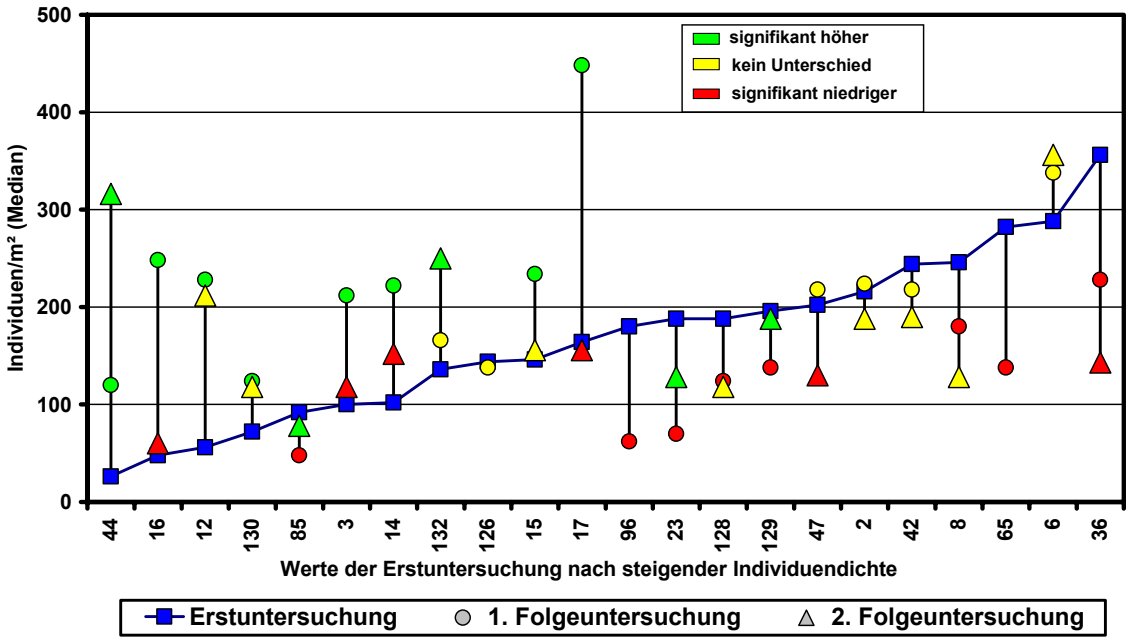


Abb. 18: Veränderung der Regenwurm-Individuendichte auf **Grünland-BDF** im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und 1. Folgeuntersuchung sowie zwischen der 1. und 2. Folgeuntersuchung

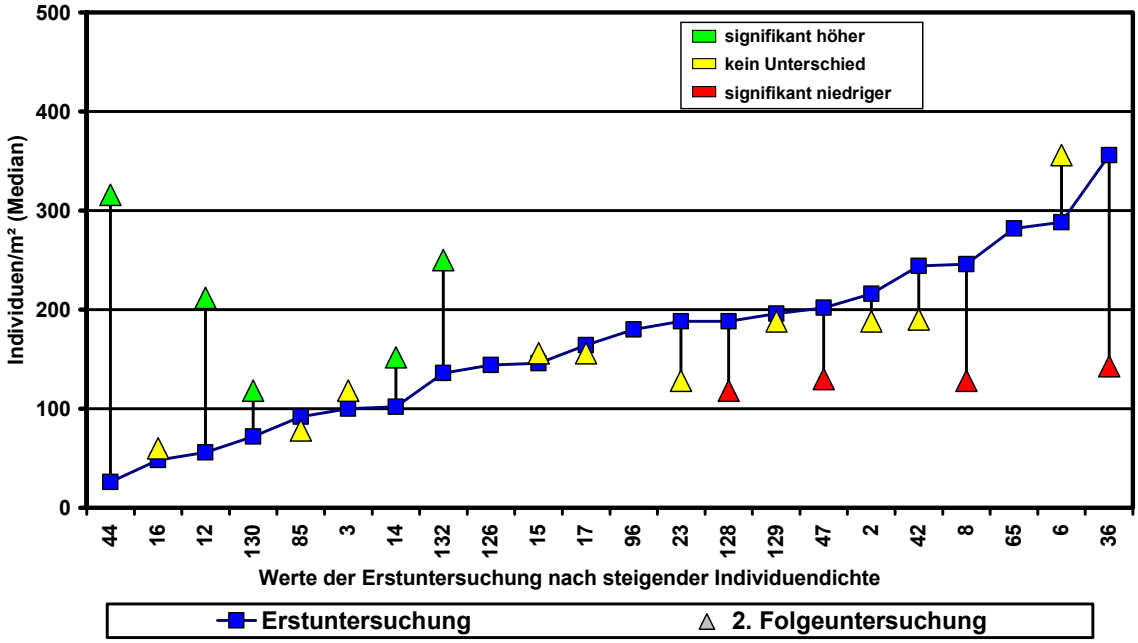


Abb. 19: Veränderung der Regenwurm-Individuendichte auf **Grünland-BDF** im Zeitraum zwischen der Erstuntersuchung und 2. Folgeuntersuchung. (Vergleich über die gesamte Beobachtungszeit)

Betrachtet man jedoch die Grünland-BDF einzeln, so ergeben sich durchaus Unterschiede zwischen der Erstuntersuchung und den Folgeuntersuchungen.

Zwischen der **Erstuntersuchung und der 1. Folgeuntersuchung** hat sich die Regenwurm-Individuendichte auf acht Flächen (= 36 %) signifikant (p = 0,05) erhöht, auf acht (= 36 %) hat sie sich verringert, auf sechs Flächen (= 27 %) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Abb. 18).

Zwischen **1. und 2. Folgeuntersuchung** hat sich die Individuendichte auf fünf (von 19) untersuchten Flächen (= 29 %) nochmals signifikant erhöht, auf sechs (= 32 %) hat sie sich verringert und auf acht (42 %) ist sie gleich geblieben (Abb. 18).

Der Langzeitvergleich: **Erstuntersuchung zu 2. Folgeuntersuchung** ergibt eine Zunahme auf fünf (= 26 %) und eine Abnahme auf vier BDF (= 21 %). Auf zehn BDF zeigt sich kein signifikanter Unterschied (Abb. 19).

6.3.2 Entwicklung der Regenwurm-Taxozönosen auf Acker-BDF

Auf **Acker-BDF** bestimmen, neben Standortfaktoren, wie Bodenart und Witterung, weitgehend Bewirtschaftungsmaßnahmen die Regenwurm-Individuendichte. Insgesamt ist sie mit durchschnittlich **45,3 Ind./m²** signifikant niedriger als auf Grünlandflächen.

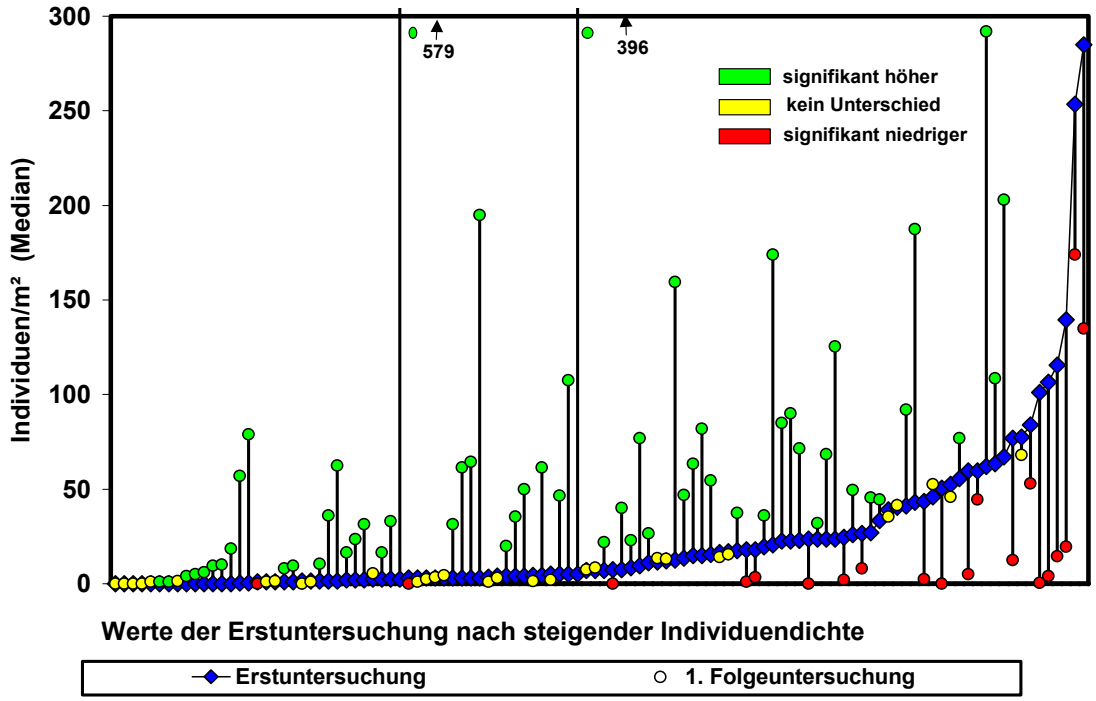


Abb. 20: Veränderungen der Regenwurm-Individuendichte im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und der 1. Folgeuntersuchung auf **Acker-BDF**

Erstuntersuchung und 1. Folgeuntersuchung auf den Acker-BDF sind abgeschlossen. Wegen der ungünstigen Witterungsverhältnisse (Diapause) konnte die 2. Folgeuntersuchung noch nicht abgeschlossen werden. Von 27 BDF wurden jedoch die Proben der 2. Folgeuntersuchung bereits ausgewertet. Die Auswahl dieser Flächen war technisch bedingt und unabhängig vom zu erwartenden Ergebnis.

Anders als auf den Grünlandflächen ergeben sich auf den Acker-BDF signifikante Unterschiede der durchschnittlichen Individuendichte zwischen der Erstuntersuchung und der

1. und 2. Folgeuntersuchung (Abb. 17). **Die durchschnittliche Individuendichte auf Acker-BDF hat von der Erst- zu den Folgeuntersuchungen stetig zugenommen**. Ein differenzierteres Bild ergibt sich aus der Betrachtung der einzelnen BDF.

In der Zeitspanne zwischen der **Erstuntersuchung und der 1. Folgeuntersuchung** hat sich auf 60 Acker-BDF (= 55 %) die Regenwurm-Individuendichte signifikant erhöht, auf 21 Flächen (= 19 %) hat sie sich vermindert. Auf 29 Flächen (= 26 %) zeigen sich keine Unterschiede (Abb. 20).

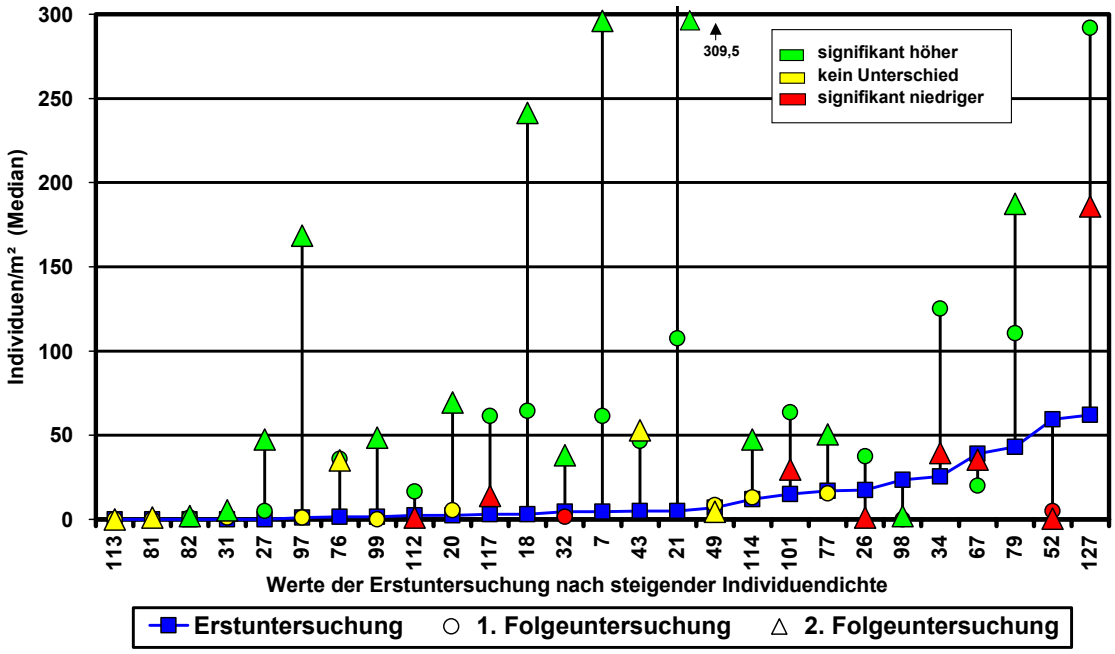


Abb. 21: Vergleich der Regenwurm-Individuendichte auf **Acker-BDF** im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und 1. Folgeuntersuchung bzw. 1. und 2. Folgeuntersuchung

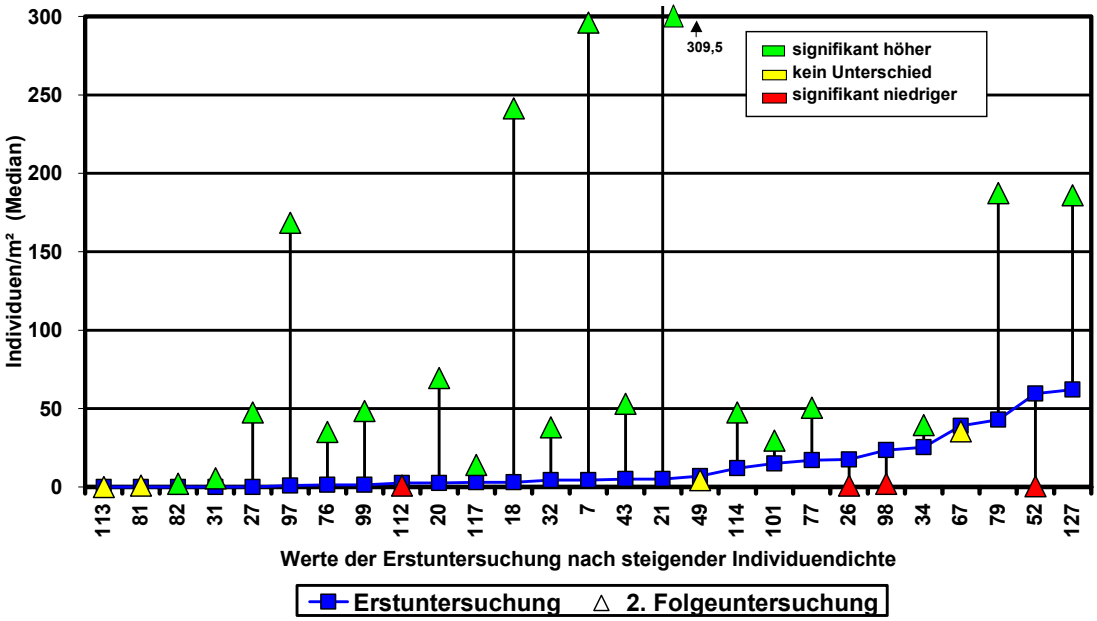


Abb. 22: Vergleich der Regenwurm-Individuendichte auf **Acker-BDF** im Zeitraum zwischen der Erstuntersuchung und der 2. Folgeuntersuchung (Vergleich über die gesamte Beobachtungszeit)

Beim Vergleich **1. Folgeuntersuchung zu 2. Folgeuntersuchung** zeigt sich, dass auf 15 von 27 BDF (= 56 %) die Individuendichte nochmals signifikant ansteigt, auf sieben (= 26 %) ist sie signifikant niedriger und auf 5 (= 19 %) gibt es keine gesicherten Unterschiede (Abb. 21).

Der Langzeitvergleich: **Erstuntersuchung zu 2. Folgeuntersuchung** ergibt eine Zunahme auf 20 (von 27) BDF (= 74 %) und eine Abnahme auf vier BDF (= 15 %). Auf drei BDF (= 11 %) ergibt sich kein signifikanter Unterschied (Abb. 22).

6.4 Diskussion

Regenwurmtaxozönosen können ein differenziertes Bild des biologischen Zustands von Böden und dessen Veränderung in der Zeit zeichnen. Methodisch gibt es keine Schwierigkeiten. Die Entnahme von jeweils 10 Stichproben ermöglicht eine statistische Bearbeitung.

Auf den **Grünland-BDF** hat sich, betrachtet man die Durchschnittswerte aus allen Grünland-Flächen (Abb. 16), die **Regenwurm-Individuendichte im Lauf der Untersuchungszeit nicht verändert**.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass im einzelnen auf etwa gleich vielen Grünland-BDF die Individuenzahl zu- bzw. abnimmt und die Zahl der Flächen, auf denen sich der Regenwurmbestand von Untersuchungstermin zu Untersuchungstermin nicht verändert, im Lauf der Untersuchungszeit zunimmt (Abb. 23). Auf Flächen mit hoher Individuendichte bei der Erstuntersuchung ist der Bestand bei den Folgeuntersuchungen rückläufig, auf Flächen mit ursprünglich geringem Bestand nimmt er zu (Abb. 18, Abb. 19). Dies ist dadurch zu erklären, dass auf Grünland keine wechselnden, tiefgreifenden Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau und Fruchtwechsel erfolgen. Auch die Düngung mit Wirtschaftsdüngern ist mehr oder weniger konstant. Somit verändern sich die Böden im Lauf der Zeit kaum. Der Regenwurmbestand wird letztendlich durch konstante natürliche Faktoren, wie geologische Formationen, Bodenart, Bodentyp, Exposition und Witterungsverhältnisse gesteuert.

Auf den **Acker-BDF** hat sich, betrachtet man die Gesamt-Durchschnittswerte (Abb. 17), die **Regenwurm-Individuendichte** während der Beobachtungszeit **von der Erstuntersuchung zur 1. und zur 2. Folgeuntersuchung kontinuierlich von 24 auf 66 Ind./m² erhöht.**

Dies kommt auch beim zeitlichen Vergleich der einzelnen BDF zum Ausdruck. Die Zahl der BDF, auf denen eine signifikante Steigerung der Individuendichte zu beobachten war, ist höher als die, auf denen sich die Individuendichte verringert hat (Abb. 20, Abb. 21, Abb. 22, Abb. 23).

Die Gründe hierfür sind vielfältig und im Einzelnen nicht kausal zu fassen. (Anders als beim Feldversuch gibt es bei den BDF keine Alternativflächen, auf denen zu beobachten wäre, was geschehen würde, wenn bestimmte Maßnahmen nicht, oder mit höherer Intensität, durchgeführt worden wären. Auch ein Vergleich mit „benachbarten“ BDF ist nicht möglich, da diese definitionsgemäß in anderen Naturräumen liegen oder anders bewirtschaftet werden. Jede BDF ist ein „Individuum“!)

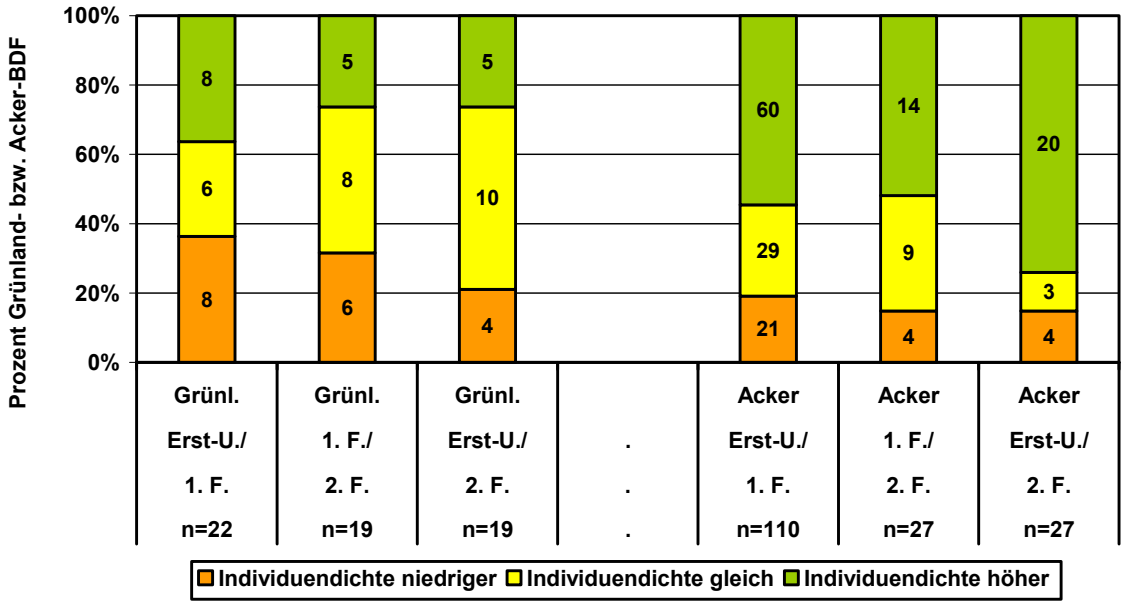


Abb. 23: Zu- und Abnahme der Regenwurm-Individuendichte **auf Grünland- und Acker-BDF** im Zeitraum zwischen Erstuntersuchung und 1. Folgeuntersuchung, 1. Folgeuntersuchung und 2. Folgeuntersuchung sowie Erstuntersuchung und 2. Folgeuntersuchung

Zweifellos aber spielen Änderungen des Habitats und der Nahrungszufuhr auf allen **Acker-BDF** eine große Rolle. Regenwürmer reagieren positiv auf reduzierte, nicht wendende Bodenbearbeitung und Zufuhr von organischer Substanz.

In Tab. 5 sind die **Acker-BDF** zusammengefasst, auf denen die Höhe der Regenwurm-Individuendichte, ein- oder mehrmals in der Beobachtungszeit, die der Grünlandflächen (> 150 Ind./m²) erreicht oder übertrifft.

Hohe Individuendichten bei Regenwürmern sind nach Erfahrungen aus Versuchen, auf Bodenruhe, pfluglose Bearbeitung, Mulchsaat, Mulch auf der Bodenoberfläche, auf liegengelassenes Stroh und organische Düngung zurückzuführen. Dies erklärt auch die hohe Regenwurm-Individuendichte auf den in den in Tab. 5 dargestellten BDF.

Tab. 5: Regenwurm-Individuendichte und landwirtschaftliche Maßnahmen; aufgenommen wurden alle **Acker-BDF,** auf denen in der 1. oder 2. Folgeuntersuchung die Individuendichte > 150 Ind./m² war

BDF-Nr.	Individuen/ m²			Für hohe Individuendichte maßgebliche landwirtschaftliche Maßnahmen
	Erstuntersuchung	1. Folgeuntersuchung	2. Folgeuntersuchung	
21	5	107,5	309,5	Kleegras, Mulch, Stilllegung
7	4,5	61,5	296	Kleegras, org. Düngung
18	3	64,5	241,5	Luzerne
79	43	110,5	187,5	Kleegras, org. Düngung
97	1	1	168,5	Kompost, Stroh, nat. Begrünung, Rebhäcksel, Grassamen, Wicken
127	62	292	186	Grasmulch, Holzschnitt
13	2,5	579		Kleegras, org. Düngung
89	5	396		Kleegras, org. Düngung
50	67	203		Weidelgras, org. Düngung
48	3	195		Mulchsaat, Stroh
94	20,5	174		Mulchsaat, pfluglos, Stroh
1	253	174		Kleegras, org. Düngung
107	12,5	159,5		Org. Düngung, Stroh
57	285	135		Kleegras, org. Düngung, Stroh

6.5 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde die Veränderung der Regenwurm- Individuendichte als Parameter für die Veränderungen der Böden herangezogen. Andere wichtige Kriterien sind Biomasse, Artenzahl, Abundanzwerte (auf Arten bezogene Individuendichte), Dominazstruktur und Diversität der Taxozönosen. Die Daten hierfür wurden ebenfalls bei den Untersuchungen ermittelt. Sie stehen für weitere, differenziertere Analysen zur Verfügung.

6.6 Literaturverzeichnis

Herr, S. & Bauchhenß, J. (1987): Einfacher Bestimmungsschlüssel für Regenwürmer. Schule und Beratung, **2**, III 15-III 20.

Sachs, L. (1992): Angewandte Statistik. – Berlin, Heidelberg, New York 848p.

Wilcke, D. E. (1967): Oligochaeta. In: Brohmer, Ehrmann, Ulmer, Schiemenz: Die Tierwelt Mitteleuropas. I Urtiere, Hohltiere, Würmer, Lief. 7a, 1-161.

7 Entwicklung der Acker- und Grünlandvegetation

Dr. Gisbert Kuhn, LfL, Agrarökologie, Freising

7.1 Einleitung

Die spontan auftretende Vegetation auf Acker- und Grünlandstandorten ist zum einen ein Bestandteil der globalen **Biodiversität**, zum anderen hat sie die wichtige Funktion der **Bio-Indikation**: Da die einzelnen Pflanzenarten nur unter gewissen Standorts- und Nutzungsbedingungen vorkommen können, können sie durch ihre Anwesenheit genau diese Bedingungen anzeigen. Die Pflanzendecke integriert dabei alle diesbezüglichen Einflüsse der vergangenen Jahre, so dass die Schlussfolgerungen auf Standorts- und Nutzungsbedingungen auf einer verlässlicheren Basis stehen, als wenn man nur wenige physikalische/chemische Messungen hätte. Diese Parameter unterliegen starken Schwankungen, so dass Aussagen aus wenigen Messungen immer zufallsbehaftet sind. Aus diesem Grund werden **Vegetationsdaten als wichtiger Bestandteil des BDF-Programmes** angesehen.

7.2 Material und Methoden

In allen BDF-Flächen werden sogenannte **Vegetationsaufnahmen** erstellt, d.h. auf einer definierten kleinen Fläche werden alle höheren Pflanzenarten erfasst und für jede der gefundenen Arten eine Mengenschätzung vorgenommen.

Die Gesamtfläche einer BDF umfasst 1000 m^2, die für die Zwecke der Vegetationsaufnahme in 4 Teilparzellen von je 250 m^2 unterteilt wird. Im Grünland wird in jeder Teilparzelle eine Aufnahmefläche von 7 x 7 m^2 ausgewählt und eingemessen, so dass bei jedem Durchgang exakt die gleiche Fläche beprobt wird. Bei den Aufnahmen kommt das Verfahren nach Klapp & Stählin (1936) zum Einsatz, wonach alle Arten sowie die Mengenanteile jeder Art in Prozent festgehalten werden. Auf allen anderen BDF (Acker und Sonderkulturen) beproben wir die vollständigen Teilparzellen (250 m^2) nach Braun-Blanquet (1964), das heißt, es werden alle Arten festgestellt sowie ihre Deckungsgrade nach einer 7-teiligen Skala geschätzt. Die Nomenklatur der Arten der höheren Pflanzen richtet sich nach Oberdorfer (1990). Bei den meisten BDF konnte die Vegetation inzwischen bereits **sechs mal erhoben werden**. Im Ackerland versuchen wir, jedes Mal dieselbe Fruchtart zu beproben. Das lässt sich aus organisatorischen Gründen leider nicht immer verwirklichen, so dass die Beprobung bei einigen BDF-Standorten bei verschiedenem Fruchtanbau erfolgen musste.

7.3 Ergebnisse

Im folgenden sollen ausgewählte Ergebnisse der bisherigen vegetationskundlichen Untersuchungen dargestellt werden.

7.3.1 Gesamtartenzahlen

Insgesamt wurden **seit 1986 347 Pflanzenarten auf Ackerstandorten** (inkl. Sondernutzungen wie Hopfen, Obst, Wein) und **201 Pflanzenarten auf Grünlandstandorten** gefunden. Das sind hohe Zahlen, wenn man bedenkt, dass die Aufnahmen nur auf ca. 130 kleinen Flächen genommen wurden. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass es noch höhere Artenzahlen gibt, wenn man die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche in Bayern zugrundelegt: Aus dem Dauergrünland (im engeren Sinn) z. B. ist bekannt, dass es dort ca.

400 Pflanzenarten gibt, von denen ca. 100 in ihrem Bestand gefährdet sind (Korneck & Sukopp 1988).

7.3.2 Artenzahl pro Aufnahme

In der Tab. 6 sind deutlich die **starken, nutzungsbedingten Unterschiede** in der Ausstattung mit Arten der Wildkrautflora zu erkennen. Der relative **Artenreichtum von Grünland, Obst- und Weinbau** im Vergleich zu Acker und Hopfen sind gut erkennbar. Es gibt also einen gut erkennbaren Zusammenhang zwischen **Biodiversität und Nutzungsweise**.

Tab. 6: Zahl der in den Vegetationsaufnahmen 1986-2004 gefundenen, spontan auftretenden Pflanzenarten bzw. Arten der Wildkrautflora

Nutzung		**Acker-nutzung**	**Hopfen**	**Wein**	**Obst**	**Grünland**
Artenzahl pro Aufnahme	**durchschnittlich**	11,6	8,2	32,5	22,7	26,7
	maximal	64	25	40	40	50
	minimal	0	6	26	13	10

Die **Artenzahlen bezüglich Acker und Hopfen** sind als sehr niedrig einzustufen und belegen einen seit Jahrzehnten andauernden **Rückgan**g. Dieser kann mit dem vorhandenen Datenmaterial präzise beschrieben werden.

Die Artenzahlen von Ackernutzungen verändern sich z. T. stark sprunghaft, aber ungerichtet. Die Gründe dafür konnten noch nicht identifiziert werden. Daraus wird die Notwendigkeit für langdauernde Zeitreihen-Erhebungen sichtbar.

7.3.3 Veränderungen im Artenspektrum auf Ackerstandorten

Innerhalb der 20 Jahre Dauerbeobachtung hat sich herausgestellt, dass sich die Häufigkeiten der einzelnen Pflanzenarten verändert haben. Einige der früher häufigen Ackerunkräuter kommen jetzt deutlich seltener vor, während andere Arten ihre Präsenz verstärken konnten. Zu den **'Gewinnern'** zählen beispielsweise die Taube Trespe (Bromus sterilis), die Weiche Trespe (Bromus hordeaceus) und die Hühnerhirse (Echinochloa crus-galli), während z. B. die Jährige Rispe (Poa annua), die Sternmiere (Stellaria media), das Ackerveilchen (Viola arvensis) oder das Acker-Vergißmeinnicht (Myosotis arvensis) **Bestandeseinbußen** hinnehmen mussten.

7.3.4 Veränderungen im Artenspektrum im Grünland

Im Grünland gibt es ähnliche Verschiebungen im Artenspektrum zu verzeichnen. So hat z. B. der Spitzwegerich (Plantago lanceolata) deutlich zugenommen: Wurde diese Art im Zeitraum 1986-1988 nur in 57 % aller Vegetationsaufnahmen erfasst, so waren es im Zeitraum 2003-2004 bereits 81 %. Auf der 'Verliererseite' stehen z. B. Kerbel (Anthriscus sylvestris; 1986-1988: 48 %, 2003-2004: 31 %) und Bärenklau (Heracleum sphondylium; 1986-1988: 60 %, 2003-2004: 47 %).

7.3.5 Arten der 'Roten Listen'

In den sogenannten Roten Listen werden die Gefährdungen und Bestandsentwicklungen der einzelnen Pflanzenarten in einem definierten Bezugsraum festgehalten. Insgesamt wurden auf **Ackerstandorten 27 Pflanzenarten** der Roten Listen gefunden, **im Grünland 9**. Darunter befinden sich Arten wie Sommer-Adonisröschen (Adonis aestivalis), Feldrittersporn (Consolida regalis) und Frauenspiegel (Legousia speculum-veneris) im Acker sowie die Trollblume (Trollius europaeus) und Kugel-Lauch (Allium sphaerocephalon) im Grünland.

Eine zunehmende Tendenz auf den BDF-Flächen hat sich beispielsweise beim Lanzettblättrigen Weidenröschen (Epilobium lanceolatum) und dem Acker-Klettenkerbel (Torilis arvensis) im Acker ergeben. Beispiele für abnehmende Tendenzen sind Tännelkraut (Kickxia elatine) im Acker sowie Trollblume im Grünland.

Abb. 24: Artenreiches Grünland mit Wiesenpippau, einer Charakterart der Glatthaferwiesen

7.4 Literaturverzeichnis

Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie, 3. Aufl., Wien.

Klapp, E. & A. Stählin (1936): Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistungen des Grünlandes. - Stuttgart.

Korneck, D. & Sukopp, H. (1988): Rote Liste der in der Bundesrepublik Deutschland ausgestorbenen, verschollenen und gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen und ihre Auswertung für den Arten- und Biotopschutz. - Schr. Reihe Vegetationskunde 19, Bonn. 210 pp.

Oberdorfer, E. (1990): Pflanzensoziologische Exkursionsflora, 6. Aufl., Stuttgart.

8 Humus- Gehalts- und Qualitätsveränderungen seit 1985

Dr. Peter Capriel, LfL, Agrarökologie, Freising

8.1 Einleitung und Ziel der Untersuchungen

Der Humus ist **Nährstoffquelle** für Pflanzen, Bodenmikroorganismen und Bodentiere. Er wirkt Gefüge schaffend und stabilisierend und beeinflusst damit den **Luft- und Wasserhaushalt** des Bodens. Der Humus hat auch eine **Filter- und Pufferwirkung**. Er bindet austauschbar die für die Pflanzenernährung wichtigen Kationen (Ca, Mg, K) und Anionen (Phosphat, Sulfat, Nitrat) und schützt sie so vor Auswaschung. Zudem steuert er durch eine Vielzahl von **Adsorptionsmechanismen** die Auswaschung und Abbaurate von Pflanzenschutzmitteln und Umweltchemikalien und schützt damit die Umwelt.

Aufgrund dieser vielfältigen Wirkungen stellt eine standortangepasste, optimale Humuswirtschaft in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage zur nachhaltigen Ertragssicherung dar. Der §17 des BBodSchG verlangt, dass der standorttypische Humusgehalt erhalten wird. Zudem ist seit 1. Januar 2005 für alle Landwirte, die Direktzahlungen beziehen, die Humuserhaltung ihrer Ackerböden gesetzlich vorgeschrieben (Direktzahlungen-Verpflichtungen-Verordnung).

Eines der Ziele des Projektes ist es, die Humusversorgung von repräsentativen Praxisbetrieben langfristig zu erfassen und daraus **Entwicklungstendenzen** für Bayern abzuleiten.

8.2 Probenahme

Der Untersuchungszeitraum beträgt im Durchschnitt aller BDF etwa 12 Jahre. In diesem Zeitraum wurden die Acker-BDF dreimal beprobt. Bei jeder Beprobung wurden von jeder BDF vier repräsentative Mischproben (Tiefe 0-15 cm) gezogen.

8.3 Humusparameter, Methoden

Folgende Humus-Kennwerte wurden bestimmt: Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t), C/N Verhältnis. Der C_{org} und N_t charakterisieren den **Humusgehalt** und C/N die **Humusqualität**. Die Bestimmung von C_{org} und N_t erfolgte simultan mittels Elementaranalyse (Vario EL; DIN ISO 10694). Bei carbonathaltigen Böden wurde der Carbonat-Kohlenstoff nach Scheibler bestimmt (VDLUFA-Methodenbuch, Band I, 1991).

8.4 Statistik

Für jede BDF wurden die 4 Mischproben von jedem Untersuchungstermin, also insgesamt 12 Mischproben analysiert. Die daraus resultierenden Mittelwerte (jeweils drei für C_{org}, N_t und C/N) wurden einem multiplen Vergleich nach **Student-Newman-Keuls** unterzogen. Vorher wurde die Normalverteilung und die Varianzhomogenität geprüft. Eine Wahrscheinlichkeit von 95 % wurde zugrunde gelegt.

8.5 Ergebnisse

Im Folgenden werden nur die **Acker-BDF** betrachtet.

Der Zeitraum, in dem die bisherigen Humusuntersuchungen im Rahmen dieses Programms durchgeführt worden sind, beträgt im Durchschnitt aller Acker-BDF etwa 12 Jahre. Bekanntlich sind **Humusveränderungen** erst nach ca. 10 Jahren analytisch nachweisbar. Es

wurden deshalb nur diejenigen Acker-BDF betrachtet, bei denen die Messergebnisse einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren abdecken. Das sind insgesamt 87 Acker-BDF.

Nach etwa 12 Jahren haben sich bei 59 Acker-BDF die **C_{org}-Gehalte** nicht signifikant verändert. Zehn BDF zeigen eine signifikante Zunahme und 18 eine signifikante Abnahme der C_{org}-Gehalte (Abb. 25).

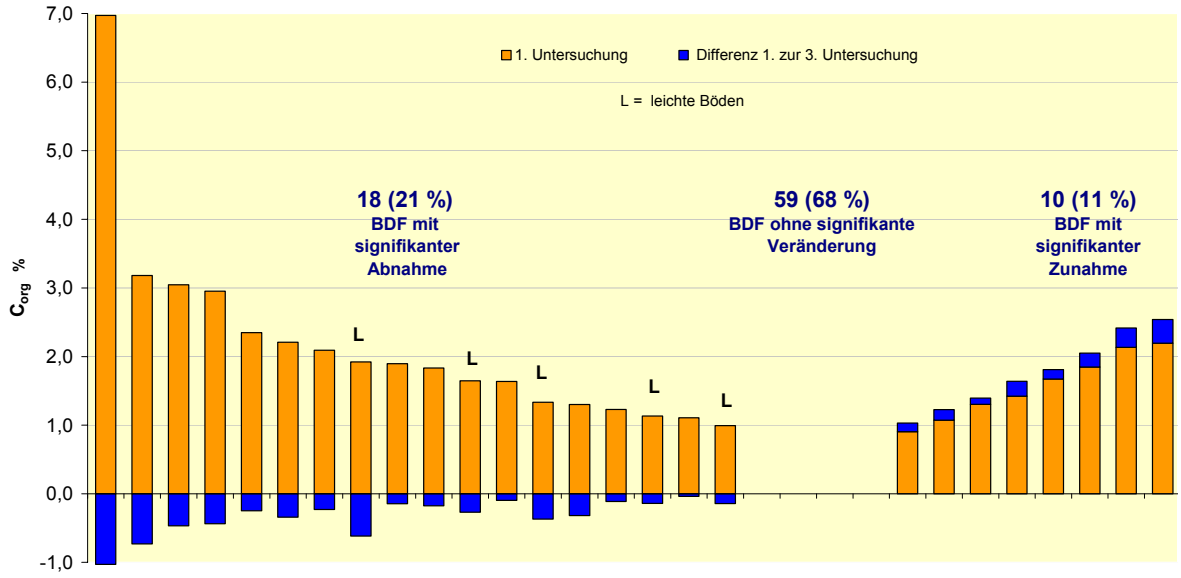


Abb. 25: Veränderung der **C_{org}-Gehalte** der Acker-BDF (1. zur 3. Untersuchung)

Der **Gesamtstickstoff** zeigt ein ähnliches Bild. Allerdings ist die N_t -Abnahme tendenziell stärker. Lediglich bei 55 BDF haben sich die N_t -Gehalte nicht signifikant verändert. Neun BDF weisen eine signifikante Zunahme auf und bei 23 BDF nahmen die N_t -Gehalte signifikant ab (Abb. 26).

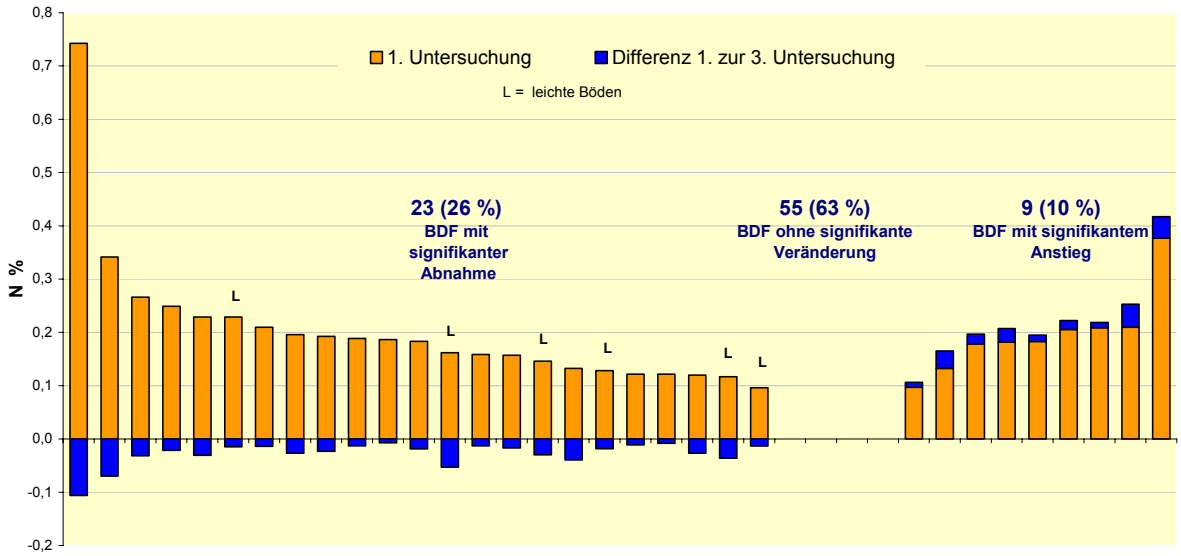


Abb. 26: Veränderung der **N_t-Gehalte** der Acker-BDF (1. zur 3. Untersuchung)

Die **Ursachen für die Abnahme der Humusgehalte** (C_{org}, N_t) sind vielfältig. Die Humusabnahme ist primär von der Bewirtschaftung verursacht. So weisen die BDF mit signifikant fallenden Humusgehalten einen relativ **hohen Hackfruchtanteil** (bis 40 %) und **Maisanteil** (bis 50 %) auf. Bemerkenswert ist auch, dass bei diesen BDF der Futterleguminosenanbau kaum vorkommt.

Dabei zeigt sich auch ein deutlicher Einfluss der **Bodenart**. So weist fast die Hälfte (42 %) der **leichten Böden** signifikant niedrigere C_{org} - und N_t -Gehalte auf. Bei den mittleren und schweren Böden dagegen ist dieser Anteil wesentlich kleiner. Allerdings ist in diesen Bodenartgruppen die N_t-Abnahme mit einem Anteil von jeweils 26 % deutlicher ausgeprägt im Vergleich zur C_{org}-Abnahme (17 %). Die Aufteilung der Böden der Acker-BDF in Bodenartgruppen erfolgte nach VDLUFA (leichte Böden: Tonanteil < 12 %; mittlere Böden: Tonanteil 12-25 %; schwere Böden: Tonanteil > 25 %).

Eine weitere Ursache für die Abnahme der Humusgehalte sind die zum Teil relativ **hohen C_{org}- und N_t-Ausgangsgehalte**. Das betrifft insbesondere die leichten Böden, wo die stabilisierende Wirkung der Tonminerale fehlt. Die langfristige Erhaltung hoher Humusgehalte ist gerade bei leichten Böden schwierig und bedarf einer optimalen Humusersatzwirtschaft.

Der **Anstieg der Humusgehalte** ist ebenfalls von vielen Faktoren abhängig. Die Zunahme der Humusgehalte ist zum einen durch den verstärkten **Anbau von Futterleguminosen** und durch **Stilllegung** und zum anderen durch **Reduzierung des Hackfruchtanteils in der Fruchtfolge** zu erklären.

Auch hier ist der Einfluss der **Bodenart** deutlich zu erkennen. Der Anteil der BDF, die einen signifikanten Humusanstieg aufweisen, steigt mit zunehmendem **Tonanteil**. Es ist auffallend, dass in der Gruppe der leichten Böden keine signifikante Zunahme der C_{org}- und N_t-Gehalte zu verzeichnen ist.

Im Untersuchungszeitraum haben sich nicht nur die Humusgehalte verändert, sondern auch die **Humusqualität (C/N)** und damit die chemische Zusammensetzung des Humus.

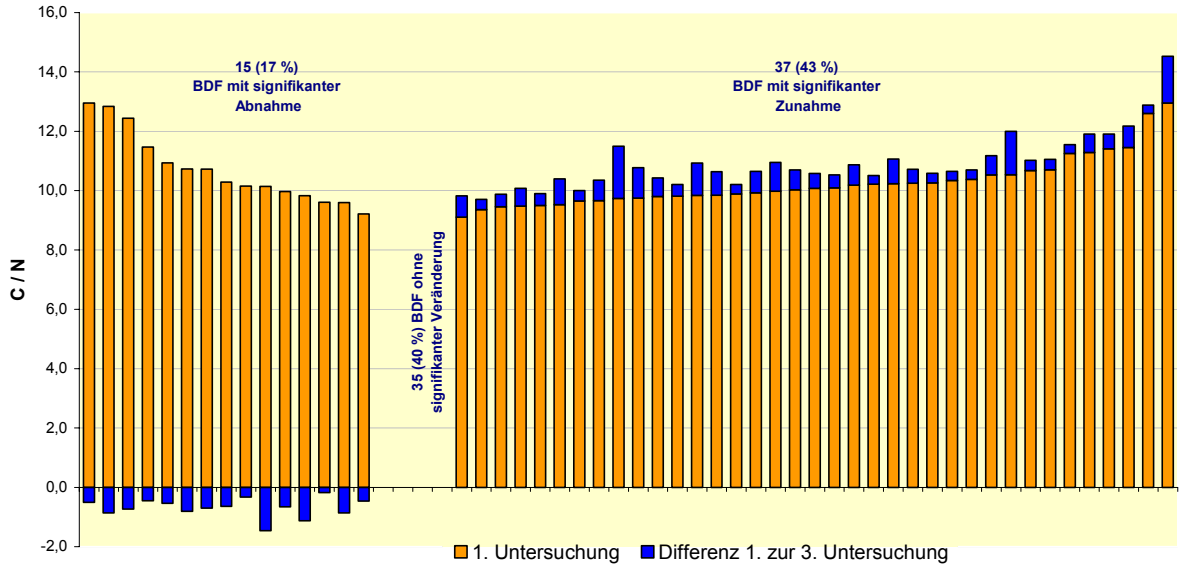


Abb. 27: Veränderung des **C/N-Verhältnisses** der Acker-BDF (1. zur 3. Untersuchung)

Erwähnenswert ist, dass bei 43 % der Acker-BDF das **C/N-Verhältnis signifikant angestiegen ist** (Abb. 27).

Diese Tendenz ist in den meisten Fällen auf die **Abnahme der N_t-Gehalte** zurückzuführen, da nur 10 % der BDF eine Zunahme der C_{org}-Gehalte aufweisen. Diese Abnahme der N_t-Gehalte ist teilweise durch den verminderten Einsatz von mineralischen N-Düngern zu erklären. So zeigt die Menge der ausgebrachten mineralischen N-Dünger bei fast der Hälfte der BDF eine abnehmende Tendenz. Auch eine nicht ausreichende organische Düngung kann zur Abnahme der N_t-Gehalte beitragen. Dadurch wird der Stickstoff, der für das Pflanzenwachstum benötigt wird, vermehrt aus dem Humus-Pool entnommen und das C/N-Verhältnis wird folglich größer.

Der Anstieg des C/N-Verhältnisses scheint von der **Bodenart** abhängig zu sein. Der Anteil der BDF mit signifikanter Zunahme des C/N-Verhältnisses nimmt mit steigendem Tonanteil ab.

8.6 Schlussfolgerungen

1. In Bayern sind hinsichtlich der **Abnahme der Humusgehalte** (C_{org}, N_t) insbesondere die **leichten Böden** betroffen. Fast die Hälfte davon weist eine signifikante Abnahme der Humusgehalte auf. Bei den mittleren und schweren Böden ist nur etwa ein Fünftel davon betroffen.
2. Die **Zunahme des C/N-Verhältnisses** bei fast der Hälfte der untersuchten Acker-BDF ist auf die **Abnahme des Gesamtstickstoffs** im Boden zurückzuführen. Sie stellt eine Änderung der Humusqualität dar und weist auf eine **Extensivierung der Bewirtschaftung** hin.
3. Die **regelmäßige Humusuntersuchung** (C_{org}, N_t, C/N) stellt für Landwirte und Beratung eine aussagefähige und kostengünstige Methode dar, um die Humusversorgung von Praxisbetrieben zu erfassen. Auf dieser Basis kann man die Bewirtschaftung anpassen und schließlich den **Humusgehalt und die Humusqualität** optimieren.

9 Bodengefüge – Status und Veränderungen

Robert Brandhuber, LfL, Agrarökologie, Freising

9.1 Bedeutung des Bodengefüges

Mit dem Bodengefüge wird die Architektur des Bodens beschrieben. Die Hohlräume bieten Lebensraum für Organismen und bilden das Versorgungsnetz für den Wasser- und Gastransport. Das Bodengefüge bestimmt damit wesentlich das Produktivitätspotenzial des Systems Boden/Pflanze und wirkt als Regler für Stoffflüsse in andere Umweltbereiche.

9.2 Einfluss der Bewirtschaftung

Das Gefüge von Böden im Hauptwurzelraum ist stark von der Bewirtschaftung geprägt. Mit dem technischen Fortschritt als „driving force“ verändert sich die Bewirtschaftung („pressure“):

- Als bisher ungebrochener Trend werden im Feld leistungsfähigere aber auch schwerere Maschinen und Transportfahrzeuge eingesetzt. Damit wird vor allem der **Unterboden** stärker mechanisch beansprucht.
- Veränderungen bei Bodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung und organischer Düngung beeinflussen vorrangig das Gefüge im **Oberboden** (Krume).

9.3 Rahmenbedingungen

Gefügeuntersuchungen auf BDF müssen folgende Rahmenbedingungen berücksichtigen:

- Im **Oberboden** ist die **zeitliche Variabilität** der Gefügeeigenschaften hoch. Regelmäßige Eingriffe der Bodenbearbeitung, biologische Umsetzungsvorgänge, steter Wechsel von Feucht- und Trockenphasen sowie Frost bedingen eine hohe Gefügedynamik.
- Während in der Krume Bodenbearbeitungsmaßnahmen die ursprüngliche räumliche Heterogenität verwischen, kommt im nicht mehr bearbeiteten **Unterboden** die **geo- und pedogene Variabilität** der Standorte zum Tragen.
- Der Erfordernis, zeitliche wie räumliche Variabilität durch angepasste Beprobung auszugleichen, steht auf BDF die **zerstörende Probenahme** im Weg.
- An vielen Standorten in Bayern verhindert ein **hoher Steinanteil** im Unterboden den Einsatz üblicher bodenphysikalischer Untersuchungsmethoden.

Bodengefügeuntersuchungen im Rahmen von Bodendauerbeobachtung müssen deshalb mit einer geringeren Schärfe der Aussagekraft ihrer Daten zurechtkommen als Schadstoffuntersuchungen. Das Risikopotenzial von schweren Landmaschinen und von Bewirtschaftungssystemen im Sinne der Vorsorge exakt zu fassen, bleibt gezielten Versuchsanstellungen vorbehalten. Ziel der Gefügeuntersuchungen auf BDF ist es, Gefügeausprägungen als Ergebnis langjähriger Bewirtschaftung („state“) in Form eines Screenings auf verschiedensten Standorten zu dokumentieren.

9.4 Probenahme und Untersuchungsmethoden

Die ersten Gefügeuntersuchungen von 1986-1989 auf allen BDF waren vorrangig auf eine Standortcharakterisierung ausgerichtet (Probenahme innerhalb der BDF in einer Unterbodentiefe mit 8 Stechringen angelegt). Die folgende Untersuchungsserie beschränkte sich auf eine Auswahl von **Acker-BDF**, erhöhte aber die Beprobungsintensität, um möglichst

stabile Datensätze für den Vergleich mit einer zukünftigen dritten Untersuchungsserie zu erhalten. Zur Erfassung etwaiger **Unterbodenverdichtungen** wurden von 1995 bis 2002 auf 29 Acker-BDF direkt unterhalb der Krume und in ca. 40 cm Tiefe aus drei Probenahmenestern an den äußeren Ecken der BDF 36 Stechringe je BDF entnommen. Zur Erfassung der **Verschlämmungsneigung** von Oberböden wurde von 1994 bis 2005 auf 14 BDF (Schluffböden) im Frühjahr jeweils bei Winterweizen ein Areal von 10 m² beprobt.

Untersuchungsmethoden der hier dargestellten Parameter: Luftkapazität bei pF 1,8 (Entwässerung mit hängender Wassersäule), Porenvolumenbestimmung aus Trockenrohdichte und Substanzdichte (Heliumpyknometer). Weitere Parameter: Totwasser, Vorbelastung (teilweise); Krume: Aggregatstabilität, Gefügeansprache mit Fotodokumentation

9.5 Ergebnisse

9.5.1 Unterboden

Kompression verringert den Anteil an groben Poren, Scherung die Wegsamkeit des Porensystems. Entsprechend bezeichnen Lebert et al. (2004) die Laborparameter Luftkapazität (LK, Anteil an Poren mit einem Durchmesser > 50 µm) und die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) verbunden mit einer Feldgefügeansprache als geeignete Indikatoren, um Schadverdichtungen zu identifizieren. Im Unterboden liegen kritische Werte vor bei einer Luftkapazität < 5 % verbunden mit kf-Werten < 10 cm/d. In unserem Messprogramm wurde die Luftkapazität, jedoch nicht die gesättigte Wasserleitfähigkeit erfasst. Kritische Werte gelten daher als Hinweise aber nicht als Beweise für Schadverdichtung.

Abb. 28 zeigt die Luftkapazität aus der zweiten Untersuchungsserie paarweise in den beiden beprobten Unterbodentiefen. Die Farbe der Säulen gibt die jeweilige Bodenartenhauptgruppe wieder (Sand, Lehm/Schluff, Ton).

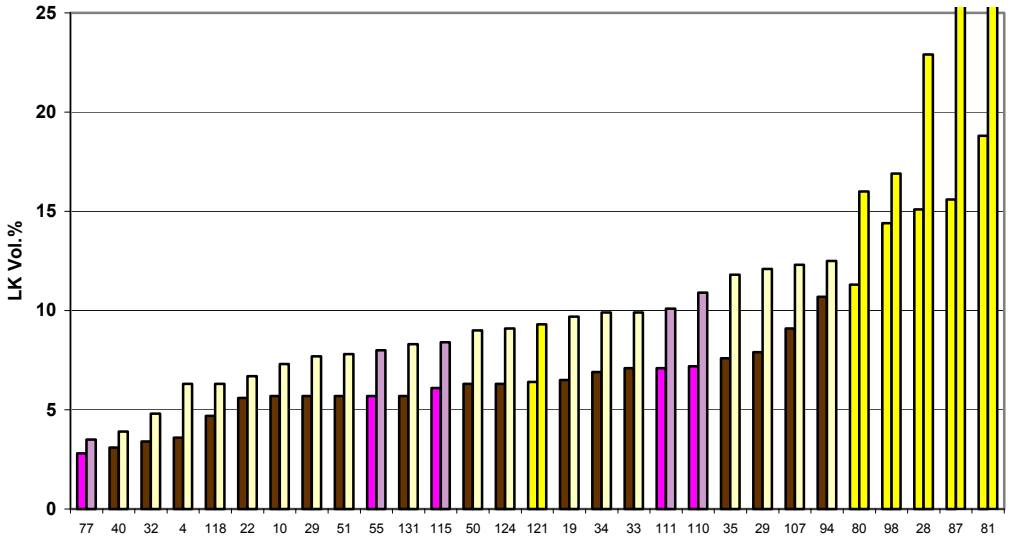


Abb. 28: Luftkapazität von 29 Acker-BDF in der „Pflugsohle“ bei ca. 30 cm Tiefe (linke Säule) und in 40 bis 50 cm Tiefe (rechte Säule) differenziert nach Bodenartenhauptgruppen (gelb: Sand; braun: Schluff/Lehm, violett: Ton)

Im Vergleich der beiden Tiefen setzt sich der Bereich direkt unterhalb der Krume mit deutlich niedrigeren Werten ab. Erklären lässt sich der Unterschied durch die beim Pflügen

vom Schlepperrad in der Furche direkt auf die „Pflugsohle“ aufgebrachte Bodenbelastung, aber auch durch den tiefenbedingten Druckabbau („Druckzwiebeln“). Der Textureinfluss kommt lediglich bei Sandböden mit ihrem hohen Grobporenanteil zur Geltung.

Zuckerrüben und Mais wird wegen der späten Ernte und der schweren Erntetechnik ein erhöhtes Risiko für Bodenverdichtung nachgesagt. Eine Differenzierung nach Fruchtfolgetypen (Abb. 29) lässt jedoch keinen Zusammenhang mit der Luftkapazität erkennen.

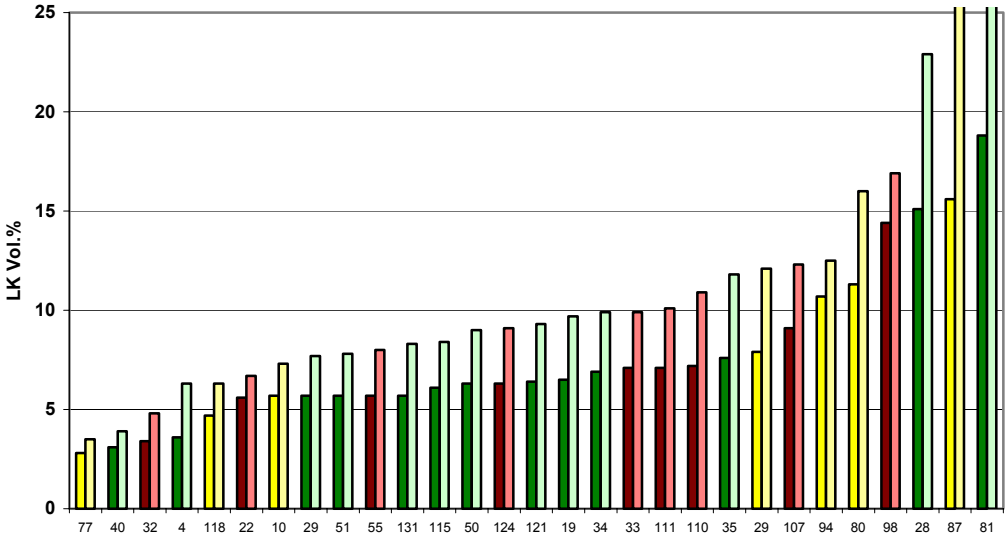


Abb. 29: Luftkapazität von 29 BDF in der Pflugsohle bei ca. 30 cm Tiefe (linke Säule) und in 40 bis 50 cm Tiefe (rechte Säule) differenziert nach Fruchtfolgetypen (gelb: Getreide ohne Hackfrucht; grün: mit Mais; rot: mit Zuckerrüben)

Ein Vergleich zwischen erster und zweiter Untersuchungsserie (jeweils Pflugsohle, Abb. 30) muss das jeweilige Probenahmesystem berücksichtigen. Für 17 BDF waren die Bedingungen zumindest bei der Entnahmetiefe vergleichbar. Ein eindeutiger Trend oder ein Bezug zur Fruchtfolge kann mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht hergestellt werden.

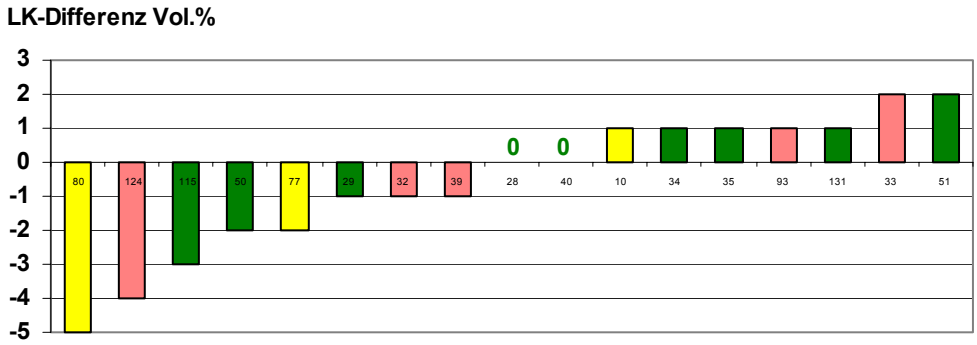


Abb. 30: Veränderungen der Luftkapazität von 17 Acker-BDF in ca. 30-35 cm Tiefe zwischen der 1. und 2. Untersuchungsserie differenziert nach Fruchtfolgetypen (gelb: Getreide ohne Hackfrucht; grün: mit Mais; rot: mit Zuckerrüben)

9.5.2 Krume

Im Fokus der Krumenuntersuchungen steht die Gefügestabilität der Böden gegenüber Wasser und damit ihre Anfälligkeit für Erosion. Wegen der starken zeitlichen Schwankungen der Gefügeausprägungen werden die ausgewählten 14 BDF jeweils bei Winterweizen im zeitigen Frühjahr beprobt, also ca. alle zwei bis vier Jahre. Dennoch zeigen Trockenrohdichte, Luftkapazität und Aggregatstabilität ein erhebliches „Rauschen". Ein mit späteren Untersuchungen vergleichbarer Datensatz sollte deshalb eine Zeitreihe von mindestens fünf Untersuchungsterminen (= Fruchtfolgen) umfassen. Für 8 BDF liegt bereits ein entsprechender Datensatz vor (hier nicht dargestellt).

9.6 Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse aus der Untersuchungsserie 2 (und auch aus Serie 1, siehe BDF-Bericht von 1997) dokumentieren zunächst einen Gefügezustand, der für den **Unterboden** bewertet werden kann. Alle untersuchten Ackerböden weisen eine „**Pflugsohle**" auf. In etwa der Hälfte der Fälle liegen die Ausprägungen der Luftkapazität nahe am kritischen Wert von 5 %, in wenigen Fällen auch darunter. Die Luftkapazität charakterisiert den Porenanteil, der den schnellen Wasser- und Gastransport sicher stellt. Die Pflugsohle ist zwar i.d.R. nur einige Zentimeter dick und die Pflanzenwurzeln können diese kompakte Zone insbesondere im Frühjahr bei ausreichender Feuchte durchdringen. Sie wirkt aber als **Flaschenhals für die Versickerung** von Niederschlagswasser in tiefere Bodenschichten. Zeitweiliger Wasserstau über der Pflugsohle kann in der unteren Krume zu reduktiven Bedingungen führen, insbesondere dann, wenn dort Stroh vom Vorjahr vergraben liegt.

Unterhalb der Pflugsohle liegen die Gefügewerte mit wenigen Ausnahmen in einem Bereich, der auf eine **ausreichende Funktionsfähigkeit** schließen lässt. Die Tatsache, dass keine Zusammenhänge zwischen Gefügeausprägungen und Fruchtfolgetypen sichtbar werden, bestätigt die These, dass dem Entscheidungsspielraum des Landwirts beim bodenschonenden Maschineneinsatz (Bodenfeuchte!) eine bedeutende Rolle zukommt.

Nachdem der Datensatz aus der ersten Untersuchungsserie der Standortcharakterisierung diente, sind Vergleiche mit der zweiten Serie nur bedingt aussagekräftig. Zulässig erscheint jedoch die Interpretation, dass es in der „Pflugsohle" zu keinen dramatischen Veränderungen innerhalb des betrachteten Zehn-Jahreszeitraums gekommen ist.

9.7 Schlussfolgerungen

Die in Form eines Screenings erhobenen Gefügedaten auf den BDF stützen die auf Basis von Feldexperimenten abgeleitete Forderung, Maschinen und Arbeitsverfahren bodenschonend auszurichten, um das Bodengefüge funktionsfähig zu erhalten (BMVEL 2002). Der technische Fortschritt in der Reifen- und Fahrzeugentwicklung sollte künftig vermehrt dazu genutzt werden, die mechanische Belastung der Böden zu senken.

9.8 Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2002): Gute fachliche Praxis gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bonn.

Lebert, M., J. Brunotte u. C. Sommer (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung. UBA-Texte 46/04, Berlin.