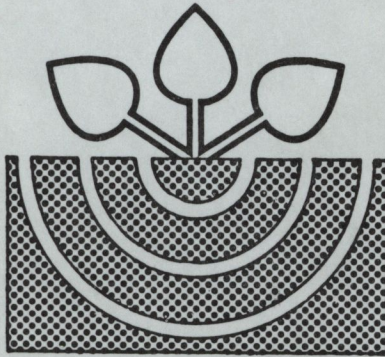


MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT



Band 78

1995

ISSN-0343-107X

Schriftleitung: P. Hugenroth, Oldenburg

MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

Referate

Workshop Bodenökologie
der Kommission IV der DBG

6. und 7. April 1995

MÜNSTER

Band 78

1995

MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

Band 78

1995

MITTEILUNGEN

DER

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN

GESELLSCHAFT

Referate

Workshop Bodenökologie
der Kommission IV der DBG
6. und 7. April 1995
MÜNSTER

**Statusbericht,
Festvorträge Jahrestagung Halle,
Vorträge Preisträger Fritz-Scheffer Preis,
Nachträge,
Festvorträge 100 Jahre Umweltforschung Bad Lauchstädt**

Jahrestagung der DBG
2. bis 9. September 1995
HALLE/ Saale

Band 78

1995

Workshop Bodenökologie

1. Bodenökologie im Ausland		Seite
Broll, G.:	Research on soil ecology in Canada, Great Britain, The Netherlands, Sweden and the U.S.A.	3
Kandeler, E.:	Bodenökologische Forschung in Österreich	7
Müller, T.:	Bodenökologische Forschung in Dänemark	13
Sticher, H.:	Bodenökologische Forschung in der Schweiz	17
 2. Ergebnisse der Arbeitsgruppensitzungen		
Anderson, T.-H. und S. Schrader:	Bodenökologie und Agrarökosysteme	23
Belotti, E. und R. Öhlinger:	Bodenökologie und Bodenschutz	29
Eisenbeis, G. und M. Joschko:	Bodenökologie, Bodenorganismen und Bodeneigenschaften	33
Fründ, H.-C. und B. Keplin:	Bodenökologie und Stadtökosysteme sowie Industrie- und Bergbaufolgelandschaften	39
Gisi, U. und G. Broll:	Bodenökologie und Stoffkreisläufe	45
Kandeler, E., E. Belotti und A. Hartmann:	Methoden in der Bodenökologie	51

	Seite
Kögel-Knabner, I. Bodenökologie und Organische Substanz und L. Beyer:	57
Merbach, W. und Bodenökologie und Rhizosphäre W. Wiehe:	63
Raspe, S., Bodenökologie und Waldökosysteme K.-H. Feger und F. Makeschin:	67
Schmeling, A., Bodenökologie und Feuchtgebiete U. Graefe und E.-M. Pfeiffer:	73
 3. Stellungnahmen zur Bodenökologie durch Vorsitzende der Kommissionen, Arbeitsgruppen und Arbeitskreise der DBG	
Auerswald, K. Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodentechnologie und P. Widmoser:	79
Bohne, K.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenphysik	81
Broll, G. und Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit M. Körschens: und Pflanzenernährung	83
Frielinghaus, M.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenerosion	85
Heineke, H.-J.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für Bodeninformationssysteme	87
Milbert, G.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Humusformen	89
Schraps, W.-G.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für Bodengenetik, Klassifikation und Kartierung	91
Stahr, K.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenmineralogie	93
Sticher, H.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenchemie	97
Weidemann, G.: Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenbiologie	99

4. Stellungnahmen zur Bodenökologie durch Anwender bodenökologischer Forschung	Seite
Laukötter, G.: Bodenökologische Aufgaben und Aktivitäten des Naturschutzzentrums der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW	103
Necker, U.: Bodenökologische Aufgaben und Aktivitäten des Landesumweltamtes NRW	105
Timmermann, F., A. Thalmann und A. Krönung:	Bodenökologische Aufgaben und Aktivitäten der landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten - am Beispiel der LUFA Augustenberg 109
5. Stellungnahmen zur Bodenökologie durch Vertreter verschiedener Fachrichtungen	
Feger, K.-H.: Bodenökologie aus der Sicht eines Forstwissenschaftlers	115
Felix- Henningsen, P.:	Bodenökologie aus der Sicht eines Agrarwissenschaftlers 117
Gisi, U.: Bodenökologie aus der Sicht eines Botanikers	119
Munch, J.C.: Bodenökologie aus der Sicht eines Mikrobiologen	121
Schreiber, K.-F.: Bodenökologie aus der Sicht eines Landschaftsökologen	123
Topp, W.: Bodenökologie aus der Sicht eines Zoologen	125
6. Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops Bodenökologie	
Broll, G. und M. Körschens:	Die Definition von Bodenökologie und ihre Stellung innerhalb der DBG 127

Jahrestagung 1995

Statusbericht **Seite**

Sticher, H.: Die Bodenchemie im Spannungsfeld zwischen Molekül und System 131

Festvorträge Jahrestagung Halle

Schilling, G.: Tradition und Fortschritte bodendynamischer Forschungen im mitteldeutschen Raum 137

Körschens, M.: Aufgaben und Ziele der Umweltforschung im mitteleutschen Industriegebiet 145

Altermann, M.: 60 Jahre Bodenschätzung in Deutschland 157

Vorträge Fritz Scheffer Preisträger

Papritz, A.: Statistik und Bodenbeobachtung 163

Streck, T.: Verlagerung von Cadmium in einem Sandboden im Feldmaßstab 171

Nachträge

Becher, H. H., J. Breuer und B. Klingler: Ein Index-Wert zur Kennzeichnung von hartsetzenden Böden 179

Rommel, J. und W. R. Fischer: Ableitung der Filter- und Puffereigenschaften von Böden aus Ökologischen Standortkarten 183

Altermann, M. und D. Kühn: Vorschlag zur Substratsystematik 185

Festvorträge 100 Jahre Umweltforschung Bad Lauchstädt

Körschens, M.: 100 Jahre Agrar- und Umweltforschung Bad Lauchstädt 197

Baeumer, K.: Ziele der Agrar- und Umweltforschung 207

		Seite
Breitschuh, G. und H. Eckert:	Landwirtschaft und Umwelt aus gegenwärtiger Sicht	223
Schilling, G.:	Zur Energietransformation bei der Ertragsbildung von Kulturpflanzen	239

VORWORT

Am 6. und 7. April 1995 fand am Institut für Landschaftsökologie der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster, veranstaltet von der Kommission IV der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, ein Workshop zur Bodenökologie statt. Ziel der Veranstaltung war in erster Linie, im Rahmen einzelner Arbeitsgruppen den Begriff "Bodenökologie" zu definieren und den Forschungsbedarf für diese Fachrichtung aufzuzeigen. Weiterhin sollte damit auch eine Entscheidungsgrundlage für die Etablierung der Bodenökologie innerhalb der DBG bereitgestellt werden.

Die Teilnehmerzahl und die Intensität der Beratungen haben das große Interesse sowie den Informations- und Diskussionsbedarf zum Thema der Veranstaltung bestätigt. Ausgangspunkt für die Diskussion bildeten Beiträge von Kolleginnen und Kollegen aus dem Ausland, denen wir für Ihre Teilnahme bzw. die Zusendung schriftlicher Beiträge herzlich danken. Ebenfalls danken wir denen, die Stellungnahmen zur Bodenökologie aus der Sicht anderer Arbeitsrichtungen innerhalb der DBG, aus der Sicht spezieller Fachgebiete oder der Praxis abgegeben haben. Zudem gilt unser Dank Frau Claudia Erber und den Herren Frank Bednorz, Oliver Bens, Hans-Jörg Brauckmann und Gerald Müller für ihren zeitaufwendigen Einsatz bei der Erarbeitung der Protokolle.

Die Diskussion zur Bodenökologie war ein besonderes Anliegen von Herrn Prof. Dr. Herbert Kuntze, der dieses auch als Altpräsident und Vertreter des Vorstandes der DBG in seinem Grußwort während der Tagung zum Ausdruck brachte. Sein plötzlicher Tod hat uns sehr betroffen. Wir schulden ihm für sein unermüdetes Engagement und seine wissenschaftliche Begleitung herzlichen Dank.

Münster, April 1995

Gabriele Broll und Martin Körschens

Research on soil ecology in Canada, Great Britain, The Netherlands, Sweden and the U.S.A.

von

Broll, G.*

Besides the papers from Austria, Denmark and Switzerland presented at the workshop soil ecology contributions from Canada, Great Britain, The Netherlands, Sweden and the U.S.A. were used to clarify the term soil ecology. The colleagues were asked to define soil ecology and to show particular research needs. Moreover, they were requested to give some information about the establishment of soil ecology in the societies of ecology or soil science within the different countries.

The statements overlap in many points, which are summarized as follows. In all countries considered the term soil ecology is widely used and soil ecological research becomes more and more important. Generally, soil ecology is defined as the science of interactions among the soil biota and between the soil biota and the abiotic environment. In some cases no difference is made between soil ecology and soil biology. Probably, the reason is, that mainly biologists are involved in soil ecology. Also, soil ecology belongs to the ecological societies rather than to the soil science society. Often soil ecological research is carried out to improve the knowledge of soil quality. Therefore, a lot of soil quality working groups have been established.

The main points of the statements of the representatives of the different countries are cited as follows:

Atkinson, D.: Great Britain

Around 12 month ago an introductory discussion meeting was held within the British Ecological Society on the subject of the need for a Soil Ecology Working Group. At the meeting a varied number of views were expressed and we are currently working through these to come up with a formal proposal which could be made to the British Ecological Society. A number of BES members who attended the earlier discussion suggested that it was important for the Soil Ecology Group to be established as a joint group between the British Ecological Society and the British Society for Soil Science. In addition to the Society's discussions there have also been a number of developments in

* Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität, Robert-Koch-Str. 26, 48149 Münster

terms of the establishment of co-ordinated programmes and working groups in the area of Soil Ecology between the Biotechnology and Biological Sciences Research Council and the Scottish Office, Agriculture and Fisheries Department. At this point in time, we have not yet established a Soil Ecology Group within the British Ecological Society, but we are very hopeful that a group of this type will be brought into existence as an intersocietal group working between a number of societies, and perhaps these societies and a number of other organisations.

Brussaard, L.: The Netherlands

I think of soil ecology as the science of interactions among the soil biota (roots and soil organisms) and between the soil biota and the abiotic environment (in terms of soil chemistry, soil physics, soil structure/texture, soil mineralogy, transport processes etc.). Soil biological processes, with only implicit reference to soil organisms, are often also considered to be the object of soil ecology.

The proposed structure of the DBG, with Soil Ecology as a sub-section, is one of several possibilities, but it certainly makes sense to me. The Dutch Soil Science Society does not have a Soil Ecology (sub)section. Soil ecology in The Netherlands is dominated by biologists. Only few of them are member of the Dutch Soil Science Society. Most are member of the Netherlands-Flemish Society of Ecology. The working group of Terrestrial Ecology within that society is comprised of four sections, one of which is Soil Ecology. The others are Population Biology, Ecophysiology and System Ecology.

New "trends" in soil ecology, as I perceive them, are soil biotechnology (ecology of introduced soil fauna, in particular earthworms, and microorganisms, genetically engineered or not), soil ecotoxicology (environmental hazard assessment, in particular at the ecosystem level) and new methods of quantification of soil organic matter pools, their biological turnover and modelling.

Fox, C. & Ch. Tarnocai: Canada

Soil ecology is defined as *the interpretation of the spatial and temporal distribution of soil organisms in the context of their interrelationships with the soil physical, chemical and biological attributes inherent to the ecosystem*. The general feeling is that soil ecology is part of soil science and not strictly ecology. It follows ecological (ecosystem) concepts, but since it concentrates on the soil zone of the environment, it is more related to soil science. This is similar to plant ecology being more related to plant science.

Some of the research needs identified were related to biodiversity the kind of species associated with specific soil types and vegetation. One of the problems identified relates to the time of sampling.

Soil ecology research in Canada now relates mainly to soil quality and environmental indicators. Soil quality is defined as *the capacity or capability of the soil to perform certain functions in a sustainable manner*. The indicators are used as tracking mechanisms for assessing soil quality and ecosystem integrity.

Kirchmann, H.: Sweden

Definition: Soil biology is the study of the life processes and organisms below ground.

At the Swedish University of Agricultural Sciences the term 'soil biology' refers to research on

- the biology of the root zone
- turn over of soil organic matter
- the dynamics of mineral nutrients
- pesticides and xenobiotics, soil biological test systems
- population biology

There is no clearly defined border between soil biology and soil ecology but research groups dealing with interrelationships of soil organisms and their environment prefer the term soil ecology.

Scope:

Research and training is performed within the following departments:

Ecology and Environmental Research

Soil Sciences

Microbiology

Forest Soils

Forest Site Research

Forest Products

Plant and Forest Protection

- Division of Mycology and Bacteriology
- Forest Mycology and Pathology
- Forest Entomology.

Soil quality working group:

Criteria to assess soil quality of arable land and forest soils are being developed. The soil quality concept is based on functions of the soil. Identified functions are as follows: Productivity and quality of products; Interactions with the external environment.

Neher, D.: USA

Three major groups in the U.S. are working in the discipline of soil ecology:

Soil Ecology Society

Soil Ecology Section of the Ecological Society of America

Soil Quality working group of the Soil Science Society of America

Recent activities and research needs of the groups are reflected in the themes of the meetings:

Soil Ecology Society

National conference in Fort Collins 1995: Influence of belowground biodiversity on aboveground community structure. The major goals of the conference are to present and discuss the importance of the biodiversity of soils to soil processes that are critical to aboveground ecosystem structure, and to develop a strategy to convey this information to the ecological community as a whole. Questions relevant to the conference include: To what extent are aboveground community structure and diversity mediated by processes that operate belowground? How are belowground biodiversity and community structure affected by natural and anthropogenic changes that occur aboveground?

Soil Ecology Section of the Ecological Society of America

The Soil Ecology Section has been pursuing actively one of its main missions, i.e., to promote an understanding of the importance of soil biota among ecologists, soil scientists, and members of related disciplines through sponsorship of meetings. The theme of the symposium in 1994 was "Disturbance to Soil Ecosystems: Effects on Aboveground Communities".

Finally, the Section co-sponsored a symposium with the American Society of Agronomy on the theme "Designing a Diverse Future Agriculture". In 1995, the Section plans tentatively to co-sponsor three symposia, one each with the Society of Ecological Restoration on the topic, "Restoration: Integrating Soil Ecology"; the Physiological Ecology Section of ESA on the topic, "Above- and Belowground Responses of Ecosystems to Elevated CO₂ and Climate Change"; and the Soil Science Society of America and Soil Ecology Society on the topic, "Cues that Soil Biota Obtain from Soils."

Acknowledgements:

My special thanks go to all, who provided information on soil ecological research:

Prof. Dr. D. Atkinson (Edinburgh, Great Britain),

Prof. Dr. L. Brussaard (Wageningen, The Netherlands),

Dr. C. Fox & Dr. Ch. Tarnocai (London, Ottawa/Canada),

Prof. Dr. H. Kirchmann (Uppsala, Sweden),

Prof. Dr. D. Neher (Raleigh, U.S.A.).

Bodenökologische Forschung in Österreich

von

Kandeler, E.

Nach Haeckel (1869) ist Ökologie "die Wissenschaft von der Interaktion zwischen Organismen und deren Umgebung". Nach dieser Definition soll die Bodenökologie den Boden als Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen charakterisieren und zusätzlich die Wechselwirkungen der Bodenorganismen auf der Ebene der einzelnen Organismen, der Populationen und der Lebensgemeinschaften aufzeigen. Der von Organismen bevorzugte Lebensraum kann nach Beare et al. (1994) in fünf verschiedene Sphären untergliedert werden: Die Detritussphäre besitzt hohe Aktivitäten von saprophytischen Pilzen, Mycorrhizapilzen und Bodentieren. Die Drilosphäre wird durch die Ausscheidungen von Regenwürmern gebildet, die Rhizosphäre beschreibt den direkten Einflußbereich der Pflanzenwurzeln. In der Aggregatussphäre konzentriert sich die mikrobielle Aktivität zwischen einzelnen Mikroaggregaten oder Makroaggregaten. Die Porosphäre umfaßt den dünnen Wasserfilm um die Bodenmatrix und beschreibt damit einen sehr wichtigen Lebensraum für Bodenmikroorganismen. Die Kennzeichnung der Umgebung der Organismen beschränkt sich in der Bodenökologie jedoch nicht nur auf die Charakterisierung des ungestörten Bodens, sondern beinhaltet auch die Erfassung möglicher Belastungen des Bodens und ihre Wirkung auf Bodenorganismen. Dieser angewandte Aspekt steht bei vielen bodenökologischen Forschungen im Vordergrund des Interesses.

Die Fachrichtung Pflanzenernährung untersucht in Österreich seit vielen Jahrzehnten wichtige Aspekte der Bodenökologie (z.B. Wechselwirkung von Pflanzen und Boden), die Bodenkunde beschreibt seit langer Zeit den Boden als Lebensraum für Organismen. Die Zusammenfassung der Forschung verschiedener Wechselwirkungen zwischen Organismen und ihrer Umgebung als eigene Fachrichtung ist dagegen in Österreich relativ neu. Dieses Fachgebiet wird bisher durch kein eigenes Institut und dadurch auch in der Lehre nicht ausreichend vertreten. Trotz dieses Mangels wird in Österreich sehr intensiv bodenökologische Forschung betrieben. Als Interessensvertretung der Bodenökologen dienen die Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft und die 1991 gegründete Österreichische Gesellschaft für Bodenbiologie. Die relativ junge Gesellschaft der Bodenbiologen entwickelte sich aus der Arbeitsgruppe für

Tab. 1: Arbeitsgruppen in Österreich, die bodenbiologische und bodenökologische Forschungen durchführen
(modifiziert nach Schinner, 1993 und Schaller, 1993)

Ort	Institut für	Arbeitsschwerpunkte
Graz	Zoologie	edaphische Faunistik, Ernährungsbiologie, vergleichende Sexualbiologie von Oribatiden
Innsbruck	Zoologie Mikrobiologie	Populationserhebungen und Analysen von Bodentieren Systematik und Taxonomie von Pilzen, Mycorrhiza, mikrobielle Mobilisierung von Metallen, Abbau organischer Schadstoffe
Linz	Forstliche BVA BA f. Agrarbiologie	Mycorrhizaforschung und ihre biotechnische Anwendung Einfluß von Bodenbewirtschaftung auf Bodenmikroorganismen
Salzburg	Zoologie	Systematik der Ciliaten und ihre Bedeutung als edaphische Indikatoren
Wien	Botanik Zoologie	Interaktion Vegetation - Bodenmikroorganismen Interaktion Mesofauna - Mikroorganismen, Systematik und Ökologie von Colembolen und Milben
	Botanik Gartenbau Bodenkunde Bodenwirtschaft	Rhizosphärenmikrobiologie Einfluß von Bodenbewirtschaftung auf Bodenmikroorganismen Mikrobieller Abbau von Herbiziden, Angewandte Bodenökologie Interaktion Mikroorganismen - Mesofauna, Interaktion Mikroorganismen - Bodenstruktur, Angewandte Bodenökologie

Bodenbiologie. Nach den Statuten dieses Vereins dient diese Gesellschaft zur Förderung der Forschung der Bodenbiologie, Bodenökologie und Bodenbiochemie. An der bodenökologischen Forschung sind Institute verschiedener Fachrichtungen aus Graz, Innsbruck, Linz, Salzburg und Wien beteiligt (Tab.1). Arbeitsschwerpunkte der Grundlagenforschung stellen die Untersuchungen der Wechselwirkung zwischen Pflanzen und Mikroorganismen (Rhizosphäre, Mycorrhiza), zwischen Mikroorganismen und Bodentieren und zwischen Mikroorganismen und der Bodenstruktur dar.

Im Bereich der Angewandten Bodenökologie konzentriert sich die Forschung in Österreich auf die Wirkung von Bewirtschaftung und Schadstoffen auf Bodenorganismen und deren Stoffwechsellösungen. Untersuchungen zur mikrobiellen Mobilisierung von Metallen ergänzen diesen angewandten Aspekt der bodenökologischen Forschung in Österreich.

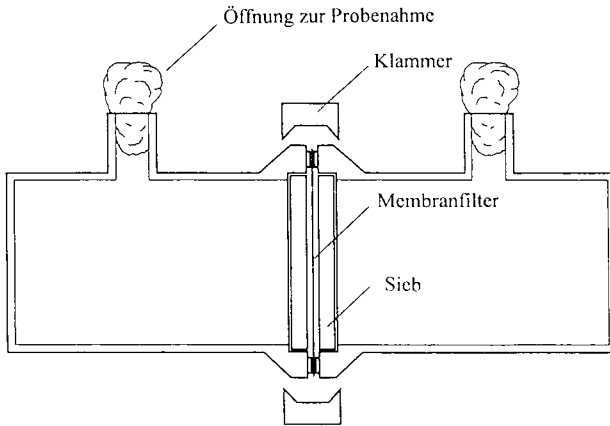


Abb.1: "Ökologen" im Querschnitt (nach Illmer und Schinner, 1995)

Aus dem umfangreichen Spektrum bodenökologischer Methoden (siehe Crossley et al, 1991) möchte ich Ihnen drei unterschiedliche methodische Ansätze vorstellen. Am Institut für Mikrobiologie in Innsbruck untersuchen Illmer und Schinner (1995) die Mechanismen, mit denen *Penicillium auroantigriseum* und *Pseudomonas sp.* anorganische Phosphate (Apatit und Brushit) lösen. Für diese Untersuchungen verwenden die Autoren ein sogenanntes "Ökologen" (Abb.1). Diese Versuchsanordnung besteht aus zwei Inkubationskammern, die durch eine Sterilmembran (0,2 µm) miteinander verbunden sind, die die Diffusion von gelösten Substanzen ermöglicht, für Mikroorganismen aber undurchlässig ist. Mit Hilfe dieses statischen Systems wurde gezeigt, daß *Penicillium auroantigriseum* und *Pseudomonas sp.*

Phosphor nicht durch die Ausscheidung von organischen Säuren lösen, sondern wahrscheinlich durch die Abgabe von Protonen während der Atmung oder der NH_4^+ Assimilation.

Neben verschiedenen Modellversuchen im Labor werden in Österreich auch bodenökologische Freilanduntersuchungen durchgeführt. Als Beispiel möchte ich ein Projekt einer Wiener Arbeitsgruppe vorstellen, an dem folgende Institute beteiligt sind: Institut für Zoologie und Institut für chemische Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Institut für Zoologie der Universität für Bodenkultur, Institut für Bodenwirtschaft und Höhere Bundeslehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau. Das Ziel dieses Projektes war es, mit Hilfe von Mesokosmen den Beitrag der Mesofauna für biogene Stoffumsetzungen in einem Fichtenforst auf einer silikatischen Braunerde zu untersuchen (Kandeler et al. 1994, Bruckner et al., 1995, Winter et al. 1995). Nach Odum (1984) sind Mesokosmen als "partially enclosed outdoor experimental setups" definiert, deren Größe je nach der Fragestellung gewählt werden kann (Abb.2). Zur Herstellung der Mesokosmen wurden ungestörte Bodenmonolithe (250 x 250 x 220 mm) tiefgefroren und anschließend mit Netzen unterschiedlicher Maschenweite ummantelt.

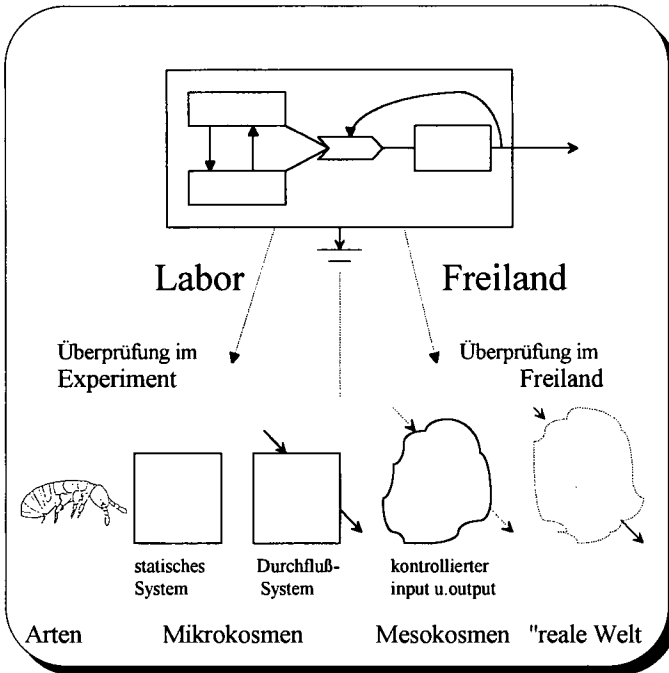


Abb.2: Unterschiedliche Möglichkeiten zur Untersuchung der Interaktion von Mikroorganismen und Bodentieren (nach Odum, 1984)

Auf diese Weise konnte die Wiederbesiedlung der Mesokosmen durch verschiedene Bodentier-Größenklassen gesteuert werden. Folgende Varianten wurden angelegt: (1) Mikrobiota, (2) Mikrobiota und Mesofauna, (3) Mikrobiota, Mesofauna und Makrofauna, (4) Kontrolle. Nach 8-monatiger Versuchsdauer wurden Proben der Streuauflage (L+F) und des H-Horizontes entnommen. Die univariate und multivariate statistische Auswertung dieses Versuches zeigten, daß die Mesofauna den Pool der mikrobiellen Biomasse nicht verändert hat, daß jedoch die Mesofauna den Stickstoffumsatz der Mikroorganismen erhöht hatte (Winter et al. 1995).

Im Bereich der Angewandten Bodenökologie werden in der Regel Versuchsansätze gewählt, die aus der Bodenbiologie, Bodenchemie und Bodenphysik bereits bekannt sind. Zur Beurteilung der Bodenbewirtschaftung und der Schwermetallbelastung werden geeignete Referenzflächen ausgesucht. Die Referenzflächen und die Untersuchungsflächen müssen in bezug auf die übrigen Standortfaktoren Vegetation, Bodentyp und Klima vergleichbar sein (Kandeler et al. 1993). Das dritte Beispiel zeigt die Ergebnisse einer Studie des Zentrums für Umwelt- und Naturschutz der Universität für Bodenkultur, Wien. Im Rahmen dieses Projektes wurden u.a. die Wirkung von Fluor auf bodenmikrobiologische Prozesse von Dauergrünlandböden untersucht (Philip et al., unveröffentlicht). Die Fluorgehalte und die Hemmung der Arylsulfataseaktivität nahmen mit zunehmender Entfernung zu dem Emittenten ab. Die Ergebnisse haben weiters gezeigt, daß bodenmikrobiologische Prozesse im Stratum

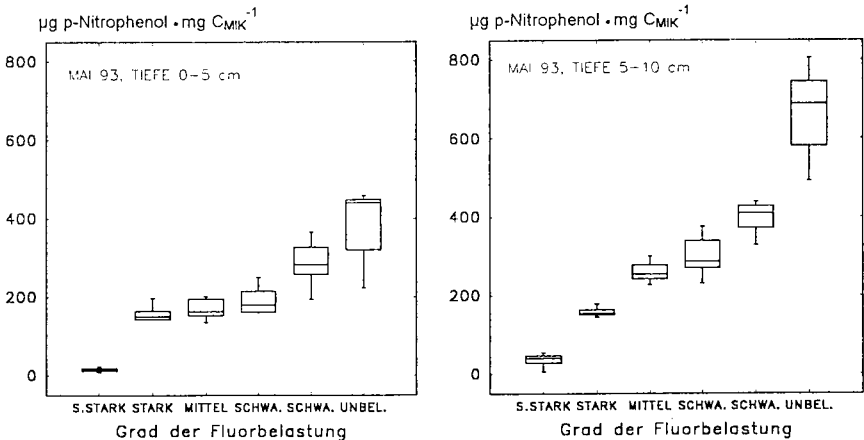


Abb.3: Einfluß von Fluor auf die Arylsulfataseaktivität von Parabraunerden unter Grünlandnutzung (die Ergebnisse wurden auf den Biomasse-Kohlenstoff (C_{MIK}) bezogen; nach Philip et al., unveröffentlicht).

von 5-10 cm für die Bioindikation von Belastungen besser geeignet sind als die Ergebnisse aus dem Stratum von 0-5 cm. In der oberen Bodenschicht werden Bodenbelastungen teilweise durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. organische und anorganische Düngung) überlagert. Zusammenfassend kann man sagen, daß zahlreiche Institute in Österreich ein breites Spektrum an bodenökologischen Fragestellungen bearbeiten. Die Arbeitsschwerpunkte liegen einerseits im Bereich der Interaktionsforschung von Bodenorganismen und andererseits im Bereich verschiedener angewandter Fragestellungen. Für die Zukunft hoffen wir, daß es uns gelingt, auch den molekularen Bereich der bodenökologischen Forschung in Österreich zu etablieren.

Literatur

- Beare M.H., Coleman D.C., Crossley D.A. Jr, Hendrix P.F., Odum E.P. (1995) A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil* (in press).
- Bruckner A., Wright J., Kampichler C., Bauer R., Kandeler E. (1995) A method of preparing mesocosms for assessing complex biotic processes in soils. *Biol Fertil Soils* 19,257-262.
- Crossley D.A. Jr, Coleman D.C., Hendrix P.F., Cheng W., Wright D.H., Beare M.H. , Edwards C.A. (eds) (1991) *Modern techniques in soil ecology*. Elsevier, Amsterdam.
- Illmer P., Schinner F. (1995) Solubilization of inorganic calcium phosphates - solubilization mechanisms. *Soil Biol Biochem* 27, 257 - 263.
- Kandeler E., Margesin R., Öhlinger R., Schinner F. (1993) Bodenmikrobiologisches Monitoring - Vorschläge für eine Bodenzustandsinventur. *Die Bodenkultur*, 44, 357-377.
- Kandeler E., Winter B., Kampichler C., Bruckner A. (1994) Effects of mesofaunal exclusion on soil microbial biomass and enzymatic activities in field mesocosms. In: Ritz K, Dighton J, Giller KE (eds) *Beyond the biomass - Compositional and functional analysis of soil microbial communities*. Wiley and sons, Chichester, 181-189.
- Odum E.P. (1994) The mesocosm. *Bio Science* 34, 558-562.
- Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft (1993) *Bodenbiologie in Österreich. Kongreßband, Mitteilungen der Österr.Bodenkundl. Ges.* 48/49, 442 Seiten
- Schinner F. (1993) *Bodenmikrobiologie in Österreich. Mitteilungen d. Österr.Bodenkd.Ges.* 48/49, 13-18.
- Schaller F. (1993) *Bodenzoologie in Österreich. Mitteilungen d. Österr.Bodenkd.Ges.* 48/49, 19-26.
- Winter B., Kampichler C., Bachmann G., Bruckner A., Kandeler E. (1995) Impact of faunal complexity on microbial biomass and N-turnover in field mesocosms from a spruce forest soil. *Biol Fertil Soils* (in press).

Bodenökologische Forschung in Dänemark

von

Müller, T.¹

Böden, Klima und Bodennutzung in Dänemark

65% der Landfläche Dänemarks sind agrarisch genutzt, nur 12% sind Forst, ebenfalls 12% sind bebaut. Der Rest sind Wasserflächen oder nicht genutzte Landflächen. Die größeren Inseln sowie Nord und Ost-Jütland sind flach bis hügelig (Jungmoränen und Sander) mit einer maximalen Höhe von nur 173 m ü. NN. West-Jütland ist flach (Geest und Marsch). Die Fruchtbarkeit der Böden ist sehr unterschiedlich. Sehr fruchtbare lehmige Böden liegen auf der jungen Grundmoräne der größeren Inseln, sowie auf den jungen Marschen an der Küste Jütlands. An einigen Stellen steht wenige Dezimeter unter der Grundmoräne bereits Tertiär oder Kreide an. Weniger fruchtbare Böden befinden sich auf den Sanderflächen und auf der Geest Ost-Jütlands. Das Spektrum der Bodentypen ist breit. Auf lehmigen Böden finden sich Parabraunerden und Braunerden. Auf Sandstandorten kommen dagegen saure, oft podsolierte Braunerden oder auch Podsole vor. Oft sind Gley- oder Pseudogley-Einflüsse vorhanden. Das Klima kann als feucht temperiert (Köppen) oder subozeanisch (Troll & Pfaffen) bezeichnet werden. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 712 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur ist 7.7°C. Bedingt durch die topographischen, bodenkundlichen und klimatischen Standorteigenschaften, finden sich daher in den Landschaften Dänemarks alle Übergangsformen zwischen intensiver hochspezialisierter und extensiv wirtschaftender Landwirtschaft. Je nach Standort sind Ackerbau und/oder Grünlandwirtschaft vertreten. Besonders die Landwirtschaft auf den weniger fruchtbaren Standorten nutzt ehemalige Heideflächen. Entwässerung ist wegen des hohen Anteils feuchter Standorte weit verbreitet.

Forschung zur Bodenökologie

Die sich aus den Standorteigenschaften und der Bodennutzung ergebende Situation bestimmt die bodenökologische Forschung in Dänemark. Der Schwerpunkt bodenökologischer Forschung in Dänemark liegt daher auf Agrarökosystemen. Die Bedeutung der Standorteigenschaften und der Bewirtschaftungsformen für die Biozönose und den Stoffumsatz des Bodens steht vielfach im Mittelpunkt des Interesses. Darüber hinaus werden in Einzelstudien die Wirkung und der Abbau chemischer Pflanzenschutzmittel sowie anderer organischer Chemikalien aus bodenökologischer Sicht untersucht. In der angewandten Bodenökologie und im Bodenschutz beschäftigt man sich u.a. mit der Sekundärsukzession von ehemaligen Heideflächen nach Aufgabe der ackerbaulichen Nutzung oder mit der Wiedervernässung von Feuchtgebieten.

Forschung auf dem Gebiet der Bodenökologie wird in Dänemark an verschiedenen Hochschulen und Forschungseinrichtungen betrieben. Zu nennen sind hier vor allem:

- The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL) in Frederiksberg (Copenhagen)
- Copenhagen University
- Aalborg University
- Århus University
- Natural History Museum Århus

¹The Royal Veterinary and Agricultural University; Sect. of Soil, Water and Plant Nutrition, Thorvaldsensvej 40; DK-1871 Frederiksberg C (Copenhagen); Denmark;

Phone: + 45 35283499; Fax: + 45 35283460; e-mail: torsten.muller@agsei.kvl.dk

- Risø National Laboratory (vergleichbar mit GSF, KFA-Jülich, FA-Karlsruhe)
- Research Centre Foulum (vergleichbar mit FAL oder ZALF)
- National Environmental Research Institute, Silkeborg (vergleichbar mit Umweltbundesamt)
- Institute of Agricultural Economics, Valby
- Water Quality Institute, Hørsholm
- The Danish Institute of Plant and Soil Science, Lyngby

Die meisten Forschungsprojekte werden durch das **"Danish Environmental Research Programme"** finanziert, unter dem verschiedene "research centres" zusammen gefaßt sind:

- 1) Im **"Danish Centre for Root Zone Processes"** gibt es 3 Themenkomplexe mit bodenökologischer Fragestellung. a) Unter dem Thema **"Transformation and transport of nitrogen in the root zone"** arbeiten Arbeitsgruppen über Umsatz von Stickstoff und Kohlenstoff in Mikrokompartimenten (Hot-Spots, unmittelbare Wurzelumgebung), in größeren Laborexperimenten und in Feldversuchen. Bei letzteren steht der Einfluß abiotischer Faktoren im Vordergrund (Arbeitsgebiet des Autors). Weitere Forschungsvorhaben beschäftigen sich mit der Bedeutung einzelner Organismengruppen sowie mit der Bedeutung der Verteilung und der Größe organischer Partikel im Boden. Als bodenphysikalische Faktoren werden die Effekte von Textur und Aggregatgröße auf die Festlegung von Stickstoff in der organischen Substanz sowie hydrologische Aspekte betrachtet. Schließlich verbindet eine Arbeitsgruppe die gewonnenen Erkenntnisse mit der Verifizierung eines deterministischen Modells (DAISY). b) Das Thema **"Loss of phosphorus from agricultural land"** vereint Arbeitsgruppen, die sich mit der Verlagerung von Phosphor aus agrarischen Ökosystemen über Drainagesysteme und durch Erosion beschäftigen. c) Unter dem Thema **"Transformation processes in riparian areas"** finden sich Gruppen, welche über Prozesse des Stoffumsatzes in Auenböden und Böden ufernaher Feuchtgebiete arbeiten. Mit Aspekten aus der angewandten Bodenökologie und dem Bodenschutz ist das Projekt **"Restoration of Wetlands"** dem "centre" angegliedert.
- 2) Das **"Danish Centre for Ecotoxicological Research"** verbindet Arbeitsgruppen, welche in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen arbeiten. Hier werden organische Schadstoffe im Boden (insbes. PAK's) hinsichtlich ihrer Abbaubarkeit und ihrer Wirkung auf die Bodenfauna untersucht. Einige Arbeitsgruppen legen dabei besonderes Gewicht auf die Standardisierung von Tests zur Charakterisierung verschiedener Chemikalien und zur Risikobeschätzung bis hin zur Entwicklung einer "Fingerabdruckmethode".
- 3) Im **"Centre for Agricultural Biodiversity"** beschäftigt sich eine Gruppe mit dem Effekt von verschiedenen Bewirtschaftungsformen auf räuberische Käfer in Agrarökosystemen.

Neben dem "Danish Environmental Research Programme" wird bodenökologische Forschung noch in verschiedenen Einzelinstitutionen betrieben. In der **"Section of Microbiology"** an der **"Royal Veterinary and Agricultural University"** in Frederiksberg (Copenhagen) laufen Arbeiten zur Denitrifikation und Nitrifikation. Molekulare Detektionstechniken für Bakterien und Pilze in der Rhizosphäre werden dort weiterentwickelt. Diese dienen dem Studium der Überlebensfähigkeit von best. Mikroorganismen im Boden unter Nährstoffmangel und unter abiotischem Streß. Ein weiteres Projekt beschäftigt sich mit Antagonisten wurzelpathogener Pilze. Schließlich wird noch der mikrobielle Abbau verschiedener Pflanzenschutzmittel untersucht.

An der **"Section of Zoology"** der **"Århus University"** untersuchen zwei Arbeitsgruppen den Einfluß von Pflanzenschutzmitteln, Bewirtschaftungsformen und Bodenstruktur auf Lumbriciden, Planarien und Dipteren im Boden.

Am **"Natural History Museum"** in Århus werden Milben und Dipteren in Böden unberührter Naturwälder (Nord-Norwegen, Island, Faröer-, Shetland- und Orkney-Inseln) untersucht. Im dazugehörigen **"Mols Laboratory"** bei Ebeltoft geht es um den Einfluß von Pflanzenschutzmitteln auf im Boden lebende Collembolen und Milben. Hier wird ferner die Veränderung der Collembolen-Fauna bei Sekundärsukzession ehemaliger Heideflächen nach Ackernutzung untersucht. Daneben wird die

Langzeitveränderung der Collembolen-Fauna im Boden eines Buchenwald-Ökosystems beobachtet. Eine Arbeitsgruppe der "**Section of Plant Biology**" des "**Risø National Laboratory**" beschäftigt sich mit Wechselwirkungen zwischen VA-Mykorrhiza und der Boden-Mesofauna. Bodenökologische Themen werden in den regelmäßigen Seminaren des "Danish Environmental Research Programme" sowie in den Treffen der einzelnen dänischen Fachorganisationen erörtert. Im Gegensatz zur Diskussion in Deutschland steht hier allerdings eine begriffliche oder institutionalisierte Abgrenzung der Bodenökologie zu anderen Wissenschaftsdisziplinen nicht im Mittelpunkt. In der Lehre der Hochschulen wird die Bodenökologie durch andere Fächer mitvertreten. Kontaktadressen zu Forschergruppen in Dänemark sowie Informationsbroschüren über die einzelnen Forschungszentren können beim Autor angefordert werden.

Der Forschungsaufenthalt des Autors in Dänemark wird durch Forschungsstipendien der OECD und der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.



Bodenökologische Forschung in der Schweiz

von

Sticher, H.*

Geschichtlicher Rückblick

Die bodenökologische Forschung hat in der Schweiz eine lange Tradition, wenn auch der Begriff Bodenökologie erst verhältnismäßig spät auftauchte. Bereits unter dem bedeutenden Kolloidchemiker GEORG WIEGNER (1883-1936), der an der ETH Zürich von 1913 bis 1936 als Professor für Agrikulturchemie wirkte, wurden die Zusammenhänge zwischen Boden und Pflanzen ins Zentrum der bodenkundlichen Lehre gelegt. Beeinflusst wurde die Züricher Schule durch den Bündner JOSIAS BRAUN-BLANQUET (1884-1980), der wie kein zweiter die Anfänge der Geobotanik prägte und mit seinem berühmten Buch *Pflanzensoziologie* (1964) eine weltweite Ausstrahlung erreichte. Es verwundert daher nicht, daß zwei Schüler WIEGNERs sich der Ökosystemforschung zuwandten und auf diesem Gebiete Bedeutendes leisteten. So sah HANS PALLMANN (1903-1965), der nach dem frühen Tod von G. WIEGNER dessen Nachfolge als Professor für Agrikulturchemie antrat, den Boden stets als integrierenden Bestandteil des Boden-Pflanzenökosystems an und ließ eine ganze Reihe von Dissertationen anfertigen, in welchen dem Zusammenhang von Waldgesellschaften und Bodeneigenschaften nachgegangen wurde. Mit seinen Schülern FELIX RICHARD (1915-1984) und ROMAN BACH (1921-1981) zusammen verfaßte er in früher Voraussnahme einer wahrhaft interdisziplinären Sicht einen bemerkenswerten Artikel (PALLMANN et al. 1948), in welchem er die enge Vernetzung von Bodenkunde und Pflanzensoziologie aufzeigte. Auch HANS JENNY (1899 - 1992), der an der ETH Landwirtschaft studiert und bei WIEGNER mit einer bodenchemischen Dissertation abgeschlossen hatte und nach Abschluß seiner Studien in die USA auswanderte, übte mit seinem klassischen Buch *Factors of Soil Formation* (1941) einen prägenden Einfluß auf Generationen von ökosystemorientierten Bodenkundlern aus. Auch heute noch ist der Geist von BRAUN-BLANQUET, JENNY und PALLMANN in der Schweizer Bodenkunde nachwirkend. Die drei können damit als die Urväter der pflanzenorientierten Bodenökologie betrachtet werden.

*) Institut für Terrestrische Ökologie ETH, Grabenstraße 3, CH-8952 Schlieren / Schweiz

Der Boden als Lebensraum für tierische Organismen war das Wirkungsfeld und gleichzeitig Steckenpferd von ALOIS STÖCKLI (1893-1970). STÖCKLI war Agronome und wirkte von 1927 bis 1958 an der (damaligen) Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Zürich-Örlikon (heute Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau; ab 1.1.1996: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz). Aufgrund seiner wenigen, heute noch zugänglichen Arbeiten darf er mit Fug und Recht als Pionier der faunaorientierten Bodenökologie in der Schweiz bezeichnet werden. Sätze wie die nachfolgenden zeugen von einer für das damalige Umfeld tiefen und zukunftsweisenden Einsicht in die ökologischen Zusammenhänge im Boden:

"Mit jeder Zustandsänderung werden aber die Lebensbedingungen eines Teils der Bodenorganismen tiefgreifend beeinflusst.[...] Die für die Bodenbildung und Bodenfruchtbarkeit erforderlichen biologischen Prozesse können daher nur durch eine mannigfaltige Lebensgemeinschaft bewältigt werden, deren einzelne Gruppen in morphologischer, physiologischer und biologischer Beziehung an die jeweiligen Umweltbedingungen angepaßt sind. [...] Die Bodenfauna und -flora beeinflusst und kontrolliert sich auch gegenseitig, und zwar dermaßen, daß ihr Bestand den speziellen Verhältnissen des einzelnen Bodens angepaßt ist" (STÖCKLI 1946, 1950).

Definition und Abgrenzung der Bodenökologie

Das Buch *Bodenökologie* des Schweizer Autorenteamts GISI, SCHENKER, SCHULIN, STADELMANN, STICHER (1990), das heute an zahlreichen Hochschulen als Grundlage für den bodenökologischen Unterricht verwendet wird, stellt im Sinne von Stöckli die Organismen in ihrer Gesamtheit ins Zentrum der Betrachtungen und konfrontiert sie mit den chemischen und physikalischen Gegebenheiten ihrer Umwelt, dem Lebensraum Boden. Entsprechend wird die Bodenökologie definiert als

"Teilgebiet der Bodenkunde, bzw. der wissenschaftlichen Ökologie. Wissenschaft von den Beziehungen zwischen dem Boden, den ihn besiedelnden Pflanzen und Tieren und den Umweltbedingungen."

Die Bodenökologie wird dabei im Sinne der Synökologie als standortsbezogene Wissenschaft verstanden; sie grenzt sich dadurch von der *Geoökologie* und der *Landschaftsökologie* ab, die beide zwar bodenökologische und standörtliche Komponenten aufweisen, aber per definitionem den Flächen-, bzw. den Raumbezug in den Vordergrund stellen (vgl. z.B. MENGIS und ZIEHR, 1991). Im Einklang mit dem Tätigkeitsfeld der Bodenbiologie umfaßt der Sammelbegriff *Organismen* in der obigen Definition alle Lebewesen, die mindestens einen Teil ihres Lebens *aktiv* im Boden verbringen. Mit dieser einschränkenden Klassierung sind Arten, welche lediglich ihr Ei-Stadium (z.B. Heuschrecken) oder ihr Puppen-Stadium (z.B.

Schmetterlinge) im Boden verbringen, ausgeschlossen. Ist nicht der Boden als Gesamtsystem im Zentrum des Interesses, sondern stehen einzelne Organismengruppen, bzw. Populationen im Vordergrund, so werden oft die entsprechenden Subbegriffe verwendet: Pflanzenökologie, Pilzökologie, Ökologie der Lumbriciden, usw. Besonders die *Pflanzenökologie* hat sich seit langem als eigenständiger Wissenschaftszweig etabliert. In der nachfolgenden Abbildung ist die Stellung der Bodenökologie im Gefüge der Terrestrischen Ökologie dargestellt. Die meisten Begriffe sind im neuen Schweizer Lexikon 91 stichwortartig oder mit längeren Artikeln behandelt (MENGIS und ZIEHR, 1991).

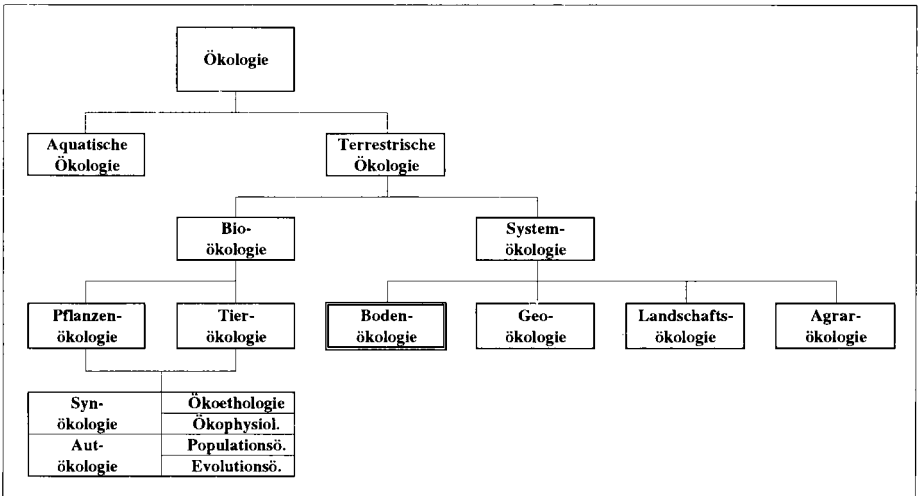


Abb. 1: Stellung der Bodenökologie im Gefüge der terrestrischen Ökologie

Bodenökologie als Lehr- und Forschungsgebiet

Im Sinne der Definition überlappt das Tätigkeitsfeld der Bodenökologie als Fraktion der Bodenkunde teilweise die klassischen Disziplinen Bodenbiologie, Bodenchemie, Bodenphysik und Bodenmineralogie und übt damit eine Brückenfunktion bei der interdisziplinären Zusammenarbeit aus (Abb. 2). Basierend auf dieser Idee besteht an der ETH Zürich seit 1990 ein *Institut für Terrestrische Ökologie*, das die Professuren Bodenbiologie, Bodenchemie, Bodenphysik und Bodenschutz umfaßt, und das demnächst durch eine Professur für *Ökologie Terrestrischer Systeme* ergänzt werden soll. Die Bodenmineralogie fehlt, wird aber zur Zeit von einem mit dem Institut assoziierten Privatdozenten vertreten. Der Name *Terrestrische Ökologie* anstelle von Bodenökologie wurde bewußt gewählt, um den Raumbezug im Sinne der Geoökologie bzw. Landschaftsökologie nicht von vornherein auszuschließen. Die Umschreibung der geplanten Professur für Ökologie Terrestrischer Systeme

legt allerdings das Schwergewicht auf den Standort; die Professur wird also der Bodenökologie im oben definierten Sinne nahekommen.

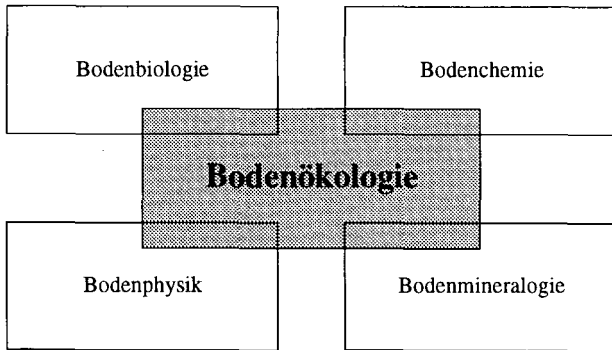


Abb. 2: Die Bodenökologie als Brücke zwischen den klassischen Disziplinen der Bodenkunde

Bodenökologie als eigenständiges Lehrfach existiert heute lediglich an der Universität Basel. An andern Universitäten wird die Bodenökologie mit unterschiedlicher Gewichtung meistens im Rahmen von Lehrveranstaltungen zur Allgemeinen Ökologie oder zur Pflanzenökologie behandelt. So nimmt die Bodenökologie in einem entsprechenden Praktikum für Biologen an der Universität Bern einen Drittel des Programmumfangs ein. An der ETH Zürich kommt die Bodenökologie in den Vorlesungen zur Bodenbiologie zum Zug, und auf bodenkundlichen Exkursionen werden neben pflanzenökologischen auch bodenökologische Aspekte besprochen.

Seit einigen Jahren wird versucht, die Bodenökologie auch an Schulen der Mittel- und Unterstufe ins Lehrangebot aufzunehmen. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms *Nutzung des Bodens in der Schweiz* (1985 - 1991) erarbeitete H. WIDMER (Bern) zwei Programme, welche er zusammen mit den zuständigen Lehrpersonen an verschiedenen Schulen testete (Widmer, 1990, 1991). Während das erste Programm mehr der Raumordnung und damit der Landschaftsökologie gewidmet war, versuchte das andere *das Bodenleben begreifbar zu machen* und die Schüler dadurch für den Bodenschutz zu motivieren.

Aktuelle bodenökologische Forschung

Im folgenden sind einige neuere Arbeiten aus der Bodenökologie im engeren Sinne beispielhaft aufgeführt. Auf die viel umfangreichere Literatur zur Pflanzenökologie (vertreten durch EDWARDS, GIGON, KLÖTZLI in Zürich, HEGG in Bern, BOLLER und WIEMKEN in Basel, GOBAT in Neuenburg, u.v.a.) sowie Geoökologie und Landschaftsökologie (vertreten durch LESER in Basel, EWALD in Zürich, u.a.) kann hier aus verständlichen Gründen nicht eingegangen werden, auch wenn darin oft einschlägige bodenökologische Abschnitte zu finden sind.

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms *Nutzung des Bodens in der Schweiz* wurde von MATTHEY et al. (1990) untersucht, wieweit sich wirbellose Bodentiere als Bioindikatoren für die Qualität von Landwirtschaftsböden eignen. Nach umfangreichen Erhebungen auf unterschiedlich bewirtschafteten Betrieben kamen die Autoren zum Schluß, daß die Bodenfauna in erster Linie von den Standortfaktoren (v.a. Mikroklima) und erst in zweiter Linie von der Bewirtschaftung abhängen. Immerhin war im biologisch-dynamischen Landbau eine größere Diversität feststellbar als bei konventioneller Bewirtschaftung. Einer der Co-Autoren aus dem Forschungsteam um W. Matthey (J. ZETTEL) arbeitet zur Zeit an einem Projekt zur Anpassung winteraktiver Collembolen an den klimatischen Jahresverlauf. In der Tradition von STÖCKLI, der 1928 seine Dissertation der Regenwurm-Aktivität gewidmet hatte, sind in jüngster Zeit einige Arbeiten zur (Populations)-Ökologie von Lumbricus- und anderen Wurmartarten entstanden (CUENDET, 1979, 1987; DANIEL, 1990; DANIEL et al. 1995a und b).

Am Fachbereich Bodenbiologie des Instituts für Terrestrische Ökologie der ETH Zürich hat J. ZEYER eine Arbeitsgruppe aufgebaut, welche sich mit dem Studium der Populationsdynamik und -diversität von Mikroorganismen im Boden, in der Rhizosphäre und in Bodengebilden beschäftigt. So konnte mittels Gensonden *in situ* die Bakterienpopulation im Darmtrakt (Vor-, Mittel- und Hinterdarm) sowie im Kot von *Lumbricus terrestris* aufgeschlüsselt werden (FISCHER et al., 1995).

An der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene in Liebefeld-Bern (ab 1.1.1996: Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Leiter: FRANZ X. STADELMANN) wird der Einfluß von Schwermetallen und Organischen Schadstoffen auf die chemischen, physikalischen und im besonderen biologischen Eigenschaften des Bodens untersucht. Entsprechend dem Auftrag der Anstalt wird bei den Projekten der Mensch als Einflußfaktor bodenökologischer Prozesse miteinbezogen.

1994 widmete die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz ihre Jahrestagung dem Thema *Bodenleben* (BGS 1994). Obwohl an der Tagung die Bodenbiologie im Vordergrund stand, befaßten sich doch die meisten Referate und Poster mit den vielfältigen Beziehungen der Organismen zu ihrer natürlichen und vom Menschen beeinflussten Umwelt. Der Tagungsband gibt damit einen guten Überblick über den aktuellen Stand der bodenökologischen Forschung in der Schweiz.

Dank

Der Autor dankt folgenden Kollegen für wertvolle Hinweise sowie für die Überlassung von Unterlagen: O. Daniel, Zürich; A. Gigon, Zürich; U. Gisi, Basel; K. Peyer, Zürich; F.X. Stadelmann, Liebefeld; J. Zettel, Bern und J. Zeyer, Zürich.

Literatur

- BGS (Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz) (1994): Bodenleben. Referate und Posterpräsentationen anlässlich der Jahrestagung 1994 in Biberist. BULLETIN BGS, Band 18, 1 - 78. Juris Verlag, Zürich.
- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl., Springer-Verlag, Wien.
- Cuendet, G. (1979): Etude du comportement alimentaire de la Mouette rieuse (*Larus ridibundus* L.) et de son influence sur les peuplement lombriciens. Thèse de doctorat, Université de Lausanne.
- Cuendet, G. (1987): Some aspects of the ecology of earthworms in the Alps. In: Bonvicini Pagliai, A.M. and Omodeo, P. (eds.): On Earthworms. Mucchi, Modena, pp. 251-263.
- Daniel, O. (1990): Life Cycle and Population Dynamics of the Earthworm *Lumbricus Terrestris*. Diss. Nr. 9211, ETH Zürich, 77. pp.
- Daniel, O., Kohli, L., Bieri, M. (1995a): Weight gain and weight loss of the earthworm *Lumbricus Terrestris* L. at different temperatures and body weights. Soil Biol. Biochem. (in press).
- Daniel, O., Kohli, L., Schuler, B., Zeyer, J. (1995b): Surface cast production by the earthworm *Aporrectodea nocturna* in a pre-alpine meadow in Switzerland. Biol. Fert. Soils (in press).
- Fischer, K., Hahn, D., Amann, R.I., Daniel, O., Zeyer, J. (1995): In situ analysis of the bacterial community in the gut of the earthworm *Lumbricus Terrestris* L. by whole cell hybridization. Can. J. Microbiol. (submitted).
- Gisi, U., Schenker, R., Schulin, R., Stadelmann, F.X., Sticher, H. (1990): Bodenökologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart und New York (2. Auflage in Vorbereitung).
- Jenny, H. (1941): Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York and London.
- Matthey, W., Zettl, J., Bieri, M. (1990): Wirbellose Bodentiere als Bioindikatoren für die Qualität von Landschaftsböden. Bericht Nr. 56 des Nationalen Forschungsprogramms BODEN. Liebefeld-Bern, 141 Seiten.
- Mengis, F., Ziehr, W. (Hrsg., 1991): Schweizer Lexikon, 6 Bände; Verlag Mengis und Ziehr, Luzern
- Pallmann, H., Richard, F., Bach, R. (1948). Über die Zusammenarbeit von Bodenkunde und Pflanzensoziologie. Int. Verb. forstl. Versuchsanstalten. 10. Kongreß, Zürich, S. 57 - 95.
- Stöckli, A. (1928): Studien über den Einfluß des Regenwurms auf die Beschaffenheit des Bodens. Landw. Jahrbuch der Schweiz, Band 42.
- Stöckli, A. (1949): Der Einfluß der Mikroflora und Fauna auf die Beschaffenheit des Bodens. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 45, 41 - 53.
- Stöckli, A. (1950): Die Ernährung der Pflanze in ihrer Abhängigkeit von der Kleinlebewelt des Bodens. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 48, 264 - 279.
- Stöckli, A. (1946): Der Boden als Lebensraum. Vierteljahresschr. Natf. Ges. Zürich, Band 91.
- Widmer, H. (1990): Bodenleben begreifen, schätzen, erhalten. Bericht 47 des Nationalen Forschungsprogramms Boden. Liebefeld-Bern, 96 Seiten.
- Widmer, H. (1991): Nutzungskonflikte und Schule. Bericht 65 des Nationalen Forschungsprogramms Boden. Liebefeld-Bern. 65 Seiten und 34 Seiten Anhang.

Bodenökologie und Agrarökosysteme

von

Anderson, T.-H.* und S. Schrader**

Agrarökosysteme können wie natürliche Ökosysteme in biotische und abiotische Kompartimente strukturiert werden. Die Wechselbeziehungen dieser Kompartimente untereinander bedingen eine biozönotische Ordnung mit einer mehr oder minder ausgeprägten Stabilität. Agrarökosysteme unterscheiden sich von natürlichen Ökosystemen durch das Fehlen evolutionärer Sukzessionsmechanismen der Biozönose. Das zielgerichtete Eingreifen des Menschen verhindert eine Entwicklung vom Jugend- zum Klimaxstadium einschließlich entstehender Fließgleichgewichte zwischen den Kompartimenten. Es kommt lediglich kurzfristig zu Sukzessionen, weil der menschliche Eingriff Teile der Biozönose begünstigt oder unterdrückt. Agrarökosysteme können deswegen als "domestizierte" Ökosysteme betrachtet werden (Odum, 1984).

Während sich im vorindustriellen Zeitalter (oder heute noch in Drittweltländern) Agrarflächen in natürliche Ökosysteme integrierten, entstanden im Laufe dieses Jahrhunderts in den hochindustrialisierten Ländern komplexe Agrarökosysteme mit Eigenschaften, die häufig negative Auswirkungen auf natürliche Ökosysteme haben. Zur Lebensgrundlage des Menschen gehören aber die natürlichen Ökosysteme zusammen mit den Agrarökosystemen. Aus der Sorge heraus, daß die Kenntnisse über Prozesse und Stabilitätskriterien natürlicher Ökosysteme nicht ausreichen, um u.a. abschätzen zu können, ob eine besondere Nutzungsform einer Agrarlandschaft negativ zu werten ist, hat die Bodenforschung auf diesem Gebiet in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Zusammenfassende Darstellungen zum heutigen Stand des Wissens sind auf vielen Ebenen erfolgt (z.B. Lowrance et al., 1984; BASF-Bibliothek-Technik-und-Gesellschaft, 1985; Schulze und Zwölfer, 1987; Arbeiten der DLG, 1988; Clarholm und Bergström, 1989; Fiedler, 1990; Odum, 1991; BML, 1991-1994; Robert-Bosch-Stiftung, 1994).

Zum Diskussionskreis der AG Agrarökosysteme gehörten 28 Teilnehmer. Es wurde am Anfang der Diskussionsrunde festgestellt, daß zwischen agrarökologischer Forschung und Agrarökosystemforschung unterschieden werden muß. Agrarökologische Forschung konzentriert sich in den meisten Fällen auf Einzeluntersuchungen, z.B. Erklärungen zur Populationsdynamik oder Häufigkeitsverteilung biologischer Einheiten oder Wechselwirkungen dieser Einheiten.

Agrarökosystemforschung hat dagegen das Ziel, die biozönotische Ordnung des Systems als Ganzes (Ganzheitsprinzip) zu verstehen, ökologische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und z.B. für Prognosen nutzbar zu machen. Es wurde festgestellt, daß bei einer Agrarökosystemanalyse nicht nur ein Acker oder eine Wiese betrachtet werden sollte, sondern die gesamte dazugehörige Agrarlandschaft mit einbezogen werden muß. Dabei sind die Wechselbeziehungen mit anderen Ökosystemen zu berücksichtigen, mit denen das Agrarökosystem innerhalb der Landschaft vernetzt ist. Einem so hohen Anspruch wird nur eine interdisziplinäre Zusammenarbeit gerecht.

Das Verstehen des Gesamtsystems einer Agrarlandschaft aus biologischer Sicht "und mit diesem Wissen die wirtschaftlichen Erfordernisse sinnvoll in das Naturgeschehen einordnen zu können, um Schadefekte durch unvorhergesehene Folgen der Eingriffe des Menschen mildern oder verhindern zu helfen" war bereits ein Hauptanliegen von Tischler (1965). Es ist bemerkenswert, daß zu einer Zeit als die Landwirtschaft noch nicht in Bedrängnis war, ein Anspruch der Agrarökosystemforschung vorgedacht wurde, der heute in Deutschland erst ansatzweise verwirklicht wird.

1. Wo sind aus der Sicht der Agrarökosystemforschung Forschungsdefizite und damit Chancen für die bodenökologische Forschung?

Forschungsdefizite wurden zu diesem Punkt vorrangig aus angewandter Sicht gesehen. Besonders in Ländern mit Überschußproduktion und subventionierter Landwirtschaft ist die Erkenntnis gewachsen, den Input von (Mineral)Dünger und Pestiziden zu reduzieren, den Landbau extensiver und umweltverträglicher zu betreiben (Robert-Bosch-Stiftung, 1994). Hier fehlen Kenntnisse über den Anbau alternativer Feldfrüchte und deren Auswirkungen auf das entsprechende Landnutzungssystem. Forschungsarbeiten zum Vergleich von Feldfrucht-Ökosystemen (Pearson, 1992) werden an Bedeutung gewinnen, um eine umweltschonende aber auch für den Landwirt ökonomisch vertretbare Form der Landnutzung zu ermöglichen.

Als Beispiele an Forschungsdefiziten wurden genannt: Leguminosenanbau zur Nutzung der biologischen Stickstoffeinträge; Bewertung der Landnutzung alternativer Betriebe (Ökologischer Landbau); Ressourcenforschung: Erkenntnisgewinn neuer (alternativer) Fruchtfolgesysteme zur Förderung natürlicher Regulationsmechanismen zur Unterdrückung von Schadorganismen oder Unkräutern. Es wurde der Sinn und Wert der Brachen oder Rotationsbrachen (Zwangstillegung von Ackeland) aus ökologischer Sicht angezweifelt. Hier fehlt Wissen zur Folgeabschätzung.

Weniger für die hochindustrialisierten Länder als für Drittweltländer wurde der Forschungsbedarf in der Effizienz der Bedarfsdeckung gesehen. Wie sollten Agrarökosysteme in diesen Ländern strukturiert sein, um unter Berücksichtigung des Bodenschutzes Nahrungsmittel in ausreichender Quantität und Qualität produzieren zu können?

Landwirtschaft bedeutet auch angewandte Ökologie. Das Management von Feldfrucht-Ökosystemen bedarf der Anwendung ökologischer Prinzipien. Das Verständnis dafür, daß das

Bewirtschaftungsmanagement nur ein Element innerhalb eines Agrarökosystems darstellt und in Abhängigkeit zu anderen Teilen des Systems steht, wurde als Defizit gesehen.

Alle weiteren zur Diskussion gestellten Themen wurden ebenfalls unter dem Gesichtspunkt Forschungsdefizite betrachtet.

2. Benötigt man zur Lösung bodenökologischer Fragestellungen zu Agrarökosystemen spezielle Methoden? Wenn ja, welche?

Das Methodenangebot zur Lösung spezieller bodenökologischer bzw. biologischer Fragen ist groß. Besonders für den synökologischen Ansatz sind in den letzten Jahrzehnten für die Bodenmikrobiologie und Zoologie Methoden konzipiert und adaptiert worden (wie z.B. Mikrobielle Biomasse-Messung, Selektive Hemmung von pilzlicher und bakterieller Aktivität, "immersionstube" Test (mikrobielle Aktivität), Oktettmethode (elektr. Regenwurmfang), Streubeutel-Methode (Rotte-Test), Köderstreifenfest (biologische Aktivität)). Ein Ziel ist dabei die Quantifizierung von Populationen und Gesellschaften und die Quantifizierung von deren Funktionen im Ökosystem (Harrison et al., 1990; Crossley et al., 1991). Bei der Vielzahl an Methoden besteht durchaus die Gefahr der falschen Anwendung und der Überinterpretation der Ergebnisse. Aus diesem Grunde sollten sich Anwender über die Limitierungen von Methoden unterrichten und sich an die vorgegebenen Normen halten, besonders was die zeitliche Abfolge und den zeitlichen Rahmen betrifft.

Besonders für Grundlagenforschung sollten Dauerversuchsflächen genutzt werden. Trotz der menschlichen Eingriffe erreichen sie ein (quasi)-Fließgleichgewicht nach langjährigem gleichen Management. Für viele ökosystemare Fragen ist dies eine Voraussetzung für vergleichende Untersuchungen.

Forschungsbedarf besteht bei der Entwicklung von Analysemethoden zur Bestimmung von Schadstoffen auf den Menschen wie z.B. für Dioxine und Furane. Es wurde festgestellt, daß das sinnvolle Kombinieren und Überprüfen vorhandener Methoden für bestimmte ökologische Fragen eine Forschungsaufgabe an sich darstellt.

Drei Methodenbücher wurden in jüngster Zeit in deutscher Sprache von Dunger und Fiedler (1989), Alef (1991) und Schinner et al. (1993, 2. Aufl.) herausgegeben (vergleiche hierzu AGI-Sitzung **Methoden**, dieses Heft).

3. Wie lassen sich die Ergebnisse bodenökologischer Untersuchungen - vor allem im Hinblick auf die Anforderungen des Bodenschutzes - bewerten.

Ein vieldiskutiertes Forschungsdefizit wurde in der Bewertung von Bodennutzungssystemen gesehen, die umweltschonend zum anderen aber auch ökonomisch vertretbar sind. Der entlehnte Begriff aus dem Englischen "sustainable agriculture" = Nachhaltigkeit beschreibt damit ein Ziel, den Boden als biologische und ökonomische Ressource für Generationen zu erhalten, worin aus ökologischer Sicht der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit gesehen wird. Aus globaler Sicht besteht allerdings zusätzlich die Forderung nach Steigerung der Erträge bei gleichzeitiger Minimierung der Umweltbelastung, um die Ernährung der Bevölkerung in Drittweltländern zu sichern.

Angesprochen wurde als Forschungsdefizit die vermehrte Anwendung der Biologischen Bekämpfung als bodenschonende Maßnahme. Die Nutzung natürlicher Regulationsprinzipien bei der Förderung von Antagonisten gegenüber Schadorganismen oder der Räuber-Beute-Beziehungen könnten Fungizid- bzw. Insektizideintrag reduzieren. Einige Konzepte zum gezielten Ausbringen von Nützlingen liegen bereits vor und werden in der Praxis angewandt. Rückzugsmöglichkeiten und Schutz für Nützlinge können z.B. durch Heckensysteme und unbehandelte Ackerrandstreifen geboten werden.

Kenntnislücken bestehen auch bei der Wirkung von Schwermetallen auf Mikroorganismen besonders im Hinblick auf ihre Funktion als Zersetzergesellschaft.

Ein großes Problem stellt in der Landwirtschaft der Verlust an Boden durch Erosion dar. Wie muß Erosionsschutz bei unterschiedlicher Landnutzung aussehen, um Bodenabträge und Stoffausträge zu mildern? (siehe auch AG Bodenerosion, 1991; Robert-Bosch-Stiftung, 1994). Auf der Eintragsseite wurde die Eignung kommunaler Komposte (Bioabfälle) auf landwirtschaftliche- oder andere Bodensysteme genannt (siehe auch Robert-Bosch-Stiftung, 1994). Obwohl das Rückführen von schadstofffreien Reststoffen eigentlich positiv zu werten ist, besteht u.a. Forschungsbedarf über die Nährstoffverfügbarkeit dieser Reststoffeinträge (Langzeitwirkung) bei Böden mit unterschiedlichen Gehalten der Zersetzergesellschaft (z.B. Vergleich von Tschernosem zum Sandboden). Neben der Gefahr unkontrollierter Stoffausträge in andere Ökosysteme, sind die Auswirkungen der Fremdstofffracht auf bodenökologische Prozesse bisher nicht erforscht.

Aus Sicht des Bodenschutzes wurde auch das Problem der Bodenverdichtung angesprochen. Die Aufklärung von Folgereaktionen im Zusammenhang mit unterschiedlichen Bodenarten bedarf der Forschung ganz besonders auch im Bereich der tieferen Bodenhorizonte. Darüberhinaus sind diejenigen Prozesse aufzuklären und zu quantifizieren, die der Regeneration des Bodengefüges nach mechanischem Streß dienen. Der aktiv grabenden Bodenfauna kommt hier besondere Bedeutung zu. Es empfiehlt sich, wie auch bei anderen Fragen des Bodenschutzes, Organismen zu funktionellen Gruppen zusammenzufassen. Ein derartiges Konzept kann als Grundlage für ein Indikatorsystem dienen (z.B. Zersetzergesellschaften nach Graefe, 1993) und ist einer Überschaubarkeit der Zusammenhänge förderlich.

Was bedeutete Systemstabilität? Festgestellt wurde ein Defizit über Erkenntnisse (Synthese) zur Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Agrarökosystemen als Arbeitsgrundlage für Prognosen und Vorsorge. Aus Sicht der Bodenmikrobiologie gibt es allerdings einen Arbeitsansatz: natürliche Belastbarkeit wird hier als Kriterium für System-verändernden Einfluß durch den Menschen gewertet (Domsch, et al., 1983; Domsch, 1985).

Wiederholt wurde der Punkt Landschaftsästhetik angesprochen. Es sollten Agrarlandschaftsformen entstehen, die auf der einen Seite die wirtschaftlichen Belange der Gesellschaft abdecken aber so gestaltet sind, daß sie Akzeptanz bei den Menschen finden und u.a. einen Erholungswert darstellen. Würden die Empfehlungen aus der Denkschrift der Robert-Bosch-Stiftung "Für eine umweltfreundliche Bodennutzung" verwirklicht werden, könnten Agrarlandschaften entstehen, die das Etikett Landschaft verdienen. Ökologen können für dieses Ziel ihr Wissen bereitstellen und

Überzeugungsarbeit dazu leisten, denn die Gesellschaft entscheidet letztendlich welchen Prioritäten sie den Vorzug gibt.

4. Wie sollte die Untersuchung bodenökologischer Prozesse mit der Erforschung anderer Ökosystemteile verknüpft werden? (Rolle innerhalb der Ökosystemforschung)

Wie schon unter Punkt 1 erwähnt, können Agrarökosysteme nicht mehr isoliert betrachtet werden, sondern müssen im Zusammenhang mit angrenzenden Ökosystemen gesehen werden. Das erfordert Kenntnisse über die Auswirkungen von Bewirtschaftungsformen auf benachbarte Ökosysteme. Eine Risikoabschätzung muß die Ziele für einzelne Agrarökosysteme herausarbeiten unter der Berücksichtigung von Schutzzielen für angrenzende Ökosysteme.

Die Hauptbelastung und damit Störfaktor für angrenzende natürliche Ökosysteme sind Stoffverlagerung aus Agrarökosystemen, z.B. über Erosionsmechanismen und Bewässerung, aber auch durch Windverfrachtung während der Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Die Pestizid- und Nährstofffracht bedeutet nicht nur eine Gefahr für Grundwasser und Oberflächengewässer (Gefahr der Eutrophierung), sondern auch für terrestrische Ökosysteme im Fließgleichgewicht. Angesprochen wurde in diesem Zusammenhang auch Forschungsbedarf zur Verminderung der Spurengasemissionen in die Atmosphäre (z.B. N_2O , CH_4) und der Ammoniakbelastung. Eine sinnvollere Landnutzung stillgelegter Flächen (Brachen) für den Anbau Nachwachsender Rohstoffe, z.B. auch als Ersatz für fossile Brennstoffe zur CO₂-Reduzierung wurde vorgeschlagen.

5. Welche Forschungsergebnisse der Bodenökologie sind im Bereich der Agrarökosysteme für die Modell- und Theoriebildung innerhalb der Bodenkunde und der Ökologie notwendig?

In den letzten Jahrzehnten hat agrarökologische Forschung besonders in Europa, Nordamerika und Australien einen enormen Aufschwung erfahren. Es ist ein Fundus an Detailwissen vorhanden. Es fehlt an vielen Stellen an Synthesearbeit, das mosaikhafte Wissen in ein allgemeingültiges Ganzheitsprinzip zu verarbeiten. Dieses setzt ein erhebliches Maß an biologischem und ökologischem Verständnis voraus. Es bedarf hier ganz besonders der interdisziplinären Zusammenarbeit. Seit Jahren werden Ökosysteme modellhaft beschrieben. Die Ökologie hat darüberhinaus Theorien über Evolutionsmechanismen in der Ökosystementwicklung geliefert. Sie bedürfen der Sichtung, Anwendung und Überprüfung. Die Systemanalyse verlangt Quantifizierung der Bevölkerungsdynamik biotischer Kompartimente, Quantifizierung von Prozessen innerhalb dieser Kompartimente und Quantifizierung der Energie- und Nährstoffflüsse zwischen biotischen und abiotischen Kompartimenten (Mitchell und Nakas, 1986), besonders im Hinblick auf die C und N-Dynamik (vergleiche hierzu AG-Sitzung Stoffkreisläufe, dieses Heft). Konzeptionelle Forschungsansätze sind hier Voraussetzung.

Es wurde der Bedarf zum verstärkten Dialog zwischen Experimentator und Modellierer geäußert. Fließdiagramme und deren mathematische Verknüpfung lassen Wechselwirkungen, Regulations- und Rückkoppelungsmechanismen besser verständlich machen. Die Ökosystemanalyse sieht ihr Ziel darin, Indikatorstrukturen innerhalb des Systems aufzuspüren, die ganz besonders geeignet

sind. Stabilitätsveränderungen anzuzeigen. Nur das Verständnis über das Funktionieren von Ökosystemen und damit auch von Agrarökosystemen kann letztendlich dem Menschen die eigene Lebensgrundlage sichern helfen.

6. Literatur

- AG Bodenerosion** (1991): *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 65, 3-138.
- Alef, K.** (1991): *Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie. Aktivitäten, Biomasse, Differenzierungen.* Ecomed, Landsberg, Lech.
- Arbeiten der DLG** (1988): *Bodenleben, Bodenfruchtbarkeit, Bodenschutz.* DLG-Verlag, Frankfurt.
- BASF-Bibliothek-Technik-und-Gesellschaft** (1985): *Unser Boden.* Verlag Wissenschaft und Politik, Berend von Nottbeck, Köln.
- BML (Hrsg.)** (1991-1994): *Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit.* Bd. 1-7. In: *Berichte über Landwirtschaft.* Neue Folge, 203-209. Sonderheft. Band 1-5, Paul Parey, Band 6-7, Münster-Hiltrup.
- Clarholm, M. and Bergström, L. (editors)** (1989): *Ecology of Arable Land. Perspectives and Challenges.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Crossley, D.A., Coleman, D.C., Hendrix, P.F., Cheng, W., Wright, D.H. Beare, M.H. and Edwards, C.A. (editors)** (1991): *Agriculture Ecosystems and Environment.* Vol. 34. Special issue: *Modern Techniques in Soil Ecology.* Elsevier, Amsterdam.
- Domsch, K.H.** (1985): *Funktionen und Belastbarkeit des Bodens aus der Sicht der Bodenmikrobiologie. Materialien zur Umweltforschung. Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hrsg.).* Band 13. Kohlhammer Verlag, Stuttgart.
- Domsch, K.H., Jagnow, G. and T.-H. Anderson** (1983): *An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms.* *Residue Reviews, Volume 86.* Springer-Verlag, New York.
- Dunger, W. und Fiedler, H.J.** (1989): *Methoden der Bodenbiologie.* Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Fiedler, H.J.** (1990): *Bodenutzung und Bodenschutz.* Birkhäuser Verlag, Basel, Berlin.
- Graefe, U.** (1993): *Die Gliederung von Zersetzergesellschaften für die standortsökologische Ansprache.* *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 69, 95-98.
- Harrison, A.F., Ineson, P. and Heal, O.W. (editors)** (1990): *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Field Methods, Applications and Interpretation.* Elsevier Applied Science, London, New York.
- Lowrance, R., Stinner, B. R. and House, G.J. (editors)** (1984): *Agricultural Ecosystems. Unifying Concepts.* John Wiley & Sons, New York.
- Mitchell, M.J. and Nakas, J.P. (editors)** (1986): *Microfloral and Faunal Interactions in Natural and Agro-Ecosystems.* Nijhoff and Junk Publishers, Dordrecht.
- Odum, E.P.** (1984): *Properties of Agroecosystems.* In: *Agricultural Ecosystems. Unifying Concepts,* Lowrance, R., Stinner, B.R. and House, G.J. (editors), p. 5- 11. John Wiley & Sons, New York.
- Odum, E.P.** (1991): *Prinzipien der Ökologie. Lebensräume, Stoffkreisläufe, Wachstumsgrenzen.* Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg.
- Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. und Margesin, R. (Hrsg.)** (1993): *Bodenbiologische Arbeitsmethoden.* 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin.
- Pearson, C.J. (editor)** (1992): *Ecosystems of the World.* Vol. 18. *Field Crop Ecosystems.* Elsevier, Amsterdam.
- Robert-Bosch-Stiftung** (1994): *Für eine umweltfreundliche Bodennutzung in der Landwirtschaft.* Bleicher Verlag, Gerlingen.
- Schulze, E.-D. and Zwölfer, H. (editors)** (1987): *Potentials and Limitations of Ecosystem Analysis.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Tischler, W.** (1965) *Agrarökologie.* Gustav Fischer Verlag, Jena.

Bodenökologie und Bodenschutz

von

Belotti, E.¹ und R. Öhlinger²

1. Definition der Bodenökologie

Die Bodenökologie ist das Teilgebiet der Ökologie, das sich mit den Zuständen und Prozessen in der Pedosphäre beschäftigt, also die Lehre von den Wechselwirkungen der bodenbewohnenden Organismen und der Pflanzenwurzeln mit ihrer belebten und unbelebten Umwelt.

Die Bodenökologie ist von den Teilgebieten, die sich mit den anderen Sphären befassen, nicht scharf abgrenzbar, da das Öko-Subsystem Boden durch Stoff- und Energieflüsse mit Atmosphäre und Hydrosphäre verbunden ist. Um Aussagen über das gesamte Ökosystem Boden machen zu können, müssen die Prozesse in der Pedosphäre mit denen in den anderen Sphären integriert werden. Hierbei sind Simulationsmodelle hilfreich (Müller und Reiche 1991, Windhorst 1991)

2. Abgrenzung der Bodenökologie von Bodenbiologie und Bodenschutz

Im Vergleich zur Bodenbiologie steht bei der Bodenökologie das Verständnis von (Sub-) Systemen im Vordergrund. Auch zur Integration von Einzelprozessen innerhalb des Öko-Subsystems Boden sind Simulationsmodelle erforderlich. Daneben sollten aber integrierende Methoden angewendet und weiterentwickelt werden (vgl. den Beitrag von Kandler et al. in diesem Band). Gesamtverständnis eines Systems, z. B. hinsichtlich seiner Stabilität, wird auch durch die Ermittlung integrierender Parameter angestrebt. Ein integrierender Parameter ist z.B. die Pufferkapazität von Böden (Ulrich 1987). Müller und Fränzle (1991) schlagen eine Reihe integrierender Parameter aus Kybernetik, Informationstheorie, Thermodynamik, Hierarchitätstheorie und Chaostheorie auf meist sehr hoher Abstraktionsebene vor. Ihre Anwendbarkeit in der Ökosystemforschung muß noch geprüft werden.

¹ ÖKOplan GmbH, Kurze Gasse 10A, 71063 Sindelfingen

² Bundesamt für Agrarbiologie, Wieningerstr. 8, A-4020 Linz

Der Bodenschutz ist keine Wissenschaft, sondern die Gesamtheit aller Bestrebungen, die das Ziel haben, Böden vor Belastungen zu bewahren und belastete Böden zu sanieren. Dazu werden auch Ergebnisse und Handlungsempfehlungen aus der Bodenökologie benötigt. Der Bodenschutz kann sich auch mit Zusammenhängen, die gut abgesichert, aber nicht vollständig erklärt sind, zufrieden geben, z.B. zwischen Schwermetallgehalt und Artenausstattung der Zersetzergesellschaft, während die Bodenökologie als Wissenschaft die möglichst umfassende kausale Aufklärung der Zusammenhänge anstrebt. Insofern ist Bodenökologie Grundlage für den Bodenschutz, sie ist aber nicht auf diese Aufgabe beschränkt.

Daß Maßnahmen, die dem Bodenschutz dienen sollen, nicht auf isolierten Einzelbefunden, sondern auf dem Verständnis des ganzen Subsystems Boden einschließlich seiner Rolle im gesamten Ökosystem basieren müssen, zeigt folgendes Beispiel: Kalkung zur Behebung von anthropogener Bodenversauerung in Wäldern kann bei falscher Dosierung und bei Ausbringung leicht löslicher Verbindungen zu einer starken Anregung der Mineralisierung und Nitrifikation und als Folge davon zu einer Kontamination des Grundwassers mit Nitrat führen.

3. Forschungsdefizite in der Bodenökologie

Methodische Defizite bestehen noch bei der Integration von Einzelbefunden und Teilprozessen zu einem Gesamtbild. Hier sind die Anstrengungen zu verstärken.

In den Forschungsfeldern Belastbarkeit, Empfindlichkeit und Regenerierbarkeit von Böden bestehen noch erhebliche Erkenntnislücken.

Der Bodenschutzbehörden benötigen Fachinstrumente zur Erfüllung ihrer Aufgaben in Vorsorge und Gefahrenabwehr. Im vorsorgenden Bodenschutz fehlen insbesondere noch Instrumente zur Untersuchung und Bewertung der Böden in ihrer Bedeutung für die Erfüllung der ökologischen Funktionen sowie zur Ermittlung ihrer Empfindlichkeit gegenüber Belastungen. Für Aufgaben der Gefahrenabwehr sind Parameter zur Erkennung und Bewertung von Bodenbelastungen sowie Methoden zum Verursachernachweis und zur Sanierung belasteter Böden erforderlich (Turian 1993). Hier kann die bodenökologische Forschung wertvolle Beiträge leisten.

Die Bedingungen und Prozesse, die Böden zu Quellen oder Senken von klimarelevanten Spurengasen werden lassen sowie ihre Beeinflussbarkeit durch menschliches Handeln bedürfen noch einer detaillierteren Aufklärung.

Bodeneigenschaften können auf einer Fläche bereits auf kurzen Distanzen stark variieren. Die Methoden zur Erfassung dieser Heterogenität von Böden sind weiterzuentwickeln. Die Bedeutung der Heterogenität von Böden für ökosystemare Prozesse ist noch nicht hinreichend erforscht.

4. Methoden der Bodenökologie

Die Methoden der Bodenökologie werden von der konkreten Fragestellung bestimmt. Die Bodenökologie bedient sich überwiegend Methoden aus anderen Naturwissenschaften. Der komplexe Systemcharakter der Untersuchungsgegenstände erfordert die Entwicklung eigener Forschungsansätze, die Auswahl der Organismen, Untersuchungsparameter und Methoden umfassen.

Aus dem Vergleich von Befunden aus verschiedenen Quellen lassen sich generalisierende Aussagen ableiten. Dies scheitert aber häufig daran, daß die Ansätze und Methoden (Probenahmeraster, -frequenz, -termine, Fang- und Extraktionsmethoden) auch bei gleichartiger Fragestellung sehr unterschiedlich sind. Deswegen erhebt die Arbeitsgruppe „Bodenschutz“ die Forderung nach Standardisierung der Ansätze. Die Konsequenzen aus der räumlichen Heterogenität von Böden für die Probenzahl und Probenahmeraster bei bodenzoologischen Untersuchungen legt Ekschmitt (1993 a und b) dar. Fründ et al. (1994) empfehlen, sich an der Phänologie zu orientieren, um Abweichungen in Untersuchungsbefunden aufgrund zeitlicher Variabilität zu minimieren.

Literatur:

- Ekschmitt, K. (1993a). Zur räumlichen Verteilung von Bodentieren: Konsequenzen für die Datenqualität. *Mitteilgn Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 69, 107-110.
- Ekschmitt, K. (1993b). Richtwerte für die Datenqualität von bodeenzoologischen Freilandhebungen. *Verh. der Gesellsch für Ökologie* 22, 451-456.
- Fründ, H.-C., Bolte, D., Hellwig, U., Otto, A. Reusch, H. und Roy, H. (1994). Qualitätsanforderungen an die Datenerhebung für biologische Fachbeiträge. *NNABer. (Berichte der Norddeutschen Naturschutzakademie)* 7 (1), 11-17.
- Müller, F. und Fränzle, O. (1991). Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Forschungskonzept und Stand der Arbeiten. *Verh. der Gesellsch. für Ökologie* 20, 95-105.
- Müller, F. und Reiche, E.W. (1991). Modellbildungskonzept des Vorhabens „Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette“. *Interne Mitteilungen des Projekts, Heft 5*, 71-85.
- Turian, G. (1993). Forschungs-, Untersuchungs- und Entwicklungsbedarf für wirkungsvollen Bodenschutz aus der Sicht des Vollzuges. *Mitteilgn Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 72, 1407-1410.
- Ulrich, B. (1987). Stability, elasticity, and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. In: *Potential and limitations of ecosystem analysis. Ecological Studies* 61 (Ed. H.-D. Schulze und H. Zwölfer. (Berlin:Springer), 11-49.
- Windhorst, W. (1991). Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Datenverarbeitung und Modellbildungsstrategie. *Verh. der Gesellsch. für Ökologie* 20, 107-117.

Bodenökologie, Bodenorganismen und Bodeneigenschaften

von

Eisenbeis, G.¹ und M. Joschko²*Einleitung*

Bodeneigenschaften bestimmen maßgeblich die Besiedlung durch Bodenorganismen. Umgekehrt wirken Bodenorganismen auf vielfältige Weise auf den Boden ein. Resultate der tierischen Aktivität sind z.B. der Aufbau eines charakteristischen Bodengefüges oder die Steuerung der Nährstoffdynamik (WOLTERS 1991, LAVELLE 1994). Die Bedeutung der Bodentiere für die Bodenentwicklung ist ebenfalls bekannt (KUBIENA 1948). Die Aufklärung der Wechselbeziehung zwischen Bodenorganismen und Bodeneigenschaften ist Gegenstand bodenökologischer Forschung.

Was unterscheidet die Bodenökologie von der Bodenbiologie?

Bodenbiologie beschäftigt sich im Unterschied zur Bodenökologie mit den spezifischen Anpassungen edaphischer Organismen an den Lebensraum Boden. Hierher gehört die Charakterisierung struktureller, verhaltensbiologischer und trophischer Anpassungen, durch die Bodenorganismen erst befähigt werden, die besonderen abiotischen Bedingungen der Bodenmikrohabitate zu tolerieren. Man könnte auch die Frage stellen, was befähigt die Bodenorganismen zu einem erfolgreichen Leben in der Porosphäre? Beispiele hierfür wären etwa die Entwicklung spezieller Mikrostrukturen der Haut, die Anpassung arthropodentypischer Sinnesorgane an die besonderen hygro-thermischen Bedingungen des Bodens oder die Evolution bodentypischer Fortpflanzungsmechanismen in Form der indirekten Spermatophorenübertragung (SCHALLER 1962, Topp 1981, DUNGER 1983, EISENBEIS & WICHARD 1985). Zur Bodenbiologie rechnen wir auch noch mit der Ökophysiologie von Bodenorganismen befaßte Untersuchungen, etwa zum Wasserhaushalt und zur Atmungsphysiologie. Hierher gehören auch Arbeiten, die sich mit den Lebensbedingungen in der Porosphäre beschäftigen (z.B. VANNIER 1987).

Bodenökologie ist dagegen unter anderem mit der funktionellen Bedeutung von Bodenorganismen für verschiedene Bodeneigenschaften befaßt. Die klassischen Disziplinen der Bodenbiologie und Bodenkunde mit ihren Teilgebieten liefern die Grundlagen für die bodenökologische Untersuchung. Kennzeichen bodenökologischer Forschung ist deshalb die Interdisziplinarität des Forschungsansatzes. Vielfältige Möglichkeiten bodenökologischer Forschung eröffnen sich, wenn es um die Charak-

¹ PD Dr. Gerhard Eisenbeis, Inst. f. Zoologie d. Joh. Gutenberg-Universität, D-55099 Mainz

² Dr. Monika Joschko, ZALF Müncheberg, Inst. f. Bodenforsch., Eberswalder Str. 84, D-15374 Müncheberg

terisierung der biologische Aktivität von Böden geht und die Methoden der Mikrobiologie, Zoologie und Bodenkunde - etwa für Zwecke der Interaktionsforschung - kombiniert werden (Wolters 1991, EISENBEIS 1994). Tendenzen zu funktionellen Betrachtungen gibt es bereits seit längerem in der Bodenbiologie, jedoch könnten sie im Rahmen der Bodenökologie intensiviert und gebündelt werden. Im Unterschied zur Bodenkunde bedient sich die Bodenökologie der Begriffe, Prinzipien und Konzepte der allgemeinen und terrestrischen Ökologie (z.B. ODUM 1983, GISI 1990, BEGON et al. 1991, LAVELLE & SPAIN 1994).

Wo sind aus der Sicht der jeweiligen Arbeitsrichtung Forschungsdefizite und damit auch Chancen für die bodenökologische Forschung?

Hinsichtlich des Einflusses von Bodentieren auf Bodeneigenschaften im Sinne einer funktionellen Analyse und Quantifizierung der Leistung für verschiedene Bodenprozesse besteht ein erheblicher Forschungsbedarf. WOLTERS (1991) nennt in diesem Zusammenhang drei basale Aktivitäten der Bodentiere: Inkorporation (Verdauung, Aufbau neuer Körpersubstanzen, Zerkleinerung und Vermischung), Transport (passive und aktive Verfrachtung mit dem Ergebnis der Translokation) und Gefügebildung (Restrukturierung durch mechanischen Verbau, Beeinflussung der Porosität etc.). Als Teil dieses Funktionsgefüges muß der **Streuabbau** gelten, der für die Verarbeitung des jährlich anfallenden Bestandesabfalles sorgt und im Sinne eines Fließgleichgewichtes abläuft. Als multifaktorielles Geschehen, an dem die Faktoren Klima, Boden, Vegetation und Edaphon synergistisch wirken, resultiert eine standortsspezifische Streuabbaurate (Dekompositionsrate), die einerseits als integrative Leistung der Bodenorganismen zu betrachten ist, zugleich aber in hohem Maße von den abiotischen Bedingungen (Temperatur- und Feuchte regime, Bodeneigenschaften) geprägt wird. Versuche einer Bilanzierung hat es durch die Berechnung von Streuturnover-Raten (k_t) gegeben, indem der jährliche Streueintrag (annual input of litter) mit der durchschnittlichen Streunekromasse an der Bodenoberfläche (standing crop of litter) in Beziehung gesetzt wird (SWIFT et al. 1979). Es ergeben sich für die terrestrischen Hauptökosysteme der Erde deutliche Unterschiede für die k_t -Raten, aus denen sich Verweildauer und Dynamik der organischen Bodensubstanz abschätzen lassen. Für einen 95%igen Streuabbau werden in der Tundra 100 Jahre, in der gemäßigten Waldzone etwa 4 Jahre und im tropischen Wald nur mehr ein halbes Jahr veranschlagt. Dies sind die Eckdaten, zwischen denen jedoch vielfältige Übergänge zu erwarten sind. Als Alternative zu den auf indirektem Wege ermittelten k_t -Raten bieten sich auch direkte Messungen des Streuabbaues an. Hier lassen sich die klassischen Litterbag-Versuche (HERLITZIUS 1983, FRIEBE & GRAMS 1990) und Abbaustudien mit dem Minicontainer-System (EISENBEIS 1993, 1994, EISENBEIS et al. 1995) einordnen. Für bodenökologische Fragestellungen interessant ist dabei der von Bodenorganismen getriggerte Anteil des Dekompositionsverlaufes, der sich in der Höhe der Abbaurate widerspiegelt. Bodenökologisch relevante Fragestellungen für das Thema Streuabbau wären etwa: Wirkung von Bodenkalkungen in Wäldern, Untersuchung von Versauerungs- und Immissionsgradienten, Auswirkung meliorativer Maßnahmen, z.B. Tieffräsen von Waldböden, Einfluß von Bodenverdichtungen, Applikation von Bioziden, Auswirkung von Rekultivierungsmaßnahmen, Umstellung der Bodenbearbeitung, Veränderung der Fruchtfolge und Änderungen im Düngereinsatz in Agrarökosystemen. Auch für den Bereich der Industrie-, Stadt- und Landschaftsökologie erscheint der Einsatz sinnvoll (s.a. BROLL & SCHREIBER 1992, KEPLIN 1995). WHITFORD (1992) schließlich betont die Bedeutung von Dekompositionsmessungen für die Untersuchung globaler klimatischer Veränderungen.

Hinsichtlich des Einflusses der Bodenorganismen auf die **Gefügebildung** sind besonders die grabenden Tiere, z.B. Regenwürmer und größere Arthropoden von Bedeutung. Grundlegende ältere Untersuchungen zu diesem Thema stammen von DARWIN (1881), WOLLNY (1890) und STÖCKLI (1928) (s.a. STICHER 1995). Gute Zusammenfassungen neuerer Arbeiten finden sich in

KRETZSCHMAR (1992) und BRUSSAARD & KOOISTRA (1993). Eine Kombination bodenphysikalischer und bodenmorphologischer Untersuchungen ermöglicht die kausale Analyse der Auswirkungen der Tieraktivität auf den Boden (JOSCHKO et al. 1989, 1991, 1994, SCHRADER 1993, SCHRADER et al. 1995).

Bodenökologische Untersuchungen dieser Art sind jedoch keinesfalls auf die Gruppe der Regenwürmer beschränkt, sondern schließen Mikroorganismen, Wurzeln, Enchytraeen und andere Organismen ein (BRUSSAARD & KOOISTRA 1993). Kenntnisstand und Forschungsbedarf hinsichtlich der Beteiligung der Mikroorganismen für die Bildung von Aggregaten im Boden wurden kürzlich zusammenfassend dargelegt (ANDERSON 1991). Ein geeigneter Forschungsansatz zur Untersuchung der Wechselbeziehung zwischen Bodengefüge und Wurzelwachstum durch Kombination von Methoden aus verschiedenen Disziplinen wurde von DANNOWSKI (1989, 1992) aufgezeigt. Forschungsbedarf besteht zum Beispiel hinsichtlich der Quantifizierung mechanischer Effekte von Pflanzenwurzeln auf die räumliche Anordnung der Bodenbestandteile (DANNOWSKI 1994). Nach WOLTERS (1991) wurde auch die Untersuchung der indirekten Wirkung der Meso- und Mikrofauna auf die Stabilisierung des Gefüges bisher stark vernachlässigt. Weiterhin notwendig sind aus der Sicht des Morphologen Verbesserungen der morphologischen Kennzeichnung des funktionell relevanten Teilgefüges, z.B. des Porenraumes, der für die Besiedlung durch die Mesofauna von Bedeutung ist. Forschungsansätze zur Charakterisierung der Morphologie des Bodengefüges liegen vor (z.B. ROGASIK et al. 1994, CRAWFORD et al. 1993). Ansätze einer mathematischen Analyse zur funktionellen Verknüpfung biotischer und abiotischer Parameter versucht KAMPICHLER (1995). Er verknüpft fraktale Eigenschaften des Porenraumes mit ökophysiologischen Daten der Mikroarthropodengemeinschaft. Aus zoologischer Sicht besteht ferner Forschungsbedarf hinsichtlich der Anwendung und Übertragung taxonomischer Kenntnisse auf die Ökologie im Sinne einer Zusammenschau, Bündelung, Kategorisierung und Anwendung des Wissens.

Derzeit fehlen vor allem Untersuchungen zur Abschätzung der Leistungen der Bodenorganismen an einem bestimmten Standort, über welche im Gegensatz zur potentiellen Leistung einzelner Arten wenig bekannt ist. Mikrokosmosversuche können oftmals den Einfluß von Organismen überschätzen (LAVELLE 1994), andererseits liefern sie wertvolle Daten über das potentielle Leistungsvermögen von Arten bzw. bestimmter Kombinationen von Arten. Bodenökologische Freilanduntersuchungen zum Thema der Wechselbeziehung zwischen Bodenorganismen und Bodeneigenschaften sind deshalb wünschenswert. Hinsichtlich der Charakterisierung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Bodenorganismen sowie deren Steuerung und Auswirkung auf Bodeneigenschaften besteht noch ein deutlicher Forschungsbedarf. Entsprechende neue Ansätze finden sich bei LAVELLE et al. (1994) und STEIN et al. (1992). Auch Arbeiten zum Thema Artensättigung und Diversität sind wünschenswert. Ferner ist die Modell- und Theoriebildung dringend voranzutreiben. Ausgangspunkt sind zunächst Einfachbeziehungen, die zumeist mit Hilfe der Mikrokosmosforschung analysiert werden. In der nächsten Stufe geht es um die Überprüfung komplexerer Versuchseinheiten, etwa mit Hilfe von Mesokosmen (TEUBEN & VERHOEF 1992, KANDELER et al. 1994, BRUCKNER et al. 1995). Ziel ist es unter anderem, die empirisch ermittelte Vielfalt zu vereinfachen. Ein wichtiger Aspekt betrifft schließlich die Elastizität der Wechselbeziehungen unter Berücksichtigung regionaler und standortsspezifischer Besonderheiten.

Im Zusammenhang mit Bodenschutzüberlegungen bestehen noch deutliche Probleme hinsichtlich der Bewertung von Standorten aufgrund bodenökologischer Befunde. Die Thematik berührt das Feld der Umsetzung taxonomischer Kenntnisse in Empfehlungen für die Praxis. Einerseits sind hierzu taxonomische Spezialkenntnisse erforderlich, andererseits resultiert ein Zwang zur Vereinfachung und Beschränkung. Ansätze in diese Richtung werden von GRAEFE (1993) und BEYLICH et al. (1994) unternommen, die sich, ausgehend vom Begriff der Zersetzergesellschaft, auf eine

gruppenspezifische Bioindikation mit Hilfe von Regenwurm- und Enchytraeenpopulationen konzentrieren.

Benötigt man zur Lösung bodenökologischer Fragen der jeweiligen Arbeitsrichtung spezielle Methoden?

Einerseits sind unbedingt die klassischen Methoden der Bodenmikrobiologie, Bodenzoologie und Bodenkunde anzuwenden, jedoch sind auch neue Methoden und Forschungsansätze zu entwickeln. Diese Methoden sollen integrierend und, wenn möglich, weniger 'schwerfällig' als die klassischen Methoden sein (VON TÖRNE 1990a,b, LARINK & KRATZ 1994, EISENBEIS et al. 1995, BABEL & VOGEL 1989, SCHRADER et al. 1995). Durch die Verknüpfung mit tatsächlichen Besatzzahlen lassen sich diese integrierenden Methoden evtl. so kalibrieren, daß schließlich vom Zustand des Systems auf einzelne Faktoren wie Organismenbesiedlung bzw. auf Veränderungen bzw. Störungen relevanter Bodenfunktionen geschlossen werden kann.

Schlussfolgerung

Ein Anliegen der Arbeitsgruppe ist es, die funktionelle Verflechtung zwischen Bodenorganismen und Bodeneigenschaften zu betonen und auf die Notwendigkeit zur interdisziplinären Arbeitsweise hinzuweisen. Bodenökologie lebt von der Zusammenarbeit von Bodenmikrobiologen, Bodenzoologen, Bodenkundlern und Landschaftsökologen. Hierzu hat der in Münster gehaltene Workshop hoffnungsvolle Ansätze aufgezeigt.

Literatur

- ANDERSON, T.-H. (1991): Bedeutung der Mikroorganismen für die Bildung von Aggregaten im Boden. - Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154: 409-416.
- BABEL, U. & H.-J. VOGEL (1989): Zur Beurteilung der Enchytraen- und Collembolen-Aktivität mit Hilfe von Bodendünnschliffen. - Pedobiologia 33: 167-172.
- BEGON, M., HARPER, J.L. & C.R. TOWNSEND (1991): Ökologie. Individuen, Populationen und Lebensgemeinschaften. - Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin.
- BEYLICH, A., FRÜND, H.-C. & U. GRAEFE (1994): Ökosystemare Umweltbeobachtung und Bioindikation mit Zersetzergesellschaften. - Ecoinforma'94 5: 389-401, Umweltbundesamt Wien (ed.), Wien.
- BROLL, G. & K.-F. SCHREIBER (1992): Einfluß extensiver Grünlandnutzung auf die mikrobielle Aktivität der Böden. - VDLUFA-Schriftenreihe 35: 837-841, Kongreßband Göttingen.
- BRUCKNER, A., WRIGHT, J., KAMPICHLER, C., BAUER, R. & E. KANDELER (1995): A method of preparing mesocosms for assessing complex biotic processes in soil. - Biol. Fertil. Soils 19: 257-262.
- BRUSSAARD, L. & M.J. KOOISTRA (1993): Soil structure/soil biota interrelationships. - International Workshop on Methods of Research on Soil Structure/Soil Biota Interrelationships held at the International Agricultural Centre, Wageningen, The Netherlands, 24-28, November 1991, Elsevier, Amsterdam.
- CRAWFORD, J.W., RITZ, K. & L.M. YOUNG (1993): Quantification of fungal morphology, gaseous transport and microbial dynamics in soil: an integrated framework utilising fractal geometry. - Geoderma 56: 157-172.

- DANNOWSKI, M. (1989): Die Kennzeichnung von Schadverdichtungen in Krumböden mit Hilfe von Durchwurzelungsuntersuchungen unter Laborbedingungen. - Arch. Acker Pflanzenb. Bodenkd. 33: 277-284.
- DANNOWSKI, M. (1992): Das Penetrationsvermögen von Wurzeln unterschiedlicher Roggen- und Triticalegenotypen in Abhängigkeit von der Bodenlagerungsdichte. - J. Agronomy and Crop Science 168: 169-180.
- DANNOWSKI, M. (1994): Einfluß differenzierter mechanischer Bodenbelastungen auf Bodengefügeeigenschaften, Durchwurzelbarkeit und Pflanzenertrag eines sandigen Moränenstandortes. - Dissertation TU Berlin.
- DARWIN, CH. (1881): The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits. - J. Murray, London.
- DUNGER, W. (1983): Tiere im Boden. - Die neue Brehm Bücherei Bd. 327, A. Ziemsen Wittenberg-Lutherstadt.
- EISENBEIS, G. (1993): Zersetzung im Boden. In: Ehrnsberger, R. (ed.): Bodenmesofauna und Naturschutz. - Inf. Natursch. Landschaftspfl. 6: 53-76.
- EISENBEIS, G. (1994): Die Biologische Aktivität von Böden aus zoologischer Sicht. - Braunsch. naturkdl. Schr. 4: 653-658.
- EISENBEIS, G. & W. WICHARD (1985): Atlas zur Biologie der Bodenarthropoden. - G. Fischer, Stuttgart, New York.
- EISENBEIS, G., DOGAN, H., HEIBER, T., KERBER, A., LENZ, R. & F. PAULUS (1995): Das Minicontainer-System - ein bodenökologisches Werkzeug für Forschung und Praxis. - (Beitrag f.d. Jahrestagung der DGB in Halle 2.9. bis 9.9.1995) Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. (im Druck)
- FRIEBE, B. & A. GRAMS (1990): Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf Strohabbau und Besiedlung des Stroh mit Bodentieren - ein Netzbeutelversuch. - Verh. Ges. Ökol. XIX/II: 276-281.
- GISI, U. (1990): Bodenökologie. G. Thieme, Stuttgart, New York.
- GRAEFE, U. (1993): Die Gliederung von Zersetzergesellschaften für die standortsökologische Ansprache. - Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 69: 95-98.
- HERLITZIUS, H. (1983): Biological decomposition efficiency in different woodland soils. - Oecologia (Berlin) 57: 78-97.
- JOSCHKO, M., DIESTEL, H. & O. LARINK (1989): Assessment of earthworm burrowing efficiency in compacted soil with a combination of morphological and soil physical measurements. - Biol. Fert. Soils 8: 191-196.
- JOSCHKO, M., GRAFF, O., MÜLLER, P.C., KOTZKE, K., LINDNER, P., PRETSCHNER, D.P. & O. LARINK (1991): A non-destructive method for the methodological assessment of earthworm burrow systems in three dimensions by X-ray computed tomography. - Biol. Fert. Soils 11: 88-92.
- JOSCHKO, M., WENDROTH, O., ROGASIK, H., & K. KOTZKE (1994): Earthworm activity and functional and morphological characteristics of soil structure. - Trans. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, 4a: 144-160.
- KAMPICHLER, C. (1995): Biomass distribution of a microarthropod community in spruce forest soil. - Biol. Fert. Soils 19: 263-265.
- KANDELER, E., WINTER, B., KAMPICHLER, C. & A. BRÜCKNER (1994): Effects of mesofaunal exclusion on microbial biomass and enzymatic activities in field mesocosms. - In: Ritz, K., Dighton, J. & Giller, K.E. (eds): Beyond the Biomass. Compositional and Functional Analysis of Soil Microbial Communities. - J. Wiley, Chichester.
- KEPLIN, B. (1995): Untersuchungen zur Bodenfauna städtischer Grünflächen unter dem Einfluß verschiedener Pflegemaßnahmen. - Arbeitsber. Landschaftsökol. Münster & Mitt. landschaftsökol. Forstsch. Bremen 16: 1-138.

- KRETZSCHMAR, A. (1992): ISEE 4. 4th Internat. Symposium on Earthworm Ecology, Avignon, France, 11.-15. June 1990. - Pergamon Press, Oxford.
- KUBIENA, W.L. (1948): Entwicklungslehre des Bodens. - Springer, Wien.
- LARINK, O. & W. KRATZ (1994): Köderstreifen-Workshop in Braunschweig - ein Resümee. - Braunschw. naturkd. Schr. 4: 647-651.
- LAVELLE, P. (1994): Faunal activities and soil processes. Adaptive strategies that determine ecosystem function. - Trans. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, 1: 189-220.
- LAVELLE, P., ROSSI, J.P. & A. ALBRECHT (1994): Relationships between spatial pattern of the endogenic earthworm *Polypheretima elongata* and soil heterogeneity. - 5th Internat. Symposium on Earthworm Ecology, 5.-9. July, Columbus, Ohio, USA.
- LAVELLE, P. & SPAIN, A.V. (1994): Soil Ecology. - Chapman & Hall, London.
- ODUM, E.P. (1983): Grundlagen der Ökologie. - G. Thieme, Stuttgart, New York.
- ROGASIK, H., JOSCHKO, M. & J. BRUNOTTE (1994): Nutzung der Röntgen-Computertomographie zum Nachweis von Gefügeveränderungen durch Mulchsaat. - Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 73: 111-114.
- SCHALLER, F. (1962): Die Unterwelt des Tierreiches. - Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- SCHRADER, S. (1993): Gangbildung, Kotproduktion und Schleimausscheidung. Beitrag verschiedener Regenwurmarten zur Entwicklung des Bodengefüges. - Dissertation TU Braunschweig.
- SCHRADER, S., JOSCHKO, M., KULA, H., & O. LARINK (1995): Earthworm effects on soil structure with emphasis on soil stability and soil water movement. - Advances in Soil Science (in press).
- STEIN, A., BEKKER, R.M., BLOM, J.H.C., & H. ROGAAR (1992): Spatial variability of earthworm populations in a permanent polder grassland. - Biol. Fert. Soils 14: 260-266.
- STICHER, H. (1995): Forschung zur Bodenökologie in der Schweiz. - (dieses Heft)
- STÖCKLI, A. (1928): Studien über den Einfluß des Regenwurmes auf die Beschaffenheit des Bodens. - Landw. Jb. Schweiz 42: 4-121.
- SWIFT, M.J., HEAL, O.W. & J.M. ANDERSON (1979): Decomposition in Terrestrial Ecosystems. - Studies in Ecology 5: 1-372, University of California Press, Berkeley & Los Angeles.
- TEUBEN, A. & H.A. VERHOEF (1992): Relevance of micro- and mesocosm experiments for studying soil ecosystem processes. - Soil Biol. Biochem. 24: 1179-1183.
- TÖRNE, E. von (1990a): Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-test. - Pedobiologia 34: 89-101.
- TÖRNE, E. von (1990a): Schätzungen von Freßaktivitäten bodenlebender Tiere II. Mini-Köder-Tests. - Pedobiologia 34: 269-279.
- TOPP, W. (1981): Biologie der Bodenorganismen. - Quelle & Meyer, Heidelberg.
- VANNIER, G. (1987): The porosphere as an ecological medium emphasized in Professor Ghilarov's work on soil animal adaptation. - Biol. Fert. Soils 3: 39-44.
- WHITFORD, W.G. (1992): Effects of climate change on soil biotic communities and soil processes. - In: PETERS, R.L. & LOVEJOY, T.E. (eds): Global Warming and Biological Diversity. - Yale University Press, New Haven & London.
- WOLLNY, E. (1890): Untersuchungen über die Beeinflussung der Fruchtbarkeit der Ackerkrume durch die Thätigkeit der Regenwürmer. - Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik 13: 381-395.
- WOLTERS, V. (1991): Soil invertebrates - effects on nutrient turnover and soil structure - a review. - Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154: 389-402.

Bodenökologie und Stadtökosysteme sowie Industrie- und Bergbaufolgelandschaften

von

Fründ, H.-C.* und B. Keplin**

Bodenökologische Forschung in urban-industriellen Ökosystemen (Stadtökosystemen) und Bergbaufolgelandschaften findet in Räumen statt, die durch spezifische Voraussetzungen gekennzeichnet sind; hierzu zählen:

- **Vorkommen ungewöhnlicher Substrate:** Diese sind in Stadtböden häufig technogen (z.B. Beton, Schlacken, Müll), in Bergbaufolgelandschaften dagegen geogen, weisen jedoch chemische und/oder physikalische Eigenschaften auf, die von denen entwickelter Böden abweichen (BULLOCK u. GREGORY 1991, BLUME 1993, BURGHARDT 1994).
- **Bodenumlagerung und Verlust der natürlichen Bodenhorizontierung:** Im Unterschied zu regelmäßig umgelagerten landwirtschaftlichen Böden findet die Bodenumlagerung in typischen urban-industriellen und Bergbaufolgeböden nur einmal oder sporadisch statt. Zudem werden die Substrate im urbanen Bereich häufig auf gewachsenen Böden aufgeschüttet oder abgelagert. In (Braunkohle-) Tagebaugebieten kommt es zu einer Verkipfung der Substrate auf der abgebauten Fläche. Diese Kippsubstrate sind v. a. in den ostdeutschen Bergbaufolgegebieten aufgrund der angewandten Abbautechnik sehr heterogen (THUM et al. 1992). Sowohl im urbanen Bereich als auch in Bergbaufolgelandschaften kommt es somit immer wieder zu einer initialen Humus- und Bodenentwicklung (u. a. BLUME 1992, HAUBOLD-ROSAR et al. 1993). Über die Eigenschaften dieser jungen Rekultivierungsböden (Neulandböden im Rheinischen Braunkohlenrevier bzw. Kippenböden im ostdeutschen Braunkohlenrevier) liegen von SCHRÖDER (1988) und THUM et al. (1992) kurze Zusammenfassungen vor. Spezielle Aspekte behandeln u. a. KERTH (1988), WILLIAMSON u. BARRIE JOHNSON (1994) sowie SCHNEIDER et al. (1995).
- **Punktuelle und flächige Bodenbelastung mit toxischen Substanzen:** In städtischen und industriellen Ökosystemen treten sowohl naturwissenschaftlich nicht vorhersagbare Direktkontaminationen (Altlasten) wie auch immissionsbedingte Belastungen auf, die in ihrem Ausbreitungsmuster nicht immer berechenbar sind (u. a. BURGHARDT 1992). In Bergbaufolgelandschaften und in urbanen Böden können toxische Stoffe aus den geogenen Substraten durch chemische Umwandlung freigesetzt worden sein und innerhalb kurzer Zeit zu Änderungen von Standortparametern führen (u. a. HILLER 1994).
- **Bodenverbrauch, Bodenversiegelung und „Ersatzböden“:** Städte sind durch ein hohes Maß an Flächenverbrauch (Bodenversiegelung) charakterisiert, was eine starke Parzellierung und Verinselung der nicht versiegelten Böden zur Folge haben kann. Gleichzeitig werden auf versiegelten Flächen „Ersatzböden“ geschaffen. Das Spektrum reicht von der Begrünung von Unterführungen und Tiefgaragen (BLUME et al. 1989: „Unterflurversiegelung“) bis hin zu Dachbegrünungen und Pflanzkübeln. Bergbaufolgelandschaften zeichnen sich ebenfalls durch

* IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH, Ernst-Sievers-Str. 107, 49078 Osnabrück

** Brandenburgische Technische Universität, LS Bodenschutz u. Rekultivierung, Postfach 101344, 03013 Cottbus

eine enorme Flächenbeanspruchung und damit einer Zerstörung der natürlichen Bodengesellschaften aus. In den östlichen Bundesländern wurden beispielsweise bis zu 32 km² pro Jahr beansprucht. Dieser Verlust an zumeist land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen muß durch geeignete Rekultivierungsmaßnahmen („Ersatzböden, -substrate“) ausgeglichen werden, wobei darüber hinaus auch sehr große Wasserflächen aus ehemaligen Tagebaurestseen entstehen können (THUM et al. 1992).

- **Breites Spektrum von Bodennutzungen und häufiger Nutzungswandel - Rekultivierung:** Ein Charakteristikum städtischer Ökosysteme ist das breite Spektrum von Bodennutzungen und der häufige Nutzungswandel. Bergbaufolgelandschaften, in denen die Förderung der Kohle im Großtagebau erfolgte, sind demgegenüber durch große Rekultivierungsflächen gekennzeichnet. Die zu rekultivierenden Flächen werden entweder einer dauerhaften landwirtschaftlichen (überwiegend im Rheinischen Braunkohlenrevier auf Löß und Lößlehmen, vgl. SCHRÖDER 1988) oder forstwirtschaftlichen Nutzung (überwiegend im Niederlausitzer Braunkohlenrevier auf sandigen quartären oder tertiären Substraten, vgl. THUM et al. 1992) zugeführt. Bei der forstlichen Rekultivierung auf diesen Substraten bzw. Kippböden bestimmt v. a. die Baumartenwahl die einsetzende Bodenbildung und insbesondere auch die initiale Humusentwicklung auf den nahezu humusfreien Rohböden.

Trotz gewisser Gemeinsamkeiten in den Boden- und Substrateigenschaften der Städte und der Bergbaufolgelandschaften sind die mit ihnen verbundenen Ökosysteme doch sehr unterschiedlich und erfordern grundsätzlich jeweils eine eigene Herangehensweise. Die bodenökologische Forschung an urban-industriellen Böden (einschließlich Bergbaufolgelandschaften) ist dadurch erschwert, daß die bodenkundlichen Grundlagen in der Typisierung dieser Böden und der Beschreibung ihrer Eigenschaften noch lückenhaft und nicht allgemein anerkannt systematisiert sind, obwohl besonders vom AK Stadtböden der DBG bereits umfangreiche Vorarbeiten geleistet wurden (BLUME et al. 1989) und auch für die ostdeutschen Kippenböden inzwischen Klassifikationsvorschläge bestehen (KNAUF u. MÖBES 1993). Vor diesem Hintergrund identifizierte die Arbeitsgruppe des Workshops eine Reihe von bodenökologischen Forschungsthemen, zu denen generell ein noch unbefriedigender Erkenntnisstand besteht.

1. Forschungsthemen der Bodenökologie in urban-industriellen Ökosystemen und Bergbaufolgelandschaften

Themenbereich: Typisierung und Zustandsbeschreibung urban-industrieller Böden und Böden in Bergbaufolgelandschaften

Kann man urban-industrielle Böden anhand der in ihnen ablaufenden bodenökologischen Prozesse typisieren? Die Bodenökologie kann einen Beitrag zur Systematisierung liefern, der die Vielfalt der Substrateigenschaften und Belastungen unter dem Aspekt der Bodenentwicklungstendenzen gliedert. Ein weiteres, die Typisierung der urban-industriellen Böden betreffendes Forschungsthema ist die Frage nach den typischen Artengemeinschaften der in ihnen vorkommenden Bodenorganismen. Die bislang vorliegenden Untersuchungen zur Bodenfauna und -mikroflora zielen u. a. auf die Auswirkungen bestimmter Nutzungen ab (Zitate in SCHULTE et al. 1990 und KEPLIN 1995, vgl. auch PULFORD 1991 und BROLL u. KEPLIN 1995), während eine systematische Bearbeitung der Bodenorganismen bei den Stadtbodenkartierungen und den meisten Untersuchungen und Charakterisierungen der Böden im urban-industriellen Raum bislang nicht erfolgte. Für die Zustandsbeschreibung der urban-industriellen Böden und speziell der sog. Kippböden wird die Klärung der Zusammensetzung ihrer organischen Substanz als dringliche Frage angesehen. Hierbei ist besonders zu beachten, daß ein mehr oder weniger großer Teil des in diesen Böden nachweisbaren Gesamtkohlenstoffes aus elementarem Kohlenstoff (Ruß, Kohlenstaub) besteht. Bisher scheint es aber keine

befriedigende Labormethode zu geben, mit der eine Trennung des Kohlenstoffes in Humus und elementaren Kohlenstoff möglich ist (HAUMAIER 1993, HILLER 1994).

Themenbereich: Ökologische Prozesse in urban-industriellen Böden

Eine in Stadtökosystemen bisweilen auftretende Besonderheit der Böden ist das Vorkommen trocken-anaerober Bedingungen (Beispiel: Methansole), was natürlicherweise nur sehr selten auftritt (Böden unter dem Einfluß vulkanischer Ausgasungen). Diese Böden sind bezüglich der in ihnen ablaufenden ökologischen Prozesse noch ungenügend bekannt. Als Forschungsthemen wurden besonders genannt: Kohlenstoffkreislauf, mikrobielle Biomasse, Abbauprozesse (litter bags). Generell wurde Forschungsbedarf zur Klärung der C/N-Dynamik urban-industrieller Böden wie auch von Kippenböden festgestellt. Trotz einiger bereits vorliegender Untersuchungen aus Bergbaufolgelandschaften zur Besiedlung der neuen Substrate (u.a. NEUMANN 1971, DUNGER 1989, MAJER 1989, TOPP et al. 1992) sind zur Entwicklung urban-industrieller Böden noch viele Fragen offen: Wie werden diese Böden besiedelt? Wie ist die Neuansiedlung oder Einschleppung standortfremder Arten aus genetischer und bodenbiologischer Sicht zu beurteilen? Welchem Ursprung lassen sich die in urban-industriellen Böden vorkommenden Rumpffzönosen zuordnen? Wie erfolgt allgemein die bodenökologische Sukzession in diesen Böden? Ansätze zur Klärung dieses Fragenkomplexes liefern neben den bereits genannten Arbeiten die Untersuchungen von WEIDEMANN u. KOEHLER (1987), HEUSER u. TOPP (1989), ZERLING (1990), DUNGER (1991), CURRY u. BOYLE (1995) sowie JUDD u. MASON (1995a, 1995b).

Anwendungsbezogene Themen

Welche Auswirkungen hat die Bodenalterung speziell auf die Schadstoffmobilisierung in urban-industriellen Böden, und welche Rolle spielen Bodenorganismen in ihnen bei der Schadstoffbindung bzw. Schadstofffreisetzung?

Welche bodenökologischen Wirkungen gehen von "Ersatzböden" (begrünter Versiegelung) in der Stadt aus? Obwohl speziell zur Wirkung von Dachbegrünungen bereits einige Detailuntersuchungen vorliegen (Zitate in KÖHLER 1993), steht eine umfassende ökologische Bearbeitung und Bewertung dieser Frage noch aus.

2. Welche speziellen Methoden werden für die Lösung bodenökologischer Fragen in Städten und Bergbaufolgelandschaften benötigt?

Die meisten allgemein üblichen bodenökologischen Methoden sind auch in Stadtökosystemen und in Bergbaufolgelandschaften sinnvoll. Sie müssen jedoch häufig an die dort herrschenden Bedingungen (z.B. Skelettreichtum der Böden, Öffentlichkeit der Untersuchungsflächen) angepaßt werden.

Spezielle methodische Anforderungen ergeben sich bei der Bestimmung der organischen Substanz in urban-industriellen Böden, da in dem mit den üblichen Methoden gemessenen Gesamtkohlenstoffgehalt ein unterschiedlich großer Anteil elementaren Kohlenstoffes enthalten ist, der wahrscheinlich nicht am ökologischen Kohlenstoffkreislauf teilnimmt. Die Differenzierung in aktiven und inaktiven Kohlenstoff ist methodisch bisher noch nicht befriedigend gelöst (s.o.). Ähnliche Probleme stellen sich bei Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität in Ziegelschuttböden, in denen nur ein Teil der gemessenen nFK wirklich pflanzenverfügbar ist (RENGER 1993).

Die große räumliche Heterogenität von Stadtböden stellt besondere methodische Anforderungen an die adäquate Auswertung der Daten (vgl. KNEIB 1989). Für eine realistische Erfassung und prognostische Modellierung bodenökologischer Prozesse in Stadtböden sind methodische Ansätze notwendig, die den raschen Nutzungswandel und die z.T. kurzen Flächen-Umtriebszeiten berücksichtigen.

3a. Wie lassen sich die Ergebnisse bodenökologischer Untersuchungen in Städten und Bergbaufolgelandschaften einordnen bzw. beurteilen?

Die Beurteilung der Resultate stadtoökologischer Forschung ist in der Regel wegen der großen Kenntnislücken mit Schwierigkeiten verbunden. Einerseits ist es immer noch eine offene Frage, welche Parameter (Daten) für eine bodenökologische Beurteilung geeignet sind, andererseits ist in vielen Fällen die vergleichende Einordnung der Resultate schon dadurch erschwert, daß zu wenig Vergleichsdaten vorliegen. Insbesondere bei Untersuchungen in Bergbaufolgelandschaften müßten sich die Studien über sehr lange Zeiträume erstrecken (Dauerbeobachtungsflächen).

3b. Wie lassen sich Ergebnisse zielorientiert bewerten? Welche Schutzziele sind aktuell vorgegeben?

Auf dem Gebiet der Schadstoffbelastung städtischer - wie auch anderer - Böden hat der aktuelle Handlungs- und Entscheidungsdruck bereits zur Etablierung von Bewertungskriterien und -verfahren geführt (z.B. EIKMANN u. KLOKE 1993). Dies gilt weitgehend auch noch für den Problembereich „Boden-Grundwasser“. Eine ökotoxikologische Herleitung der Bewertungskriterien steht aber in den meisten Fällen noch aus. Erste Ansätze liefern z. B. WEIGMANN (1992), POUYAT et al. (1994) und ABDUL-RIDA u. BOUCHÉ (1995). Hierfür müssen aussagekräftige und handhabbare Wirkungsindikatoren bekannt sein, was jedoch bisher noch nicht ausreichend der Fall ist. Die Bewertungsproblematik wird dadurch verschärft, daß die gesellschaftlichen Zielvorgaben für anzustrebende bodenökologische Zustände noch sehr fragmentarisch und wenig konkret sind („Multifunktionalität“, „Filterfunktion“, „Stoffabbauvermögen“, „Lebensraum/Standort von Organismen“). Wegen der hohen Grundstückspreise spielen wirtschaftliche Aspekte bei der Zielsetzung für die bodenökologische Bewertung von Stadtböden häufig eine wichtige Rolle.

4. Welchen Bezug hat die Erforschung bodenökologischer Prozesse in urban-industriellen Ökosystemen und Bergbaufolgelandschaften zu der Erforschung anderer Teile dieser Ökosysteme?

Wegen der im Stadtbereich besonders engen und dynamischen Wechselwirkung zwischen Boden und menschlicher Aktivität liegen bei bodenökologischen Untersuchungen im urbanen System Bezüge zu human-, sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen Forschungsansätzen besonders nahe. In der Arbeitsgruppe wurde besonders auf die Beachtung der sozialen Funktion von Stadtböden hingewiesen.

In den Bereich Flora und Fauna und zum Naturschutz ergeben sich Bezüge durch die Rolle, die städtische Böden bei der Biotopvernetzung spielen (können).

Aus der Schadstoff- und aus der Versiegelungsproblematik ergeben sich Bezüge zu Fragen des Wasserhaushaltes, der Grundwasserqualität und der Grundwasserneubildung (diese Aspekte sind auch in Bergbaufolgelandschaften von großer Bedeutung).

5. Welche Rolle spielt bodenökologische Forschung in urban-industriellen Ökosystemen und Bergbaufolgelandschaften für die allgemeine Ökosystemforschung?

Die Bedeutung der bodenökologischen Forschung in urban-industriellen Böden und Bergbaufolgelandschaften für die allgemeine Ökologie liegt vor allem darin, daß sich an ihnen die Anpassungen der Organismen und der Ablauf bodenökologischer Prozesse bei Extremsituationen besonders günstig studieren läßt. Hier finden sich auch viele Möglichkeiten zur Erforschung der ersten Phasen der

Bodenentwicklung unter Bedingungen, die von denen in der Natur (Gletscherrand, Lavafeld, Erosionsgebiet) stark abweichen. Besonders die großräumigen und nur anfänglich anthropogen geschaffenen Bergbaufolgelandschaften bieten hervorragende Möglichkeiten für das Studium bodenökologischer Prozesse im Verlauf der Entwicklung neuer Ökosysteme, brauchen aber eine lange Beobachtungszeit, bevor allgemeingültige Aussagen getroffen werden können.

Literatur

- Abdul Rida, A.M.M. u. M. B. Bouché (1995): Earthworm contribution to ecotoxicological assessments. *Acta Zool. Fennica* 196: 307-310.
- Blume, H.-P. (1992): Probleme der Stadtböden. *Schriftenr. Dt. Rat f. Landespf., H. 61*: 90-95.
- Blume, H.-P. (1993): Böden. In: *Stadtökologie*, H. Sukopp u. R. Wittig (eds.): 154-171.
- Blume, H.-P.; Burghardt, W.; Cordsen, E.; Finnern, H.; Fried, G.; Grenzius, R.; Kneib, W.; Kues, W.; Pluquet, E.; Schrapf, W.-G. u. Siem, H.-K. (1989): Kartierung von Stadtböden. - UBA-Texte 18/89, Berlin.
- Broll, G. u. B. Keplin (1995): Bodenökologische Untersuchungen auf städtischen Grünflächen. *Verh. Gesell. Ökol.*, Bd. 24, im Druck.
- Bullock, P. u. P.G. Gregory (eds.) (1991): *Soils in the urban environment*. Blackwell Scientific Publ. Oxford.
- Burghardt, W. (1992): Altlasten und Abfälle. *Schriftenr. Dt. Rat f. Landespf., H. 61*: 96-103.
- Burghardt, W. (1994): Soils in urban and industrial environments. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157: 205-214.
- Curry, J.P. u. K.E. Boyle (1995): Restoring soil fauna in reclaimed land, with particular reference to earthworms in cutover peat. *Acta Zool. Fennica* 196: 371-375.
- Dunger, W. (1989): The return of soil fauna to coal mined areas in the German Democratic Republic. - In: J.D.Majer (ed.): *Animals in primary succession. The role of fauna in reclaimed lands*. - Cambridge: Cambridge University Press: 307-337.
- Dunger, W. (1991): Zur Primärsukzession humiphager Tiergruppen auf Bergbauflächen. *Zool. Jb. Syst.* 118: 423-447.
- Eikmann, T. und Kloke, A. (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden - Eikmann-Kloke-Werte - 2. überarbeitete und erweiterte Fassung - In: Rosenkranz, D, Einsele, G. u. H.-M. Harreß (Hrsg.) (1993): *Bodenschutz*, 14. Lfg.X/93, 26 S.
- Haubold-Rosar, M., Kätzur, J. Schröder, D. u. R. Schneider (1993): Bodenentwicklung in grundmeliorierten tertiären Kippsubstraten in der Niederlausitz. *Mitt. DBG.* 72: 1197-1202.
- Haumaier, L. (1993): Elementarer Kohlenstoff - Quelle hocharomatischer Huminstoffe? *Mitt. DBG* 71: 225-228.
- Heuser, J. u. W. Topp (1989): Verteilungsmuster der Boden-Makrofauna in den Rekultivierungsflächen des Staatsforstes Ville und ihr Einfluß auf die Zersetzung der Laubstrau. *Natur u. Landschaft* 64: 441-445.
- Hiller, D.A. (1994): Phosphatbindungsformen auf einem Berghaldenrekultivierungsversuch. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157: 117-123.
- Judd, K.W. u. C.F. Mason (1995a): Earthworm population of a restored landfill site. *Pedobiologia* 39: 107-115.
- Judd, K.W. u. C.F. Mason (1995b): Colonization of a restored landfill site by invertebrates, with particular reference to the Coleoptera. *Pedobiologia* 39: 116-125.
- Keplin, B. (1995): Untersuchungen zur Bodenfauna städtischer Grünflächen unter dem Einfluß verschiedener Pflegemaßnahmen. *Arbeitsberichte Landschaftsökologie Münster, zugleich Mitteilungen der Landschaftsökologischen Forschungsstelle Bremen*, H. 16.
- Kerth, M. (1988): Untersuchungen zur Pyritverwitterung in einer Steinkohlenberghalde des Ruhrgebietes. *N. Jb. Geol. Paläon. Mh.* 10: 592-604.

- Knauf, C. u. A. Möbes (1993): Vorschlag zur Gliederung der anthropogenen Böden Sachsen-Anhalts am Beispiel der Kippenböden im Tagebauggebiet östlich von Bitterfeld. Mitt. DBG 72: 973-976.
- Kneib, W.D. (1989): Böden - Einheit und Vielfalt. - In: Rosenkranz, D, Einsele, G. und H.-M. Harreß (Hrsg.) (1993): Bodenschutz, 2. Lfg.II/89, 21 S.
- Köhler, M. (1993): Fassaden- und Dachbegrünung. - Stuttgart: Ulmer, 329 S.
- Majer, J.D. (ed.) (1989): Animals in primary succession. The role of fauna in reclaimed lands. Cambridge University Press, Cambridge.
- Neumann, D. (1971): Die Sukzession der Bodenfauna (Carabidae Coleoptera, Diplopoda und Iso-poda) in den forstlich rekultivierten Gebieten des Rheinischen Braunkohlenreviers. - *Pedobiologia* 11: 193-226.
- Pouyat, R.V., Parmelee, R.W. u. M.M. Carreiro (1994): Environmental effects of forest soil-invertebrate and fungal densities in oak stands along an urban-rural land use gradient. *Pedobiologia* 38: 385-399.
- Pulford, L.D. (1991): Nutrient provision and cycling in soils in urban areas. In: *Soils in the urban environment*, P. Bullock u. P.G. Gregory (eds.): 119-138.
- Renger, M. (1993): Wasserhaushalt urbaner Böden. In: *Stadtökologie*, H. Sukopp u. R. Wittig (eds.): 172-182.
- Schneider, R., Schneider, H. u. D. Schröder (1995): Beziehung zwischen Bodenorganismen und Gefügeentwicklung auf Löß-Neuland unter Acker- und Waldnutzung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 158: 197-204.
- Schröder, D. (1988): Bodenschonende Rekultivierung von Lößböden in Braunkohlentagebauen. In: Rosenkranz, D, Einsele, G. u. H.-M. Harreß (Hrsg.) (1993): Bodenschutz, 1. Lfg.XI/88, 22 S.
- Schulte, W., Fründ, H.-C., Graefe, U., Ruskowski, B., Söntgen, M., V. Voggenreiter u. N. Weritz (1990): Zur Biologie städtischer Böden. Kilda-Verlag Greven.
- Thum, J., Wünsche, M. u. H.J. Fiedler (1992): Rekultivierung im Braunkohlenbergbau der östlichen Bundesländer. In: Rosenkranz, D, Einsele, G. u. H.-M. Harreß (Hrsg.) (1993): Bodenschutz,, 10. Lfg.II/92, 38S.
- Topp, W., Gemesi, O., Grüning, Ch., Tasch, P. u. Zhou, H.-Z. (1992): Forstliche Rekultivierung mit Altwaldboden im Rheinischen Braunkohlerevier. Die Sukzession der Bodenfauna. - *Zool. Jb. Syst.* 119: 505-533.
- Weidemann, G. u. H. Koehler (1987): Untersuchungen zur Initialentwicklung der Mesofauna in Auftragsböden. Mitt. DBG 55/II: 541-546.
- Weigmann, G. (1992): Ein Modell zur Übertragung ökotoxikologischer Labordaten über Bodentiere auf Freilandpopulationen. *Verh. Gesell. Ökol.*, Bd. 21: 113-120.
- Williamson, J.C. u. D.Barrie Johnson (1994): Laboratory assessment of nitrogen losses from restored topsoils at opencast mine sites. *Applied Soil Ecology* 1: 53-63.
- Zerling, L. (1990): Zur Sukzession von Kleinarthropoden, insbesondere Collembolen, im Bodenbildungsprozeß auf einer landwirtschaftlich genutzten Braunkohlenkippe bei Leipzig. *Pedobiologia* 34: 315-335.

Bodenökologie und Stoffkreisläufe

von

Gisi, U.* und G. Broll**

Bei der **Definition von Stoffkreisläufen** aus bodenökologischer Sicht werden neben der Energie und den Transportmedien Wasser und Luft alle chemischen Elemente einbezogen (u.a. BOLIN & COOK 1983, STEVENSON 1986). Dabei sollte keine Beschränkung auf die klassischen Elemente Kohlenstoff und Stickstoff erfolgen. Die Kreisläufe werden nicht als geschlossene, sondern als offene Systeme betrachtet, da der Boden nur Teil eines ganzen Ökosystems ist und damit in ihm nur Teile des Kreislaufes ablaufen. In "natürlichen" Ökosystemen sind Stoffkreisläufe in der Regel geschlossen; durch anthropogene Eingriffe können sie unterbrochen werden. In vielen Fällen ist es angebrachter, von Stoffflüssen statt von Stoffkreisläufen zu sprechen. Im Hinblick auf eine notwendige Bilanzierung ist der Kreislaufbegriff jedoch sinnvoller.

Forschungsdefizite bestehen vor allem im Bereich der Quantifizierung von Stoffflüssen, wobei vorher die jeweiligen Pools ausreichend zu quantifizieren sind. Darüber hinaus fehlen sowohl die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Kompartimenten (z.B. laterale Flüsse) als auch die der zeitlichen und räumlichen Variabilität der Flüsse. Die Untersuchung von Mikrohabitaten ist in diesem Zusammenhang besonders hervorzuheben (METTING 1993). Während die mikrobielle Aktivität, wie z.B. die Mineralisation (= Output), relativ gut untersucht ist (u.a. STOLP 1988, SMITH 1993), fehlt es an Informationen zum Input, d.h. der Art und Menge der Nahrungs- und Energiequellen (UHLELOVA ET AL. 1988) und dem Energiefluß (JORGENSEN 1992). Es ist nicht in allen Fällen geklärt, wieviele und welche Mikroorganismen an bestimmten Umsatzprozessen in Böden beteiligt sind (COLE & FERGUSON 1988, YANAGITA 1990).

Ein sehr großer Forschungsbedarf besteht in den biotischen und abiotischen Steuergrößen,

* Sandoz Agro AG, CH-4108 Witterswil

** Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität, Robert-Koch-Str. 26, 48149 Münster

wobei besonders die Bedeutung der Tiere am Stoffumsatz und die Interaktionen zwischen Mikroorganismen und Tieren z.T. ungeklärt sind (MITCHELL & NAKAS 1986, EDWARDS ET AL. 1988). Nahrungsnetz-Modelle (u.a. DE RUITER ET AL. 1993) sind zwar hilfreich, beschreiben Regelmechanismen jedoch nicht ausreichend. Bei der Steuerung der Mikroorganismen durch abiotische Faktoren ist vor allem die unzureichende Kenntnis der Vorgänge zu nennen, die bei niedrigen Temperaturen ablaufen (HERBERT & CODD 1986).

Im Rahmen von Stoffkreislaufbetrachtungen bestehen weiterhin erhebliche Forschungsdefizite hinsichtlich der Bewertung. Im Falle der Mikroorganismen kann zwar die Bedeutung der Gesamtaktivität für den Stoffumsatz relativ gut bewertet werden, das Wissen über den Anteil einzelner Arten an diesen Prozessen ist jedoch unzureichend. Insbesondere der Diversität und Elastizität von mikrobiellen Populationen sollte im Hinblick auf die wichtige Funktion der Mikroorganismen in Ökosystemkreisläufen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden (HAWKSWORTH 1991, BERENDSE 1993). Die Diversität von Vegetation und Fauna ist dagegen bezüglich der Ökosystemfunktionen wesentlich besser untersucht (SCHULZE & MOONEY 1993). Im Vergleich zu den Tieren besteht bei den Mikroorganismen außerdem großer Nachholbedarf bei der Identifizierung von Arten, die als Indikatororganismen für Veränderungen im Ökosystem herangezogen werden können. Diese sind vor allem für die Bewertung der Elastizität von Systemen wichtig (u.a. ULRICH 1987, TAMM 1991). Wie schnell kann sich ein Ökosystem nach einem Eingriff wieder auf den ursprünglichen Zustand einstellen? Wie schnell kann der gestörte Kreislauf innerhalb des Systems wieder geschlossen werden? Zur Beurteilung anthropogener Einflüsse ist es notwendig, die Entwicklung eines gestörten Ökosystems im Laufe der Sukzession zu verfolgen und abzuklären, ob ein vollkommen neues System entsteht. Ganz besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang die Frage der Redundanz (LAWTON & BROWN 1993). Welche Organismen können nach einem Eingriff unter Umständen durch andere ersetzt werden und somit eventuell auch ihre Funktion im Stoffkreislauf übernehmen?

Der Forschungsbedarf im Hinblick auf Stoffflüsse im Boden ist unterschiedlich groß. Traditionell nimmt die Erforschung der Nährstoffnachlieferung innerhalb von Kreisläufen in Agrarökosystemen einen breiten Raum ein (u.a. STEWART ET AL. 1983, ANDRÉN ET AL. 1990, PEARSON 1992). Forschungsbedarf besteht vor allem in Regionen außerhalb Europas (PAOLETTI ET AL. 1993). Aber auch in Mitteleuropa sind viele bodenökologische Prozesse auf Standorten mit veränderter Landnutzung (z.B. nachwachsende Rohstoffe, Extensivierung) noch ungeklärt. Innerhalb von Waldökosystemen ist der Erfassung der Stoffkreisläufe immer schon viel Aufmerksamkeit gewidmet worden (u.a. MELILLO & GOSZ 1983, ELLENBERG ET

AL. 1986). Im Rahmen der Waldschadensforschung ist dieses Interesse weiter gestiegen (u.a. ULRICH 1987, FEGER 1993, KREUTZER & GÖTTLEIN 1991). Demgegenüber steckt die Untersuchung von Stoff- und Energiekreisläufen in naturnahen Ökosystemen, z.B. Feuchtgebieten (MITSCH 1994), als auch in anthropogen stark gestörten Systemen (PULFORD 1991, SIMON & FRITSCH 1993) noch in den Anfängen.

Methoden zur Erfassung von Stoffkreisläufen im Boden sind im Prinzip vorhanden (u.a. HARRISON ET AL. 1990), sie müssen aber an die jeweilige Fragestellung angepaßt werden. Neuere Entwicklungen in der Molekularbiologie sind auch für die Untersuchung von Stoffflüssen vielversprechend (HARTMANN ET AL., im Druck). Bei der Erfassung bodenökologischer Prozesse ist sehr häufig ein spezieller Versuchsaufbau notwendig. Ebenso spielen Experimente mit Mikro- und Mesokosmen eine wichtige Rolle. Die Bilanzierung von Stoffflüssen muß über die Erfassung der Gesamtaktivität (z.B. Streuabbau) hinausgehen. Die Leistung von Organismengruppen bzw. einzelner Arten sollte genau erarbeitet werden. Methodische Schwierigkeiten bestehen in diesem Zusammenhang immer noch bei der Unterscheidung der Anteile an Bakterien und Pilzen. Untersuchungen mit ungestörten Bodenproben werden zwar vermehrt in Angriff genommen, aber es sind in diesem Bereich noch Methodenentwicklungen nötig. Die Charakterisierung von Stoffkreisläufen ist bei der Manipulation ganzer Ökosysteme (z.B. bei der Waldkalkung) in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. Eine besondere Rolle spielt dabei die Übertragbarkeit von Laborresultaten auf Freilanduntersuchungen. Auch für die Beurteilung von Stoffflüssen in der Rhizosphäre und an anderen Grenzflächen des Bodens sind verbesserte Methoden erforderlich.

Eine Betrachtung von Stoff- und Energieflüssen in Böden ohne Einbeziehung anderer Teile des gesamten Ökosystems ist nicht möglich (u.a. BOLIN ET AL. 1983). Forschung zu Stoffkreisläufen ist demnach immer auch **Ökosystemforschung**. Die Berücksichtigung der Biosphäre ist unabdingbar, da die Pflanzenreste den heterotroph lebenden Bodenmikroorganismen als C- und Energie-Quelle dienen. Der Einbezug der Atmosphäre ist dann notwendig, wenn z.B. Aussagen über die Auswirkungen von Denitrifikation oder Methanemission gemacht werden. Die Einbeziehung der Hydro- und Lithosphäre ist beispielsweise im Zusammenhang mit der Nitratauswaschung wichtig. Neben den biochemisch ablaufenden Prozessen innerhalb von Kreisläufen müssen auch die chemischen und physikalischen Steuergrößen berücksichtigt werden.

Zur ökologischen Forschung gehört auf jeden Fall auch die Modellierung von Stoffkreisläufen. Man sollte sich jedoch nicht darauf beschränken, mit Hilfe existierender Modelle und großer Datenmengen immer neue Prognosen abzugeben. Die Grundlagenforschung zur Klärung bestimmter Teilprozesse der prinzipiell bekannten Stoffkreisläufe kommt häufig zu kurz.

Literatur:

- ANDRÉN, O., LINDBERG, T., PAUSTIAN, K. & T. ROSSWALL (eds.) (1990): Ecology of arable land - organisms, carbon and nitrogen cycling. *Ecol. Bull.* 40.
- BERENDESE, F. (1993): Ecosystem stability, competition, and nutrient cycling. In: Schulze, E.-D. & H.A. Mooney (eds.): *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Verlag, Berlin. S. 409-432.
- BOLIN, B. & R.B. COOK (eds.) (1983): *The major biogeochemical cycles and their interactions*. John Wiley & Sons, Chichester, 526 S.
- BOLIN, B., CRUTZEN, P.J., VITOUSEK, P.M., WOODMANSEE, R.G., GOLDBERG, E.D. & R.B. COOK (1983): Interactions of biogeochemical cycles. In: Bolin, B. & R.B. Cook (eds.): *The major biogeochemical cycles and their interactions*. John Wiley & Sons, Chichester, S. 1-40.
- COLE, J.A. & S.J. FERGUSON (eds.) (1988): *The nitrogen and sulphur cycles*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 490 S.
- DE RUITER, P.C., VAN VEEN, J.A., MOORE, J.C. & L. BRUSSAARD (1993): Simulation of nitrogen mineralisation based on food web interactions in different soil ecosystems. In: Eijsackers, H.J.P. & T. Hamers (eds.): *Integrated Soil and Sediment Research: A basis for proper protection*. Selected Proc. of the 1th European Conference on integrated Research for Soil and Sediment Protection and Remediation (EUROSOL), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. S. 133-136.
- EDWARDS, C.A., STINNER, B.R., STINNER, D. & S. RABATIN (eds.) (1988): *Biological interactions in soil*. Elsevier, Amsterdam, 377 S.
- ELLENBERG, H., MEYER, R. & I. SCHAUERMANN (Hrsg.) (1986): *Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986*. Stuttgart, 507 S.
- FEGER, K.H. (1993): *Bedeutung von ökosysteminternen Umsätzen und Nutzungseingriffen für den Stoffhaushalt von Waldlandschaften (Habilitationsschrift)*. Freiburger Bodenkundl. Abh. 31, 237 S.
- HARRISON, A.F., INESON, P. & O.W. HEAL (eds.) (1990): *Nutrient Cycling in terrestrial ecosystems. Field methods, applications and interpretation*. Elsevier Applied Science, London.
- HARTMANN, A., ABMUS, B., KIRCHHOF, G. & M. SCHLÖTER (im Druck): *Direct approaches to study soil microbes*. In: Wellington, E.M. & J.D. van Elsas (eds.): *Modern soil microbiology*. Cambridge University Press.
- HAWKSWORTH, D.L. (ed.) (1991): *The biodiversity of microorganisms and invertebrates: Its role in sustainable agriculture*. CAB International, London, 302 S.
- HERBERT, R.A. & G.A. CODD (eds.) (1986): *Microbes in extreme environments*. Academic Press, London, 329 S.
- JORGENSEN, S.E. (1992): *Interpretation of ecosystem theories: a pattern*. *Ecology & Environment* Vol. 1, Kluwer Dordrecht, 383 S.
- KREUTZER, K. & A. GÖTTLEIN (Hrsg.) (1991): *Ökosystemforschung Högwald - Beiträge zur Auswirkung von saurer Beregnung und Kalkung in einem Fichtenaltbestand*. *Forstw. Forschungen* 39, 261 S.
- LAWTON, J.H. & V.K. BROWN (1993): *Redundancy in ecosystems*. In: Schulze, E.-D. & H.A. Mooney (eds.): *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Verlag, Berlin. S. 255-270.
- MELILLO, J.M. & J.R. GOSZ (1983): *Interactions of biogeochemical cycles in forest ecosystems*. In: Bolin, B. & R.B. Cook (eds.): *The major biogeochemical cycles and their interactions*. John Wiley & Sons, Chichester, S. 177-222.

- METTING, F.B. Jr. (1993): Structure and physiological ecology of soil microbial communities. In: Metting, F.B. Jr. (ed.): Soil microbial ecology - applications in agricultural and environmental management. New York. S. 3-25.
- MITCHELL, M.J. & J.P. NAKAS (eds.) (1986): Microflora and faunal interactions in natural and agroecosystems. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 499 S.
- MITSCH, W.J. (ed.) (1994): Global Wetlands: Old world and new. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Sausanne. 967 S.
- PAOLETTI, M.G., FOISSNER, W. & D. COLEMAN (1993): Soil biota, nutrient cycling and farming systems. Lewis Publishers, Boca Raton, 314 S.
- PEARSON, C.J. (ed.) (1992): Ecosystems of the world. Vol. 18. Field Crop Ecosystems. Elsevier. Amsterdam.
- PULFORD I.D. (1991): Nutrient provision and cycling in soils in urban areas. In: Bullock, P. & P.J. Gregory (eds.): Soils in the urban environment. Blackwell Scientific Publication, Oxford. S. 119-138.
- SCHULZE, E.-D. & H.A. MOONEY (eds.) (1993): Biodiversity and ecosystem function. Springer Verlag. Berlin. 510 S.
- SIMON, K.H. & U. FRITSCH (1993): Stoff- und Energiebilanzen. In: H. Sukopp & R. Wittig (Hrsg.): Stadtökologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. S. 319-347.
- SMITH, J.L. (1993): Cycling of nitrogen through microbial activity. In: Hatfield, J.L. & B.A. Stewart (eds.): Soil biology: Effects on soil quality. Lewis Publishers, Boca Raton. S. 91-120.
- STEVENSON, F.J. (1986): Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley & Sons Publication, New York, 367 S.
- STEWART, J.W.B., COLE C.V. & D.G. MAYNARD (1983): Interactions of biogeochemical cycles in grassland ecosystems. In: Bolin, B. & R.B. Cook (eds.): The major biogeochemical cycles and their interactions. John Wiley & Sons, Chichester, S. 247-270.
- STOLP, H. (1988): Microbial ecology. Organisms - habitats - activities. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 308 S.
- TAMM, C.O. (1991): Nitrogen in terrestrial ecosystems. Questions of productivity, vegetational changes, and ecosystem stability. Ecological Studies 81, Springer Verlag, Berlin, 116 S.
- ULFILOVA, B., KUNC, F. & V. VANCURA (1988): Nutrient and energy sources of microbial populations in ecosystems. In: V. Vancura & F. Kunc (eds.): Soil microbial associations. Control of structures and functions. Developments in agricultural and managed-forest ecology 17. S. 15-156
- URRUTI, B. (1987). Stability, elasticity, and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. In: Schulze, E.-D. & Zwölfer, H. (eds.): Potentials and limitations of ecosystem analysis. Ecological Studies 61, Springer Verlag, Berlin. S. 11-49.
- YANAGITA, T. (1990): Natural microbial communities. Ecological and physiological features. Springer, Berlin, 487 S.

Methoden in der Bodenökologie

von

Kandeler, E.*, E. Belotti** und A. Hartmann***

1. Einleitung

An den Beginn der Zusammenfassung sollen einige grundsätzliche Aussagen gestellt werden, die in der Diskussion eine große Rolle spielten. In der Bodenökologie werden systemorientierte Arbeiten durchgeführt (Crossley et al. 1991). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit integrierender Forschungsansätze (siehe auch Protokoll der Arbeitsgruppe "Bodenschutz"). Diese können in der geschickten Kombination bestehender (und neuer) Einzelmethoden der Bodenchemie, Bodenphysik und Bodenbiologie oder im Einsatz integrierender Methoden (z.B. Studium der Interaktion von Organismen in Mesokosmen) bestehen. Vielfach wurde auch darauf hingewiesen, daß bodenökologische Forschung auf verschiedenen Skalenebenen notwendig ist und daß die Vernetzung der methodischen Ansätze und die Vernetzung der Ergebnisse der einzelnen Ebenen ein wichtiges Ziel in der Bodenökologie sein sollte. Für die Auswertung bodenökologischer Ergebnisse wurde auf die Verwendung von multivariater Statistik und Geostatistik verwiesen.

2. Methoden der Grundlagenforschung der Bodenökologie

Der erste Teil der Diskussion konzentrierte sich auf die Frage, welche Methoden zur Zeit für verschiedene bodenökologische Fragestellungen eingesetzt werden.

2.1 Charakterisierung von Bodenorganismen und Populationen

In den letzten Jahren versuchte man, molekularbiologische Methoden für bodenökologische Fragestellungen zu adaptieren. Außerdem wurde die substrat-induzierte Respiration und die Fumigation-Extraktions-Methode als Maß für die mikrobielle Biomasse diskutiert. Die Charakterisierung von Zersetzergesellschaften wurde als wichtiger bodenökologischer Ansatz genannt.

Eine Einführung zum Thema "Molekulare Analytik mikrobieller Populationen in Bodenmikrohabitaten" erfolgte von Dr.A.Hartmann (siehe Abbildung 1). Zur Analyse von Populationsstruktur und Funktion mikrobieller Biozönosen in Bodenmikrohabitaten (z.B. Rhizosphäre, Aggregate, "hot spots" der Mineralisation) können neue molekulare Methoden eingesetzt werden. Die Fettsäurespektren von aus Bodenproben isolierten Phospholipiden und Lipopolysacchariden können über die Diversität und das Vorhandensein von spezifischen

* Institut für Bodenwirtschaft, Densgasse 31, A-1200 Wien

** OKOplan GmbH, Kurze Gasse 10 a, 71063 Sindelfingen

*** GSF - Institut für Bodenökologie, Postfach 1129, 85758 Oberschleißheim

Methoden in der Bodenökologie

Aufklärung von Struktur und Funktion von Bodenbiozönosen in Mikrohabitaten

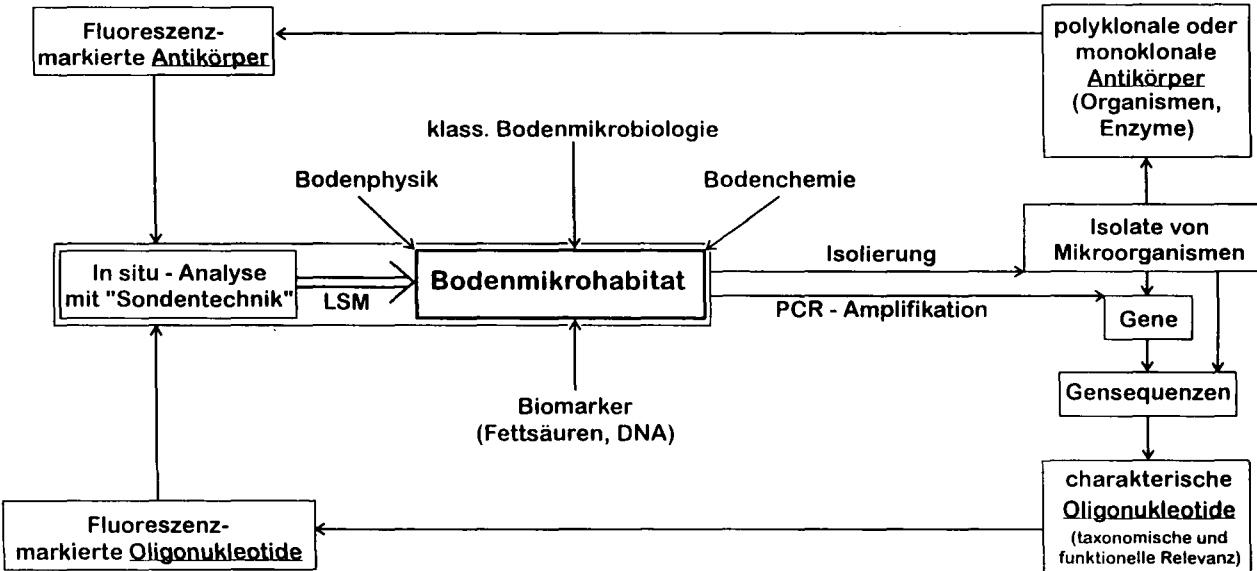


Abb. 1: Methoden in der Bodenökologie, LSM = Laser Scanning Mikroskop

Gruppen von Mikroorganismen (z.B. Pilze/Bakterien) Aufschluß geben (Zelles und Bai 1993). Die Analyse des Genpools nach Isolierung und Reinigung der DNA kann durch Schmelz- und Reassoziationskinetiken einerseits Aufschluß über die Diversität der Mikroflora geben (Torsvik et al. 1990) und andererseits durch die Anwendung von Polymerasekettenreaktion spezifische Populationen und Leistungspotentiale identifizieren. Insbesondere die Analyse von ribosomalen Genen (16S und 23S r-RNA) bietet dabei die Möglichkeit, art-, gattungs- und gruppenspezifische Oligonukleotide zu entwickeln. Mit deren Hilfe können fluoreszenz-markierte Sonden hergestellt werden, die eine in-situ Einzelzellanalyse von aktiven Mikroorganismen erlauben (Aßmus et al. 1995). Durch diesen Ansatz kann auch die Vielzahl von bisher nicht kultivierbaren Mikroorganismen angesprochen werden. Ergänzend können für Isolate von Bodenorganismen poly- und monoklonale Antikörper entwickelt werden, die mit Fluoreszenzfarbstoffen gekoppelt eine bis zur Stammebene spezifische in-situ Analyse erlauben (Schloter et al. 1995 und Hartmann et al. 1995). Mit Hilfe von Gensonden für Enzymstrukturgene sollte zukünftig auch eine in-situ Funktionsanalyse möglich werden.

Die mikroskopische Analyse komplexer Bodenmikrohabitate ist durch die konfokale Laser Scanning Mikroskopie (LSM) in Kombination mit Bildverarbeitung möglich geworden (Aßmus et al. 1995, Hartmann et al. 1995). Zusammen mit einer ebenfalls auf Mikrohabitate gerichtete Analyse bodenphysikalischer und bodenchemischer Parameter (z.B. Dünnschlifftechnik) sollte eine ökologische, habitatbezogene Analyse von mikrobiellen Prozessen möglich werden. Mit Hilfe mathematischer Systemmodellierung sollten ferner die Ergebnisse auf höherskalige Ebenen integriert werden.

2.2. *Interaktion von Bodenorganismen*

Interaktion von Bodenorganismen kann man in statischen Systemen oder Durchflußsystemen im Labor untersuchen. Die einzelnen Mikrokosmen variieren dabei sehr stark in ihrer Komplexizität. Im Freiland werden weiters unterschiedliche Mikro- und Mesokosmen eingesetzt. Sehr häufig wird die Exponierung von Streubeuteln angewandt. Eine Verbesserung dieses Systems stellte die von Dr.G.Eisenbeis entwickelte Minicontainer-Methode dar (Paulus 1993, Lenz 1994, Eisenbeis et al., 1995). Mit dieser Methode ist es möglich, im Freiland geringe Mengen unterschiedlicher Substrate unterschiedlichen Tiergrößenklassen anzubieten. Weiters wurde die Anwendung von Mesokosmen diskutiert. Nach Odum (1984) sind Mesokosmen "partially enclosed outdoor experimental setups", deren Ausmaße je nach den Anforderungen der betreffenden Fragestellung gewählt werden können. Der Vorteil in der Verwendung von Mesokosmen besteht vor allem in der Möglichkeit der Replikation, einer fundamentalen Anforderung an freilandökologische Fragestellungen (Kampichler und Kandeler 1995).

2.3. *Wechselwirkung zwischen Bodenorganismen und Pflanzen*

Diese Fragestellung wird häufig durch die Kombination von bodenchemischen und bodenmikrobiologischen Methoden untersucht. Als Beispiel wurde die Kombination von Methoden zur Erfassung der Nährstoffdynamik mit mikrobiologischen Methoden z.B. in

Rhizotronen genannt. Molekulargenetische Methoden (PCR, Sonden), immunologische Methoden (DAS-ELISA), Tracer-Methoden und mikroskopische Techniken (EM, Laser-Scanning) werden zusätzlich eingesetzt (siehe auch Protokoll der Arbeitsgruppe "Rhizosphäre").

2.4. Wechselwirkungen zwischen Bodenorganismen und der organischen Substanz

Auf diesem Gebiet wird schwerpunktmäßig die Umsetzungsdynamik verschiedener organischer Substanzen untersucht. Methoden zur Größen- und Dichtenfraktionierung der organischen Substanz wurden für diese Fragestellungen adaptiert und teilweise auch mit bodenmikrobiologischen Methoden kombiniert. Folgende Methoden wurden diskutiert: Tracer-Methoden, Kalorimetrie, Mikro- und Makromorphologie.

2.5. Charakterisierung des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen und Pflanzen.

Für diese Fragestellungen kann in vielen Fällen auf die Methoden der Bodenchemie und Bodenphysik zurückgegriffen werden. Ausführlich wurde die Verwendung der Methoden der Mikromorphologie diskutiert (z.B. Lichtmikroskopie, Computertomographie, Röntgen, Färbetechniken).

3. Angewandte Bodenökologie

Im zweiten Teil der Diskussion wurde überlegt, welche Methoden in der Angewandten Bodenökologie verwendet werden sollten. Die Gruppe kam zu dem Schluß, daß die bisher genannten Methoden auch für die Lösung angewandter Fragestellungen geeignet sind. Für Bodenbiologisches Monitoring wird in der Regel auf komplexe Versuchsansätze verzichtet und auf Methoden der Bodenbiologie zurückgegriffen. Die Verbesserung und die ökologische Bewertung verschiedener Sanierungstechniken wurde als weiteres Ziel der angewandten Bodenökologie formuliert.

4. Forschungsdefizite und Zukunftsperspektiven

Es wurde festgestellt, daß molekularbiologische Methoden für den Einsatz in der Bodenökologie noch weiterentwickelt werden müssen. Diese Methoden sollten in der Zukunft für Fragen der in situ-Identifizierung, Quantifizierung und dem Aktivitätsgrad von Mikroorganismen eingesetzt werden. Der Einsatz der Kalorimetrie für die Bestimmung von Energieinhalten und -flüssen sollte verstärkt genutzt werden. In der Mikromorphologie beginnt derzeit die Erfassung der 3. Dimension des Bodengefüges mit Hilfe serieller Schnitte und computergestützter Auswertung. Dabei sollte eine räumliche Auflösung im Mikromaßstab erreicht werden.

Methoden zur Erfassung verschiedener Aufbauprozesse sollten in der Zukunft entwickelt werden. Weiters sollte man sich stärker um die räumliche Integration der einzelnen Prozesse

bemühen. Der Wunsch nach integrierter Auswertung auch als Basis für zukünftige Modellbildungen wurde diskutiert.

Literatur

- Aßmus B., Hutzler P., Kirchhof G., Amann R., Lawrence J.R. and Hartmann A. (1995) In situ localization of *Azospirillum brasilense* in the rhizosphere of wheat with fluorescently labeled rRNA-targeted oligonucleotide probes and scanning confocal laser microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 1013-1019.
- Crossley D.A. Jr., Coleman D.C., Hendrix P.F., Cheng W., Wright D.H., Beare M.H. and Edwards C.A. (1991) *Modern techniques in soil ecology*. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.
- Eisenbeis G., Dogan H., Heiber T., Kerber A., Lenz R. und Paulus R. (1995) Das Minicontainer-System - ein bodenökologisches Werkzeug für Forschung und Praxis. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* (eingereicht).
- Hartmann A., Aßmus B., Kirchhof G. and Schloter M. (1995) Direct approaches to study soil microbes. In: *Modern Soil Microbiology* (eds: E.M. Wellington and J.D. van Elsas), Cambridge University Press (im Druck).
- Lenz R. (1994) Untersuchungen zur Auswirkung von Kompensationskalkung eines Fichtenwaldbodens im Hunsrück mit Hilfe des Bait-lamina-Tests und des Minicontainer-Tests. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Mainz.
- Kampichler C. and Kandeler E. (1995) Microbial-faunal interactions in soils. In: Schinner F., Öhlinger R., Kandeler E., Margesin R. (eds) *Methods of Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, in press.
- Odum E.P. (1984) The mesocosm. *BioScience* 34:558-562.
- Paulus R. (1993) Vergleichende Untersuchungen der Biologischen Aktivität Mainzer Böden mit Hilfe neu entwickelter Testverfahren: "Bait-lamina" und "Minicontainer"-Test. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Mainz.
- Schloter M., Aßmus B. and Hartmann A. (1995) The use of immunological methods to detect and identify bacteria in the environment. *Biotech. Adv.* 13, 75-90.
- Torsvik V., Goksoyr J., Daae F.L. (1990) High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 56, 782-787.
- Zelles L. and Bai Q.Y. (1993) Fractionation of fatty acids derived from soil lipids by solid phase extraction and their quantitative analysis by GC-MS. *Soil Biol Biochem* 25, 495-507.

Bodenökologie und Organische Substanz

von

Kögel-Knabner, I.¹ und L. Beyer²

Einleitung

Die Definition bzw. Eingrenzung der „Bodenökologie“, wie sie in der Arbeitsgruppe „Organische Substanz“ diskutiert wurde, ist bereits in die allgemeine Begriffsbestimmung eingeflossen (Broll, 1995 in diesem Band). Dennoch sollen einige Aspekte, die besonders in der Arbeitsgruppe „Organische Substanz“ diskutiert wurden, hier dargestellt werden, bevor die Forschungsdefizite in diesem Bereich benannt werden.

In der Bodenökologie werden sowohl grundlegende wie auch anwendungsorientierte Aspekte bearbeitet. Bodenökologie ist daher nach dem Verständnis der Arbeitsgruppe „Organische Substanz“ nicht als „angewandte Bodenkunde“ zu verstehen. Insbesondere kann die Bodenökologie auch keine Bewertung von Böden oder Bodeneigenschaften liefern, wohl aber können die Ergebnisse, die aus bodenökologischen Untersuchungen hervorgehen, Grundlagen für eine Bewertung liefern.

Bewertung setzt immer ein Kriteriensystem voraus, das von einer Zielvorgabe abhängig ist. Grundsätzlich sollte daher eine strikte Trennung zwischen einer Bewertung und einer Beurteilung vorgenommen werden (Weidemann, 1990). Bewertungen orientieren sich an ethischen, politischen, ökonomischen o. ä. Maßstäben, sie sind also nicht wertneutral. Bewertungskriterien und -maßstäbe können zudem einem zeitlichen Wandel unterliegen. Unter einer Beurteilung wird dagegen eine naturwissenschaftliche Aussage über die Konsequenzen eines Eingriffs in den Boden, in ein Ökosystem, verstanden (Weidemann, 1990). Sie ist Voraussetzung für die Bewertung. Insofern ist die Mitwirkung der Bodenkunde und insbesondere der Bodenökologie bei der Lösung von Problemen des Bodenschutzes und des

¹ Arbeitsgruppe Bodenkunde und Bodenökologie, Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum, NA 6/134, 44780 Bochum.

² Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, CAU Kiel, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel

Naturschutzes unabdingbar. Bodenökologie liefert die Beurteilungsgrundlagen, auf denen eine Bewertung von Bodenbelastungen im Hinblick auf Ziele des Boden- oder Naturschutzes erfolgt. Vor allem bei den Nutzsyste men hängen Bodenökologie und Bodenschutz sehr eng zusammen.

Forschungsdefizite

Die Arbeitsgruppe „Organische Substanz“ konnte einen weiten Bereich von Forschungsdefiziten und ungelösten Fragestellungen definieren, die einen engen Bezug zu bodenökologischer Forschung haben. Grundsätzlich bilden die Böden mit ihrer organischen Substanz sowie den organischen Auflagen einen wesentlichen Teil terrestrischer Ökosysteme. Ein langfristiges Ziel bodenökologischer Arbeiten ist die Beschreibung und das Verständnis der Eigenschaften und der Rolle organischer Substanzen in Böden. Im Hinblick auf die Anforderungen eines modernen Bodenschutzes sollte unser Augenmerk auf die Erhaltung der organischen Substanz in Böden und ihrer Qualität zielen. Allerdings stehen wir in der Beschreibung der Eigenschaften und der Funktion der organischen Substanz in Böden im Vergleich zu den mineralischen Bestandteilen noch am Anfang.

In den letzten Jahren wurden große Fortschritte in der analytischen Charakterisierung der organischen Substanz mittels naßchemischem oder thermischem Abbau in Kombination mit chromatographischen Methoden, wie auch in der Anwendung spektroskopischer Methoden erzielt. So ist es inzwischen möglich, den Anteil verschiedener Strukturkomponenten, z.B. den Anteil aromatischer Humusbausteine, anzugeben. Dennoch ist eine solche Beschreibung wenig hilfreich, wenn Aussagen über die Eigenschaften der organischen Substanz im Hinblick auf bodenökologische Fragestellungen gemacht werden sollen. Die im vorhergehenden beschriebene Problematik führt deshalb zu großen Schwierigkeiten bei der Anwendung oder Übertragung der Befunde in C-Kreislaufmodelle. Diese gehen meist von mehreren Pools organischer Substanz mit unterschiedlichen Umsatzraten aus. Die Umsetzungsprozesse der organischen Substanz in landwirtschaftlich genutzten Böden lassen sich mit diesen Modellen meist relativ gut beschreiben. Allerdings werden diese Pools mehr oder weniger als „black box“ verstanden, eine strukturelle Charakterisierung der organischen Substanz dieser Pools unterbleibt. Es erscheint daher dringend notwendig, zur Charakterisierung von Eigenschaften der organischen Substanz sinnvolle Parameter zu bestimmen. Dies sollte langfristig auch zur Entwicklung von einfach bestimm baren Größen führen, die im Rahmen der Bodenkartierung erfaßt bzw. mittels Bodeninformationssystemen abgeschätzt werden könnten. Ein wichtiger Parameter ist z.B. die für Austausch- und Sorptionsprozesse zugängliche Oberfläche der organischen Substanz in ihrer natürlichen Lagerung im Boden (Blume und Ahlsdorf, 1993). Zu

überdenken ist auch, welche Fraktionen der organischen Substanz für solche Untersuchungen herangezogen werden, bzw. ob die untersuchten Fraktionen relevant sind für bodenökologische Fragestellungen. Repräsentiert die als Huminsäure- oder Fulvosäurefraktion isolierbare organische Substanz ein Kompartiment des C-Kreislaufs, oder ist es nötig, andere Fraktionierungsverfahren, wie z.B. physikalische Verfahren, anzuwenden oder neu zu entwickeln? Sicherlich besteht noch weitreichender Definitionsbedarf, wenn Aspekte der Stabilisierung der organischen Substanz in Böden bearbeitet werden (Kögel-Knabner und Guggenberger, 1995). Insbesondere die Begriffe „Humifizierung“ und „Humifizierungsgrad“ bedürfen einer genaueren begrifflichen Eingrenzung, damit für ihre Untersuchung relevante Parameter gefunden werden können. Insgesamt ist festzustellen, daß noch ein weiter Weg zurückzulegen ist, wenn wir von der Beschreibung strukturchemischer Aspekte zu bodenökologisch relevanten Aussagen kommen wollen.

Viele Arbeiten, die sich mit dem globalen C-Kreislauf beschäftigen, haben gezeigt, daß wir über die Stabilisierung und Festlegung von Kohlenstoff in Biomasse und Böden noch keine ausreichenden Informationen besitzen. Eine Übersicht über den Forschungsbedarf in dieser Hinsicht geben z.B. Lugo und Wisniewski (1992) oder Zepp und Sonntag (1995). Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, daß der C-Kreislauf nicht isoliert steht, sondern im Zusammenhang mit Wasser- und Nährstoffkreisläufen betrachtet werden muß. Viele Untersuchungen beschränken sich auf den humusreichen Oberboden. Es herrscht noch weitgehende Unkenntnis über die Menge und insbesondere die Eigenschaften der organischen Substanz des Unterbodens, die sich vermutlich stark von denjenigen der Oberbodenhorizonte unterscheidet.

In engem Zusammenhang mit diesen Fragen steht die angestrebte Definition eines optimalen Humusgehalts für landwirtschaftlich genutzte Böden (Körschens und Müller, 1994). Dabei ist nicht geklärt, ob sich diese Optimierung lediglich auf die Menge oder auch auf die Qualität der organischen Substanz bezieht. Zu berücksichtigen ist auch, daß eine Optimierung des Humusgehaltes bei landwirtschaftlich genutzten Böden im Spannungsfeld einer Vielzahl von Ansprüchen an den Boden als Pflanzenproduktionsstandort steht.

Ein weiteres ungeklärtes Problem sind die Eigenschaften und der Aufbau der Ton-Humus-Komplexe. Ihr Anteil im Boden hat vermutlich weitreichende Auswirkungen auf die Eigenschaften der organischen Substanz. Besonders wichtig in diesem Zusammenhang scheinen Fragen nach der Stabilität und Umsetzbarkeit der Ton-Humus-Komplexe zu sein, wie auch nach der Bedeutung dieser Verbindungen im Nahrungsnetz der Bodenorganismen. Es konnte gezeigt werden, daß die organische Substanz in der Tonfraktion der wenigen bisher untersuchten Böden aus langkettigen aliphatischen Verbindungen besteht (Guggenberger et al.,

1995). Auch hier sind aber noch viele Fragen offen, wie z.B. die Entstehung dieser Verbindungen oder der Einfluß von Bodenorganismen und verschiedener mineralischer Bestandteile auf die Bildung und die Eigenschaften organomineralischer Komplexe (Oades, 1993).

Die Bedeutung der im Bodenwasser gelösten organischen Substanz (DOM = dissolved organic matter) für Fragen des Schadstofftransports, des C-Kreislaufs und der Pedogenese wurde erst in den letzten Jahren erkannt. Der Einfluß von DOM auf die Mobilität von Schwermetallen und organischen Umweltchemikalien wurde in einer Vielzahl von Arbeiten untersucht. Allerdings beschäftigen sich nur wenige Arbeiten mit natürlich gelöster organischer Substanz. Die weitaus größere Anzahl von Ergebnissen wurde mit Fulvo- und Huminsäuren, häufig aquatischen oder sedimentären Ursprungs, erzielt (McCarthy und Zachara, 1989). Wenig bekannt ist über die DOM-Gehalte und -Flüsse in Böden. Hier beschränken sich die Kenntnisse auf nur wenige Bodentypen und Standorte, vor allem (Braunerde-)Podsole unter forstlicher Nutzung. Dies bedeutet auch, daß wir den Einfluß von DOM auf pedogenetische Prozesse noch nicht abschätzen können.

Erst in jüngster Zeit wurde vermutet, daß ein Teil der organischen Substanz in manchen Böden nicht direkt aus Resten abgestorbener Organismen stammt, sondern in Form von elementarem C, z.B. aus Verbrennungsprozessen, vorliegt (Haumaier und Zech, 1995). Viele Böden in urban-industriellen Räumen enthalten ebenfalls, bisher wenig beachtet, hohe Mengen an ähnlichen Substanzen, wie z.B. Kohle oder Ruß (Schmidt und Kögel-Knabner, 1995). Dies wirkt sich auf die Eigenschaften der Böden, wie auch auf die Umsetzungsraten der organischen Substanz aus. Analytisch ist es bisher nur unzureichend möglich, diese Substanzen in Stadt-, Halden- oder Kippenböden von der pedogenen organischen Substanz abzutrennen (Wu et al., 1995).

Weitreichende Defizite bestehen ferner bei der Definition funktionaler Eigenschaften der organischen Substanz. Dies ist besonders häufig dann der Fall, wenn Ergebnisse bodenökologischer Untersuchungen als Grundlage bei der Umsetzung von Aufgaben des Bodenschutzes dienen. Als Beispiele seien genannt:

- Stabilität von Böden
- Erosionsschutz
- Sorptionseigenschaften der organischen Substanz gegenüber Xenobiotika

Für solche bodenökologische Fragestellungen sind häufig summarische Eigenschaften der organischen Substanz von Bedeutung, wie z.B. auch im Hinblick auf die Austragsgefährdung

wasserlöslicher Stoffe. Die Übertragbarkeit von erfaßten Punktdaten auf die Fläche ist ebenfalls unzureichend gelöst, obwohl eine große Anzahl entsprechender Programme für die anorganische Phase bereits Anwendung findet. Oft ist es nicht möglich, alle relevanten Eigenschaften der organischen Substanz einzeln zu bestimmen, so daß es sinnvoll erscheint, Indikatoren und Summenparameter zur Beurteilung zu ermitteln. Ein gangbarer Weg könnte die Entwicklung von Minimal-Data-Sets sein, anhand derer die Erfassung von Eigenschaften und Parametern vereinheitlicht und in gewissem Rahmen standardisiert werden kann.

Dank

Wir danken den Teilnehmern der Arbeitsgruppe, insbesondere G. Weidemann, für die hilfreichen Anmerkungen bei der Ausarbeitung des Beitrags der Arbeitsgruppe „Organische Substanz“.

Literatur:

- Blume H.-P., Ahlsdorf B. (1993): Prediction of pesticide behaviour in soils by means of simple field tests. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 26, 313-332.
- Guggenberger G., Zech W., Haumaier L., Christensen B.T. (1995): Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soils. II. CPMAS and solution ¹³C NMR analysis. *Europ. J. Soil Sci.*, im Druck.
- Haumaier L., Zech W. (1995): Black carbon - possible source of highly aromatic components of soil humic acids. *Org. Geochem.*, im Druck.
- Kögel-Knabner I., Guggenberger G. (1995): Stabilisierungsprozesse der organischen Substanz in Böden. *Mittlgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.*, im Druck.
- Körshens M., Müller A. (1994): Nachhaltige Bodennutzung, gemessen am Ertrag sowie an C- und N-Bilanzen. *Arch. Acker-, Pfl. Boden.* 38, 373-381.
- Lugo A.E., Wisniewski J. (1992): Natural sinks of CO₂: Conclusions, key findings and research recommendations from the Palmas del Mar workshop. *Water, Air, Soil Pollut.* 64, 455-459.
- McCarthy J.F., Zachara J.M. (1989): Subsurface transport of contaminants. *Environ. Sci Technol.* 23, 469-502.
- Oades J.M. (1993): The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-400.

- Schmidt M. W. I., Kögel-Knabner I. (1995): Bedeutung der Struktur organischer Sorbenten für die Bindung hydrophober organischer Umweltchemikalien. *Z. geol. Wiss.* 1, im Druck.
- Weidemann G. (1990): Indikation, Beurteilung und Bewertung in der Ökotoxikologie. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 7, 577-581.
- Wu Q., Beyer L., Blume H.-P. (1995): Charakterisierung der organischen Bodensubstanzen ausgewählter Böden technogener Substrate. *Mittlgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.*, im Druck.
- Zepp R.G., Sonntag C. (Hrsg.): The role of nonliving organic matter in the earth's carbon cycle. *Environmental Sciences Research Report ES 16*, Wiley, Chichester, 1995.

Bodenökologie und Rhizosphäre

von

Merbach, W.* und W. Wiehe**

1. Einführung: Charakterisierung der Rhizosphäre

Die Betrachtung der Bodenökologie aus den Blickwinkel der Rhizosphärenforschung setzt zunächst die Definition des Begriffes "Rhizosphäre" voraus. Im vorliegenden Beitrag wird darunter der von Exsudaten beeinflusste und mit Mikroben angereicherte Wurzel-Boden-Kontaktraum verstanden, der durch intensive dynamische Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwurzeln, Mikroben, Bodentieren, organischen C- und N-Verbindungen und mineralischen Bodenbestandteilen gekennzeichnet ist (MERBACH 1995). Die Rhizosphäre stellt ein räumlich und zeitlich wechselndes Kompartiment des "Bodenökosystems" dar, das in immer neuen Mustern ("patch"-Dynamik, Mosaik-Zyklus-Theorie, vgl. JAX 1994) den wurzelfreien Raum durchwächst und sich infolge der C- bzw. Energielieferung der Pflanze dramatisch vom wurzelfreien Boden unterscheidet. Dies betrifft gleichermaßen die Intensität der stofflichen Umsätze, die Populationsdynamik der Organismen sowie die chemisch-physikalischen Bedingungen und gilt zumindest für die Zeit, in der die Wurzeln aktiv sind.

2. Definition der Bodenökologie und ihre Beziehung zur Rhizosphärenforschung

Die Bodenökologie ist die Wissenschaft von den dynamischen Wechselwirkungen der Bodenorganismen untereinander bzw. der Bodenorganismen mit ihrem Lebensraum. Dabei werden die Pflanzenwurzeln zu den Organismen gerechnet. Die Bodenökologie ist ein **eigenständiger Wissenschaftszweig** und besitzt mit der Bodenbiologie, ebenso wie mit anderen bodenkundlichen Disziplinen, gemeinsame Schnittmengen. Die Rhizosphärenforschung kann im Sinne der oben aufgeführten Definition (vgl. Einführung) als Zweig der Bodenökologie gelten, die nicht nur mit den bodenkundlichen Fächern, sondern auch mit der Pflanzenernährung und -physiologie Überschneidungen hat.

* Institut für Rhizosphärenforschung im Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF), Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg

** Zentrales analytisches Labor der Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Postfach 101344, 03013 Cottbus

3. Forschungsdefizite aus der Sicht der Rhizosphärenforschung

Die Mechanismen und die Regulation der im Wurzel-Boden-Kontaktraum ablaufenden Prozesse werden derzeit nur ungenügend verstanden. Forschungsdefizite bestehen u. a. bei folgenden Fragen (vgl. z. B. MERBACH 1995):

- Wachstumsverhalten und Leistungsfähigkeit der Pflanzenwurzeln in Abhängigkeit von endogenen und exogenen Faktoren (z. B. vom Gefüge, von anthropogener Beeinflussung)
- **Stoffliche Charakterisierung** (primär) wurzelbürtiger Verbindungen (räumliche Verteilung, Löslichkeitsfraktionierung, Auftrennung und Identifizierung von Einzelverbindungen, Abhängigkeit von der Mikroorganismenbesiedlung)
- **Funktionelle Charakterisierung** der wurzelbürtigen Verbindungen bzw. der aus ihnen entstandenen (mikrobiellen) Umsetzungsprodukte
- Beeinflussung der pflanzlichen **Stoffaufnahme** und der ihr vorausgehenden Prozesse (Massenfluß, Diffusion, Kationenaustausch Wurzel-Bodenkolloide, auch Rückwirkungen auf Wurzeloberfläche und Aufnahmeleistung)
- Charakterisierung des spezifischen "ökochemischen" Mikromilieus durch Wurzelauausscheidungen und ihre mikrobiellen Umsetzungsprodukte (Stoffmobilisierung, -festlegung, Anpassungsstrategien von Pflanzen an Standort und Bewirtschaftung, z. B. H⁺, Säuren, Enzyme)
- Charakterisierung des spezifischen "ökologischen" Mikromilieus infolge (primär) wurzelbürtiger Verbindungen (Substrat-, Energiequelle, Signale für Organismen, Allelochemie)
- Prinzipien der **Wirkung der Mikroorganismen auf Pflanzen** (Nährstoffaneignung, insbesondere auch N₂-Fixierung und VAM, Phytohormone, Toxine, Konkurrenz)
- Tonpolysaccharidkomplexe als mögliche "**Kondensationskerne**" für Strukturen
- Verständnis des **mikroökosystemaren Wirkungsgefüges im durchwurzelten Bodenraum** als Netzwerk räumlich und zeitlich wechselnder "funktionaler" Kompartimente (einschließlich mathematischer Modellbildung)
- Nutzung von **Rhizosphärenorganismen zur Bodensanierung** (Ist es möglich, diese mit den Pflanzenwurzeln bzw. deren Rhizosphäre in den Boden einzubringen?)

4. Methodenarsenal der Bodenökologie

Bodenökologische Forschung ist dadurch gekennzeichnet, daß im Rahmen systemarerer (eben "ökologischer") Denkansätze oder Versuchsanstellungen spezifische, aus verschiedenen Wissenschaftszweigen stammende Methoden kombiniert werden, wobei Schwerpunkte bei der Erfassung der Stoff-, Energie- und Informationsflüsse sowie bei der Populationsdynamik von Mikroorganismen liegen. Aus der Sicht der Rhizosphärenforschung ist die interdisziplinäre Anwendung insbesondere folgender Methoden erforderlich (vgl. z. B. MERBACH 1995, HARTMANN et al. 1995):

- Erfassung von Mikroorganismen mit Hilfe von molekulargenetischen Verfahren (PCR, DNA-Sonden) immunologischen Methoden (z. B. DAS-ELISA) sowie modernen Verfahren der Licht- und Elektronenmikroskopie (Laserscanning, Fluoreszenzmikroskopie, Immunogoldmarkierung) (vgl. Reviews von SCHLOTTER et al. 1995, KLOEPFER u. BEAUCHAMP 1992)
- Einsatz von Tracern (stabile und radioaktive Isotope)
- Mikrosonden-, Endoskop- und Mikrofaser-Feststoff-Analytik in Verbindung mit einer differenzierten Rhizotrontechnik)

5. Bewertung der Ergebnisse bodenökologischer Forschung

Es sollten klar unterschieden werden (1) wissenschaftliche, (2) zielorientierte Bewertung sowie (3) eine Bewertung hinsichtlich einer Indikatoreignung für eine Zustandsanalyse der jeweiligen Umweltsituation.

- Als **wissenschaftliche Kriterien** gelten Reproduzierbarkeit, Allgemeingültigkeit und die Erkenntnis klar formulierbarer Gesetzmäßigkeiten genauso wie in anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen.
- Als **zielorientiertes Kriterium** kann z. B. das Nährstoffschließungsvermögen von Pflanzen als Anpassung an arme Standorte angesehen werden (Bodenfruchtbarkeit bzw. Ertragsicherheit in den Tropen!)
- Als **Bewertungskriterien zur Indikation** von Bodenbelastungen (z. B. Eutrophierung, Kontamination) könnten u. a. die Diversität (Bestimmung und Bewertung problematisch) bzw. die Stammspektren von Mikroorganismen, als solche zur Erkennung erhöhter Individuendichten pflanzenpathogener Organismen Indikatorpflanzen ("Fangpflanzen") genutzt werden.

6. Rolle der Rhizosphärenforschung innerhalb der Ökosystemforschung

Über die Rhizosphäre wird die Energie des Sonnenlichtes (und damit auch der überwiegende Teil der Stoff- und Informationsflüsse) in die Erdrinde eingeschleust. Dadurch wird der Boden überhaupt erst zum "lebenden Substrat". Daher ist die Kenntnis der Rhizosphärenprozesse eine Grundvoraussetzung zum Verständnis terrestrischer Ökosysteme, wenn man über die Beschreibung von Phänomenen und darauf basierenden "formalen" Voraussagen hinaus zu wissenschaftlich begründeten Prognosen kommen will.

Darüber hinaus kann die Rhizosphärenforschung möglicherweise durch spezifische und sehr empfindliche Methoden (anstelle von summarischen Methoden) zur **Kennzeichnung des Zustandes von Ökosystemen** beitragen.

7. Mögliche Beiträge der Rhizosphärenökologie

Die Rhizosphärenforschung kann spezielle Beiträge zur Beschreibung und Modellierung von Energie-, Stoff- und Informationsflüssen in Ökosystemen liefern. Infolge des hohen Energie- und Stoffeintrages dürfte die Rhizosphäre als ein typisches Modell für das Eindringen kurzzeitiger "Störkompartimente" in ein wesentlich länger stabiles Kompartiment (nämlich das Bodensubstrat als Ganzes) gelten. Somit sollte die Rhizosphärenforschung wichtige Ansatzpunkte zur Entwicklung von Theorien, wie der sog. "Patch-Dynamik" oder des "Mosaik-Zyklus-Konzeptes" in der Ökologie liefern (JAX 1994).

8. Stellung der Bodenökologie in der DBG

Die Bodenökologie sollte als **Querschnittsgruppe** der DBG (unabhängig von der Organisationsform) "installiert" werden. Der Vorteil einer Sektion (Vorschlag der Kommission IV an das Präsidium) läge in der zielgerichteten Organisation und damit vermutlich stärkeren Enbeziehung interessierter Mitglieder. Die Waldbodenökologie könnte in einer Querschnittsgruppe "Bodenökologie" verstärkt integriert werden.

Literatur

- HARTMANN, A., ASSMUS, B.; KIRCHHOF, F.; SCHLOTER, M.: Direct approaches for studying soil microbes, in: E.M.H. WELLINGTON (ed): *Modern Soil Microbiology 1995*, in press.
- JAX, K.: Mosaik-Zyklus und Patch-dynamics: Synonyme oder verschiedene Konzepte? Eine Einladung zur Diskussion. *Z. f. Ökologie und Naturschutz* **3**, 107 - 112 (1994)
- KLOEPPER, J.W.; BEAUCHAMP, C.J.: A review of issues related to measuring colonization of plant roots by bacteria. *Can. J. Microbiol.* **38**, 1219-1232 (1992)
- MERBACH, W. (Hrsg.): *Mikroökologische Prozesse im System Pflanze-Boden*. B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft Stuttgart-Leipzig 1995
- SCHLOTER, M.; B. ASSMUS; A. HARTMANN: The use of immunological methods to detect and identify bacteria in the environment. *Biotechn. Adv.* **13**, 75 - 90 (1995)

Bodenökologie und Waldökosysteme

von

Raspe, S. *, K.-H. Feger* und F. Makeschin**

1. Forschungsdefizite

Innerhalb der Waldökosystemforschung kommt der Bodenkunde aufgrund des traditionell ökosystemaren Ansatzes der Waldernährung eine Schlüsselrolle bei der Erforschung des Stoffhaushalts von Wäldern zu. Im Rahmen der Waldschadensforschung wurde daher auch die bodenökologische Forschung in Waldökosystemen stark gefördert. Dennoch verbleiben erhebliche Forschungsdefizite.

Untersuchungen zur mikrobiellen Aktivität, insbesondere zur Erfassung und Differenzierung mikrobieller Biomasse sind für das Verständnis von Stoffumsetzungen getrennt nach Straten von wachsendem Interesse. Die Prozesse der Streuzersetzung sowie die Morphologie der organischen Auflagen und die Humusdynamik sollten ebenfalls intensiv untersucht werden. Fragen der Autökologie von Bodenorganismen, insbesondere die Wechselwirkungen von Bodenmikroorganismen und Bodentieren, sowie der Regenerierbarkeit von Bodenbiozöosen stellen weitere Forschungsdefizite dar. Dies gilt auch für Rhizosphärenprozesse sowie die Charakterisierung der Mykorrhiza und ihrer Bedeutung. Weiterhin wäre es wünschenswert, Leitorganismen für Ökosystemprozesse und -zustände zu finden. Dies können sowohl Einzelorganismen als auch Organismengemeinschaften sein (Indikatorfunktion).

Weitere Schwerpunkte der bodenökologischen Forschung sind Ökosystemprozesse in Abhängigkeit von Bestockungswandel, Bewirtschaftungsformen sowie Sukzessionsformen, die starken Einfluß auf die Bestandesstruktur haben. Da sich die bodenökologische Forschung in Mitteleuropa bislang hauptsächlich auf Fichtenwirtschaftswälder konzentrierte, sollten in Zukunft verstärkt auch andere Bestandestypen in die Untersuchungen einbezogen werden.

Die Standortkartierung als klassische ökologische Bestandsaufnahme sollte bundesweit

* Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Bertoldstr. 17, 79085 Freiburg i. Br.

** Institut für Standortkunde und Agrarraumgestaltung, Weidenplan 14, 06114 Halle

vereinheitlicht und ausgebaut werden. Hierbei kommt der Humusformendynamik zur Erkennung langfristig gerichteter Verschiebungen eine besondere Bedeutung zu.

Ein verstärkter Forschungsbedarf besteht schließlich bezüglich der Wechselwirkungen zwischen den Waldökosystemen und ihren angrenzenden Landschaftsteilen. Bodenökologische Forschung sollte daher in Zukunft verstärkt auf Landschaftsebene durchgeführt werden, um den stofflichen Wechselwirkungen mit der Atmosphäre und Hydrosphäre gerecht zu werden.

2. Spezielle Methoden?

Der Bedarf und die Auswahl spezieller Methoden richten sich nach der jeweiligen Zieldefinition. Insofern stellt sich die Frage weniger nach spezifischen ökologischen Methoden, als vielmehr nach speziellen ökologischen Fragestellungen, die mit entsprechenden Methoden bearbeitet werden können.

Ein vordringlicher Bedarf an neuen Methoden für bodenökologische Fragestellungen innerhalb der Waldökosystemforschung wird nicht gesehen. Die bestehenden Methoden, die z.B. im Bereich der Bodenmikrobiologie vielfach für landwirtschaftlich genutzte Böden entwickelt wurden, müssen jedoch den speziellen Bedingungen in Waldökosystemen angepaßt werden. Hierbei kommt der weitgehend ungestörten Struktur der Oberböden bzw. deren Gefüge und der Langfristigkeit der auf ihnen stockenden Dauerkulturen in Waldböden eine besondere Bedeutung zu. Auch ist die kleinstandörtliche Variabilität in stärkerem Maße als in relativ homogenen landwirtschaftlichen Böden zu berücksichtigen. Allgemein sollte auf einer hochintegrierenden Systemebene (z.B. Streuabbau oder Stoffaustrag aus Landschaftseinheiten) gearbeitet werden.

Um die Vergleichbarkeit von Untersuchungen, vor allem auf Dauerbeobachtungsflächen und bei Monitoring-Programmen, zu erhöhen, sollte ein bodenökologisch arbeitender Arbeitskreis in der DBG auf eine Harmonisierung der Methoden hinwirken. Defizite werden hierbei vor allem im Bereich der Bodenfauna und Bodenmikrobiologie gesehen.

3. Bewertung bodenökologischer Untersuchungen

Bodenökologische Untersuchungen in Waldökosystemen liefern die Grundlage zur Beurteilung der Dynamik und Regenerationsfähigkeit von Standorten. Hieraus lassen sich wissenschaftlich fundierte Ziele des Bodenschutzes herleiten. Diese Ziele müssen sich an den Waldfunktionen (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion) orientieren. Dabei zwangsläufig auftretende Interessenskollisionen gegeneinander abzuwägen ist dagegen weniger Aufgabe der

Wissenschaft, als vielmehr der Politik. Daraus ergeben sich dann die gewünschten "Sollzustände" der Böden. Bei der Entwicklung von Maßnahmen zur Erreichung dieser "Sollzustände" liefert die bodenökologische Forschung grundlegende Beiträge.

In der aktuellen Diskussion um die "Bodenschutzkalkung" von Waldstandorten ist unbedingt eine standörtlich differenzierte Betrachtung notwendig. Vor dem Hintergrund weiter steigender N-Einträge in den meisten mitteleuropäischen Waldökosystemen gewinnt dieser Aspekt zunehmend an Bedeutung. An diesem Beispiel wird deutlich, daß weniger aus dem aktuellen Bodenzustand als vielmehr aus den in ihm ablaufenden biologischen und chemischen Prozessen geeignete Schutzmaßnahmen abgeleitet werden können.

Neben der Pedosphäre muß bei allen Fragen des Bodenschutzes auch immer die Hydrosphäre, und dabei besonders die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers, in die Betrachtungen mit einbezogen werden. Die Waldökologie leistet somit einen wichtigen Beitrag zum Gewässer- und Grundwasserschutz.

4. Verknüpfung mit anderen Ökosystemteilen

Die Waldökosystemforschung verfolgt allgemein einen integrativen Ansatz, in dem das Gesamtökosystem Wald untersucht wird. Das Teilökosystem Boden wird dabei als Lebens- und Umsatzraum in Wechselwirkung mit den übrigen Teilen des Gesamtsystems betrachtet. Verknüpfungen ergeben sich vor allem mit der Hydrosphäre (Oberflächen- und Grundwasser), der Bodenvegetation und der Baumschicht (Waldernährung, Ertragskunde, Forsttechnik) sowie der Atmosphäre (Quellen- und Senkenfunktion des Bodens für Gase).

Neben den Prozessen und Wechselwirkungen innerhalb von Waldökosystemen sind jedoch auch Verbindungen mit angrenzenden Landschaftselementen zu beachten. Hierbei kommt es neben Energie- und Stoffflüssen auch zu organismischen Wechselwirkungen zwischen Agrarlandschaften und Waldökosystemen. Nur durch die Ausrichtung der bodenökologischen Forschung auf Landschaftsebenen kann die funktionelle Verknüpfung der Ökosysteme in der Landschaft erfaßt werden.

Der ökosystemare Ansatz wurde durch die verstärkten Anstrengungen im Zuge der Waldschadensforschung stark gefördert. Nach ULRICH (1991) ist die Entwicklung zum ökosystemaren Forschungsansatz durch folgende Schwerpunkte gekennzeichnet:

- Entwicklung der Ökosystemtheorie von einer zunächst fast ausschließlich

Organismus-orientierten zu einer Ökosystem-orientierten.

- Stoffbilanzen an Fallstudien zur Feststellung von depositionsbedingten Veränderungen im chemischen Bodenzustand, in der Sickerwasserzusammensetzung und in der Stoffbilanz des Baumes unter Einbeziehung des Zuwachses.
- Feststellung direkter Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Blattorgane mit dem Ziel, Dosis/Wirkungsfunktionen zu erarbeiten.
- Ursachen/Wirkungs-Forschung mit dem Ziel, die Auswirkungen der in den Stoffbilanz-Untersuchungen erkannten Veränderungen und der direkten Effekte von Luftverunreinigungen auf Bäume, Bodenvegetation, Wurzeln und Zersetzerorganismen festzustellen.

Als weiterer Schwerpunkt der Waldökosystemforschung hat sich die Durchführung kontrollierter Experimente auf Ökosystemebene herausgebildet. Dieser Ansatz wurde durch die Einsicht gefördert, daß aufgrund der Wirkung von Faktorenbündeln zeitliche Veränderungen im chemischen Bodenzustand und in der Stoffbilanz von Bäumen nicht eindeutig kausal interpretierbar sind (vgl. REHFUESS, 1988). Die Ergebnisse von Experimenten auf ökosystemarer Basis, etwa zur Auswirkung saurer Beregnung und Kalkung (KREUTZER und GÖTTLEIN, 1991) oder von löslichen Mg-Düngesalzen und erhöhten N-Einträgen (ZÖTTL und FEGER, 1990), unterstützen die kausale Interpretation von in längerfristigen Meßreihen festgestellten Veränderungen. Dies gilt besonders für die Stoffflüssebilanz, deren Feststellung methodenbedingt immer noch mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Außerdem können mit einem experimentellen Ansatz Theorien zur Bedeutung von Einzelprozessen, deren Aufstellung meist auf Laborexperimenten beruht, geprüft werden.

Ein neuerer Schwerpunkt in der Waldökosystemforschung ist die Untersuchung des Stoffhaushalts von bewaldeten Einzugsgebieten (vgl. FIEDLER, 1982 u. 1993; FEGER, 1993). In einem durch Wasserscheiden abgrenzbaren Waldgebiet, das einen Vorfluter besitzt, werden Niederschlag und Abfluß messend erfaßt. Durch die Kopplung mit Messungen der Stoffkonzentrationen lassen sich für Einzugsgebiete auch Stoffeinträge und -austräge bestimmen. Im Gegensatz zur Untersuchung von Ökosystemen, die sich in unseren Wäldern meist auf der Skala von mehr oder weniger willkürlich ausgewählten Beständen als forstlichen Bewirtschaftungseinheiten bewegt, erlaubt der Wassereinzugsgebietsansatz auch Aussagen über Stoffflüsse auf der Ebene von Landschaften. Aufgrund seiner natürlichen Abgrenzung und seiner deshalb meist guten Erfäßbarkeit des Wasserhaushalts stellt ein Wassereinzugsgebiet eine ideale Einheit für das Studium biogeochemischer Kreisläufe auf Landschaftsebene dar. Außerdem sind auf diese Weise auch Aussagen zu Wechselwirkungen mit der Hydrosphäre möglich. Dies betrifft sowohl das für die Trinkwassergewinnung wichtige Grundwasser als auch die Oberflächengewässer als nachgeschaltete aquatische Ökosysteme

5. Perspektiven

Ein Austausch von methodischen und theoretischen Ansätzen zwischen Waldökosystemforschung und anderen Bereichen der Systemökologie im Rahmen der DBG ist erstrebenswert. Vor allem hinsichtlich der mikrobiellen Aktivität in Waldböden bestehen Forschungsdefizite. Dies gilt auch für Auswirkungen externer Einflüsse (Klima, Deposition) sowie waldbaulicher Eingriffe (Baumartenwahl, Durchforstung und Holzernte) und möglicher Wechselwirkungen. Künftiger Forschungsbedarf besteht vor allem hinsichtlich der stofflich-funktionellen Beziehungen in Waldlandschaften sowie der Wechselwirkungen zwischen Wäldern und anderen Landschaftsteilen (vgl. GLATZEL, 1992; s. auch Ergebnisse der Arbeitsgruppensitzung "Waldökosysteme").

6. Literatur

FEGER, K.H. (1993): Bedeutung von ökosysteminternen Umsätzen und Nutzungseingriffen für den Stoffhaushalt von Waldlandschaften (Habilitationsschrift). - Freiburger Bodenkundl. Abh. 31, 237 S.

FIEDLER, H.J. (1982): Biogeochemische Zyklen in ihrer Bedeutung für Umweltwissenschaft und Forstwirtschaft. - Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden 31, 197-200.

FIEDLER, H.J. (1993): Zur Situation der forstlichen Standortkunde in Deutschland. - Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden 42, 90-92.

GLATZEL, G. (1992): The role of forest ecology in Central European forestry. - Proceedings IUFRO Centennial Berlin-Eberswalde, 183.

KREUTZER, K. und A. GÖTTLEIN (Hrsg.) (1991): Ökosystemforschung Höglwald - Beiträge zur Auswirkung von saurer Beregnung und Kalkung in einem Fichtenaltbestand. - Forstw. Forschungen 39, 261 S.

REHFUESS, K.E. (1988): Übersicht über die bodenkundliche Forschung im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. - KfK/PEF-Berichte 35(1), 1-26.

REHFUESS, K.E. (1990): Waldböden - Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. - 2. Auflage, Verlag P. Parcy, 294 S.

ULRICH, B. (1991): Folgerungen aus 10 Jahren Waldökosystem- und Waldschadensforschung. - Forst und Holz 46, 575-588.

ZÖTTL, H.W. und K.H. FEGER (1990): Waldökosystemforschung in den ARINUS-Versuchsgebieten Schluchsee und Villingen. - KfK/PEF-Berichte 61(1), 11-20.

Bodenökologie und Feuchtgebiete

von

Schmeling, A. *, U. Graefe** und E.-M. Pfeiffer*

Eine erste Definition von Feuchtgebieten

Um die Bedeutung der Feuchtgebiete in der Landschaft und insbesondere im Rahmen von bodenökologischen Betrachtungsweisen zu klären, muß zunächst definiert werden, welche Landschaftsteile man im allgemeinen als "Feuchtgebiete" bezeichnet. Im bodenökologischen Sinne sind Feuchtgebiete Landschaftsteile, die durch eine Mittelstellung zwischen aquatischen und terrestrischen Systemen ausgezeichnet sind. Sie sind in der Regel durch einen saisonalen (Auen, Feuchtreisanbau) oder einen (tages-)periodischen Wechsel (Marschen) zwischen naß (mit und ohne Überflutung) und trocken gekennzeichnet. Daher laufen in ihnen viele dynamische Prozesse ab, die typisch für den einen oder anderen Feuchtezustand sind oder gerade durch dessen ständigen Wechsel hervorgerufen werden. So wechseln die chemischen und physikalischen Gegebenheiten im Boden oft und zum Teil auch innerhalb kürzester Zeit sehr stark. Die Bodenfauna und Flora muß also die Fähigkeit besitzen, sich diesen ständig verändernden Umweltbedingungen anzupassen.

Auch die Stoffein- und -austräge von außen in ein Feuchtgebiet unterliegen diesen starken saisonalen oder periodischen Schwankungen. Eine gewisse Ausnahme bildeten die Hochmoore in der vorindustriellen Zeit, die ansatzweise in sich geschlossene Systeme darstellten.

Von terrestrischen Systemen unterscheiden sie sich dadurch, daß die Zersetzungshorizonte im Oberboden meist über einen längeren Zeitraum wassergesättigt sind, wodurch die darin stattfindenden Zersetzungsprozesse teilweise anaerob ablaufen und mehr oder weniger stark gehemmt sind (Moore).

Im Naturschutz werden Feuchtgebiete im größeren landschaftlichen Zusammenhang gesehen und es werden auch die ständig von Wasser überdeckten Flächen (Seen, Teiche, Fließgewässer) mit eingeschlossen. Es zeigt sich also, daß es noch der deutlicheren Klärung des Begriffs "Feuchtgebiet" bedarf. Dies gilt sowohl zwischen verschiedenen Disziplinen als auch innerhalb der bodenkundlichen Forschung.

* Universität Hamburg, Institut für Bodenkunde

** IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH, Hamburg

Zur weiteren Differenzierung kann zwischen mehr oder weniger naturnahen (z.B. Hoch- und Niedermoore, Sümpfe, Auen, Marschen) und anthropogen stark veränderten (z.B. Naßreisfelder, Deichvorländer) Feuchtgebieten unterschieden werden. In Mitteleuropa sind aber auch die natürlichen Feuchtgebiete (insbesondere die Moore) stark durch den Menschen geprägt. Gravierende Veränderungen entstehen durch wasserbauliche Maßnahmen, landwirtschaftliche Nutzung, Nährstoffeinträge und großräumige Grundwasserabsenkungen.

Forschungsdefizite

Defizite bestehen sowohl in der (interdisziplinären) Grundlagenforschung als auch in der angewandten Forschung. Besonders die Verknüpfung zu anderen Ökosystemelementen und anderen Forschungsdisziplinen ist nur mangelhaft vorhanden oder fehlt bisher ganz. Die wichtigsten in der Arbeitsgruppensitzung "Feuchtgebiete" angesprochenen Punkte und deren (fehlende) Verbindung zu anderen Forschungsdisziplinen soll nun kurz dargestellt werden.

Aus Sicht der **Bodenzoologie** bestehen Defizite vor allem in der Erarbeitung einer faunistisch-soziologischen Typisierung von Zönosen, die mit dem Wasserhaushalt und dem Nährstoffstatus der Böden in Zusammenhang steht. Ungeklärt ist auch die Frage nach der Kongruenz tierischer und mikrobieller Populationen. Dabei ist die Indikatoreignung der Bodentiere für Mikroorganismenzönosen zu prüfen. Eine zöologische Gliederung wird gebraucht, wenn punktuell erhobene Kenngrößen in der räumlichen Dimension bewertet werden sollen.

In Bezug auf die verzögerte **Umsetzung der Kohlenstoffverbindungen** in Feuchtgebieten -und deren damit verbundene Akkumulation- ist die Rolle der Bodentiere kaum untersucht. Lückenhaft ist insbesondere die Beschreibung der physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften dieser Feuchthumusformen als Habitate für Fauna und Flora.

Große Forschungsdefizite stellen die **Stoffumsätze/-flüsse** in Feuchtgebieten aus bodenökologischer Sicht dar. Viele Regelgrößen in Bezug auf die C-, N- und S-Stoffkreisläufe sind noch weitgehend unbekannt. Als Beispiel für die ungeklärte Bedeutung des Beziehungsgefüges von Flora, Bodenmikroorganismen und Gashaushalt, soll hier die Rolle der Pflanzenwurzeln und des Sprosses für die Gasemission aus hydromorphen Böden dienen. So kann zum Beispiel Methan, das im reduzierten Bodenmilieu gebildet wird, durch das Aerenchymssystem der Pflanzen relativ zügig an der Methanoxidationszone vorbeigeführt und an die bodennahe Atmosphäre abgegeben werden (Schorneffekt). Ob dieser Effekt aber die gegenläufige Sauerstoffanlieferung durch das gleiche Aerenchymssystem -und damit die Methanoxidation in der Rhizosphäre- überwiegt, ist ungeklärt.

Während es bereits erste Arbeiten zur **Bildung und Freisetzung klimarelevanter Spurengase** aus Feuchtgebieten in Norddeutschland gibt, bestehen noch Defizite bei der Übertragung dieser punktuellen Einzelmessungen in die Fläche. Bei anderen weit verbreiteten Gebieten wie der Feuchttundra oder der Feuchttaiga ist noch unbekannt, ob diese Flächen global und saisonal betrachtet eher Quellen oder eher Senken für Methan sind. Die Klärung dieser Fragestellung in Hinblick auf die Berechnung weltweiter Klimamodelle ist natürlich von elementarer Bedeutung.

In den letzten Jahrzehnten haben sich vielfach die **Nutzungsansprüche** in Feuchtgebieten geändert (auch Naturschutz ist eine flächenverändernde Nutzungsform). Es sind zum

Beispiel im Zuge der Grundwasserabsenkung oder auch bei der Wiedervernässung Forschungslücken aufgezeigt worden. Großräumige Grundwasserabsenkungen (Trockenlegungen) bei vielen Flurbereinigungen und auch Wiedervernässungsprogramme (Renaturierung von Mooren; Wiederüberflutung von Wiesen und Auen) haben nicht immer sofort den befürchteten/erwünschten Effekt erbracht.

Pflanzengesellschaften und Bodeneigenschaften reagieren -trotz erheblicher Eingriffe in die Landschaft- zum Teil sehr konservativ und dokumentieren Änderungen des Wasserhaushalts nur langsam. Sie spiegeln daher nicht immer dessen momentanen Jahresgang wider. Dadurch entstehen Probleme bei der Erfolgskontrolle von durchgeführten Maßnahmen und bei Stabilitätsaussagen von Feucht-Ökosystemen. Die Frage, ob zum Beispiel durch Anpflanzungen in wiedervernässeten Gebieten stabile Systeme "erzeugt" werden können, muß also noch weitgehend unbeantwortet bleiben. Die gleiche Problemstellung ergibt sich auch in Regionen um die ehemaligen Braunkohlegruben, in denen der Grundwasserspiegel nach dem Abbau wieder angehoben wurde.

Die **zeitliche Dimension** und die damit zusammenhängende unbekannte Entwicklung von Landschaftsräumen erschwert bei geplanten bzw. schon durchgeführten wasserbaulichen Maßnahmen im Zuge einer Wiedervernässung das Management. Die Reaktion einer Bodenlandschaft und der davon abhängigen Pflanzendecke auf diese Maßnahmen unterliegt noch weitgehend unbekanntem Faktorenkombinationen. Der damit zusammenhängende ökosystemare Aspekt ist bisher kaum behandelt worden.

Durch die jahrhundertelange Nutzung der Böden und die Vereinheitlichung der Landschaften in Mitteleuropa ist in vielen Regionen der Diasporenreichtum im Boden stark zurückgegangen. In diesem Zusammenhang gibt es in vielen Bereichen noch erhebliche Wissensdefizite. Die früher oft nur kleinen aber weit verbreiteten Feuchtgebiete sind immer weiter "verinselt". Auch aufgrund veränderter Nutzung sind ehemals vorhandene **Einwanderungspfade** verlorengegangen (Herdenzug auch über weite Strecken, Staustufen). Inwieweit diese fehlenden Pfade in vielen Feuchtgebieten durch künstliche Maßnahmen (Anpflanzungen usw.) ersetzt werden können ist fraglich. Zur Klärung dieser Fragestellung ist eine interdisziplinäre Forschung und Kontrolle erforderlich. Eine Zusammenarbeit mit Bodenkundlern/ Pflanzensoziologen einerseits und Historikern/ Landschaftsökologen andererseits ist zwingend notwendig.

Das Thema **Methoden und Methodendefizite** ist in der Arbeitsgruppe nur untergeordnet behandelt worden, da es dazu im Rahmen des Workshops eine eigenständige Arbeitsgruppensitzung gab. Die Defizite bestehen im Bereich Feuchtgebiete hauptsächlich in der Optimierung von vorhandenen Methoden. Ob es überhaupt selbstständige bodenökologische Methoden oder nur Methodiken gibt, sei dahingestellt. Nicht fraglich ist aber, daß es bodenökologische Fragestellungen gibt. Die Behandlung dieser Fragestellungen ist insbesondere durch integrierende Methoden und Summenparameter möglich. Beispielsweise fehlen noch ökologisch/ integrierende Methodiken, die das Verhältnis zwischen Mikroorganismen, Redoxpotentialänderung im Boden und Spurengasbildung besser erklären können. Die oft nur langsame Reaktion von Pflanzengesellschaften und Bodeneigenschaften auf einen geänderten Wasserhaushalt erschwert die Benennung von Indikatorarten. Inwieweit zur Klärung möglicher Entwicklungen eine Kombination aus bodenphysikalischen und -chemischen Parametern mit aktuellen Artenkombinationen (Flora und Fauna) zu gesicherteren Ergebnissen führen könnte, muß noch untersucht werden.

Ein wesentliches Defizit besteht in einer aktuellen **Literaturauswertung** in Hinblick auf

bodenökologische Arbeiten in Feuchtgebieten. Zweck sollte dabei die Ermittlung des momentanen Forschungsstands sein. Dies ist eine notwendige Grundlage, um Defizite auf nationaler und internationaler Ebene besser konkretisieren zu können.

Bodenökologie und Bewertung

Die Bodenökologie als wissenschaftliche Disziplin ist zunächst wertfrei. Ergebnisse dieser Forschungsrichtung werden aber als Handlungsorientierung im Schnittbereich mit dem Boden- und Umweltschutz benötigt.

Bei der Renaturierung und noch stärker bei der Regenerierung von Feuchtgebieten versucht man eine Orientierung an historischen Leitbildern (Landschaft als Museum). In vielen Fällen sind aber die Umweltbedingungen (Wasserhaushalt, Nährstoffeinträge, an Diasporen verarmte Böden) so stark geändert worden, daß sich diese Muster auch bei größtem technischen und finanziellen Aufwand nicht mehr wiederherstellen lassen. So ist zum Beispiel spätestens seit der "Rheinrekifizierung" von Tulla eine Wiederherstellung der alten Auendynamik am alten Platz nicht mehr möglich. Es müssen also zwangsläufig Abstriche von den Leitbildern gemacht werden. An ihre Stelle treten Leitlinien, die in der Regel die Einrichtung von Ersatzlebensräumen zum Ziel haben. Inwieweit aber diese Ersatzlebensräume tatsächlich einen vollwertigen Ersatz für die verlorenengegangenen Landschaftselemente darstellen, muß sich erst in der Zukunft zeigen.

In diesem Zusammenhang muß natürlich auch das Ziel definiert werden, das durch die durchzuführenden Maßnahmen erreicht werden soll. Diese Bewertung kann aber nicht nur von der Bodenökologie geleistet werden. Hier ist vielmehr eine Bewertung aus politischen oder ethischen Gesichtspunkten notwendig.

Beispielsweise ändert sich das Verhältnis der drei wichtigsten klimarelevanten Spurengase (CO_2 , N_2O , CH_4) hauptsächlich in Abhängigkeit vom Redoxpotential. Dieses wiederum ist hauptsächlich vom Wasserstand und -gehalt sowie der Mikroorganismenaktivität im Boden abhängig. Durch eine Hebung des Grundwassers im Rahmen einer Wiedervernässung steigt mit sinkendem Redoxpotential in der Regel die Methanemission aus dem Boden. Dies ist besonders bedeutend, da Methan eine 32 mal höhere molare Klimawirksamkeit als CO_2 hat. Ob man diese Umstellung von CO_2 -betonter auf CH_4 -betonte Gasfreisetzung in Hinblick einerseits auf die Klimaentwicklung und andererseits auf den Schutz bedrohter Feuchtlandschaften tolerieren will, kann nur im größeren Rahmen (globale Ökosystemforschung und Management, ethische Erwägungen) beantwortet werden.

Ein Anliegen der DBG muß sein, in Politik und Gesellschaft klarzustellen, daß viele Projekte zum Beispiel im Rahmen von Wiedervernässungsmaßnahmen lange Beobachtungs- und Entwicklungszeiträume benötigen. Nicht immer sind deutliche Ergebnisse schon nach 2 (Dissertation) oder 4 Jahren (Legislaturperiode) zu erwarten. Nur mit Hilfe langangelegter und leider meist auch kostenintensiver Maßnahmen (zum Beispiel Dauerbeobachtungsflächen) kann geklärt werden, ob Art und Umfang bereits durchgeführter Schritte ausreichen, das angestrebte Ziel tatsächlich zu erreichen.

Zusammenfassung und Ausblick

In der Arbeitsgruppensitzung "Feuchtgebiete" im Rahmen des Workshops Bodenökologie wurden eine Reihe von Forschungsdefiziten aufgezeigt. Die aufgezeigten Punkte erheben natürlich keinen Vollständigkeitsanspruch, sondern stellen den Stand einer ersten Diskus-

sion zum Thema dar. Auf die Notwendigkeit einer Literaturrecherche zum Forschungsstand wurde hingewiesen. Die Defizite zeigen sich vor allem in der fehlenden Verknüpfung der bodenkundlich, feuchtgebietsbezogenen Forschung mit anderen Richtungen (z.B. Moorforschung mit Spurengasprozeßstudien). Gefordert ist in Zukunft eine verstärkte interdisziplinäre Ausrichtung der Forschung sowohl im Grundlagenbereich als auch bei den angewandten Disziplinen. Beispiele für Bereiche der interdisziplinären Forschung sind die Aufklärung von Spurengasemissionen und Probleme bei der Wiedervernässung von Landschaften. Die zum Teil langsame Reaktion der Pflanzendecke auf einen veränderten Wasserhaushalt und die damit verbundene lange Anlaufphase bis sich eine neue Pflanzengesellschaft einstellt, verdeutlichen die Zeitdimension, die den renaturierten Flächen "zugebilligt" werden muß. Bodenökologische Betrachtungen von Feuchtgebieten sind also notwendig und sinnvoll. Durch die sie kennzeichnende Wasserdynamik und ihre Verbindungen über verschiedene Kreislaufsysteme stellen sie eine wichtige Verknüpfung zu verschiedenen anderen Ökosystemen her. Aufgrund der erwähnten Defizite kann nur eine sehr unvollständige Literaturliste angegeben werden:

Themenschwerpunkt "Feuchtegebiete und Spurengasfreisetzung aus Böden":

BOUWMANN A.F. (ed.) (1989): Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley and Sons, New York.

KUNTZE, H. (1993): Moore als Senken und Quellen für C und N. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 69, 277-280.

AUGUSTIN, J., MERBACH, W. (1995): Lachgas- und Methanemission aus degradierten Niedermoorstandorten Nordostdeutschlands unter dem Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftung. Kongreßband geotechnika 1995. Köln Messe 1995, 76 - 77.

PFEIFFER, E.-M. (1994): Methane Fluxes in Natural Wetlands (Marsh and Moor) in Northern Germany. Current Topics in Wetland Biogeochemistry, Vol. 1, pp 36-47.

SCHARPENSEEL, H.W., SCHOMAKER, M. AND AYOUB, A. (eds.) (1990): Soils on a Warmer Earth. Developments in Soil Science, 20, Elsevier, Amsterdam.

BLANKENBURG, J. (1990): Die Hydrologie wiedervernässter Hochmoore. In: Norddeutsche Naturschutzakademie: Das Niedersächsische Moorschutzprogramm - Eine Bilanz. Mitteilungen aus der NNA, Heft 1/ 1991. Schneverdingen. ISSN 0938-9903.

Themenschwerpunkt "Bodenzoologie":

WALLWORK, J.A. (1976): The distribution and diversity of Soil Fauna. Academic Press, London, New York.

BEYLICH, A., FRÜND, H.-C. UND GRAEFE, U. (1994): Ökosystemare Umweltbeobachtung und Bioindikation mit Zersetzergesellschaften. Umweltbundesamt Wien (Hrsg.). Ecoinforma5: 389-401.

Thematisch übergreifende Literatur:

SWIFT, M.J., O.W. HEAL AND J.M. ANDERSON (1979): Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Ecology, Vol 5, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

ELLENBERG, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

ELLENBERG, H., MAYER, R., SCHAUERMANN, J. (Hrsg.) (1986): Ökosystemforschung, Ergebnisse des Sollingprojektes 1966 - 1986. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodentechnologie

von

Auerswald, K.⁺ und P. Widmoser⁺⁺

1. Bisherige Berührungspunkte zwischen Bodentechnologie und Bodenökologie

1.1 Einflußnahme auf das Habitat Boden

Die Bodentechnologie hat zum Ziel, den Lebensraum Boden für Organismen günstig zu beeinflussen, z.B. durch die Bodenbearbeitung, Be- und Entwässerung oder dadurch, daß der Lebensraum völlig neu geschaffen wird, wie es bei Oberflächenabdichtungen von Deponien oder der Rekultivierung von Tagebauen geschieht. Standen als Zielorganismen, deren Lebensraum optimiert werden sollte, früher die Kulturpflanzen im Vordergrund, so hat sich heute, wenn man z. B. an Moor-Renaturierungen denkt, das Spektrum der Zielorganismen wesentlich über Nutzpflanzen und -tiere hinaus erweitert. Die Bodentechnologie greift also unmittelbar ein in die Wechselwirkungen zwischen Bodenorganismen und ihren Lebensraum, d. h. in das Forschungsobjekt der Bodenökologie. Profunde Kenntnisse bodenökologischer Zusammenhänge sind die Voraussetzung, um dies zielgerichtet und sinnvoll zu tun.

1.2 Einflußnahme auf Ökosysteme, Landschaften und Biome

Die traditionelle Bodentechnologie beeinflußt sehr häufig den Bodenwasserhaushalt durch Be- oder Entwässerung oder durch Veränderung der hydraulischen Eigenschaften des Bodens (Tieflockerung, gezielte Verdichtung im Erdbau, Kapillarsperren, Erosionsschutz etc.). Damit werden gleichzeitig auch die Stoffflüsse in einer Landschaft verändert. Bodenkundliche Arbeiten, die den Grenzbereich zur Landschaftsökologie berührten, wie z.B. Nährstoffeinträge in Gewässer über den Grundwasserpfad oder über Erosion, wurden wohl aus dem Grund i. d. R. in dieser Kommission behandelt, auch wenn sie nicht die Bodentechnologie i. e. S. zum Inhalt hatten. Damit bietet die Kommission Bodentechnologie auch die Anbindung der

⁺ Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Martin-Luther-Universität, Weidenplan 14, 06108 Halle

⁺⁺ Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr. 40-60, 24118 Kiel

Bodenökologie zur nächsthöheren Systemebene, die von der Landschaftsökologie bearbeitet wird.

2. Absehbare Entwicklungen und Forschungsdefizite

2.1. Ingenieurökologie statt Bodentechnologie

Das Entwickeln einer isolierten technischen Maßnahme (z. B. Spurlockerung) hat sich in vielen Fällen als nicht zweckmäßig erwiesen, entweder weil immer neue Eingriffe notwendig wurden oder weil unerwünschte Nebenwirkungen auftraten. Die Bodentechnologie versucht daher zunehmend Methoden zu entwickeln, die ökosystemare Zusammenhänge beachten und für den beabsichtigten Zweck gezielt zu nutzen versuchen. Ein Beispiel für so eine Maßnahme ist die Mulchsaat von Reihenkulturen, die nur funktioniert, wenn ein Maßnahmenbündel von der Ernte der Vorfrucht bis zur Aussaat der Reihenkultur fein aufeinander abgestimmt wird. Dieses Maßnahmenbündel beeinflusst dann an vielen Stellen gezielt die Wechselwirkungen zwischen den Bodenorganismen und ihrem Lebensraum. So steigt die mikrobiologische Aktivität durch die veränderten Temperatur- und Feuchteverhältnisse an der Bodenoberfläche und es ändern sich die Lebensverhältnisse der Regenwürmer durch die verminderten mechanischen Eingriffe und die verbesserte Futtersituation. Gleichzeitig steigt die Aggregatstabilität und die biogene Durchporung. Vorteil solcher ausgefeilter Methoden ist dann, daß sie eine Fülle von Problemen integral lösen können. Beispielweise werden mit der Mulchsaat gleichzeitig wesentliche Verbesserungen in der Nitratauswaschung, in der Bodenerosion, in der Bodenverdichtung und in der biotischen Ausstattung erzielt. Solche technischen Maßnahmen, die die ökologischen Abläufe bewußt nutzen und steuern, können unter dem Begriff Ingenieurökologie subsummiert werden. In diese Richtung wandelt sich die Bodentechnologie zunehmend. Beispiele sind die sinnvolle Verwendung organischer Reststoffe oder das Schaffen und Optimieren von Lebensräumen für einen bestimmten Zweck, wie es bei bewachsenen Deponieabdichtungen oder bei bewachsenen Bodenfiltern zur Abwasserklärung geschieht.

2.2 Erkenntnisgewinn durch Rückkopplungen zwischen Bodenökologie und Bodentechnologie

Die technische Beeinflussung des Ökosystemkompartiments Boden kann ökologische Wechselwirkungen immer nur soweit berücksichtigen als sie bekannt sind. Insofern ist die Bodentechnologie in ihrer Entwicklung hin zu einer Ingenieurökologie auf die Erkenntnis der Systemzusammenhänge angewiesen, die ihr die Bodenökologie liefert. Andererseits zeigt sich besonders bei der Anwendung bodenökologischen Wissens bei bodentechnologischen Maßnahmen, ob das Verständnis des Systems Boden schon ausreicht, um dieses System so wie beabsichtigt zu steuern. Gleichzeitig erlauben die gezielten Eingriffe, wie sie die Bodentechnologie vornimmt, die Reaktionen des Systems Boden zu beobachten und damit das Verständnis zu verbessern. Bodentechnologie und Bodenökologie profitieren daher beide gleichermaßen von einer Kooperation.

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenphysik

von

Bohne, K.*

Die ursprüngliche Verwendung des Wortes Ökologie stammt aus der Biologie und bezeichnete dort die Lehre von den Beziehungen zwischen dem eigentlichen Untersuchungsobjekt - dem Organismus, der Art, einer Population - und seiner Umwelt (HAECKEL, 1866). Dabei wurden zunächst vor allem die Wirkungen der Umwelt auf das Untersuchungsobjekt betrachtet.

Überträgt man dies auf die Bodenkunde, so kommt man zur Untersuchung der klimatischen, geologischen, vegetationskundlichen und anderen Bedingungen für die Bodenentwicklung - und mithin zu einer traditionellen Blickrichtung der Bodenkunde. Dieses Paradigma hat heute an Leuchtkraft verloren.

Die ursprüngliche Bedeutung von Ökologie beinhaltet jedoch auch die Betrachtung der Wirkungen, die von einer Population ausgehen, auf die Umgebung. Was in der Biologie die Population war, ist für die Bodenkunde die heterogene Bodendecke. Hier zeigt sich ein Ansatzpunkt für eine zeitgemäße Bodenökologie. Böden haben entscheidende Einflüsse auf den Wärmehaushalt der Erdoberfläche sowie auf Wasser- und Stoffkreisläufe der Erde. Die in Böden ablaufenden Reaktionen (Beispiel: CO₂-Freisetzung, C/N-Umsetzungen, Transport von gelösten Stoffen) sind für das Gesamtsystem (Lithosphäre-Hydrosphäre-Atmosphäre) von allergrößter Bedeutung. Dies gilt nicht so sehr für eine einzelne topische Bodeneinheit, sondern vor allem für die Bodendecke im regionalen Maßstab, die durch eine gewöhnlich keineswegs vernachlässigbare räumliche Variabilität bzw. Heterogenität gekennzeichnet ist.

In diesem Sinne kann man die Untersuchung der Wirkungen der Bodendecke auf die gesamte Ökosphäre als Arbeitsgegenstand der Bodenökologie betrachten.

Dies bedeutet eine abiotische Definition der Bodenökologie. Die Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Bodenorganismen und ihrer Umwelt ist **nicht** Gegenstand der Bodenökologie, sondern Sache eines Teilgebiets der Bodenkunde, nämlich der Bodenbiologie. Natürlich steht es der Bodenbiologie als einer Anwendung der Biologie auf den Boden frei, auch die Ökologie der Bodenorganismen zu betrachten - aber das ist Ökologie im klassisch-biologischen Sinn, nicht Bodenökologie.

* Universität Rostock, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz, Inst. f. Bodenkunde, 18051 Rostock

Eine so verstandene Bodenökologie muß das von ihr betrachtete System möglichst umfassend verstehen und daher alle traditionellen Teilgebiete der Bodenkunde in sich vereinen. Sie muß darüber hinaus den Boden im größeren Systemzusammenhang mit der Atmosphäre und der Grundwasserzone sehen. Diese Vielschichtigkeit wird nur dann möglich sein, wenn durch Abkehr von allem Empirismus und konsequentere naturwissenschaftliche, insbesondere physikalische Fundierung der Weg zu einer Einheit der Bodenkunde aus den vielen Tatsachen der Einzeldisziplinen hin zu einem alle Einzelphänomene einschließenden Gesamtverständnis begangen wird.

Die Grenze zwischen Bodenphysik und Bodenökologie könnte so bestimmt werden, daß alle physikalischen Untersuchungen zur Beschreibung des Systems "Boden" - vom Maßstab der Mikromorphologie bis zum Regionalmaßstab - der Bodenphysik zugerechnet werden sollten. Bodenphysik ist in diesem Sinne die Anwendung der Physik auf den Boden. Alle Untersuchungen zur Wirkung des Systems "Boden" auf die umgebenden Systeme, insbesondere die der Atmosphäre und Hydrosphäre, sollte man dagegen als Arbeitsgegenstand der Bodenökologie ansehen.

Es ist nicht zu erwarten, daß die genannten Kriterien in allen Fällen eine klare Abgrenzung ermöglichen werden. Alle willkürlichen Ausschnitte aus dem Gesamtsystem "Natur", alle Unterscheidungen zwischen Disziplinen und Teildisziplinen sind nur Hilfsmittel einer stets unzulänglichen Wissenschaftsorganisation. Um die "Einheit der Natur" zu verstehen, sollte es mehr und mehr zur Fusion von Einzelwissenschaften kommen. "Ein Verständnis der Einheit der Natur müßte die wissenschaftliche Form einer verstandenen Einheit der Naturwissenschaft annehmen." (C.F.WEIZSÄCKER)

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung

von

Broll, G.* und M. Körschens**

Eine Vielzahl bodenökologischer Fragestellungen fällt in den Aufgabenbereich der Kommission "Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung", auch wenn diese in der Vergangenheit häufig nicht mit dem Terminus "bodenökologisch" belegt waren. Dennoch ist die Forschung auf dem Gebiet der Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung nicht mit der Forschung zur Bodenökologie gleichzusetzen. Bodenökologie ist die Lehre von den Interaktionen zwischen biotischen und abiotischen Kompartimenten des Bodens. Hinzu kommen Untersuchungen, die sich nur auf die Wechselwirkungen zwischen biotischen Bestandteilen, z. B. zwischen Wurzeln und Mikroorganismen, beschränken. Diese Prozesse sind jedoch ohne Informationen über die abiotischen Eigenschaften des Standortes häufig nicht zu interpretieren.

Der Begriff Bodenökologie/soil ecology ist nicht neu (u.a. PHILLIPSON 1970), doch gilt ihm erst in den letzten Jahren ein vermehrtes Interesse. Schon vor Jahrzehnten ist der Forschungsbedarf für dieses Fachgebiet aufgezeigt worden: "environmental influences on soil organisms, interrelationships between soil organisms, effect of soil organisms on the soil etc. (VAN DER DRIFT 1970). Diese Fragestellungen sind heute so aktuell wie damals.

Innerhalb der Aktivitäten der Kommission IV bietet gerade die Untersuchung der Bodenfruchtbarkeit die Möglichkeit, einen Standort in seiner Komplexität zu erfassen. KLAPP (1958) definierte die Bodenfruchtbarkeit als "das ihm eigene Maß natürlicher, nachhaltiger Leistungsfähigkeit, das ihn von anderen Böden unterscheidet. Das Wesentliche ist die Nachhaltigkeit, d. h. die Fähigkeit, auf lange Zeit alles zum Gedeihen der Pflanzen Erforderliche ohne Notwendigkeit des Ersatzes zu liefern, also nur sehr langsam nachlassende Erträge". Häufig wird für den Boden auch der Begriff "Gesundheit" verwendet. Die Begriffe Bodenfruchtbarkeit, Nachhaltigkeit und Bodengesundheit haben hier noch weitgehend gleiche Bedeutung.

Mit dem zunehmenden Einsatz von Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln sowie durch den Züchtungsfortschritt, insbesondere bei Getreide, konnten die Erträge in den vergangenen Jahrzehnten nahezu verdoppelt werden, jedoch überwiegend zu Lasten der Umwelt und der Bodengesundheit. Über einen langen Zeitraum wurde Bodenfruchtbarkeit überwiegend am Ertrag gemessen und definiert.

Heute steht nicht mehr die Produktivität des Bodens im Vordergrund, sondern neben der Nachhaltigkeit ganz allgemein die Qualität des Bodens. BARNETT u.a. (1993) definieren die sustainable agriculture als ... "eine Verfahrensweise, bei der die Qualität und Quantität der landwirtschaftlichen Erträge Jahr für Jahr erhalten werden können ohne Degradierung des

* Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität, Robert-Koch-Str. 26, 48149 Münster

** Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Hallesche Str. 44, 06246 Bad Lauchstädt

Bodens, Umweltbelastung, Zerstörung von Lebensräumen für Flora und Fauna, Verschmutzung von Wasserläufen etc.". Der Begriff "soil quality" wird zur Zeit u.a. folgendermaßen definiert: "The capacity of a soil to function within ecosystem boundaries to sustain biological productivity, maintain environmental quality, and promote plant and animal health." (DORAN & PARKIN 1994). Die Beurteilung der Standortqualität im Hinblick auf ihre Funktionen im Ökosystem hat demnach gegenüber dem Ziel der Produktivitätssteigerung erheblich an Bedeutung gewonnen (HORNUNG 1993). Aufgrund der sich in steigendem Maße auch auf die Böden auswirkenden Umweltveränderungen werden Untersuchungen zur Bodenfruchtbarkeit immer wichtiger (u.a. SWIFT 1991; DORAN ET AL.; KÖRSCHENS & MÜLLER 1994, ROBERT-BOSCH-STIFTUNG 1994). Bodenökologische Forschung kann hier z. B. einen entscheidenden Beitrag zur Findung von Indikatoren zur Charakterisierung der Qualität des Bodens leisten. Wenn die Untersuchung von Funktionen im Ökosystem zunehmend in den Vordergrund rückt, dann ergibt sich daraus für die Bodenökologie zwingend ein ökosystemarer Forschungsansatz. Böden sind nur Teile von Ökosystemen und können nicht isoliert betrachtet werden.

Wenn auch die Überschneidungen zwischen Bodenökologie und Bodenfruchtbarkeit/Pflanzenernährung sehr groß sind, so betrifft bodenökologische Forschung doch mehr oder weniger alle Fachrichtungen und damit Kommissionen der Bodenkunde. Dieses sollte daher innerhalb der DBG in einer kommissionsübergreifenden Organisationsform zum Ausdruck kommen. Die Bodenökologie ist jedoch auf keinen Fall nur der Angewandten Forschung zuzuordnen, auch wenn viele Berührungspunkte mit dem Bodenschutz bestehen. Bodenökologische Grundlagenforschung ist insbesondere für die Ökosystemforschung unerlässlich.

Literatur:

- BARNETT, V; LANDAU, S; PAYNE, R.W.; WELHAM, S.J.; RAYNER, A.I. (1993): Sustainability- The Rothamsted Experience. Reports of the Conference from the Rockefeller Foundation held in Rothamsted.- April 28-30. S. 1-36
- DORAN, J.W. & T.B. PARKIN (1994): Defining and Assessing Soil Quality. In: Doran J.W., Coleman, D.C., Bezdicsek, D.F. & B.A. Stewart (eds.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication 35, S. 3-21
- DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D. F. & B. A. STEWART (eds.) (1994): Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication Number 35
- DRIFT, VAN DER, J. (1970): Problems in soil ecology requiring most urgent attention. In: Phillipson, J. (ed.): Methods of study in soil ecology, S. 295-300
- HORNUNG, M. (1993): Defining soil quality for ecosystems and ecosystem functioning. In: Eijsackers, J.P. & T. Hamer (eds.): Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection. Kluwer Academic Publishers, S. 201-211
- KLAPP, E.: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus.- Verlag Paul Parey. - Berlin-Hamburg (1958).- 148 S.
- KÖRSCHENS, M. & A. MÜLLER (1994): Nachhaltige Bodennutzung, gemessen am Ertrag sowie an C- und N- Bilanzen. Arch. Acker-Pfl. Boden, Vol. 38, S. 373-381
- PHILLIPSON, J.(ed.) (1970): Methods of study in soil ecology. Proceedings of the Paris symposium organized by Unesco and the International Biological Programme, Paris
- ROBERT-BOSCH-STIFTUNG (1994): Für eine umweltfreundliche Bodennutzung in der Landwirtschaft. Denkschrift des Schwäbisch Haller Agrarkolloquiums zur Bodennutzung, den Bodenfunktionen und der Bodenfruchtbarkeit, Bleicher Verlag, Gerlingen
- SWIFT, M.J. (ed.) (1991): Soil fertility and Global Change. Biology International 25, Paris

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenerosion

von

Frielinghaus, M.

Die Definition von HAECKEL - "Ökologie ist die Wissenschaft von den Interaktionen zwischen Organismen und ihrer Umwelt" -, die von BROLL u. a. (1995) für die Bodenökologie als ebenfalls gültig übernommen wurde, wird den Forschungsanliegen auf dem Gebiet der Bodenerosion und des Bodenschutzes gerecht. Sie läßt Spielraum für weitere Untersetzungen durch Spezialisten, bringt aber den wesentlichen Inhalt und das Aufgabengebiet klar zum Ausdruck.

In terrestrischen Ökosystemen befinden sich die Organismen im schmalen Band an der Grenzschicht Atmosphäre/Lithosphäre. Diese Schicht, die "Umwelt", wird in Agrarökosystemen außerordentlich stark durch die Bewirtschaftung beeinflußt und ist in die Wasser- und Winderosionsprozesse unmittelbar einbezogen, d. h. diese Prozesse laufen in und auf dieser Schicht ab.

Folgende, die oben formulierten Interaktion beeinflussenden Vorgänge werden direkt beeinflußt:

- Verlagerung von Ton-Humusfraktionen und Aggregaten;
- Reduzierung des Bodenvolumens und damit der Speicherkapazität für Wasser und Nährstoffe, der Pufferwirkung, der Bindungskapazitäten und Filterwirkung;
- Störung bzw. Veränderung der Organismenmaxima an der Bodenoberfläche;
- Reduzierung der Bodenbildung und Erzeugung eines Bilanzierungsungleichgewichtes durch erhöhten Stoffexport aus Abtragsbereichen und erhöhten Stoffimport in Auftragsbereichen.

Bodenerosion gilt als unvermeidbarer Prozeß in Agrarsystemen, die Auswirkungen können allerdings durch standortangepaßte Landnutzung in vertretbaren Grenzen gehalten werden.

Im Rahmen der Erarbeitung von Bodenschutzverordnungen und -gesetzen werden "Grenzwerte" eines tolerierbaren Bodenabtrags diskutiert und gefordert. Dieser Parameter wird bisher international ökonomisch definiert. Die Toleranzgrenze T wurde vorläufig so festgesetzt, daß das natürliche Ertragspotential in einem Zeitraum von etwa 300-500 Jahren nicht entscheidend geschwächt werden sollte. Die Toleranzgrenze entscheidet darüber, ob und in welchem Ausmaß Schutzmaßnahmen erforderlich sind (SCHWERTMANN, 1987). Verständlicherweise besteht die dringende Forderung, diesen tolerierbaren Bodenabtrag hinsichtlich der Realisierung ökologischer Bodenfunktionen neu zu definieren. Die Forschungsfrage ist: wie stark werden die Organismengesellschaften im Boden durch erosionsbedingte Stoffverlagerungen (Bodenabträge/Bodenaufträge) beeinflußt und verändert? Wie reagieren diese biotischen Systeme auf diese "Störungen" und wieviel Boden-, Humus- und Nährstoffabtrag bzw. Auftrag ist zulässig, ohne daß abbauende und aufbauende Prozesse als Ausdruck für funktionierende Organismensysteme in Interaktion zur Bodenumwelt in Umfang und Aktivität beeinträchtigt werden? Diese Problematik kann nur durch einen bodenökologischen Forschungsansatz bearbeitet und gelöst werden, da die einzelnen Bodenwissenschaften allein überfordert sind.

Die AG schlägt eine kommissionsübergreifende Arbeitsgruppe Bodenökologie vor, in der gemeinsam formulierte Forschungsansätze wie der genannte begleitet und durch ein interdisziplinäres (bodenökologisch relevantes) Methodenspektrum einer Lösung zugeführt werden.

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodeninformationssysteme

von

Heineke, H.-J.*

Bodeninformationssysteme sind entsprechend des Konzeptes der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz (SAG) der Umweltministerkonferenz keine geschlossenen Einheiten, sondern stellen einen Verbund unterschiedlicher, sog. Fachinformationssysteme dar, die von verschiedenen Organisationen/Fachgruppen betrieben werden können (SAG, 1987). Dazu gehören zur Zeit die Bereiche *geowissenschaftliche Grundlagen, anthropogene Einwirkungen auf den Boden* sowie *Naturschutz und Landschaftspflege*. Um solche Verbünde sinnvoll betreiben zu können, sind formale Vereinbarungen getroffen worden, die Inhalte und Terminologien (*Sprachen*) der beteiligten Systeme zum Gegenstand haben (AD-HOC-AG, 1994 a).

Alle Funktionen in Bodeninformationssystemen müssen durch entsprechende Methoden realisiert werden. Da deren Menge, insbesondere bei den querschnittsorientierten Fragestellungen, z.B. zu Stoffhaushalt und -verlagerung oder dem Biotopentwicklungspotential von Standorten, groß sein wird, sind innerhalb der Bodeninformationssysteme die *Methodenbanken* zu verlangen (AD-HOC-AG, 1994b; BARTSCH et al. 1992).

Durch ihren Einsatz können insbesondere folgende inhaltlichen Ziele erreicht werden:

- Unterstützung einer sinnvollen und problemorientierten Integration von Daten und Methoden, nämlich:
 - Zuordnung von Fragestellungen zu Methoden,
 - Sicherstellung der sinnvollen Verknüpfung von Daten und Methoden unter Berücksichtigung von Daten- und Methodeneigenschaften,
 - Berücksichtigung der Verfügbarkeit von Daten und Methoden,
- Berücksichtigung des Umstandes, daß es für ein gewünschtes Ergebnis u.U. verschiedene Methoden geben kann und

Auf diese Weise wird sichergestellt, daß Daten und Methoden nur innerhalb der fachlich anerkannten Grenzen zum Einsatz kommen, was insbesondere bei Berührung unterschiedlicher Disziplinen notwendig ist.

* Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Stilleweg 2, D-30655 Hannover

Es wird aber auch deutlich, daß der Aufbau der Methodenbank gut dokumentierte Daten und Methodenbestände voraussetzt, was leider nicht selbstverständlich ist. Das zu fordernde breite fachliche Spektrum der Methoden im Bodeninformationssystem und die Unterschiedlichkeit der Datenbasen und Fragestellungen über Fachdisziplinen hinweg machen Kooperation notwendig.

Wenn Bodenökologie als Systemforschung betrachtet wird, die sich u.a. mit der Analyse von Prozessen und -funktionen befaßt, so heißt das, daß die Bodeninformationssysteme, so sie denn in oben beschriebenem Sinne aufgebaut werden, auch der Bodenökologie eine wesentliche Unterstützung sein können, indem sie gewährleisten, Daten und Auswertungsmethoden aller beteiligten Fachbereiche zur Verfügung zu stellen und spezifische, neue Methoden relativ leicht einzubringen. Es wäre also in Zukunft zu prüfen, ob sich bei bodenökologischen Fragestellungen, hinsichtlich der Integration von notwendigen Daten und Methoden, die Bearbeitung der Problemstellung unterstützen läßt, bzw. was getan werden muß, um dieses zu gewährleisten. Die grundlegenden Systemstrukturen dafür sind geschaffen - die Zusammenarbeit zwischen den Arbeitsgruppen Bodeninformationssysteme und Bodenökologie kann Lösungsvorschläge aufzeigen und den Wissensstand dokumentieren.

Literatur

AD-HOC-AG KERNSYSTEME UND METHODENBANKEN (1994 a) : Aufgaben und Funktionen von Kernsystemen des Bodeninformationssystems als Teil von Umweltinformationssystemen. - Bodenschutz Heft 1 (Schriftenreihe der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz -LABO); Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg.

AD-HOC-AG KERNSYSTEME UND METHODENBANKEN (1994 b): Aufgaben und Funktionen von Methodenbanken des Bodeninformationssystems als Teil von Umwelt-informationssystemen. - Bodenschutz Heft 2 (Schriftenreihe der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz - LABO); Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg.

BARTSCH, H.-U., KUES, J., SBRESNY, J. & J. SCHNEIDER (1992): Endbericht des Teilprojektes Stadtböden zum Forschungsvorhaben: Modellhafte Entwicklung eines kommunalen Umweltinformationssystems im Rahmen des Ökologischen Forschungsprogrammes Hannover. - BMFT Forschungsvorhaben 07160122; (unveröff.).

SONDERARBEITSGRUPPE INFORMATIONSGRUNDLAGEN BODENSCHUTZ (SAG) (1987): Konzept zur Erstellung eines Bodeninformationssystems.- Bay. Min.f. Landesentwicklung u. Umweltfragen, Materialien 47.

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Humusformen

von

Milbert, G.*

Die Beantwortung von Fragen im Zusammenhang mit Streuumsetzung, -mineralisation und Humusformen ist auf interdisziplinäre Untersuchungen angewiesen. Das Kapitel Humusformen in der 'Forstlichen Standortaufnahme' (5. Auflage in Vorbereitung) beginnt mit einem Zitat aus SCHEFFER & ULRICH (1960): 'Humus ist einem stetigen Abbau, Umbau und Aufbau unterworfen. Gerade auf Waldstandorten greift Humus auslösend und steuernd in bodendynamische Prozesse und damit in die Entwicklung der auf und im Boden lebenden Organismen ein'. KOBEL-LAMPARSKI & LAMPARSKI (DBG 1994) haben nachgewiesen, daß bestimmte Regenwurmartenspezies wie *Lumbricus badensis* oder *Lumbricus friendi* Rohhumus, Moder und Mullartigen Moder in Mull-Humusformen umzuwandeln vermögen. Aus dieser Sicht müßte das oben stehende Zitat umformuliert werden: 'In und auf dem Boden lebende Organismen greifen steuernd in bodendynamische Prozesse ein'. Beide Sichtweisen sind berechtigt und charakterisieren die komplexe gegenseitige Abhängigkeit von Bodenmaterie und Organismen.

Humusformen, die nach makroskopischen Merkmalen definiert werden, sind variabel (Zustandsbeschreibungen) und hängen von:

- Klima/Kleinklima,
- Substratart und -schichtung,
- Baumart, Bestand und Waldstruktur,
- Bodenvegetation, Bodenfauna und Bodenmikroflora,
- Relief, Exposition und Inklination,
- Nutzungsgeschichte des Standorts,
- Nährstoff-, Wasser- und Lufthaushalt des Oberbodens sowie
- atmogemem Stoffeintrag ab.

Diese Aufzählung zeigt, in welchem Maße bodenökologische Betrachtungsweisen für die Kenntnis der Humusformen erforderlich sind. Bisher liegen unserer systematischen Gliederung der Waldhumusformen chemische vor allem morphologische Kriterien zugrunde. Diese sind das Resultat biologischer Prozesse. Die Vortragsthemen und Exkursionen des Humusformen-Kolloquiums 1994 in Freiburg belegen die Notwendigkeit einer interdisziplinären ganzheitlichen Betrachtung der Humusformen (DBG 1994). Neben boden- und humuschemischen Untersuchungsergebnissen wurden in Freiburg vor allem bodenzologische Ergebnisse und die Einflüsse bodenbiologischer Prozesse auf Humusformen vorgestellt.

Wenn Interdisziplinarität dazu dient, Lebensräume oder Kompartimente von Lebensräumen wie die Streuaufgabe insgesamt zu erfassen und zu beschreiben so ist dies ökologisch. FINKE (zitiert in LESER 1976) sieht in der Humusform den 'Ausdruck der realen biologischen Aktivität infolge ihrer engen Verflechtung zu fast allen Landschaftshaushaltsfaktoren einschließlich der wirtschaftenden Aktivität des Menschen. Nach LESER (1976) kann die Humusform als ökologisch-biologischer Zeiger dienen und allenfalls der Bodenfeuchtehaushalt liegt auf einer ähnlich hohen Funktionsebene.

* Geologisches Landesamt NRW, Postfach 1080, 47710 Krefeld

Einen Kenntniszuwachs und Fortschritt in der Charakterisierung der Humusformen erreichen wir mit einer ganzheitlichen, bodenökologischen Betrachtungsweise. Dies ist aus meiner Sicht nur interdisziplinär, im Team möglich, die 'Bodenökologin / den Bodenökologen' gibt es nicht.

Die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft bietet gute Voraussetzungen, bodenökologisch ausgerichtete Zusammenarbeit zu fördern, zu koordinieren und im Rahmen von Tagungen und Veröffentlichungen als Podium zu dienen - auch über die Grenzen der Gesellschaftsmitglieder hinaus. Besondere, noch einzurichtende Strukturen-innerhalb unserer Gesellschaft können diese Aufgabe erleichtern. Wir sollten deshalb gemeinsam überlegen, wie wir dieses Ziel erreichen. Innerhalb des AK Humusformen ist bisher kein Meinungsbild dazu erstellt worden. Aus meiner persönlichen Sicht ist ein koordinierender Arbeitskreis, der sich aus gewählten Vertretern aller Kommissionen und weiteren Mitgliedern zusammensetzt, eine denkbare Lösung. Dieser einzurichtende Arbeitskreis (andere Bezeichnungen für dieses Strukturelement sind möglich) hätte die Aufgabe, entweder im zweijährigen Rhythmus Workshops zu organisieren oder für die 2-Jahrestagungen der DBG einen 'bodenökologischen Tagungsschwerpunkt' mit geeigneten Vorträgen, Postern und gegebenenfalls Exkursionen zusammenzustellen und damit exemplarisch die Notwendigkeit bodenökologischer Betrachtungsansätze aufzuzeigen.

Literatur:

LESER, H. 1976: Landschaftsökologie.- Ulmer, Stuttgart.

SCHEFFER, F. & ULRICH, B. 1960: Humus und Humusdüngung.- 2. Auflage, Stuttgart.

DBG 1994: Referate - Sitzung des Arbeitskreises Waldhumusformen.- In: Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., **74**, (39-68).

Bodenökologie und ihre Bedeutung für Bodengenetik, Klassifikation und Kartierung

von

Schraps, W.-G.*

Vorbemerkung

Am Workshop "Bodenökologie" konnte weder der Vorsitzende der Kommission V noch sein Stellvertreter teilnehmen, so daß der aktuelle Stand der Diskussion nicht bekannt ist. Auch im Vorfeld haben Gespräche über dieses Arbeitsgebiet nur am Rande stattgefunden. Somit liegt eine abgestimmte Stellungnahme der Kommission nicht vor.

Definition des Begriff "Bodenökologie"

Die Definition des Begriffs "Bodenökologie", die im Rahmen des Workshops festgelegt wurde, lautet in Anlehnung an HAECKEL: "Bodenökologie ist die Wechselwirkung zwischen Bodenorganismen und ihrem Lebensraum". SCHROEDER versteht dagegen unter Bodenökologie die "Ermittlung der Standorteigenschaften der Böden als Lebensraum für Pflanze, Tier und Mensch und ihre Wechselbeziehungen". Daneben scheint es noch eine ganze Reihe von Vorstellungen über den Begriff "Bodenökologie" zu geben, ohne daß eine Definition versucht wird.

Bodenökologie ihre Beziehung zu Bodengenetik, Klassifikation und Kartierung

Boden ist das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte, unter dem Einfluß der Umweltfaktoren entstandene und sich weiterentwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Organisation, das in der Lage ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen und die Lebensgrundlage für Tiere und Menschen bildet. Nach dieser Definition ist der Boden ein Ökosystem, das seine Entstehung und Entwicklung der Wechselbeziehung zwischen organischen und anorganischen Stoffen, also auch lebenden Organismen, verdankt. Es ist danach sicher notwendig und sinnvoll, die Strukturen und Zusammenhänge der Wechselwirkungen zu untersuchen. Dies muß in Zusammenarbeit aller Arbeitsgebiete der Bodenkunde geschehen.

* Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greif-Str. 195, 47803 Krefeld

Da die Arbeitsfelder der Kommission V schon immer eine ökologische Arbeitsweise voraussetzten, ergeben sich hier kaum neue Aufgaben oder neue Forschungsbereiche. Im Arbeitsbereich "Bodengenetik" dominieren ökologische Arbeitsansätze, da die Genese des Bodens häufig das Produkt der Wechselbeziehung zwischen organischer und anorganischer Materie sowie den Bodenorganismen darstellt. Klassifikation beruht auf den im Boden sichtbaren oder erfassbaren Ergebnissen der genetischen Prozesse, die wiederum die Grundlage für die Bodenkartierung bilden.

In der Auswertung der Bodenkartierung, der Erstellung thematischer Karten sind andere Definitionen, zum Beispiel die Wechselbeziehung zwischen Mensch und Boden, von Bedeutung.

Zusammenfassung

Die Intensivierung einer ökologischen Arbeitsweise im Bereich Bodenkunde ergibt für die Arbeitsfelder der Kommission "Bodengenetik, Klassifikation und Kartierung" keine neuen Ansätze für neue Aufgaben- und Forschungsbereiche. Für diese Kommission stand eine ökologische Betrachtungsweise schon immer im Vordergrund. Zur Aufbereitung von Forschungsergebnissen, ihre Auswertung und zur Untersuchung der Auswirkungen auf die Arbeitsgebiete der Kommission V wird die Gründung einer Arbeitsgruppe Bodenökologie jedoch begrüßt.

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenmineralogie

von

Stahr, *K.

Einleitung

Eine umwelt- und gesellschaftsbewußte Bodenkunde muß sich mit "Bodenökologie" befassen. Da Bodenökologie ein Modebegriff geworden ist, ist es wichtig, daß innerhalb einer wissenschaftlichen Gesellschaft um eine klare Standortsbestimmung gerungen wird, damit nicht die Fachtermini wie die Modefarben wechseln.

1. Definitionen

Böden: Böden sind Naturkörper und als solche vierdimensionale Ausschnitte aus der Erdkruste, in denen sich Gestein, Wasser, Luft und Lebewelt durchdringen. Unsere Böden sind also komplexe Systeme, die zwar belebt aber nicht selber Leben sind. Erst nach ihrem Tode werden die Lebewesen zu Bestandteilen des Bodens "nos habebit humus". Böden sind Bestandteile aller Ökosysteme, auf jeden Fall aller terrestrischen Ökosysteme.

Ökologie: Ökologie ist die Wissenschaft von den Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt. Lebewesen beeinflussen ihre Umwelt und Lebewesen werden von der Umwelt beeinflusst. Deshalb gibt es auch intensive Wechselbeziehungen zwischen Böden und dem Bodenleben, beide wirken aufeinander ein. Ihre Veränderungen sind jeweils ohne den anderen Bestandteil des Systems nicht denkbar.

Bodenökologie: Bodenökologie befaßt sich mit dem Einfluß, den Böden auf die in ihnen oder auf ihnen lebenden Tiere und Pflanzen haben. Sie befaßt sich mit den Wirkungen und Veränderungen, die Lebewesen in Böden verursachen, genauso wie mit den Einflüssen, die Böden auf Entwicklung, Wachstum und Wohlbefinden dieser Lebewesen haben. Da viele Lebewesen mehr oder weniger aufgrund ihrer genetischen Anlage standorttreu sind, müssen die Böden die Ansprüche der Lebewesen an ihrem Raumbedarf, ihrem Wasser- und Luftbedarf, ihre Nährstoffe und ihren Energiestoffwechsel bereitstellen bzw. befriedigen. Dort wo Böden nicht in der Lage sind bestimmte Ansprüche von

Lebewesen zu befriedigen, wirken sie selektierend auf die Verbreitung dieser Arten.

Die Suche nach einem "Standort" der Bodenökologie innerhalb der Bodenkunde (Stahr, 1993), kann zunächst durch eine Negativausgrenzung eingeschränkt werden. Bodenökologie hat zwar bis heute ein starkes Theoriedefizit, sie wird aber nicht zur theoretischen Bodenkunde zu rechnen sein, da sie nur sinnvoll ist, wenn sie sich mit konkreten Böden und Lebewesen auseinandersetzt. Die Säulen der Allgemeinen Bodenkunde, sind die klassischen Naturwissenschaften: Physik, Chemie, Biologie und Mineralogie. Auch in dieser Reihung kann die Bodenökologie keinen Platz finden, da sie selbst bereits ein gesamtes System beschreibt und deshalb nicht in ihren Methoden auf ein einzelnes Kompartiment festgelegt werden kann. Auch gehört die Bodenökologie nicht zu den zentralen Wissensbereichen der regionalen Bodenkunde mit Systematik, Genetik und Bodengeographie. Sie hat allerdings enge Beziehungen zu dem Bereich der Bodenbiologie im allgemeinen und dem Bereich der Bodengenetik im speziellen. Trotzdem ist Bodenökologie ein eher angewandter Wissenszweig. Sie muß sich mit den Konsequenzen befassen, die Bodeneigenschaften als sehr konservative Größen auf die Lebensmöglichkeiten von Pflanzen und Tieren in einem bestimmten Raum haben. Bodenökologie hat deshalb traditionell sehr enge Beziehungen zur bodenkundlichen Standortskunde, denn sie versucht Prognosen über Lebensmöglichkeiten für bestimmte Arten in und auf Böden zu geben. Das heißt Bodenökologie ist nicht direkt nutzungsorientiert, sondern versucht, Systeme in ihrer Stabilität zu beschreiben. In dem Maße, in dem die Erhaltung des Naturhaushaltes auch eine erstrebenswerte Nutzung einer Landschaft ist, wird aber Bodenökologie zu den klassischen Bereichen angewandter Bodenkunde werden. Hier sind dann biologische Fragen einer Umweltverträglichkeitsprüfung an vielen Stellen zu beantworten. So gesehen tritt Bodenökologie neben Pflanzenernährung, Bodentechnologie, Bodenmechanik, Bodenbewertung und Bodenschutz als eine wesentliche Richtung der angewandten Bodenkunde mit einem eigenen unverwechselbaren Profil.

2. Beziehungen zwischen Bodenökologie und Bodenmineralogie

Jede angewandte Richtung einer Wissenschaft hat die Aufgabe, Erkenntnisse der Grundlagenbereiche den Nutzern zugänglich zu machen. Sie hat also eine Transformatorfunktion. Man müßte sich also fragen, welche Erkenntnisse aus der Bodenmineralogie sind für bodenökologische Fragen relevant. Daß Ergebnisse der anderen Grundlagendisziplinen Physik, Chemie und Biologie relevant sind, versteht sich doch fast von selbst. Minerale sind für den Boden ja zunächst hauptsächlich deshalb interessant, weil sie bestimmte Festigkeiten und Größen haben (physikalische Eigenschaften), weil sie aus bestimmten Elementen bzw. Ionen aufgebaut sind (chemische Eigenschaften) und weil sie Lebewesen durch ihr Vorhandensein begünstigen oder benachteiligen. Dies würde bedeuten, daß die Bodenökologie nur indirekt über chemische, physikalische und biologische Eigenschaften mit der Bodenmineralogie kommuniziert. In dem Maße aber wie Bodenminerale an ihrer Oberfläche direkten Kontakt mit der Bodenlösung, mit Pflanzenwurzeln und Bodenmikroorganismen haben, wird plötzlich der Mineralbestand direkt bedeutungsvoll für die Lebewesen. Organomineralische Verbindungen sind bis heute mehr die Domäne der Bodenchemiker, als die der Bodenmineralogen. Unser Interesse an der

ökologischen Relevanz der Bodenminerale setzt aber spätestens dort ein, wo solche Minerale nur durch die Aktivität bestimmter Lebewesen möglich sind. Lebewesen verursachen Lösungsformen auf Gesteinen und an Bodenmineralen, andererseits begünstigen sie auch in starkem Maße die Bildung bestimmter Bodenminerale. Eisen- und Schwefelminerale, sowie Opalphytolithen, Calcitkristalle, die direkt von Bakterien oder Algen oder anderen Organismen ausgeschieden werden, sind dafür gute Beispiele. Es scheint deshalb mehr ein Defizit an Beobachtern zu geben, denn an Phänomenen, die gleichzeitig Interesse von Bodenökologen und Bodenmineralogen wecken könnten.

3. Aktuelle Gefahren und Möglichkeiten

In der Tradition der Entwicklung der bodenkundlichen Wissenschaft aus den Wurzeln Geologie, Chemie und Agrarwissenschaft hat die Bodenökologie erst sehr spät eine Betonung erfahren. War nicht die Entwicklung stärker auf Differenzierung aus, denn auf eine synthetische Betrachtung. In unserer modernen, stark nach Akzeptanz ausgerichteten Wissenschaft besteht die Gefahr, den Modebegriff Ökologie überall da zu verwenden, wo man in der Gesellschaft Beifall oder Duldung erheischt. Nur wenn sich die Bodenökologie, d. h. die Bodenökologen ihrer eigentlichen Aufgabe widmen, wird die Bodenökologie auf Dauer als selbständiger Bereich innerhalb der bodenkundlichen Wissenschaft akzeptiert werden. Entsprechend dem Anspruch, insbesondere Transportprozesse und kausale Wechselwirkungen in Boden-Lebewesen-Systemen zu bearbeiten, muß die Bodenökologie sich innerhalb der wissenschaftlichen Gesellschaft Bodenkunde als Förderer inner- und interdisziplinärer Austauschvorgänge hervortun. Wenn dies das Ziel der Bodenökologen ist, so muß ihrem Anliegen nach einem eigenständigen Forum zum Gedankenaustausch stattgegeben werden. Wissenschaftsbereiche werden in erster Linie an ihrem Beitrag zum Gedankengebäude der Gesamtwissenschaft gemessen. Wissenschaftliche Aktivität ist deshalb immer Aktivität zur Erneuerung, zur Vertiefung und zum Aufbau. Aktive zukunftsorientierte Bereiche werden immer ein Forum finden, indem sie anerkannt arbeiten können. Die Gesellschaft und auch eine wissenschaftliche Gesellschaft muß sich der Entwicklung anpassen ohne die Prinzipien aufzugeben.

Literatur

STAHR, K. (1991): Die Teilgebiete der Bodenkunde - Versuch einer Gliederung. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. Bd. 72/11, S. 1425-1428.

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenchemie

von

Sticher, H.*

Aus der Sicht der Bodenchemie kann die Bodenökologie in dem Sinne definiert und abgegrenzt werden, wie sie von STICHER [1] im Beitrag zur *Bodenökologie in der Schweiz* vorgestellt wurde. Da die bodenökologische Forschung gemäß dieser Definition als Systemforschung betrachtet wird, ist es die Aufgabe der Bodenchemie, chemische und biochemische Systemeigenschaften und Prozesse im Lebensraum Boden zu erforschen. Zum einen geht es darum, den chemischen Zustand des Systems vom makroskopischen, durch Heterogenität geprägten und damit im wesentlichen statistischen Bereich bis zum mikroskopischen, punktbezogenen Bereich zu beschreiben. Zum andern sind die Veränderungen dieses Zustandes als Folge der biotischen Aktivität sowie der Einwirkung abiotischer Faktoren im zeitlichen Ablauf zu verfolgen. Wesentlich ist dabei, daß der Bodenchemiker auf der einen Seite ebenso wie der Bodenökologe mit dem System vertraut ist und seine Wissenschaft im gleichen Sinne als Systemwissenschaft versteht, auf der anderen Seite aber die Methoden der modernen Chemie beherrscht und diese auf das System anzuwenden weiß. Der Bodenchemiker wird so zum Mittler zwischen der molekularen Chemie und der systemaren Ökologie, ebenso wie der Bodenbiologe die Mittlerrolle zwischen der molekularen Biologie und der Ökologie wahrnimmt.

Grob läßt sich die Bodenchemie (im Dienste der Bodenökologie) in vier Bereiche unterteilen, die sich allerdings teilweise überdecken, aber je nach Problemstellung im Vordergrund stehen. Zum ersten müssen die anorganischen und organischen Bestandteile des Lebensraums bezüglich ihrer Struktur und Oberfläche charakterisiert werden. In diesem Bereich ist eine enge Zusammenarbeit mit der Bodenmineralogie bzw. der organischen Chemie erforderlich. Zum zweiten geht es um die Interaktion zwischen Festkörpern unter sich (Koagulation, Dispersion) sowie um die Chemie an den Grenzflächen zwischen Festkörpern und Bodenlösung (Auflösung/Ausfällung, Sorption, Ionentausch, Oberflächenkomplexierung, Spezierung). Hier kann die aquatische Chemie wertvolle Impulse vermitteln. Der dritte Bereich betrifft die Grenzfläche Bodenluft/Bodenlösung mit Problemen wie Sauerstoffdiffusion, Redoxpotential usw. Hier bestehen starke Querverbindungen zur Bodenphysik. Schließlich führt uns der vierte Bereich zu den Interaktionen zwischen der belebten und unbelebten Welt des Bodens mit Querbeziehungen zu Biochemie und Biologie.

*) Institut für Terrestrische Ökologie ETH, Grabenstraße 3, CH-8952 Schlieren / Schweiz.

Zwei Beispiele mögen diese Überlegungen verdeutlichen:

1. Mikroorganismen können nach neueren Untersuchungen mit dem Wasser in Böden verlagert werden. Sie verhalten sich dabei in vieler Hinsicht ähnlich wie kolloidale Partikel gleicher Größe, Dichte und Oberflächenladung. Man kann daher versuchen, die Gesetze der Kolloidchemie anzuwenden, um ihre Flockung und Haftung an die Bodenmatrix besser zu verstehen. Für experimentelle Studien lassen sich gleichgeladene Latexkolloide von gleicher Größe als Modellkolloide für die Mikroorganismen einsetzen. Während die Sorption bei Mikroorganismen und Latexteilchen zu vergleichbaren Resultaten führt, bestehen bei der Desorption jedoch erhebliche Unterschiede. Im Gegensatz zu den Latexteilchen scheiden die Mikroorganismen, wenn sie einmal die Energiebarriere an der Matrixoberfläche überwunden haben, aktiv Kittstoffe aus, welche die Haftung verstärken. Nur die Kenntnis von Mikrobiologie und Kolloidchemie vermag diese Phänomene richtig zu deuten [2].
2. Seit längerem ist bekannt, daß auch ungesättigte, gut durchlüftete Böden N_2O emittieren. Da dazu anaerobe Verhältnisse notwendig sind, wurde vermutet, daß die Denitrifikation, welche das N_2O liefert, im Innern größerer Aggregate stattfinden müsse, wo der Sauerstoffpartialdruck wegen ungenügender Nachlieferung unter ein bestimmtes Minimum abgesunken sei. Mit Hilfe von aus der Medizin bekannten Mikrosonden, welche in Krümel von verschiedenem Durchmesser eingesteckt wurden, konnten nun kürzlich Profile von Sauerstoff- und Lachgaspartialdrücken im Innern der ungestörten Aggregate gemessen werden [3].

Die Umschreibung der Bereiche und Querbeziehungen der Bodenchemie wie auch die aufgeführten Beispiele zeigen, daß eine befriedigende Beschreibung und Erforschung des Lebensraums Boden und der in ihm ablaufenden Prozesse nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit zum Erfolg führen wird. Voraussetzung für diesen Erfolg ist allerdings, daß Interdisziplinarität richtig verstanden wird. Erfolgversprechende Zusammenarbeit beginnt bereits bei der Planung von Projekten. Auf diese Weise können die Fachspezialisten von Anfang an mit in die Verantwortung einbezogen werden, und Fehlversuche lassen sich vermindern oder gar vermeiden. Ein späterer Beizug führt oft zu einem hierarchischen Abhängigkeitsverhältnis, welches die Zusammenarbeit wohl kaum fördert. Das Gleiche gilt sinngemäß für die Auswertung und Darstellung der Resultate.

Die Betrachtungen führen zu dem Schluß, daß die Bodenökologie im Rahmen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft eine Querschnittsfunktion einnehmen und deshalb nicht als weitere Kommission etabliert werden sollte. Es muß vielmehr eine Organisationsform gefunden werden, welche dieser Querschnittsfunktion entgegenkommt und die interdisziplinäre Zusammenarbeit fördert. Analog zur AG Bodenschutz könnte zum Beispiel eine kommissionsübergreifende *Arbeitsgruppe* oder *Sektion* geschaffen werden.

Literatur

- [1] Sticher, H. (1995): Bodenökologische Forschung in der Schweiz. Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch. (dieser Band).
- [2] Bosma, T.N.P. and Zehnder, A.J.B. (1994): Behavior of microbes in aquifers. In: Dracos, Th. and Stauffer, F. (eds.): Transport and reactive processes in aquifers. Balkema, Rotterdam. pp. 37-41.
- [3] Højberg, O., Revsbech, N.P., and Tiedje, J.M. (1994): Denitrification in soil aggregates analyzed with microsensors for nitrous oxide and oxygen. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 1691-1698.

Bodenökologie und ihre Bedeutung für die Bodenbiologie

von

Weidemann, G.

Gerd Weidemann, Kommission III (Bodenbiologie)

Die Kommission III (Bodenbiologie) hat anlässlich ihrer Sitzung in Braunschweig am 17./18.11.1994 über Sinn und Notwendigkeit der Gründung oder Ausweisung einer eigenen Kommission / Sektion für Bodenökologie innerhalb der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft diskutiert. Es wurde einhellig die Meinung vertreten, daß die Kommission III vom Forschungsgegenstand her bodenökologisch orientiert sei, die Gründung einer entsprechenden Kommission zugleich die Kommission Bodenbiologie überflüssig mache.

Vor dem Hintergrund dieser Diskussion und eigener Überlegungen möchte ich im folgenden unsere Stellungnahme präzisieren. Sie bezieht sich auf zwei Aspekte: 1. einen inhaltlich-wissenschaftlichen (Was ist Forschungsgegenstand der Bodenökologie?) und 2. einen öffentlichkeits-bezogenen (Wie soll die DBG sich gegenüber der Öffentlichkeit darstellen und in ihr wirken?).

Forschungsgegenstand der Bodenökologie

Der Begriff "Ökologie" wurde von dem Zoologen Ernst Haeckel 1866 geprägt und wie folgt definiert:

"Unter *Oecologie* verstehen wir die gesammte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Aussenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle "Existenz-Bedingungen" rechnen können. Diese sind theils organischer, theils anorganischer Natur;...

Zu den anorganischen Existenzbedingungen, welchen sich jeder Organismus anpassen muss, gehören zunächst die physikalischen und chemischen Eigenschaften seines Wohnortes, das Klima (Licht, Wärme, Feuchtigkeit und Elektrizitätsverhältnisse der Atmosphäre), die anorganischen Nahrungsmittel, Beschaffenheit des Wassers und des Bodens etc..

Als organische Existenz-Bedingungen betrachten wir die sämtlichen Verhältnisse des Organismus zu allen übrigen Organismen, mit denen er in Berührung kommt, und von denen die meisten entweder zu seinem Nutzen oder zu seinem Schaden beitragen." (HAECKEL, 1866, S. 286).

Diese Definition gilt im Prinzip noch heute und steht in ähnlicher Form in allen modernen Ökologie-Lehrbüchern. In unserem Zusammenhang ist von Bedeutung: Ökologie befaßt sich mit

den Umweltbeziehungen von O r g a n i s m e n. *Bodenökologie* ist demnach die Wissenschaft, die die Wechselbeziehungen zwischen Bodenorganismen, die Beeinflussung von Bodenorganismen durch das Milieu, in dem sie leben, und den Einfluß, den sie auf dieses Milieu ausüben, analysiert. *Bodenökologie* ist also umfassender als *Bodenbiologie*. Diese beschreibt als Mikrobiologie, Mykologie, Zoologie bodenlebende Organismen, definiert ihre systematische Stellung und untersucht ihre Lebensweise. Damit bildet sie eine der Säulen einer ökologisch orientierten Bodenkunde. Die anderen Säulen sind Bodenphysik, Bodenmineralogie und Bodenchemie, deren Rolle aus ökologischer Sicht darin besteht, die anorganischen Gegebenheiten, unter denen Bodenorganismen existieren, darzustellen und die Einflüsse, die durch die Aktivitäten von Organismen auf die Bodenmatrix und auf die im Boden sich abspielenden Prozesse der Stoffumwandlung und des Stoff- und Energieumsatzes ausgeübt werden, zu analysieren. *Bodenökologie* bildet also einen *Überschneidungsbereich* zwischen verschiedenen bodenbezogenen (Teil-) Naturwissenschaften. Die Zielrichtung kann dabei ausschließlich auf Erkenntnis bezogen (sogen. Grundlagenforschung) oder anwendungsorientiert sein. Vielfach besteht, wie in der übrigen Ökologie auch, eine enge Wechselbeziehung zwischen beiden Aspekten, so daß eine Trennung wenig sinnvoll ist.

Böden sind immer Bestandteile (terrestrischer) Ökosysteme. Die meisten der am und im Boden sich abspielenden Prozesse sind gleichzeitig *Teilprozesse* des betreffenden Ökosystems und der gesamten Landschaft. *Bodenökologische* Forschung findet daher auf einem weiten Spektrum räumlicher und zeitlicher Skalen und somit auf unterschiedlichen Integregationsebenen statt. Zwischen diesen bestehen jedoch Übergänge und Verknüpfungen, so daß insgesamt eine geschachtelte hierarchische Organisation resultiert. Wenn *Bodenökologie* zum Verständnis von Struktur und Funktion von Ökosystemen beitragen soll, muß sie folglich ökosystemar orientiert sein.

Bodenökologie in der DBG

Wie oben dargelegt, bildet *Bodenökologie* einen Wissenschaftsbereich, in dem sich verschiedene Fachdisziplinen überschneiden. Analoge Überschneidungsbereiche mit starkem oder ausschließlichem Anwendungsbezug werden innerhalb der DBG durch Kommissionen repräsentiert: Probleme der Bodenfruchtbarkeit durch die Kommission IV, der Bodengenetik durch die Kommission V und solche der Bodentechnologie durch die Kommission VI. Die Forschungsgegenstände dieser drei Kommissionen enthalten in unterschiedlichen Anteilen auch ökologische Fragestellungen. Macht es also Sinn, darüber hinaus eine weitere Kommission (oder, wie von der Kommission IV vorgeschlagen, eine kommissionsübergreifende Sektion) für den Überschneidungsbereich *Bodenökologie* einzurichten? Die eindeutige Zuordnung von Vorträgen zu einer der jeweiligen Kommissionen für die Jahrestagungen orientiert sich schon heute eher an den Wünschen der Autoren statt am Inhalt, da dieser vielfach mehreren Kommissionen

zugeordnet werden könnte. Wie der die Bundesregierung beratende Sachverständigenrat für Umweltfragen betont, "ist der Boden ... entscheidend durch den Tatbestand der Belebtheit geprägt. Darüber hinaus ist der Boden in seiner Entstehung, Entwicklung und Erhaltung vollständig von der Mitwirkung von Lebewesen oder biologischen Vorgängen abhängig" (SRU 1985, TZ 24). Bodenökologie ist also integraler Bestandteil der Bodenkunde und braucht deshalb nicht gesondert als einer ihrer Forschungsgegenstände ausgewiesen zu werden.

Bleibt das Argument der Außendarstellung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Hier ist zu bedenken, daß der Begriff 'Ökologie' im Deutschen sehr viel weiter gefaßt wird als im englischsprachigen Raum, wo es neben *ecology* noch *environmentalism* gibt. TREPL (1987, S. 12) bezeichnet ihn als ein "neues 'Fahnenwort'", als "oberst-normativen Begriff"..., der "all jene Hoffnungen" bündelt, "für die einst Worte wie Paradies, messianisches Zeitalter, Kommunismus und andere, kurz vor der Erlösung angesiedelte standen". Ökologie als Naturwissenschaft ist aber gerade nicht normativ. Sie kann (und muß!) Grundlagen und Voraussetzungen für normative Setzungen im Umweltbereich liefern. Diese erfolgen jedoch auf gesellschaftlicher Ebene (vgl. WEIDEMANN 1990). Die Fähigkeit und Bereitschaft der DBG hieran mitzuwirken, ist seit langem bekannt und belegt. Inhaltlich würde sich mit der Einrichtung einer Kommission oder Sektion für die DBG nichts ändern. Bei der jetzt schon inflationären Verwendung des Begriffs "Ökologie" würde seine Einführung innerhalb der DBG vermutlich ohne Öffentlichkeitswirkung bleiben.

Als Schlußfolgerung aus der Diskussion in Münster käme schließlich folgende Alternative in Betracht, die wohl den Intentionen und Bedürfnissen einer großen Mehrheit entspricht: die Einsetzung einer an den Vorstand gebundenen zeitlich befristeten Arbeitsgruppe aus Vertretern aller (interessierten) Kommissionen. Ihre Aufgabe könnte es sein, eine Liste mit Vorrang zu bearbeitender bodenökologischer Probleme zu erstellen, Anregungen für Kooperationen zur deren Lösung zu geben sowie die Einwerbung von Forschungsmitteln hierfür zu unterstützen.

Zitate

HAECKEL, E., 1866: Generelle Morphologie der Organismen. Bd. 2. Reimer, Berlin.

SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen), 1985: Umweltprobleme der Landwirtschaft. Sondergutachten März 1985. - Kohlhammer, Stuttgart. Mainz.

TREPL, L., 1987: Geschichte der Ökologie. Vom 17. Jahrhundert bis zur Gegenwart. - Athenäum, Frankfurt/M.

WEIDEMANN, G., 1990: Indikation, Beurteilung und Bewertung in der Ökotoxikologie.- Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent. 7. 577-581.

**Bodenökologische Aufgaben und Aktivitäten des Naturschutzzentrums
der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW**

von

Laukötter, G.*

Das Naturschutzzentrum Nordrhein-Westfalen in der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten (LÖBF) versteht sich als Kooperationsmodell des Landes NRW mit den anerkannten Naturschutzverbänden. Seit 1985 bietet diese Bildungseinrichtung jährlich etwa 100 Fortbildungsveranstaltungen an und betreibt naturschutzbezogene Öffentlichkeitsarbeit. Bis April 1994 zu Zeiten der LÖLF (Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung) gab es eine Abteilung "Bodennutzungsschutz und Bodenökologie", so daß eine enge fachliche Anbindung an die Bildungsarbeit des Naturschutzzentrums bestand. Inzwischen ist diese Abteilung wie auch das zwischenzeitlich ins Leben gerufene Bodenschutzzentrum in das neue Landesumweltamt NRW mit Sitz in Essen eingegliedert und neu formiert worden.

Seit nunmehr zehn Jahren wird der Themenkomplex "Bodenökologie" vom Naturschutzzentrum NRW innerhalb der Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit vermittelt. In einem der Fachgebiete, die sich der Fortbildung widmen, ist die Bodenökologie ein Teilbereich der vom NZ behandelten Naturschutzthemen. Die neue Situation erfordert in noch höherem Maße als bisher eine enge Kooperation mit den fachlich zuständigen Institutionen. Als Kooperationspartner und Mitausrichter sind insbesondere folgende Partner, die oft auch die fachliche Federführung innehaben, besonders zu nennen:

- das Ministerium für Umwelt, Raumplanung und Landwirtschaft (MURL)
- das Landesumweltamt (LUA)
- die Landwirtschaftskammern (LWK inklusive der LUFEN)
- das Geologische Landesamt (GLA)
- die Universitäten
- weitere Fachinstitutionen und Fachreferenten
- die Naturschutzverbände

Das Naturschutzzentrum NRW versteht sich somit als ein Forum, das mit wechselnden Kooperationspartnern Themen der Bodenökologie im Spannungsfeld des Naturschutzes in

* LÖBF Naturschutzzentrum, Leibnitzstr. 10, 45659 Recklinghausen

verschiedenen Veranstaltungstypen (Seminare, Fachtagungen, Praktika, Kongresse, Lehrgänge und Exkursionen) anbietet. Die Themen werden aus den Wünschen der bildungswilligen Veranstaltungsteilnehmer gesammelt, in der eigenen Einrichtung erörtert sowie von unseren Kooperationspartnern vorgeschlagen. Ein beim Naturschutzzentrum eingerichtetes Kuratorium prüft diese Vorschläge und verabschiedet die Themenliste für das jeweilige Jahresprogramm. Ein oberster Beirat beim Ministerium steht ebenfalls beratend für die Bildungsarbeit des NZ NRW zur Seite.

Die Bodenökologie ist bisher überwiegend in Form von grundlegenden Lehrgängen sowie einzelnen fachlich spezifischeren Tagungen angeboten worden. Defizite im Bildungsangebot zu dieser Thematik führen seit Jahren zu einer sehr starken Nachfrage der Kurse. Da die Bodenökologie in dieser Institution eng an den Naturschutz geknüpft wird, liegen die Schwerpunkte der Veranstaltungen in den Teilaspekten Bodenkunde, Bodenbiologie und Bodenschutz.

Die Adressaten der Naturschutzbildungsarbeit sind weit gestreut. Auf diese Weise ist das Teilnehmerfeld in den meisten Fällen sehr heterogen zusammengesetzt. Ein Teil der Veranstaltungen richtet sich jedoch auf einzelne Zielgruppen wie zum Beispiel Landschaftsbeiräte, Bedienstete von Kommunen, Landschaftsbehörden, Kleingärtner, Lehrer, Forstleute usw. Viele Bürger nutzen den Hauptlehrgang "Ökologie und Schutz des Bodens" als Bildungsurlaub.

Der Begriff "Bodenökologie" wird vor allem in den Grundlagenkursen definiert. Bei der Bestimmung dessen, was Bodenökologie beinhaltet, werden insbesondere die Wechselbeziehungen zwischen den abiotischen, biotischen und anthropogenen Faktoren dargestellt. Mit der in Münster weitgehend abgestimmten Definition ist in der bisherigen Bildungsarbeit weitestgehend schon gearbeitet worden.

Eine besondere Bildungsaufgabe übernimmt seit drei Jahren der "Lumbricus". Dieser mobile Umweltbus ist in erster Linie für die Umwelt- und Naturschutzfortbildung an Schulen unterwegs. Eines der Hauptthemen ist die Untersuchung von Boden, was dem Namen des Umweltbusses auch alle Ehre macht.

Die Öffentlichkeitsarbeit zur Bodenökologie und zum Bodenschutz ist im NZ NRW weit gefächert. Eine Großausstellung "Der Boden lebt" ist im Dauereinsatz. Hierzu gibt es ein Poster und eine Ausstellungsbegleitbroschüre. Eine Diaserie "Bodenschutz" ist in Vorbereitung. Über Ökoinformationen und anderen Publikationen werden Teilthemen der Bodenökologie sowie Maßnahmen des praktischen Bodenschutzes bürgernah behandelt und über entsprechende Verteiler verbreitet. Die Beschäftigung mit dem Boden reicht sogar bis in die Vorschulerziehung. Das NZ gibt Broschüren zum Thema Natur- Kinder- Garten und Naturspielräume heraus, in denen der Boden eine wichtige Erlebnisfläche für die Kinder darstellt.

Bodenökologische Aufgaben und Aktivitäten des Landesumweltamtes NRW

von

Necker, U.*

Im Landesumweltamt NRW (LUA) sind bodenökologische Aufgabenstellungen im Dezernat "Bodenschutz, Auswirkungen belasteter Böden, Bodeninformationssystem" innerhalb der Abteilung "Umweltqualität" in der Gruppe "Sicherung der Umweltqualität" angesiedelt. Es bestehen enge Kooperationen mit den Dezernaten, die sich mit der Qualität der angrenzenden Ökosystemkompartimente Atmosphäre, Grundwasser und Oberflächengewässer und mit den an Böden gestellten Nutzungsansprüchen und ihren Folgen befassen; Stichworte sind hier z.B. Reststoffverwertung, Altlasten und Raumplanung

Alle Arbeitsprogrammpunkte des Bodenschutz-Dezernates im LUA haben das gemeinsame Ziel, den Boden vor Belastungen zu schützen und seine ökologischen Funktionen als Lebensraum, als Produktionsfläche und als ökologischen Regelungsfaktor gegenüber Nutzungsansprüchen und Eingriffen nachhaltig zu sichern. Die konkrete Aufgabenstellung wird dabei durch die prioritären Probleme im Bodenschutz vorgegeben und beinhaltet schwerpunktmäßig die Bearbeitung und Lösung praxisrelevanter, angewandter Fragestellungen

Als Hauptproblembereiche des Bodenschutzes werden derzeit

- Flächeninanspruchnahme und -versiegelung
- stoffliche Belastung durch Schadstoffeinträge über verschiedene Einwirkungspfade sowie
- Erosion und Verdichtung

angesehen

Wichtige Aufgaben des Bodenschutzes sind dabei

- Aufzeigen und Lösen von Zielkonflikten zwischen den Nutzungen des Bodens einerseits und seinen Funktionen im Naturhaushalt andererseits
- Vermeidung von Belastungen, z. B. Schadstoffeinträgen durch Erarbeitung von Handlungskonzepten zur Unterlassung bzw. Minimierung von Belastungen als **Vorsorge**
- Erfassung und Bewertung vorhandener Belastungen und Minderung von deren Auswirkungen durch Maßnahmenkonzepte zur **Gefahrenabwehr**

Vor diesem Hintergrund sind auch aus Sicht des LUA als Anwender bodenökologischer Forschung eine klare Definition des Begriffes "Bodenökologie", Klarheit über deren Aufgabenstellung und die Zuständigkeiten der verschiedenen Fachdisziplinen wünschenswert; hierzu sind am gestrigen Workshop-Tag übereinstimmend wesentliche Ergebnisse erzielt worden; es sollten aber über dieser sicher erforderlichen Diskussion nicht die oben genannten pragmatischen Ziele des Bodenschutzes und die Notwendigkeit der Umsetzung dieser Schutzziele in die Praxis durch die Umweltverwaltung aus den Augen verloren werden. Hier besteht für den Bereich der ökologischen Bodenfunktionen ein erhebli-

* Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Postfach 10 23 63, 45023 Essen

cher Mangel an fachlich fundierten Bewertungsmaßstäben und an gesetzlichen Grundlagen (vgl. vor-hergehende Beiträge des Umweltamtes der Stadt Münster sowie des Grünflächenamtes der Stadt Dorsten).

Das Schließen dieser Lücke kann m. E. nur durch eine problemorientierte, gleichberechtigte **Kooperation** zwischen den verschiedenen mit bodenökologischen Fragen befaßten Fachdisziplinen gelingen, was ebenfalls ein wichtiges gemeinsames Ergebnis des gestrigen Workshop-Tages war.

In dieser Zusammenarbeit sind **wesentliche Aufgaben der Bodenökologie:**

- die Charakterisierung von Beziehungen, Funktions- und Kausalzusammenhängen zwischen Bodenbiozönose, abiotischen Standortfaktoren und anthropogenen Einflüssen, deren Typisierung, das Herausarbeiten von Mustern, die Ableitung von Modellen
- die Beschreibung der Wirkungspfade und -mechanismen für die verschiedenen Einflußfaktoren sowie
- eine qualitative, möglichst auch quantitative Erfassung der Einwirkungen von Belastungen auf bodenökologische Prozesse sowie der Auswirkungen dieser auf angrenzende Ökosystem-Kompartimente einschließlich der Ableitung von Prognosen unter Annahme verschiedener Szenarien

Das Verständnis dieser bodenökologischen Zusammenhänge ist die Basis für gezielte Schutzmaßnahmen.

Zur Umsetzung von Schutzziele im angewandten Bodenschutz durch die Umweltverwaltungen ist aber über die wertfreie Beschreibung und Beurteilung dieser bodenökologischen Zusammenhänge hinaus der Schritt der **Bewertung**, d.h. eine Bewertung der Abweichung des Ist-Zustandes von den als Sollwert definierten Qualitätszielen unerlässlich. Dieser Arbeitsschritt muß m. E. - wie bereits am gestrigen Tag zur Einführung des Workshops von Herrn Prof. Sticher formuliert - in enger Abstimmung zwischen Wissenschaft/Forschung und Umweltverwaltung von einer "Schnittstelle Bodenökologie/Bodenschutz" wahrgenommen werden.

Wesentliche Aufgaben dieser "Schnittstelle" sind bei der generellen Zielsetzung der nachhaltigen Sicherung und des Schutzes der Bodenqualität, d. h. der Erhaltung der ökologischen Bodenfunktionen:

- die Erarbeitung von Beurteilungskriterien zur Bewertung der Bodenqualität und die Formulierung von bodenökologischen Qualitätszielen unter Vereinfachung und Klassifizierung nach Standorttypen
- das Erheben von Veränderungen der Bodenqualität durch Belastungen
- die Erarbeitung von Beurteilungskriterien zur Bewertung der Auswirkungen von Belastungen; auch hier ist eine Klassifizierung nach Standorttypen, relevanten Standortfaktoren, Empfindlichkeit, Wirkungspfaden u.a. notwendig
- die Erarbeitung von Kriterien zur Gewichtung nach mehr oder weniger vorrangigen Schutzziele als Vorgabe zur Ableitung von Prioritäten
- die Ableitung von schutzzielbezogenen Maßnahmenkonzepten und konkreten Handlungsempfehlungen zur Verringerung bzw. Minderung von Belastungen sowie
- die Erarbeitung von Vorschlägen zur Effizienzkontrolle

Aus der Sicht des praktischen Bodenschutzes möchte ich an die an dieser "Schnittstelle Bodenökologie/Bodenschutz" tätigen Bodenökologen appellieren, sich dieser Bewertungsaufgabe zu stellen und in verantwortbarem Umfang die Vereinfachung und Klassifizierung der erarbeiteten Informationen über die im realen Ökosystem komplexen und voraussichtlich niemals erschöpfend beschreibbaren Zusammenhänge anzugehen. Wichtig erscheint mir darüberhinaus auch die Beteiligung an der Gewichtung von Schutzziele in enger Zusammenarbeit mit dem behördlichen und politischen Bodenschutz. Nur über **fachlich fundierte**, aber gleichzeitig auch für Nicht-Fachleute **praktikable Bewertungsmaßstäbe** können die Belange der Bodenökologie im behördlichen Bodenschutz in der täglichen Praxis angemessen berücksichtigt und umgesetzt werden.

Bodenökologische Aufgaben und Aktivitäten der landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten - am Beispiel der LUFA Augustenberg

von

Timmermann, F., A. Thalmann und A. Krönung*

Als integrierende wissenschaftliche Teildisziplin benötigt die Bodenökologie zur Bearbeitung ihrer Fragestellungen und Lösungsansätze u.a. methodisches Rüstzeug und Informationen aus anderen Bodenwissenschaften, insbesondere der Bodenchemie und -physik sowie der Bodenbiologie. Über die Hälfte des Bodens werden landwirtschaftlich genutzt, so daß die Bodenökologie nahezu zwangsläufig wesentliche Beiträge zur Agrarökologie zu leisten hat und von dort wichtige Rückkopplungen erfährt.

Die landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (LUFA) sind in wesentlichen Bereichen mit bodenökologischen Aufgabenstellungen und Arbeiten befaßt. Es handelt sich dabei schwerpunktmäßig um die Aufgabengebiete:

- Untersuchungen der (kurz- und langfristigen) Auswirkungen verschiedener, insbesondere unterschiedlich intensiver Bodenbewirtschaftungsverfahren und von Stoffzufuhren zum Boden;
- Verfolgung der Nährstoff- und Schadstoffdynamik und ihre ökologische Bewertung;
- Früherkennung von Umweltbelastungen und -schädigungen, Einrichtung von Frühwarnsystemen (Umwelt-, Bodenmonitoring)
- Verwertung von Rest- und Abfallstoffen über den Boden, Integration in die Stoffkreisläufe.

Im folgenden sind Hauptbereiche der Aktivitäten anhand einiger konkreter Arbeitsfelder und Projekte kurz aufgezeigt:

1. Chemisch - physikalische Stoffuntersuchungen und ökologische Bewertung

Mit ihren vornehmlich auf (Groß-)serienuntersuchungen ausgerichteten technischen Einrichtungen und Methoden sind die LUFA sehr gut in der Lage, Stoffvorräte (Nährstoffe, Schwermetalle, org. Verbindungen u.a.) mit den unterschiedlichen chemischen Bindungen, Löslichkeiten („Verfügbarkeiten“) im Boden qualitativ und quantitativ zu bestimmen.

* Staatliche landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg, Neßlerstr. 23, 76227 Karlsruhe

Damit werden wichtige Daten für Stoffbilanzierungen und zur Beschreibung von Stoffkreisläufen sowie zur Steuerung von landwirtschaftlichen (Pflanzen-) Produktionssystemen geliefert. Zum anderen können die Ergebnisse zur Beschreibung und zum Verständnis stoffwechselfynamischer Prozesse herangezogen werden.

Die LUFA sind maßgeblich an der Messung von Stoffein- und -austrägen einschließlich der Untersuchung von landwirtschaftlich über den Boden verwertbaren Rest- und Abfallstoffen beteiligt.

Es werden umfangreiche Bodenuntersuchungen zur Erfassung von Belastungssituationen (stoffliche Altlasten) als Basis für Bodensicherungs- und -sanierungsmaßnahmen durchgeführt.

Die Erarbeitung von Bewertungskriterien (Richt-, Prüf-, Grenzwerte) wird intensiv im VDLUFA betrieben (Anforderungen von Ländern und Bund, z.B. Bodenschutzgesetz, Grundwasser- und Oberflächengewässer-Schutz, Düngemittelgesetz, Kreislaufwirtschaftsgesetz, AbfklärV u.a.m.).

2. Bodenbiologische Untersuchungen

Durch Bestimmung boden(mikro-)biologischer Parameter (biologische Aktivität, Biomasse, Enzymaktivitäten u.a.) wird versucht, bessere Kenntnisse über stoffdynamische Prozesse im Boden zu gewinnen, um prognostizierend, simulierend Aussagen machen zu können als Basis für Vorsorge- und Sanierungsmaßnahmen zum Bodenschutz.

Mit den bis vor wenigen Jahren üblichen bodenchemischen und bodenbiologischen Methoden konnten auf bodenökologische Fragen nur recht unzureichende Antworten gegeben werden.

Erst mit der Verfeinerung der methodischen Ansätze zur

- Erfassung leichtlöslicher organischer Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen,
- der aktiven mikrobiologischen Biomasse und mit der
- Erarbeitung von Methoden zur substratinduzierten Aktivität

wurde es möglich, bodenökologisch bedeutsame Vorgänge detaillierter zu beschreiben.

Als angewandte Forschungsthemen können angeführt werden (beispielhaft für die LUFA Augustenberg aufgezeigt):

- A.** "Experimentelle Bestimmung und Simulation mikrobieller Stoff-Transformationsprozesse im Boden mit dem Schwerpunkt der Stickstoff-Mobilisierung und -Immobilisierung" (DFG-Graduiertenkolleg "Ökologische Wasserwirtschaft")

Untersuchung des Einflusses der Mikroorganismen auf die N-Mobilisierung und N-Fixierung mit dem Ziel, die Nachlieferung über die Vegetationsperiode besser

abschätzen zu können. Eine Verbesserung des Prozeßverständnisses der N-Dynamik von Böden liefert verlässlichere Parameter zur Modellierung der Verlagerung von Stickstoff im Boden und erleichtert die Prognose zur N-Düngeberatung. Speziell wird die C- und N-Verfügbarkeit und die räumliche Variabilität im Boden betrachtet.

Ziel dieser Arbeit ist die experimentelle Bestimmung und Simulation mikrobieller Stoff-Transformationsprozesse im Boden mit dem Schwerpunkt der Stickstoff-Mobilisierung und -Immobilisierung.

B. "Weiterentwicklung und Anwendung bodenmikrobiologischer Parameter unter Berücksichtigung von organischen Schadstoffen"

Diese Projekt baut auf vorhergehende Forschungsarbeiten auf, in denen auf verschiedenen Standorten unterschiedliche bodenmikrobiologische Methoden getestet wurden.

Schwerpunkte der Untersuchungen sind:

- Weiterentwicklung der INT-Dehydrogenasemethode
- Ermittlung standorttypischer bodenmikrobiologischer Aktivitätsniveaus in den Teilregionen Baden-Württembergs
- Wirkung organischer Umweltschadstoffe (PCB, HCB) auf die bodenmikrobiologische Aktivität

C. "Begleitforschung zur Flächenstilllegung" Teilprojekt: „Biologische Aktivität - Nährstoffdynamik - Ertragsleistung“

„Einfluß unterschiedlicher Begrünungs- und Pflegeverfahren im Rahmen der Flächenstilllegung und des kontrollierten umweltschonenden Weinbaus auf die mikrobielle Aktivität, extrazelluläre Enzymaktivitäten und den Gehalt an löslichem organischem Stickstoff (Norg) in Böden.“

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Auswirkungen der unterschiedlichen Flächenstilllegungsmaßnahmen auf die mikrobiologische Aktivität im Boden untersucht. Ebenfalls wurden Erkenntnisse über den Einfluß der mikrobiologischen Umsetzungsprozesse auf die Nährstoffauswaschung gewonnen.

Gefragt wurde auch, inwieweit etwaige Veränderungen der biologischen Aktivität mit Veränderungen der leicht löslichen N-Fractionen in Beziehung stehen können.

D. "Bestimmung der substratinduzierten Dehydrogenaseaktivität und ihr Zusammenhang mit der Bewirtschaftung und dem Stickstoffhaushalt von Ackerböden"

3. Agrarökologische Forschungsprojekte

A. Anwendung von Stickstoff-Simulationsmodellen

"Ermittlung der Nitrat-Dynamik landwirtschaftlich genutzter Böden im Hinblick auf den Grundwasserschutz und zur Stickstoff-Düngebedarfsermittlung"

Durch den Einsatz von drei ausgewählten computergestützten Stickstoff-Simulationsmodellen wird erwartet, zukünftig die Einzelprozesse in Boden und Pflanze quantitativ zu beschreiben.

Ziel ist der mögliche Einsatz eines Modells in der landwirtschaftlichen Praxis zur Bemessung einer bedarfs- und umweltgerechten Düngung. Dadurch wird sich nicht jegliche Bodenuntersuchung erübrigen, aber die Auswahl von Probenahmezeitpunkten zur Bestimmung von pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden wird flexibler zu handhaben sein.

Der Einfluß bodenökologisch relevanter Einflußfaktoren und Prozesse ist in den gegenseitigen Abhängigkeiten zu berücksichtigen

B. Stoffhaushalt und Stoffdynamik

Schwerpunktmäßig sollte gefragt werden, wie kurzfristige Änderungen in der Stoffdynamik zu erfassen sind und wie ihre Richtung (Mobilisierung, Immobilisierung) im bodenökologischen Umfeld zu erkennen ist.

Dies bedingt nicht nur eine noch weitere Verfeinerung der vorhandenen Methodik und womöglich auch Entwicklung neuer Methoden, sondern führt auch zu stark steigendem Aufwand an Arbeitszeit und technischer Ausrüstung.

Entsprechend muß sich die Forschungstätigkeit auf das Studium von Modellen bzw. das Herausarbeiten von Modellen konzentrieren.

Die LUFA ist in mehreren Bereichen an der Bearbeitung solcher Modelle beteiligt:

- Erprobung von Vorhersagemodellen für die N-Dynamik.
- Erprobung von Methoden zur Messung substratinduzierter Aktivitäten, um einen besseren Zugang zum Verständnis der Prozesse zu gewinnen.
- Klassifizierungssystem von Ackerbaustandorten hinsichtlich der typischen mikrobiellen Aktivität

In zukünftigen Forschungsprojekten ist es notwendig die Bodenfauna einzubeziehen (Collembolen, Regenwürmer).

- C. "Prognosemodell für die Gewässerbelastung aus einem kleinen ländlichen Einzugsgebiet" (BMFT - gefördertes Verbundprojekt mit den Universitäten Karlsruhe, Heidelberg, Greifswald und Bayreuth)

LUFÄ bearbeitet zwei Teilprojekte:

1. Bilanzierung ausgewählter Herbizide landwirtschaftlich genutzter Böden im Untersuchungsgebiet

Ziele: - Bilanzierung von Eintrag, Konzentrationsabnahme und Verlagerung ausgewählter Herbizide

- Erhebung von Parametern für ein Pestizid-Teilmodell (in Zusammenarbeit mit Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe)

2. Bodennutzungserhebung sowie Bilanzierung landwirtschaftlich relevanter Stoffe im Untersuchungsgebiet

Ziele: -möglichst flächendeckende Nährstoffbilanzierung des Untersuchungsgebietes

-Beschreibung von Wachstumsverläufen und Erträgen landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit unterschiedlicher Standortseigenschaften

Bodenökologie aus der Sicht eines Forstwissenschaftlers

von

Feger, K.-H.*

1. Entwicklung und Selbstverständnis der "Waldbodenkunde"

Die bodenkundliche Ausbildung und Forschung an den forstwissenschaftlichen Hochschuleinrichtungen im deutschsprachigen Raum hat traditionell einen starken Bezug zum Standort bzw. zum Gesamtökosystem. Neben den klassisch-bodenkundlichen Aufgabenbereichen in der Bodeninventur und -kartierung sowie in der Bodengenetik und -klassifikation sind Waldböden auch bezüglich ihrer funktionellen Eigenschaften definiert und beschrieben worden. Nach REHFUESS (1990) beschäftigt sich die forstliche Boden- und Landschaftsökologie vor allem mit folgenden Fragen:

- Welche Eigenschaften bekam ein Boden im Zuge der Pedogenese als Standort von Lebensgemeinschaften?
- Welche Rolle spielen Böden im Energieumsatz und Stoffhaushalt von Landschaften?
- Wie beeinflussen sich die Böden einer Landschaft gegenseitig, und wie bestimmen sie gemeinsam mit anderen Faktoren den Stoff- und Energiehaushalt dieser Landschaft?
- Wie verändern forstliche Bewirtschaftungseingriffe die Waldböden und ihre Funktionen im Ökosystem?

Dieser "ganzheitliche" Ansatz spiegelt sich auch in den Institutsbezeichnungen wider:

Dresden/Tharandt:	Bodenkunde und Standortslehre
Freiburg:	Bodenkunde und Waldernährungslehre
Göttingen:	Bodenkunde und Waldernährung
München:	Bodenkunde und Standortslehre
Wien:	Waldökologie
Zürich:	Terrestrische Ökologie (neuerdings)

An der Universität Bayreuth besteht seit 1991 sogar ein Lehrstuhl für Bodenökologie am BMFT-Ökosystemforschungszentrum (BITÖK), das sich schwerpunktmäßig mit Waldökosystemen beschäftigt.

* Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Bertoldstr. 17, 79085 Freiburg i. Br.

Die traditionelle Kombination zwischen Bodenkunde und Standortkunde findet sich auch bei den forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalten oder Einrichtungen mit ähnlichen Aufgaben. Im Rahmen der Standortkunde wurden spezielle Kartierverfahren entwickelt und auf einem Großteil der Waldfläche in großmaßstäbliche Standortskarten umgesetzt (z.B. KRAUSSsche Schule: forst-ökologisch definierte Standortseinheiten auf Wuchsgebietsebene). Im Bereich der Hochschulen vollzog sich eine Entwicklung von einer ökologischen Erforschung ausgeschiedener Standortseinheiten, die eine Beschäftigung mit der forstlichen Pflanzenernährung und Düngung einschloß, in die Richtung einer stark am Stoffhaushalt orientierte Waldökosystemforschung (FIEDLER, 1993). Dieser Wandel vollzog sich besonders aus der Waldernährungslehre heraus. Die Waldernährung unterscheidet sich somit wesentlich von der landwirtschaftlichen Pflanzenernährung.

2. Organisation und Stellung in der DBG

Die Gliederung der DBG in Kommissionen mit ihrer teilweise starken Spezialisierung erschwerte in der Vergangenheit die Darstellung und Diskussion von waldökologischen Themenkreisen. Dies mag eine Erklärung für die oftmals geringe Beteiligung der "Waldbodenkunde" an DBG-Veranstaltungen sein.

Hingegen besteht in den Tagungen der Sektion "Waldernährung" im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten eine allgemein akzeptierte Plattform. Diese Sektionstagungen finden im zweijährigen Turnus mit unterschiedlichen inhaltlichen und regionalen Schwerpunkten statt. Bodenökologische Fragestellungen werden zunehmend auch im DVWK-Fachausschuß "Wald und Wasser" behandelt.

3. Zur Stellung der Bodenökologie in der DBG

Die stärkere Hinwendung der DBG zu kommissionsübergreifenden Fragestellungen der Bodenökologie wird begrüßt. Aufgrund des multi- bzw. interdisziplinären Charakters der Bodenökologie wird dieses Gebiet jedoch als Querschnittsaufgabe angesehen. Die Gründung einer eigenständigen DBG-Kommission "Bodenökologie" würde dem sicherlich nicht gerecht. Aus der Sicht der forstlichen Bodenkunde wäre eine stärkere Einbindung waldökologischer bzw. standortkundlicher Fragestellungen in die Arbeit der bisherigen Kommission IV (Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung) wünschenswert.

Bodenökologie aus der Sicht eines Agrarwissenschaftlers

von

Felix-Henningsen, P.*

Die Landwirtschaft nutzt den Boden als Produktionsfaktor für Nahrungsmittel und Rohstoffe. Daraus resultiert ein großes Interesse der Landwirte an unbelasteten, gut strukturierten, biologisch aktiven und fruchtbaren Böden. Die zunehmende Konkurrenz der Ansprüche an Landschaften und Böden durch Naturschutz, Freizeitaktivitäten, Verkehr, Siedlung, Abfallentsorgung, Grundwasserschutz und Produktion unbelasteter Nahrungsmittel, einhergehend mit der wirtschaftlichen Verdrängung und Umstrukturierung der Landwirtschaft, führten in der jüngeren Vergangenheit eher zu einer Polarisierung entgegengesetzter Sichtweisen von Landwirten und Ökologen, als zur Entwicklung gemeinsamer Strategien. Ein verbindendes Element ist daher die Agrarökologie, die zum einen die Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit zum Ziel hat, zum anderen die Wirkungen der landwirtschaftlichen Bodenproduktion auf die Umwelt sowie Umwelteinwirkungen auf den Boden untersucht, quantifiziert und bewertet. Daraus entwickelte sich das interdisziplinäre Arbeitsgebiet der "Bodenökologie", die auf die Erforschung der komplexen Wechselbeziehungen zwischen physikalischen und chemischen Zuständen im Boden und der Lebewelt des Bodens von der Landschaftsebene bis hin zur Molekularebene ausgerichtet ist. Da in diesem Arbeitsgebiet Forschungsdefizite bestehen, sollten die Aktivitäten und der Austausch von Ergebnissen durch die Gründung einer Arbeitsgruppe in der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft gefördert werden.

Von den zu untersuchenden Fragestellungen dürften für die Agrarwissenschaft vor allem diejenigen mit dem Bezug zur Bioindikation, der Bodenfruchtbarkeit und zur nachhaltigen und umweltverträglichen Bodennutzung und dem Bodenschutz von Interesse sein. Dabei werden die Bodenorganismen als geeignete Indikatoren im Rahmen

* Institut f. Bodenkunde und Bodenerhaltung, Justus-Liebig-Universität, Wiesenstr. 3 - 5, 35390 Gießen

von Zeitreihenuntersuchungen und Standortvergleichen gesehen, um über die Beschreibung von physikalisch-chemischen Zuständen landwirtschaftlich genutzter Böden hinausgehend Ursachen-Wirkungsbeziehungen bei Nutzungseinflüssen, landeskulturellen Maßnahmen und mechanischen oder chemischen Bodenbelastungen zu kommen. Ergebnisse über die Bioindikation von Systemzuständen durch Bodenorganismen in Waldökosystemen liegen bereits vor. Durch sensible Bioindikatoren sind frühzeitig Möglichkeiten der Bewertung und Prognose von Belastungen und der Belastbarkeit von Böden als Basis für die Planung von Vorsorgemaßnahmen abzuleiten. Im Bereich der Bodenschutzforschung wurden noch Kenntnislücken über die Wirkung von Schwermetallen und anderen Umweltgiften auf Bodenmikroorganismen und die daraus resultierenden Funktionen im Ökosystem gesehen. Perspektiven des vermehrten Einsatzes (boden-)biologischer Organismen zur Bekämpfung von Schädlingen, wie auch die standörtlich variable Eignung und Wirkungen kommunaler Bioabfälle stellen offene Fragen dar.

Die Nachhaltigkeit der Bodennutzung ist an langfristig stabile Bodenzustände gebunden, um den Boden als Ressource für zukünftige Generationen zu bewahren. Dafür sind Kompromisse im Hinblick auf die Nutzungsintensität notwendig, die eine möglichst große, an ökonomischen Maßstäben orientierte Ausschöpfung der Bodenfruchtbarkeit zum Ziel hat. Die Charakterisierung und Quantifizierung bodenökologischer Zustände und Dynamiken könnte eine Hilfe sein, um pedologische Maßstäbe für eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung zu definieren. Forschungsdefizite bestehen auch bei den Böden der Tropen und Subtropen, z.B. an Erosionsstandorten, die erst wieder im Rahmen einer Sukzession belebt werden müssen, um als Pflanzenstandorte Nahrungsmittel hervorzubringen

Über Fragen und Maßstäbe der standortgerechten Bodenbewirtschaftung und Nutzungsalternativen wird bis heute viel diskutiert. Ergebnisse der bodenökologischen Forschung könnten auch dafür neue Kriterien und Bewertungsansätze liefern. Dafür ist es von Bedeutung, die biotischen-abiotischen Wechselbeziehungen nicht nur innerhalb der Agrarökosysteme zu untersuchen, sondern auch an den Grenzen die Wirkung der Bodennutzung auf die Nachbarsysteme.

Bodenökologie aus der Sicht eines Botanikers

von

Gisi, U.*

Die Botanik befaßt sich klassischerweise mit dem Boden nur dann, wenn es um eine Standortbeschreibung von Pflanzengesellschaften geht. Im Rahmen der traditionellen Standortkunde gibt es seit Jahrzehnten eine enge Zusammenarbeit zwischen Botanikern und Bodenkundlern. Den Botaniker interessiert dabei eher der geologische Untergrund und im Zusammenhang mit den Pflanzen in erster Linie die damit verbundenen bodenchemischen Eigenschaften. Insbesondere in der Schweiz wurden viele vergleichende Arbeiten über die Vegetation auf Kalk- und Silikatgestein durchgeführt. Bodenphysikalische und bodenbiologische Eigenschaften werden von Botanikern wenig berücksichtigt. Viele Ökophysiologen beschäftigen sich eher mit den Wechselwirkungen zwischen den Pflanzen und der Atmosphäre als mit denen zwischen den Pflanzen und der Pedosphäre.

Aus Sicht der Bodenökologie müßten botanische Aspekte viel stärker in die Überlegungen einbezogen werden, sind doch die heterotroph lebenden Mikroorganismen eher eine Folge als eine Ursache der Pflanzendecke. Insbesondere stellt die Rhizosphäre eine der wichtigsten Grenzflächen und Lebensräume für Mikroorganismen dar. Die Art der Durchwurzelung beeinflußt in hohem Maß die Verteilung und Aktivität der Bodenorganismen. Zwischen Botanik (Pflanzenmorphologie, -physiologie) und Bodenökologie (Stoffumsätze, Interaktionen) sollte vor allem im Gebiet der Rhizosphärenforschung stärker zusammengearbeitet werden. Die Betrachtung und Bewertung von Stoffflüssen und Stoffkreisläufen sollten ebenso gemeinsam bearbeitet werden, da Produzenten, Konsumenten und Reduzenten in steter Wechselwirkung zueinander stehen.

Die AG Bodenökologie der DBG sollte im Hinblick auf eine Intensivierung der interdisziplinären Zusammenarbeit nicht nur die Kontakte zu den Ökologen, sondern auch zu den Botanikern, besonders den Ökophysiologen, aufbauen.

* Sandoz Agro AG, CH-4108 Witterswil

Bodenökologie aus der Sicht eines Mikrobiologen

von

Munch, J.C.*

Bodenmikrobiologie als Teilgebiet der Bodenökologie

Obwohl immer wieder Bodenmikrobiologen die Meinung vertreten, die Bodenökologie sei wissenschaftlich der Bodenbiologie zuzuordnen, kann dem keinesfalls zugestimmt werden. Diesen Kollegen sei zu gute zu halten, daß sie nicht nur das Bodenleben als Selbstzweck ihrer Arbeit betrachten, sondern durchaus das Bodenleben nur in den vielfältigen Wechselwirkungen mit dem Lebensraum Boden betrachten wollen. Doch diese Wechselwirkungen sind zu vielseitig, um sie einem Teilgebiet zuzuordnen. Vielmehr ist die Bodenmikrobiologie ein Teil der Bodenökologie, wie auch die Bodenökologie einen Teil der Bodenmikrobiologie darstellt. Dies sei an einigen wenigen plakativ dargestellten Beispielen belegt:

- die bodenmikrobiologischen Arbeiten konzentrieren sich nicht nur auf mikrobielle Biomassen, Populationen und Aktivitäten im Lebensraum Boden, sondern auch auf die Eigenschaften der biotischen Komponente. Hier sind die Biochemie, Physiologie, Taxonomie der Mikroorganismen zu nennen und neuerdings, dank methodischer Entwicklungen, die Expression und Steuerung von spezifischen Aktivitäten. Auf letzterem Gebiet sind bedeutende Leistungen abzusehen und der Erwartungsdruck ist entsprechend hoch.

- Bei der biotischen Komponente des Bodens sind desweiteren boden- und standortrelevante mikrobielle Eigenschaften und Leistungen nicht getrennt vom Lebensraum zu erfassen. Vielmehr sind die Wechselwirkungen zwischen biotischer und abiotischer Komponente maßgebend bei der ökologischen Betrachtung des Bodens. Bodeneigenschaften üben vielfältige Einflüsse auf Mikroorganismen und auf deren Leistungen aus. Als Beispiele seien genannt:

-- Gestaltung des physikalischen Lebensraums (Volumen, Verteilung und Ausgestaltung von Poren, der eigentliche Lebensraum der Mikroorganismen, Wasser- und Lufthaushalt des Bodens)

-- Pflanzenwachstum und Lebensraumgestaltung in der Rhizosphäre (Energieeintrag, physikalische Raumgestaltung)

-- Chemische Bodeneigenschaften (Nährstoffverhalten; Sorbenten für Nährstoffe, für Schadstoffe, für Mikroorganismen; Reaktionspartner für Stoffe)

-- Heterogenität des Lebensraums Boden, die nicht nur eine Lebensraumdiversität mit entsprechender Biodiversität im Boden hervorruft, sondern über den Stoffaustausch zwischen den Kompartimenten auch eine komplexe Folge von Stoffumsetzungen.

* Institut für Bodenbiologie der FAU, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Bedeutungen der Bodenmikrobiologie bei der bodenökologischen Betrachtung

Die Bodenökologie ist nicht vorstellbar ohne Berücksichtigung der (mikro)biologischen Komponente im Boden, da beide Fachgebiete zusammengehörend sich über vielseitige Wechselwirkungen gegenseitig ständig beeinflussen. Somit ist keine strikte Trennung zwischen einzelnen Disziplinen der Bodenökologie abzuleiten. Auch hier seien Beispiele genannt:

- Bodenchemie: Nährstoffmobilisierung durch Organismen; Ausbildung reaktiver und geladener Oberflächen durch Umsetzung organischer Verbindungen und Humifizierung
- Chemische/physikalische Eigenschaften: Einstellung von Bodenbedingungen wie Anaerobiose, durch Mikroorganismen, allerdings erst, wenn diese durch Anwesenheit energetischer Substrate aktiv sein werden (Bodenchemie, Pflanzenernährung)
- mikrobielle Bildung von chemisch reaktiven Verbindungen in Böden und Festlegung oder Mobilisierung von zuvor mobilen/immobilen (Nähr- und/oder Schad-)Stoffen, z.B. Sulfidbildung durch Mikroorganismen in Bereichen unter (auch biologisch bedingtem) Sauerstoffmangel.
- Verlagerung von Stoffen durch Organismen, die als Transportmedium fungieren (Pilzhyphen, die viele Bodenbereiche gleichzeitig erfassen bzw. die in Mykorrhizen die von der Wurzel auf Grund von Entfernung nicht erschließbaren Stoffe in die Wurzeln verlagern).

Globale Betrachtung:

Die Bodenökologie kann keine Einzeldisziplin in der bodenkundlichen Wissenschaft sein. Vielmehr besteht sie aus dem Zusammenwirken aller Einzeldisziplinen der Bodenkunde und Bodenforschung. Aus Sicht der Bodenmikrobiologie besteht bodenökologisches Denken auch darin, die Zusammenhänge zwischen

- den abiotischen und biotischen Faktoren
 - einzelnen biotischen Komponenten (Organismen und Mikroorganismen)
- zu berücksichtigen und zu erfassen.

Somit ist der bodenökologische Ansatz grundsätzlich multidisziplinär wie auch interdisziplinär. Er soll auch bei Bedarf benachbarte, betroffene Disziplinen berücksichtigen und er erfordert intensiven Dialog und disziplinübergreifende Arbeit. Es ist Aufgabe der DBG, diesen Dialog zu fördern bzw. zu initiieren und somit die interdisziplinäre Arbeit zu unterstützen. Die Jahrestagungen der DBG sind durch entsprechende themenorientierte Sitzungen für diesen wissenschaftlichen Austausch zu nutzen, während die Kommissionstagungen den wissenschaftlichen Austausch zwischen Kollegen einer Fachdisziplin der Bodenkunde bzw. der Bodenökologie gewährleisten können.

Bodenökologie aus der Sicht eines Landschaftsökologen

von

Schreiber, K.-F.*

Die Landschaft ist aus Ökosystemen unterschiedlichster Struktur aufgebaut, die durch Energie- und Stoff-Flüsse eng miteinander in Beziehung stehen. Der Boden ist ein wichtiges Kompartiment in jedem, vor allem terrestrischen, Ökosystem nicht nur durch seine Speicher- und Austauscherfunktion; sondern er bietet zugleich Wurzelraum für die Pflanzen - die Primärerzeuger - und ist Umschlagplatz für die durch die Primärerzeuger direkt oder auch indirekt - nämlich über die Nahrungskette - gebildete organische Substanz.

Ökologie, also auch Bodenökologie, ist seit der Etablierung der Ökosystemforschung kein ausschließlicher Teil der (Boden-)Biologie, sondern eine Interdisziplin, die das Wirkungsgefüge zwischen Biotik und Abiotik, also den gesamten Komplex der Zersetzung, Mineralisierung, Festlegung, Veränderung und Verlagerung von Stoffen im Bodenkompartment eines Ökosystems und zwischen Ökosystemen umfaßt.

Da sich die Kulturlandschaft grundsätzlich, heute aber erst recht im Wandel befindet, derzeit unter den Gesichtspunkten des Umwelt-, Landschafts- und Naturschutzes starke Veränderungen im Bodenkompartment vieler Ökosysteme stattgefunden haben oder auf diese zukommen, ist die Bodenökologie in besonderem Maße aufgerufen, Wissen über Ursache, Wirkung und Sanierung zu erarbeiten und in Managementvorschläge umzusetzen; z.B. über Prozesse, die bei Renaturierungen von Grünland, Auen, Mooren und anderen Feuchtgebieten ablaufen, die bei den inzwischen veränderten Böden solcher trockengelegten Gebiete berücksichtigt werden müssen, wenn sie mit einem erfolgreichen Wiedervernässungskonzept zu Feuchtbiotopen rückverwandelt werden sollen.

Das setzt voraus, daß die Bodenökologie nicht nur im Nano- und Mikrosphärenbereich arbeitet, sondern auch den räumlichen Bezug herzustellen versucht, der bei Maßnahmen in der Landschaft unverzichtbar ist. Das ist bereits in vielen Beiträgen der verschiedenen Diskussionsgruppen des Workshops "Bodenökologie" zum Ausdruck gekommen.

* Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität, Robert-Koch-Str. 26, 48149 Münster

Bodenökologie aus der Sicht eines Zoologen

von

Topp, W.*

Ökologische Untersuchungen mit Bodentieren können sowohl unter Laborbedingungen, mit freilandorientierten Experimenten im Labor (Mikro-, Mesokosmos) als auch unter Freilandbedingungen durchgeführt werden. Vom Versuchsansatz und von der Fragestellung aus gesehen lassen sich fünf verschiedene Forschungsbereiche unterscheiden.

1. Autökologische (ökophysiologische) Untersuchungen
2. Demökologische Untersuchungen
3. Interaktionen zwischen Arten
4. Untersuchungen von Lebensgemeinschaften
5. Ökosystemare Betrachtungen

Dabei nimmt die Komplexität der Fragestellungen zu und das wissenschaftliche Verständnis ab. Zur Darstellung komplexer Sachverhalte bieten sich Modellierungen an. Ökologische Modelle mit Berücksichtigung von theoretischen Annahmen sind bedeutsam für Systemanalysen.

1. Autökologische Untersuchungen: Die Fragestellungen beziehen sich auf die Reaktionsmuster von Individuen einer einzelnen Art und auf Überlebensstrategien von Arten. Der Einfluß von abiotischen und biotischen Parametern auf die Individuen wird getestet (z.B. Einfluß von Temperatur, Bodenfeuchte, Photoperiode, organischem Bestandesabfall auf die Entwicklungsdauer, das Wachstum, die Gonadenreife u.a.). Ebenso werden Untersuchungen zum Einfluß von Individuen auf Kenngrößen des Bodens durchgeführt, z.B. Grabtätigkeit der Regenwürmer auf bodenphysikalische oder bodenchemische Eigenschaften (u.a. Bodenbildung, Erodibilität, Bodenfruchtbarkeit).

* Zoologisches Institut, Universität Köln, Weyertal 119, 50931 Köln

2. Demökologische Untersuchungen: Fragestellungen nach dem Einfluß von Umweltparametern auf die Populationsentwicklung einzelner Arten und Fragen nach Unterschieden der individuellen Fitness innerhalb von Populationen. Z.B. Charakterisierung von Populationen (Teilpopulationen) in ihren genetischen Eigenschaften, Bestimmung von Heritabilitäten individueller Merkmale.

3. Interaktionen zwischen Arten: Untersuchungen zu den Wechselwirkungen zwischen zwei Arten aus verschiedenen trophischen Ebenen, z.B. Strategien und Suchefferizienz von Räubern sowie Abwehrmechanismen der Beute. Oder es werden Fragen zu Mutualismen gestellt, z.B. der wechselseitige Einfluß der Mikroorganismen auf die Konsumption und Nahrungsverwertung bei Detritivoren und der Aktivität von Detritivoren auf die Entwicklung, Aktivierung von Mikroorganismen.

4. Untersuchungen von Lebensgemeinschaften: Beschreibung von Lebensgemeinschaften in ausgewählten Ökosystemen mit Fragen zum topographischen Verteilungsmuster (Artenvielfalt sowie Abundanz, Dominanz, Konstanz der Arten u.a.) und nach den funktionellen Unterschieden der Arten innerhalb von Lebensgemeinschaften. Hierzu gehört u.a. die Analyse von Sonderungsmechanismen, die eine Koexistenz von Arten ermöglichen können, wenn diese verschiedenen oder auch identischen funktionellen Gruppen angehören.

5. Ökosystemare Betrachtungen: Verteilungsmuster von Arten (siehe 4.) und Erfassung der begleitenden abiotischen und biotischen Umweltparameter, um so mögliche Kausalitäten für ein Verteilungsmuster erkennen zu können. Hierbei Anwendung von multivariaten Techniken (u.a. DECORANA, TWINSpan, CANOCO). - Aber auch die Betrachtung von funktionellen Einheiten (Kompartimenten) eines Ökosystems, die in Wechselbeziehungen zueinander stehen. Erfassung von metabolischer Aktivität, Biomasse, Energiefluß, Nährstoffkreislauf, Bildung von ökologischen Modellen.

Die Definition von Bodenökologie und ihre Stellung innerhalb der DBG

von

Broll, G.* und M. Körschens**

Ein wesentliches Ziel aller Diskussionen und Stellungnahmen im Rahmen des Workshops Bodenökologie war es, den Begriff Bodenökologie zu präzisieren. Hierbei orientierte man sich in den meisten Fällen am Ökologiebegriff nach HAECKEL, der Ökologie als Wissenschaft von den Beziehungen der Organismen zu ihrer Umwelt definierte. Übertragen auf den Boden ergibt sich daraus folgende Definition von Bodenökologie. **Bodenökologie ist die Wissenschaft von den Wechselwirkungen zwischen den biotischen und den abiotischen Bestandteilen des Bodens sowie den Interaktionen zwischen den Organismen.** Zu den biotischen Bestandteilen zählen neben den Tieren und Mikroorganismen vor allem auch die Pflanzen. Unter Wechselwirkungen zwischen organischen und anorganischen Kompartimenten werden sowohl die Auswirkungen abiotischer Standortfaktoren auf die Organismen als auch die Einflüsse der Lebewesen auf ihre Umwelt verstanden. Damit entspricht diese Definition im Prinzip dem Begriff 'soil ecology', so daß auch eine internationale Verständigung gewährleistet ist.

Die Bodenökologie wird als Teilgebiet der Bodenkunde bzw. der Ökologie aufgefaßt. Bodenökologische Forschung berührt daher mehr oder weniger alle klassischen Disziplinen der Bodenkunde. Das hat unter anderem zur Folge, daß man auf Methoden aus anderen Gebieten der Bodenkunde bzw. anderer Naturwissenschaften zurückgreifen muß. Darüber hinaus sind jedoch vor allem für Freilanduntersuchungen Versuchsanordnungen nötig, die speziell an bodenökologische Fragestellungen angepaßt werden müssen. Überlappen sich Bodenbiologie und Bodenökologie auch in weiten Bereichen, so sind jedoch die beiden Fachrichtungen nicht identisch.

Die Bodenökologie beschäftigt sich überwiegend mit Prozessen im Boden und versucht, die vielfältigen Funktionen des Bodens im Ökosystem zu charakterisieren. Die zwischen den organischen und anorganischen Bestandteilen ablaufenden Prozesse unter Einbeziehung der Atmo-, Hydro- und Lithosphäre sind Teil der Bodengese. Daraus ergeben sich auch Überschneidungen der Bodenökologie mit der herkömmlichen Standortkunde.

* Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität, Robert-Koch-Str. 26, 48149 Münster

** Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Hallesche Str. 44, 06246 Bad Lauchstädt

Bodenökologische Fragestellungen lassen sich nur über integrierende Forschungsansätze und damit interdisziplinär lösen. Die Charakterisierung ökosystemarer Prozesse, vor allem die Aufklärung von Funktionen einzelner Organismen im Ökosystem bis hin zur Indikatorfunktion, spielt eine immer größere Rolle. Derartige Untersuchungen sind in erster Linie der Grundlagenforschung zuzurechnen, an der innerhalb der Bodenökologie noch ein großer Bedarf besteht.

Demgegenüber gibt es im Bereich der Angewandten Forschung zahlreiche Berührungspunkte mit dem Bodenschutz. Der anthropogene Einfluß wirkt sich sowohl direkt auf die Bodenorganismen als auch indirekt über die Veränderungen der Standortbedingungen auf die in Böden ablaufenden Prozesse aus. Ergebnisse bodenökologischer Forschung werden als Grundlage für die Beurteilung von Bodenbelastungen immer wichtiger. Darüber hinaus besteht im Rahmen des Bodenschutzes seitens der Anwender bodenökologischer Forschung der berechnigte Anspruch auf die Entwicklung von Handlungsempfehlungen als Basis für eine Bewertung von Standorten.

Ein weiteres Ziel der Tagung zur Bodenökologie war die Erarbeitung einer Empfehlung an die DBG, inwieweit die Bodenökologie innerhalb der Gesellschaft etabliert werden kann. Bis auf wenige Ausnahmen waren die Teilnehmer der übereinstimmenden Meinung, daß die Bodenökologie auf jeden Fall in der DBG institutionalisiert werden sollte. Als Organisationsform bietet sich innerhalb der bestehenden Struktur eine Arbeitsgruppe an, da aufgrund der Interdisziplinarität der Bodenökologie in jedem Fall eine kommissionsübergreifende Organisationseinheit notwendig ist. Deshalb sollte diese Arbeitsgruppe dem Vorstand und nicht einer speziellen Kommission unterstellt werden. Zukünftige Aufgaben einer AG Bodenökologie könnten in der Durchführung von interdisziplinär ausgerichteten Tagungen bestehen, die jeweils einen Teilbereich der Bodenökologie umfassen. Die ökosystemare Betrachtungsweise sollte dabei auch in den Themen der Tagungen zum Ausdruck kommen. Eine solche Entwicklung würde der in anderen Ländern entsprechen, in denen die bodenökologische Forschung zum Teil schon jetzt innerhalb der Bodenkunde oder der Ökologie institutionalisiert ist. Weiterhin wird die Kontaktaufnahme zu anderen Gesellschaften, in denen ebenfalls bodenökologische Forschung betrieben wird, für wichtig erachtet.

MITTEILUNGEN

DER

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN

GESELLSCHAFT

Statusbericht,
Festvorträge Jahrestagung Halle,
Vorträge Preisträger Fritz-Scheffer Preis,
Nachträge,
Festvorträge 100 Jahre Umweltforschung Bad Lauchstädt

Jahrestagung 1995

2. bis 9. September 1995

HALLE/ Saale

Band 78

1995

Die Bodenchemie im Spannungsfeld zwischen Molekül und System

von

Sticher, H.*

Zur Einsicht in den geringsten Teil ist die Übersicht über das Ganze nötig.

Johann Wolfgang Goethe

Einleitung

6 Jahre stand der Autor der Kommission II (Bodenchemie) der DBG vor. Während dieser Zeit fanden einschließlich des Wahljahres 4 Jahrestagungen (Münster, Bayreuth, Kiel, Halle) sowie eine Reihe von Kommissions- und Arbeitskreissitzungen statt, an welchen insgesamt an die 300 Vorträge und Poster unter dem Siegel *Bodenchemie* präsentiert wurden. Wenn auch das Bild der deutschen Bodenchemie nach außen nicht so sehr durch diese beachtliche Fülle, sondern vielmehr durch die Publikationen in großen Journalen und durch die Präsenz an internationalen Tagungen geprägt wird, so gibt das in den Mitteilungen der DBG archivierte Schrifttum doch einen repräsentativen Überblick über das, was hierzulande rund um die Bodenchemie läuft. Bevor jedoch auf die Analyse dieses Schrifttums eingegangen wird, soll zunächst eine Umschreibung und Positionierung der Bodenchemie im wissenschaftlichen Umfeld erfolgen.

Umschreibung, Abgrenzung und Unterteilung der Bodenchemie

Ziel der bodenchemischen Forschung ist letztlich die Erhaltung fruchtbarer Böden in einer intakten Landschaft unter weitestmöglicher Schonung des gesamten Ökosystems. Aufgabe der Bodenchemie ist es demnach, den Stoffbestand der Böden sowohl in ihrem natürlichen Zustand als auch unter dem Einfluß menschlicher Aktivitäten zu beschreiben, die im Boden ablaufenden chemischen und biochemischen Reaktionen auf thermodynamischer und kinetischer Basis zu erfassen und die chemischen Grundlagen für gezielte Eingriffe zur Steuerung der Bodenfruchtbarkeit sowie zur Rückführung gestörter oder belasteter in naturnahe unbelastete Ökosysteme bereitzustellen. Der Erforschung des Verhaltens von Nähr- und Schadstoffen im natürlichen Umfeld kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu.

* Institut für Terrestrische Ökologie, Eidgenössische Technische Hochschule, Grabenstraße 3, CH-8952 Schlieren

Konkret befaßt sich die Bodenchemie mit den chemischen und biochemischen Vorgängen in der obersten Schicht der Erdkruste (Boden), in welcher sich Lithosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre durchdringen. Damit grenzt sie sich grundsätzlich von der im wesentlichen abiotischen *Geochemie* ab. Schwerpunkte bilden Stoffübergänge zwischen Bodenmatrix und Bodenlösung (Verwitterung, Ad- und Desorption, Ionentausch und Komplexbildung), Redoxprozesse sowie Umsetzungsreaktionen der organischen Bodensubstanz. Im Gegensatz zur *makroskopisch-statistischen* Betrachtungsweise der Allgemeinen Bodenkunde steht bei der Bodenchemie die *molekular-mechanistische* Ebene im Vordergrund.

Je nach Betrachtungsweise kann das weite Feld der Bodenchemie, wie es soeben umrissen worden ist, in verschiedene Ebenen unterteilt werden. Im weitesten Sinne deckt der Begriff Bodenchemie praktisch das gesamte Gebiet der Bodenkunde ab, denn jede Profilbeschreibung und nahezu jede Angabe, welche zur Unterscheidung und zur Charakterisierung von Bodenindividuen beiträgt, beruht letztlich auf chemischen Analysen, so die Bestimmung von pH, KAK, C_{org} , Fe_D , etc. Dies kann aber mit Bodenchemie nicht gemeint sein. *Bodenchemie im engeren und eigentlichen Sinne* befaßt sich mit Prozessen, Interaktionen, Veränderungen. Zur Erläuterung zwei Beispiele: Nicht die Messung des pH-Wertes an sich ist Gegenstand der Bodenchemie, sondern die Untersuchung, wie dieser zustande kommt, wie er mit der KAK in Beziehung steht oder wie er die Verwitterungsrate beeinflusst. Und nicht die Messung des Gehaltes von C_{org} ist maßgeblich, sondern die Untersuchung von Abbau- und Synthesereaktionen der Humusmoleküle oder die Ermittlung von deren Adsorptionseigenschaften.

Untersuchungsobjekte der Bodenchemie sind primär natürlich gewachsene Böden. Optimal wären dabei im Sinne des Systemgedankens Untersuchungen an ungestörten Proben im Feld, doch bleibt dieser Wunsch wegen der schwer zu realisierenden Instrumentierung zumeist Illusion. Der Arbeitsplatz des Bodenchemikers ist daher vorwiegend das Labor. Wegen der komplexen Zusammensetzung und Struktur des Substrats bleiben die Resultate von Bodenuntersuchungen in den meisten Fällen statistisch; fundierte Reaktionsmechanismen lassen sich daraus nur in den wenigsten Fällen ermitteln. Als Ausweg bieten sich Experimente mit reinen Substanzen oder einfacheren Systemen an (sog. *Modellexperimente*), mit deren Hilfe Reaktionskonstanten und kinetische Parameter exakt und allgemeingültig erfaßt werden können (Komplexbildung von Huminsäuren mit Schwermetallen, Bindung von Phosphat an Goethitoberflächen, Kaliumfixierung in Illitzwischen-schichten, Verwitterung von Albit in Gegenwart von Citrat, usw.). Solche Experimente vermögen beobachtete Vorgänge und Phänomene im natürlichen, komplexen System zu erklären; ihre Resultate dürfen aber nicht im Sinne von Zahlenwerten direkt auf das natürliche System übertragen werden. (Auf das Verhältnis zwischen Modellversuch und Feldversuch wird weiter unten noch einzugehen sein; vgl. auch Abb. 1).

Der experimentellen Bodenchemie stehen, auf verschiedener Ebene, die mathematische Simulation und die theoretische Bodenchemie gegenüber. Die *mathematische Simulation* versucht, anhand von unabhängig bestimmten Parametern mit Hilfe von mathematischen Modellen Vorgänge im natürlichen System nachzuvollziehen und ihre zeitlichen Veränderungen zu verfolgen. Sensitivitätsanalysen dienen dabei zur Gewichtung des Einflusses der verschiedenen Parameter auf das Geschehen. Die *theoretische Bodenchemie* befaßt sich mit den physikalisch-chemischen Grundlagen beobachteter Phänomene und schlägt damit die Brücke zur reinen Chemie und zu verwandten Disziplinen wie aquatische Chemie und Festkörperchemie; als Beispiel seien etwa die verschiedenen Oberflächenkomplexierungsmodelle (z.B. MUSIC, Hiemstra et al., 1989) und die Berechnung von pK-Werten oberflächlicher OH-Gruppen, bzw. des Ladungsnulldpunktes aus Kristallstrukturdaten erwähnt (Contescu et al., 1993).

Schließlich zeichnet sich heute immer deutlicher eine Verschiebung der Zielsetzung bzw. des Blickwinkels der Bodenchemie ab. Während diese früher weitgehend im Dienste der *Land- und Forstwirtschaft* stand, also produktionsorientiert war (Stichworte: Phosphatverfügbarkeit, Kaliumfixierung, usw.), kommen heute als Reaktion auf die allgemeine Umweltbelastung immer stärker *umweltbezogene Themen* zum Zuge. Dies äußert sich allein schon in den Titeln einiger der neueren Textbücher (vgl. McBride, 1994; Wolt, 1994; Sparks, 1995).

Zur heutigen Situation

Nach dem allgemeinen Exkurs, der zur Klärung der Situation nötig war, können wir uns die Frage stellen, was sich in den letzten Jahren verändert hat, wo wir heute stehen und wie es weitergehen soll. Ein Blick auf die eingangs erwähnten 300 Arbeiten in den *Mitteilungen* zeigt für den Zeitraum 1989 - 1995 folgende Tendenzen:

- Der Anteil der *umweltorientierten* Arbeiten hat gegenüber den produktionsorientierten zugenommen.
- Der Anteil der *prozessorientierten* Arbeiten hat gegenüber den rein analytischen Arbeiten zugenommen, d.h. die Bodenchemie im eigentlichen Sinne ist im Vormarsch.
- Der Anteil der *Modellversuche* hat gegenüber den Substrat- und Feldversuchen zugenommen.
- Dank der Einführung schnellerer Analysengeräte hat sich der Datenanfall in kurzer Zeit vervielfacht.
- Die (echte) *mathematische Simulation* hat, wenn auch zögernd, Fuß gefaßt.
- Arbeiten zur *theoretischen Bodenchemie* sind bislang nur vereinzelt auszumachen.

Um die Gesamtsituation der Bodenchemie beurteilen zu können, müssen wir uns nun allerdings von den *Mitteilungen* lösen und den Blick auf das internationale Umfeld und in die großen Zeitschriften werfen. Hier zeigen sich die aufgeführten Tendenzen verstärkt und deuten an, daß die *Mitteilungen* eher ein konservatives Bild zeichnen. Zudem sind zwei weitere, und wohl sehr wichtige, Tendenzen erkennbar:

- Immer mehr *Nicht-Bodenkundler* (z.B. Physiko-Chemiker, Aquatische Chemiker, Geochemiker, Geologen usw.) befassen sich im Zuge der Umweltforschungsförderung mit dem Boden und publizieren bodenchemische Arbeiten. Diesen Forschern stehen oft modernere, selektivere und sensitivere Methoden und Einrichtungen zur Verfügung (z.B. ICP-MS, Kraftmikroskop, Pyrolyse-Massenspektroskopie, Röntgenphotoelektronen-Spektroskopie, usw.), so daß von dieser Seite her nicht selten wegweisende Fortschritte beigebracht werden.
- Immer mehr bedeutende bodenchemische Arbeiten werden in *nicht-bodenkundlichen Zeitschriften* publiziert (z.B. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *Journal of Environmental Quality*, *Environmental Science and Technology*, *Journal of Colloid and Interface Science*, *Water Resources Research*).

Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Eine sorgfältige Analyse der aktuellen Situation deckt einige Lücken und Probleme auf, denen in Zukunft vermehrt Beachtung geschenkt werden sollte. Im folgenden sollen drei wichtige Aspekte kurz beleuchtet werden.

Die Beschäftigung mit Modellversuchen auf der einen Seite und mit Untersuchungen am Gesamtsystem auf der anderen (vgl. Abb. 1) birgt die Gefahr einer Zweiklassengesellschaft in sich, die auseinander zu driften droht. Die Modellversuchsleute streben Exaktheit an, im Extremfall selbst auf Kosten der Relevanz. Ihr Ziel ist das eindeutige, belegbare (im Idealfall berechenbare) und wiederholbare Resultat. Die Systemeleute streben Naturnähe an, jede Vereinfachung ist ihnen abhold.

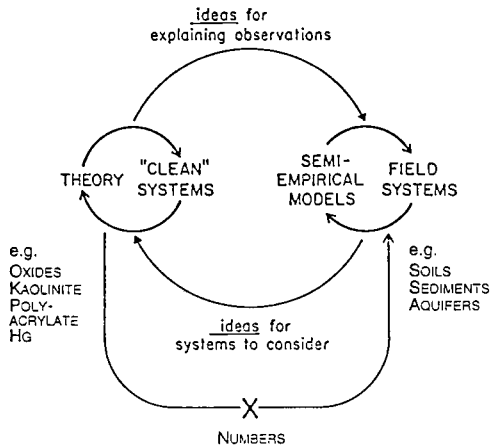


Abb. 1: Die bodenchemische Forschung zwischen theoretischen Grundlagen und Untersuchungen am Feldsystem (nach Westall)

Streuungen werden in Kauf genommen, sie werden mit Hilfe der Statistik bewältigt. Erklärungen bleiben oft diffus und sind im Konditional gehalten. Zwischen dem Modellversuch und dem Systemversuch liegt gewissermassen wissenschaftliches Ödland, das es zu beackern gilt. Die System-Leute können aus ihrer Systemkenntnis heraus Modellversuche anregen, welche relevant sind; die Modell-Leute müssen ihre Versuche so anlegen, daß sie die Fragen der System-Leute klären können. Und im Zwischenbereich müssen sich vermehrt Forscher ansiedeln, welche beide Bereiche beherrschen und dadurch vermittelnd wirken können. Konditionalsätze werden so mit der Zeit aus den Publikationen verschwinden.

Die zunehmende Beschäftigung von Nicht-Bodenkundlern mit dem Boden und im besonderen mit der Bodenchemie ist an sich erfreulich. Ein Blick auf die internationale Literatur der letzten Jahre zeigt, daß von dieser Seite her manch wegweisende Fortschritte eingebracht worden sind, welche die Bodenkunde ungemein befruchtet haben. Allerdings sind die Publikationen zumeist nicht in den traditionellen bodenkundlichen Zeitschriften zu finden. Mit Hilfe der modernen *Literatursuchprogramme* sollte der Zugang zu dieser "fremden" Literatur aber kein Problem mehr sein. Wo ich in diesem Zusammenhang ein Problem orte, ist die oft mangelnde *Systemkenntnis* der betreffenden Forscher. Wie oben angetönt, ist die Bodenchemie eine systemorientierte Disziplin. Bodenchemische Forschung kann zwar, wie im Falle der Modellversuche, abgekoppelt vom System betrieben werden. Wesentlich scheint mir aber zu sein, daß solche Versuche aus der Systemkenntnis heraus angelegt werden. Dazu wäre ein intensiverer Kontakt zwischen Chemikern und den systemkundigen Bodenkundlern nötig.

Der dritte Aspekt betrifft *Methoden und Geräte*. Die Industrie bietet heute immer bessere, sensitivere und selektivere Geräte an. Oft sind Fortschritte an die Einführung solcher Geräte gebunden. Ein schönes Beispiel ist die Entwicklung des Strukturvorschlags für Huminsäuren im Verlauf der letzten 25 Jahre. Man braucht sich dazu nur die Formeln von Schnitzer (1972), Stevenson (1982), Christman (1987) und Schulten und Schnitzer (1993) nebeneinander anzusehen. Da neue Geräte teuer sind, und sich nicht jedes Labor alles neue leisten kann, bleibt wiederum nur der Weg über eine geeignete Zusammenarbeit. Die Tatsache, daß kein eigenes Gerät zur Verfügung steht, soll nicht zur Aufgabe einer guten Idee führen. Voraussetzung ist allerdings, daß man sich über Neuentwicklungen auf dem Laufenden hält.

Welche Konsequenzen ergeben sich aus diesen Überlegungen für die DBG im allgemeinen und für die Arbeit der Kommission II im speziellen? Was die Arbeit der Kommission II als ganzes anbelangt, sehe ich im wesentlichen zwei Möglichkeiten, die diskutierten Hinweise umzusetzen. Zum ersten schlage ich vor, in Zukunft die *Kommissionssitzungen zu öffnen*, z.B.

- durch gezielte Einladung von ausgewählten Nicht-Bodenkundlern, welche sich mit bodenchemischen Problemen beschäftigen,
- durch Ausschreibung der Kommissionssitzungen bei verwandten Organisationen (Fachgruppe Boden der GDCh und der DECHEMA, Gesellschaft für Umwelt-Geowissenschaften, GUG; u.ä.),
- durch Einladung führender ausländischer Bodenchemiker.

Ein tastender Versuch in dieser Richtung (Gemeinsame Sitzung der Kommissionen II und VII in Oldenburg, 1992) bestätigte aufgrund der angeregten Diskussionen die Richtigkeit dieser Idee. Zum zweiten müssten auch in der Kommission II, wie dies die Kommission I erfolgreich vorgemacht hat, *Ausbildungs- und Trainingskurse* zu neuen und zukunftssträchtigen Themen angeboten werden.

Letztlich ist aber jeder einzelne Leser und jede Leserin dazu eingeladen, sich mit den laufenden Veränderungen in der Forschungslandschaft auseinanderzusetzen, in angemessener Weise darauf zu reagieren und für den eigenen Bereich und das eigene Umfeld die zutreffenden Folgerungen zu ziehen.

Literatur

- Christman, R.F., Norwood, D.L., Seo, Y., and Frimmel, F.H.* (1987): Oxidative degradation of humic substances from freshwater environments, In: Humic Substances II: In Search for Structure. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Contescu, C., Jagiello, J., and Schwarz, J.A.* (1993): Heterogeneity of Proton Binding Sites at the Oxide/Solution Interface. *Langmuir* 9, 1754-1765.
- Hiemstra, T., Van Riemsdijk, W.H., and Bolt, G.H.* (1989): Multisite Proton Adsorption Modeling at the Solid/Solution Interface of (Hydr)Oxides: A New Approach. *J. Colloid Interface Science* 133, 91-104.
- Hugenroth, P.* (Hrsg., 1989-1995): Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bände 59 - 75.
- McBride, M.B.* (1994): Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York and Oxford.
- Schnitzer, M., and S.U. Khan* (1972): Humic Substances in the Environment. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Schulten, H.R., and Schnitzer, M.* (1993): A State of the Art Structural Concept for Humic Substances. *Naturwissenschaften* 80, 29-30 (1993).
- Sparks, D.E.* (1995): Environmental Soil Chemistry. Academic Press, Inc. Orlando.
- Stevenson, F.J.* (1982): Humus Chemistry. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Westall, J.* (1994): Mündliche Mitteilung.
- Wolt, J.D.* (1994): Soil Solution Chemistry: Applications to Environmental Science and Agriculture. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Sachsen-Anhalt, bester Boden Deutschlands. Boden ohne Probleme?

von

Rehhahn, H.*

Zunächst danke ich Ihnen für die freundliche Einladung zu Ihrer Jahrestagung. Ganz besonders freue ich mich natürlich, daß Sie Ihre Tagung hier in Sachsen-Anhalt, an der traditionsreichen und ehrwürdigen Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, durchführen.

Beim Durchblättern der Tagungsunterlagen ist mir aufgefallen, daß sich doch sehr viele Beiträge neben den Grundlagen zur Bodenkunde mit dem Bodenschutz befassen. Ein Zeichen dafür, daß sich Ihre Gesellschaft in den letzten Jahren zunehmend mit dem Bodenschutz beschäftigt hat. Ein Trend, den ich nur begrüßen kann. Ihre Arbeit trägt mit dazu bei, daß mit beweisbaren, wissenschaftlichen Aussagen - sicher auch Schädigungen des Bodens benannt werden - das Negativimage der Landwirtschaft als Umweltverschmutzer aber ins rechte Licht gerückt werden kann. Vielen Dank für diese Arbeit.

Sachsen-Anhalt ist mit seinem Schwarzerdegebiet, der Lößbörde und den angrenzenden Übergangslagen das Bundesland mit dem höchsten Flächenanteil an diesen fruchtbaren Böden. Der Begriff "Magdeburger Börde" ist nicht nur den Landwirtschaftsexperten bekannt. Er wirbt auch außerhalb des Bundeslandes nicht nur für gute natürliche Voraussetzungen und weitreichende Traditionen in der Landwirtschaft, sondern auch allgemein für unser Bundesland.

Die mit durchschnittlich weit über 60 Bodenpunkten ausgestatteten Landkreise in und am Rande der Börde verdeutlichen die sehr hohe Fruchtbarkeit des Schwarzerdegebietes (Land Sachsen-Anhalt $\bar{O} = 59$). So sind die trocken-warmen Lößgebiete der Magdeburger Börde, des Harzvorlandes und der Querfurter Platte ein ausgesprochener agrarer Vorzugsraum mit hohem Ertragspotential und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. Sie umfassen mehr als 1/3 des Ackerlandes Sachsen-Anhalts.

Dennoch haben auch andere Regionen gute Voraussetzungen zur landwirtschaftlichen Produktion: z. B. die Altmark als traditionelle Tierzuchtregion oder auch die Flußtäler von Elbe, Unstrut und Saale als nördlichstes deutsches Weinanbaugebiet. Ich denke, daß die Bedeutung hier in den letzten Jahren wieder deutlich zugenommen hat.

Die Entwicklung der Schwarzerden nahm unter kontinentalen Klimaverhältnissen und Waldsteppe im Frühholozän ihren Anfang. Vor 6.000 Jahren waren sie bereits voll ausgebildet. Daß sie in der Region erhalten blieben, ist auf den frühzeitig einsetzenden Ackerbau und der damit verbundenen Zurückdrängung des sich ausbreitenden Waldes sowie der Umwandlung der Natursteppe in eine Kultursteppe zurückzuführen.

* Dr. H. Rehhahn, Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt

Auch heute noch stellt die landwirtschaftliche Nutzung eine Voraussetzung für den Erhalt dieser fruchtbaren Böden dar. Eine gravierende Änderung der Bodennutzung (z. B. Wald) würde unter den heutigen klimatischen Bedingungen zu einer Degradation dieser Standorte und einer Verschlechterung ihrer Fruchtbarkeit führen.

Das Schwarzerdegebiet liegt im mitteldeutschen Trockengebiet. Die mittleren Niederschlagswerte betragen 460 - 550 mm. Diese Zahlen verdeutlichen, daß im Gegensatz zu den Bördegebieten in maritim beeinflussten Klimagebieten nicht die Bodenfruchtbarkeit selbst, sondern die Niederschlagsverhältnisse den limitierenden Faktor für die Ertragsbildung darstellen und auch nur eingeschränkte Möglichkeiten für die Grundwasserneubildung gegeben sind. In manchen Jahren kann besonders auf tiefgründigen Lößböden sogar jegliche Versickerung ausbleiben.

Die Böden des Schwarzerdegebietes bieten günstige Voraussetzungen für eine moderne, umweltgerechte Landwirtschaft. Sie stellen relativ homogene Bodenareale mit sehr gutem Nährstoff- und Wasserspeichervermögen bzw. -nachlieferungsvermögen dar. Diese Tatsache und der vergleichbar deutlich höhere Investitionsbedarf in der Tierproduktion hat in den letzten Jahren dazu geführt, daß sich unsere Landwirtschaft vor allem auf den Marktfruchtanbau ausgerichtet hat. Vornehmlich auf weniger guten und besonders auf Grünlandstandorten hat sich die Viehwirtschaft gehalten.

Diese Entwicklung zum reinen Marktfruchtbetrieb - speziell in der Börde - halten wir für zu einseitig. Zumindest mittel- und langfristig können damit erhebliche Risiken für die Einkommenssituation verbunden sein. Das Preisrisiko einseitig spezialisierter Ackerbaubetriebe sollte nicht unterschätzt werden, selbst wenn sich die augenblickliche Situation aufgrund der Flächenbeihilfen aus Brüssel relativ günstig darstellt.

Wir versuchen deshalb gegenzusteuern, indem wir den auf Marktfruchtanbau ausgerichteten Betrieb den Einstieg in die Veredelungsproduktion durch eine gezielte Investitionsförderung ermöglichen. Das wird sich nicht nur auf die Sicherung der Einkommen der Landwirte auswirken, sondern sich auch positiv auf den Boden auswirken, weil mit der Viehhaltung die Kreisläufe innerhalb eines Betriebes geschlossen werden.

Einige wenige Zahlen zur Entwicklung der Betriebsstrukturen in Sachsen-Anhalt:

- Die Zahl der Betriebe ist innerhalb der letzten fünf Jahre von 900 (800 LPG/GPG und 100 VEG) auf jetzt knapp 4.500 angestiegen.
- Davon werden 2.400 Haupterwerbsbetriebe von Wieder- bzw. Neueinrichtern als Einzelunternehmen oder Personengesellschaft (GbR) geführt. Diese Betriebe bewirtschaften 45 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche.
- Die durchschnittliche Betriebsgröße der Einzelunternehmen im Haupterwerb (ohne Gartenbaubetriebe) beträgt 164 ha.

- Die durchschnittliche Betriebsgröße der Personengesellschaften (GbR) beträgt 382 ha.
- 530 Unternehmen werden in der Rechtsform einer Kapitalgesellschaft bzw. e. G. bewirtschaftet, wobei die Durchschnittsgröße der e. G. 1462 ha und die der Kapitalgesellschaften 638 ha beträgt.
- Mit etwa 1.500 Betrieben weist Sachsen-Anhalt auch einen hohen Anteil an Nebenerwerbslandwirten auf, deren durchschnittliche Betriebsgröße immerhin 21 ha beträgt.

Der günstige Standort "Börde" erfordert aufgrund seiner Humus-, Substrat- und Gefügeeigenschaften eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung, da er besonders stark erosions- und verdichtungsgefährdet ist. So ist es in den letzten Jahrzehnten durch überdimensionierte Zusammenlegung von Ackerflächen auch in erosionsgefährdeten Hanglagen, unangepasste Bodenbearbeitung oder Befahren bei nicht geeigneten Wetter- und Bodenverhältnissen mit nur bedingt geeigneter Technik teilweise zu einer mehr oder weniger starken Schädigung der Bodenfunktion durch Erosion und Bodenverdichtungen gekommen.

Als Konsequenz aus diesen Erfahrungen muß zukünftig die Bearbeitung der Böden generell noch stärker als bisher auf aufwandreduzierte, gefügeschonende und wassersparende Verfahren ausgerichtet werden. Entsprechende Grundsätze werden im Entwurf der "Leitlinien für eine ordnungsgemäße Landwirtschaft für das Land Sachsen-Anhalt" formuliert. Diese Leitlinien wurden im Auftrage meines Hauses von den nachgeordneten landwirtschaftlichen Facheinrichtungen erarbeitet und befinden sich in der letzten Abstimmung. Mit diesen Leitlinien wollen wir objektive Maßstäbe für eine umweltverträgliche Landwirtschaft in Sachsen-Anhalt setzen.

Im Hinblick auf die Bodenbearbeitung wird der Grundsatz aufgestellt, daß "die Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung grundsätzlich standortangepaßt so zu erfolgen hat, daß die Bodenstruktur möglichst günstig beeinflußt, das Bodenleben geschont und gefördert, Erosionsrisiken gemindert und schädliche Bodenverdichtungen vermieden werden".

Dies erfordert auch ein Überdenken der gegenwärtig praktizierten Intensität der Bodenbearbeitung. Es werden sich in absehbarer Zukunft in der Praxis kaum die vielfach vehement propagierten Systeme der "reinen Lehre" der Minimalbodenbearbeitung, z. B. die "Festbodenwirtschaft" durchsetzen.

Zukünftige Bodenbearbeitungsstrategien in den landwirtschaftlichen Betrieben müssen vielmehr variabel gestaltet werden und sowohl bodenphysikalische, standörtliche und ökologische Erfordernisse als auch pflanzenbauliche Probleme und betriebswirtschaftliche Risiken berücksichtigen. Dabei darf das Ziel der nachhaltigen Reduzierung der Intensität der Bodenbearbeitung nicht aus den Augen verloren werden. Die Leitlinien werden insofern auch für diesen Bereich Hinweise beinhalten.

Als weitere Besonderheit der Böden des Schwarzerdegebietes ist hervorzuheben, daß sie ein hohes natürliches Nährstoffniveau aufweisen. Dies gilt besonders für Stickstoff.

Nach Untersuchungen der Jahre 1986-1989 betrug die Stickstoffüberschüsse auf diesen Standorten etwa 90 kg/ha*a. Bei der Wertung ist zu berücksichtigen, daß die Tierbestände aufgrund des Strukturwandels nach der Wende drastisch zurückgegangen sind und somit auch die bewirtschaftungsbedingte Nährstoffzufuhr über Wirtschaftsdünger. Der Rinderbestand ist im Vergleich zu 1989 auf 38 % und der Schweinebestand auf 27 % gesunken.

Gleichzeitig wurde auch der Einsatz mineralischer Düngemittel reduziert. So liegt heute die durchschnittlich eingesetzte Stickstoffmenge nur noch bei knapp 100 kg/ha N pro Jahr. Viele Betriebe arbeiten mit optimierten N-Gaben zur Sicherung der Qualität der Ernteprodukte vor allem bei Getreide und Zuckerrüben (Zuckerertrag), so daß nur noch eine vergleichsweise geringere N-Zufuhr im Mittel der Fruchtfolge zu verzeichnen ist.

Problematisch sind hinsichtlich der unerwünschten Nährstoffanreicherung der Böden bzw. des damit möglicherweise verbundenen unerwünschten Nährstoffaustrages aber nicht die Ackerbaubetriebe der Börde. Ein derartiges Risiko geht eher von viehstarken Veredelungs- und Futterbaubetrieben aus, die nur über eine geringe Flächenausstattung verfügen und somit lediglich begrenzt Flächen zur ordnungsgemäßen Verwertung der anfallenden Wirtschaftsdünger aufweisen.

Allerdings sind Betriebe dieser Kategorie in Sachsen-Anhalt heute nur noch die Ausnahme. Die vorhandenen Förderinstrumente verlangen, daß eine Flächenbindung in der Tierhaltung gewährleistet wird. Auswüchse, wie sie vor der Wende in Form sogenannter "Güllehochlastflächen", d. h. Flächen, auf denen die Gülle von mehr als 20 Großvieheinheiten/ha pro Jahr "entsorgt" wurden, auftraten, gehören der Vergangenheit an.

Zur weiteren Verbesserung der Düngungspraxis werden durch die "Leitlinien einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung" zudem auch im Bereich Düngung Grundsätze aufgestellt.

Zusätzliche Impulse in Richtung der Reduzierung von Nährstoffeinträgen in die Böden können von der in Vorbereitung befindlichen Düngeverordnung des Bundes ausgehen. Diese soll noch im Herbst 1995 verabschiedet werden und Grundsätze der ordnungsgemäßen Düngung im Sinne des Düngemittelgesetzes und der EU-Nitratrichtlinie festlegen.

Die Länder werden allerdings im bevorstehenden Bundesratsverfahren in einigen Punkten noch Nachbesserungen der Verordnung einfordern müssen, damit diese ihrem Anspruch gerecht wird, zu einer Verbesserung der Umweltsituation und zu einer Verminderung der Nährstoffeinträge in das Grund- und Oberflächenwasser beizutragen.

Neben den notwendigen fachlichen Ergänzungen, z. B. der Einführung verbindlicher Kernsperrfristen für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger mindestens für Dezember und Januar, muß die Verordnung sowohl für die zuständigen Behörden als auch für die Landwirte vollzugsfreundlicher werden. Die Bundesregierung hat insofern ihre Hausaufgaben zum Teil nur unzureichend gemacht.

In Sachsen-Anhalt sind durch die Auswirkungen der Reform der gemeinsamen Agrarpolitik seit 1991 auch die hochproduktiven und fruchtbaren Standorte der Lößböde in großem Umfang von der Flächenstilllegung betroffen. Insgesamt waren 1995 200.000 ha stillgelegt. Dies ist unter Umweltsichtspunkten durchaus nicht unproblematisch, da diese Böden ein hohes Nährstoffpotential aufweisen, besonders an anorganischem und organisch gebundenem Stickstoff.

Sofern auf den Flächen keine nachwachsenden Rohstoffe angebaut werden oder eine ordnungsgemäße aktive Begrünung durchgeführt wird, besteht die Gefahr, daß die freiwerdenden Nährstoffe durch den dann mangelhaften Pflanzenbestand nicht ausreichend verwertet werden und ins Grundwasser gelangen.

Auch unter diesem Aspekt ist es positiv zu werten, daß Sachsen-Anhalt im Bereich des Anbaus nachwachsender Rohstoffe die führende Rolle in der Bundesrepublik einnimmt. So werden in Sachsen-Anhalt 1995 auf ca. 52.000 ha nachwachsende Rohstoffe angebaut.

Die landwirtschaftlich genutzten Böden in Sachsen-Anhalt werden in den letzten Jahren stark durch raumbeanspruchende Maßnahmen und konkurrierende Nutzung beansprucht. Der Flächenbedarf für die Verkehrsprojekte Deutsche Einheit, Bergbauvorhaben oder die Ausweisung von Baugebieten wird in den nächsten Jahren etwa 30.000 ha landwirtschaftliche Fläche betragen.

Betroffen sind hiervon auch die fruchtbaren Böden des Schwarzerdegebietes. Diese Böden sind unwiederbringlich für die landwirtschaftliche Nutzung verloren und werden insbesondere auch in ihrer natürlichen Funktion als Filter und Puffer im Stoffkreislauf zerstört.

Es muß daher das Ziel sein, mehr als bisher verantwortungsvoll und sparsam mit dem Boden umzugehen und bei der Abwägung zwischen den einzelnen konkurrierenden Nutzungen zu einer möglichst gleichgewichtigen Bewertung der Interessen zu kommen. Versiegelungen und Abgrabungen sollten dabei auf ein unvermeidbares Maß begrenzt werden.

Das Schwarzerdegebiet grenzt an Gebiete mit hoher Bevölkerungskonzentration und Industrieansiedlungen der chemischen und Braunkohleindustrie sowie der Buntmetallurgie im Raum Halle-Leipzig, Mansfeld oder Hettstedt. Befürchtungen, daß durch Schadstoffeinträge die Böden weiträumig belastet sein können, haben sich nicht bestätigt. So haben Untersuchungen der verschiedensten Einrichtungen und Institutionen seit 1990 gezeigt, daß Bodenbelastungen in den meisten Fällen nur im unmittelbaren Nahbereich von Emittenten zu verzeichnen sind.

Landwirtschaftlich genutzte Flächen weisen, von kleinräumigen Besonderheiten u.a. im Bereich der Mulde und des Spittelwassers abgesehen, aufgrund ihrer größeren Entfernung von den Emittenten kaum Belastungen auf. So hat z. B. eine Auswertung von Bodenuntersuchungsergebnissen landwirtschaftlicher Nutzflächen durch die LUFA Sachsen-Anhalt ergeben, daß in Sachsen-Anhalt keine großflächigen Belastungen mit Schwermetallen vorliegen.

99 % der untersuchten Böden lassen eine uneingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung zu. Diese Feststellung möchte ich ganz bewußt neben das Rahmenthema Ihrer Tagung setzen: "Bodennutzung und Bodenbelastung im mitteldeutschen Industriegebiet". Hiermit liegen wir in Sachsen-Anhalt bezüglich der Kontaminierungsdichte im Schnitt der alten Bundesländer.

In den Einzelfällen, in denen kritische Schadstoffbelastungen landwirtschaftlich genutzter Böden festgestellt werden, werden in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden und Ressorts situationsbezogene Maßnahmen zur Gefahrenabwehr getroffen.

Gegenwärtig besteht in dem Bereich noch gesetzgeberischer Handlungsbedarf. Dieser soll durch das bereits in der letzten Legislaturperiode angekündigte und damals nicht umgesetzte Bundesbodenschutzgesetz beseitigt werden. Es bleibt allerdings abzuwarten, ob der von der Bundesregierung in Kürze vorgelegte Entwurf ausreichen wird, den Boden nachhaltig vor Beeinträchtigungen, insbesondere durch stoffliche Belastungen und Versiegelung, zu schützen.

Daneben soll der Boden gesetzlich von übermäßiger mechanischer Verdichtung durch die Landbewirtschaftung sowie vor Erosion vorbeugend geschützt werden. Insofern ist vor allem die Landwirtschaft gefordert. Sollten die Regelungen nicht ausreichen oder das Gesetz wiederum nicht verabschiedet werden, wird die Landesregierung prüfen, inwieweit ein weitergehendes eigenständiges Bodenschutzgesetz für Sachsen-Anhalt erforderlich ist.

Für den Bereich der Landwirtschaft bedeutet dies, daß dabei vorrangig der Verbraucherschutz im Vordergrund steht und z. B. das Inverkehrbringen von unzulässig belasteten Lebensmitteln, die direkt oder indirekt über die Veredelung auf den betroffenen Flächen erzeugt werden, untersagt wird. Gleichzeitig werden in der Regel Schritte zur möglichen Sanierung geprüft und ggf. eingeleitet.

Mehr noch: Das Umweltbewußtsein der Verbraucher hat sich in der letzten Zeit verändert. Es muß für ihn mehr und mehr nachvollziehbar sein, woher die Produkte kommen. Nur wenn das Vertrauen in die Produkte und seiner teilweise mannigfaltigen Verarbeitung besteht, können diese Produkte auch vermarktet werden. Insofern wirkt sich das Inverkehrbringen von unzulässig belasteten Lebensmitteln besonders stark auf den Absatz und das Image der Landwirtschaft aus.

Abschließend sei noch auf ein weiteres Problem hingewiesen, das bei unsachgemäßer Handhabung langfristig zu einer Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit führen kann. Durch den Ausbau von Kläranlagen, den Aufbau von Kompostieranlagen und die Vorgaben der TA-Siedlungsabfall werden in den nächsten Jahren in noch stärkerem Maße als bisher Klärschlämme und Komposte in die landwirtschaftliche Verwertung drängen.

In diesem Zusammenhang wird der gemeinsame Beschluß der Agrar- und Umweltminister mitgetragen, daß die landwirtschaftliche Verwertung einem übergeordneten öffentlichen Interesse dient. Allerdings dürfen nur dauerhaft unbedenkliche und umweltverträgliche Sekundärrohstoffe genutzt werden. Die Verwertung muß zudem in regionaler Verantwortung und Kooperation erfolgen. Klärschlammtourismus, wie er gegenwärtig insbesondere in den neuen Bundesländern stattfindet, ist grundsätzlich eine Absage zu erteilen.

Die Erfahrungen mit der Klärschlammverwertung in Sachsen-Anhalt zeigen, daß insofern noch ein erheblicher Aufklärungsbedarf besteht. Letztlich muß der Boden nachhaltig geschützt und das Vertrauen in die Verwertung beim Anwender und vor allem bei Handel und Verbraucher zurückgewonnen werden.

Als Voraussetzung dafür sind durch den Bund die rechtlichen Vorgaben im Rahmen der Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zügig zu erarbeiten, um bestehende Defizite, z.B. im Bereich der Kompostanwendung oder des Einsatzes von Gemischen aus Klärschlamm und Wirtschaftsdüngern, zu beseitigen.

Beste Böden für die landwirtschaftliche Produktion zur Verfügung zu haben bringt aber nicht nur Vorteil, das lassen sie mich aus agrarpolitischer Sicht noch anfügen. Solange die Verpachtung von privat erfolgt, gibt es keine größeren Schwierigkeiten. Doch es gibt ja auch ca. 200.000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, die von der BVS und der BVVG zu verteilen sind, sei es durch Pacht oder dann durch Kauf im Rahmen eines Landerwerbsprogramms.

Wenn der "run" auf die Existenzgrundlage "Boden" besonders groß ist, müssen die Kriterien der Vergabe

- aus Gründen der Existenzsicherung
- aus Wettbewerbsgründen und
- wegen der Chancengleichheit einheimischer Landwirte unabhängig von ihrer Rechtsform

genaustens bedacht werden.

Ansonsten sind wir natürlich über diesen run sehr froh. Wir können Landwirtschaft betreiben, die auch im europäischen Wettbewerb mithalten kann und die uns darüber hinaus auch viele Investitionen im vor- und nachgelagerten Bereich gebracht hat. Das Interesse der Verarbeitungs- und Vermarktungswirtschaft in Sachsen-Anhalt tätig zu werden ist groß. Landwirtschaft sowie Verarbeitungs- und Vermarktungswirtschaft tragen mit dazu bei, daß der ansonsten eher strukturschwache ländliche Raum entwickelt wird.



Tradition und Fortschritte bodendynamischer Forschungen im mitteldeutschen Raum

von

Schilling, G.*

Im Zentrum des hier zu behandelnden mitteldeutschen Raumes liegt das heutige Bundesland Sachsen-Anhalt. Es umfaßt eine Fläche von 2 044 587 ha, wovon 52 % landwirtschaftlich genutzt werden (Stat. Jb. SA 1994). Ein erheblicher Anteil hiervon entfällt auf die aus Löß oder Sandlöß gebildeten Tschernoseme, die zu den fruchtbarsten Böden der Bundesrepublik Deutschland gehören. Das mag einer der Gründe sein, weshalb sich die Bodenkunde als Wissenschaft in diesem Raum schon früh entwickelt hat. Zentrum war dabei die heutige Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Julius Kühn gründete hier 1863 ein landwirtschaftliches Institut (SCHWABE, 1963) und legte 1878 den Dauerversuch „Ewiger Roggenbau“ an, in dem die Wirkung einer differenzierten Mineral- und organischen Düngung auf die Bodenzusammensetzung bis heute geprüft wird (GARZ und HAGEDORN, 1990). Fritz Scheffer, der erste Präsident der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft nach dem zweiten Weltkrieg, habilitierte sich hier 1931 für die Fächer Agrikulturchemie und Bodenkunde unter Auswertung des Kühnschen Versuches (ANONYM, 1964; SCHEFFER, 1931, 1932). Willy Laatsch studierte 1929/30 bis 1934 in Halle Naturwissenschaften, insbesondere Geologie und Chemie, promovierte an der hiesigen Universität zum Dr. rer. nat., habilitierte sich 1937 am gleichen Ort und erhielt 1938 die Dozentur für Bodenkunde (Universitätsarchiv). Er wirkte bis nach 1943 an der Universität. Karl Schmalfuß vertrat das Fach in den Jahren 1949 bis 1969. Ihm verdanken wir bedeutsame Arbeiten vor allem auf dem Gebiet des Humusgehaltes. So hat die Bodenkunde in Halle viele geistige Väter, die interessanterweise aus verschiedenen Wissenschaftsrichtungen kamen. Das Spektrum reicht von den Agrarwissenschaften (Kühn) über Chemie, Mathematik und Geologie (Scheffer, Laatsch) bis zur Botanik in Kombination mit der Landwirtschaft (Schmalfuß). Welche Beziehungen zu bodendynamischen Forschungen diese Fachvertreter und ihre Nachfolger gehabt haben und wohin das geführt hat, soll nachfolgend untersucht werden.

* Prof. Dr. habil. G. Schilling, Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg, Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Adam-Kuckhoff-Straße 17b, D-06108 Halle/Saale.

Gegenstand der Bodendynamik als Forschungsgebiet ist, die mit Energietransformation gekoppelten Prozesse bei der Bildung von Böden aus Gesteinen und bei ihrer gesetzmäßigen Weiterentwicklung sowie Degradierung aufzuklären. Das bedeutet, daß einerseits die Bodengenese untersucht wird, andererseits aber auch das stoffliche Geschehen im Boden sowie an den Wänden seiner Poren (z. B. Hydroxidablagerungen) analysiert wird. Dabei spielt die Erfassung des Einflusses von Bodenlebewesen eine große Rolle.

Methodisch wird bei bodendynamischen Arbeiten so vorgegangen, daß die interessierenden Zustände des Substrates in zeitlichen Abständen untersucht werden, um aus den gefundenen Differenzen auf die Prozesse schließen zu können, die in der Zwischenzeit abgelaufen sind. Anschließend wird versucht, diese mit den wirkenden Außeneinflüssen in Zusammenhang zu bringen und daraus ein kausal strukturiertes Modell aufzubauen.

Benutzt man diese Maßstäbe, so ergeben sich für die im mitteldeutschen Raum durchgeführten Arbeiten drei Hauptrichtungen: Studien zur Bodengenese, Untersuchungen zur Umsetzung organischer Substanzen sowie Forschungen zur Nährstoff-, Schwermetall- und Xenobiotikadynamik. Alle drei Gebiete sollen auszugsweise dargestellt werden.

Studien zur Bodengenese

Begründer dieser Arbeitsrichtung in Halle war Willy Laatsch mit seiner bodenkundlichen Kartierung im Raum des aus dem Jahre 1915 stammenden Geologischen Meßtischblattes Halle (Nord). Ein Blick auf diese Karte zeigt, daß das Gebiet durch Lößablagerungen aus der Weichseleiszeit dominiert wird. Diese bedecken teilweise in geringer Mächtigkeit elstereiszeitlichen Sand, Kies und Geschiebemergel. Im Nordosten und Südwesten ragt junger Porphyry aus dem Unteren Rotliegenden aus diesen diluvialen Sedimenten heraus. Sandsteine und Schiefertone aus dem Unteren und Oberen Rotliegenden sowie örtliche Vorkommen von Ablagerungen des Unteren Wellenkalkes tun dies an anderen Stellen und vervollständigen das ungemein vielseitige Bild, von dem hier nur die wichtigsten Konturen nachgezeichnet werden können.

LAATSCH (1934) ging bei seinen Arbeiten in drei Etappen vor. Zunächst wurde versucht, die Reliefgeschichte des Gebietes zu rekonstruieren, was seinen Niederschlag in einer entsprechenden Reliefstrukturkarte fand. Sie enthielt nicht nur allgemeine topographische Angaben, sondern auch Schmelzwasserrichtungen im Hochglazial, zur Zeit der Talvorstöße und während der Abschmelzperiode sowie Vermerke zur gegenwärtigen Hangabtragung. Dadurch ließen sich Substratverlagerungen sowie das Herausragen der Porphyrykuppen erklären.

Der zweite Schritt bestand in der Aufnahme der Bodenprofile, also der damaligen Endprodukte der Bodenbildung. Der Autor führte dabei gleichzeitig Körnungs- sowie diverse chemische Untersuchungen durch, um dem Phänomen der Entwicklungsprozesse auf die Spur zu kommen. Dabei

entstand die erste Bodentypenkarte für dieses Gebiet. Die auf Löß gebildeten Böden wurden nahezu ausnahmslos als Schwarzerden mit Krümen- oder Tiefendegradation ausgewiesen. Braune Waldböden — heute als Braunerde bis Parabraunerde bezeichnet — gab es vor allem auf schwacher Lößdecke über Geschiebemergel. Böden auf den Porphyrkuppen deklarierte Laatsch als Silikatböden mit Auflagerorfsdecke.

Der dritte und letzte Schritt war die Suche nach den Triebkräften für die Genese dieser Böden. Eine große Rolle spielten dabei die Niederschläge und Temperaturverläufe. LAATSCH (1934) widmete in diesem Zusammenhang den relativ geringen C_1 -Gehalten von $\approx 1,3 \%$ im A_h -Horizont der Schwarzerden aus der hallenser Gegend im Vergleich zu den etwa 7% C_1 im Raum Woronesh besondere Aufmerksamkeit. Zunächst erschien die Richtung dieser Differenz unverständlich, weil Woronesh über höhere Jahresniederschläge (536 mm) verfügte als Halle mit 494 mm. Doch konnte Laatsch zeigen, daß das Mikrobenleben im genannten russischen Schwarzerdegebiet innerhalb von 5 Wintermonaten durch Temperaturen $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$ und 3 Sommermonaten durch das Fehlen von Niederschlägen in den heißen Monaten ab Anfang Juli stärker gehemmt war als in Halle mit seinen milden Wintern und regenreichen Spätsommern. Die erhöhte Anreicherung organischer Substanz in den genannten russischen Böden wird daher verständlich.

So hat Laatsch eine bodendynamische Forschungsrichtung zur Bodengnese im mitteldeutschen Raum begründet, die später durch andere Autoren fortgesetzt worden ist. Dabei standen Fragen der Gliederung von pleistozänen Lagen (ALTERMANN, 1993) sowie solche zur Substratklassifikation (KÜHN *et al.*, 1993) ebenso zur Debatte wie die Kartierung der Böden nach modernen, hierauf aufbauenden Gesichtspunkten (Bodenkarte im Maßstab 1 : 400 000 des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt 1995).

Untersuchungen zur Umsetzung organischer Substanzen im Boden

In Zersetzung begriffene organische Substanz ist ein integrierender Bestandteil jedes Bodens. Ihre Dynamik spielt bei den bisher geschilderten Arbeiten kaum eine Rolle. Diese Lücke wird vor allem durch Versuche von SCHMALFUB (1960, 1965) gefüllt. Dieser Autor untersucht die Anreicherung organischer Substanz in reinem Löß, wenn auf diesem rein mineralisch ernährte Pflanzen wachsen. Dazu läßt er glasierte Tonrohre von 1 m Länge und 40 cm lichter Weite, die unten offen auf einer Bettung von grobem Kies stehen, senkrecht in den Boden ein. Sie werden mit reinem Löß gefüllt und mit unterschiedlichen Pflanzen in unregelmäßiger Folge bebaut, wobei die Ernährung lediglich durch Mineraldüngung erfolgt (eine Versuchreihe mit gestaffelten N-Gaben entsprechend 0 ... 400 kg/ha N bei sonst einheitlichen Nährstoffgaben, die andere mit P-Staffelung). In zeitlichen Abständen wird die Anreicherung von organisch gebundenem Kohlenstoff (C_1) sowie Gesamtstickstoff in 0 ... 12 cm Tiefe verfolgt. Die Resultate in Tab. 1 zeigen, daß die C_1 -Gehalte innerhalb von

19 Jahren auf das 9fache gestiegen sind und 1967 Werte erreichen, wie sie für Lößböden in Halle zutreffen. Danach schwanken sie nur noch in einem engen Bereich, und zwar offenbar in Abhängigkeit von der jeweils angebauten Pflanzenart und den von ihr hinterlassenen Wurzelrückständen. Vor den Sonnenblumen des Jahres 1980 war 2 Jahre lang Deutsches Weidelgras mit bekannt hohen Rückständen angebaut worden. Die N_f -Gehalte folgen den C_f -Gehalten, wobei das C/N-Verhältnis allerdings bis 1967 von 9,5 : 1 auf 14,5 : 1 erweitert und 1958 bereits ein Humifizierungsgrad von 26,3 % des C_f erreicht wird.

Tab. 1: Ergebnisse des Bodenbildungsversuchs auf Löß (angelegt 1948 durch Schmalfuß, bis heute vom Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung weitergeführt). Ausgangsmaterial: Löß aus dem C-Horizont eines Tschernosems in Etzdorf bei Halle/Saale, Erträge an oberirdischer Trockenmasse im 46jährigen Mittel.

Ertrag, %	N-Reihe				Ertrag, %	P-Reihe			
	100	158	215	259		100	148	173	195
N-Gabe, kg/ha	0	100	200	400	P-Gabe, kg/ha	0	8,7	17,4	34,9
Variante mit 400 kg/ha N in der N-Reihe									
Jahr									
	1948	1958	1962	1967	1974	1976	1980		
C_f -Gehalte, %	0,18	0,97	1,49	1,60	1,38	1,29	1,33		
N_f -Gehalte, %	0,019	0,065	0,09	n. b.	0,095	n. b.	n. b.		
Pflanzenarten	—	Mais/Ackerbohnen	Weidelgras† /Luzerne	Sommerweizen	Mais	Mais	Sonnenblumen		

†) 1960 ... 1962; n. b. = nicht bestimmt

Es sieht also so aus, als würde sich nach relativ schnellem Anstieg und damit intensiver „Bodenbildung“ auf dem Löß ein von den Substrat- und Umweltbedingungen abhängiger C_f -Wert einstellen, wobei die angebauten Pflanzen dies auch bei rein mineralischer Ernährung ermöglichen. Die Lage des sich einstellenden Fließgleichgewichts an organischer Substanz im Boden scheint relativ stabil zu sein. So weist die Stallmistparzelle im Versuch „Ewiger Roggenbau“ bei Untersuchungen 1984 ... 1987 in der Krume einen C_f -Gehalt von 1,73 % auf (GARZ und HAGEDORN, 1990). Dieser liegt nicht nur nahe am C_f -Gehalt im Tonröhrenversuch von 1967 (Tab. 1), er erweist sich auch als relativ gleichbleibend, obwohl die genannte Parzelle seit 1878 jährlich 12 t/ha Stallmist (entspricht etwa 1,2 t/ha C_f) erhalten hat. Vergleicht man diese Zufuhr mit der C_f -Akkumulation im Boden seit 1878, so ergibt sich in dieser Zeit von 1878 bis 1929 eine Anreicherung von 19,6 % des über den Mist zugeführten C_f , zwischen 1953 und 1984/87 aber nur noch eine solche von 3,7 %. Substrat und Umweltbedingungen — der Boden auf dem „Julius-Kühn-Feld“ ist aus Lößsand hervorgegangen — bestimmen offensichtlich weitgehend die Lage des Fließgleichgewichts. In diesen Kontext paßt auch der auf der Exkursion D dieser Tagung demonstrierte Befund, daß auf

verkipptem Löß mit geringer Geschiebelehmbeimengung nach 15jährigem Ackerbau bereits wieder ähnliche C_1 -Gehalte erreicht worden sind, wie sie in den beiden zitierten Versuchen in Halle vorliegen.

Die dargelegten Ergebnisse zeigen, daß Dauerversuche für bodendynamische Forschungen essentielle Bedeutung besitzen. Sie sind keineswegs nur „Museumsstücke“. Da sich solche Böden in einem *steady state* befinden, lassen sich mit ihrer Hilfe — z. B. auf Teilparzellen — Ursache und Wirkung plötzlicher, experimentell durchgeführter Stoffeinträge in klarer Folge erkennen. Das ist unter anderem für die Umweltforschung außerordentlich bedeutsam. Darüber hinaus stellen Bodenproben von derartigen Versuchen gesuchte Objekte zur Analyse von stofflichen Veränderungen im Bereich der organischen Substanz mit Hilfe moderner Analysemethoden (z. B. Pyrolyse-Massenspektrometrie) dar (SCHULTEN und LEINWEBER, 1991). Auf diese Weise läßt sich beispielsweise die Wirkung einer ständigen Stallmistdüngung auf molekularer Ebene erfassen, und es ist möglich, die dadurch veränderte Stoffgarnitur an Porenwänden mit den Sorptionseigenschaften für Xenobiotika in Beziehung zu bringen.

Forschungen zur Nährstoffdynamik

Aus diesem Arbeitsgebiet kann hier lediglich ein Beispiel herausgegriffen werden, aus dem allerdings die neuen Entwicklungsrichtungen bodendynamischer Arbeiten erkennbar werden. Im Zeitalter der Forderung nach ökonomisch effektiver und zugleich umweltbewußt zu betreibender Landbewirtschaftung gewinnt die exakte Bemessung der Mineraldüngung besondere Bedeutung. Durch Bilanzuntersuchungen auf einem 45jährigen Phosphatdauerdüngungsversuch auf dem „Julius-Kühn-Feld“ in Halle konnte erkannt werden, daß Pflanzenwurzeln offenbar mehr Bodenphosphate mobilisieren können, als bisher angenommen wurde, und daß die bisher für solche Standorte benutzten Grenzwerte bei der Bodenuntersuchung auf pflanzenverfügbares Phosphat (DL-Methode) möglicherweise zu hoch liegen (SCHILLING *et al.*, 1995). Abgesehen von der praktischen Bedeutung dieses Befunds erhebt sich die Frage, welche Mechanismen bei der Beeinflussung der Phosphatlöslichkeit am Werke sind. Spielen Wurzelabscheidungen hierbei eine Rolle und wenn ja welche? Derartige Fragen haben unsere Arbeitsgruppe veranlaßt, die Wurzelabscheidungen von Kulturpflanzen mit einer neu erarbeiteten Methode zu analysieren (GRANSEE und WITTENMAYER, 1995) und ihren Verbleib sowie ihre Wirkung im Wurzelraum zu studieren.

In Quarzsand angezogene Pflanzen werden hierzu für 3 bis 6 Tage mit $^{14}CO_2$ begast und dann geerntet. $^{14}CO_2$ und Quarzsand dienen dazu, möglichst keimarm zu arbeiten und beim Abstauchen der Wurzeln in dest. Wasser unter den abgegebenen Stoffen diejenigen herauszufinden, die garantiert während der $^{14}CO_2$ -Begasung gebildet worden waren. Das mit einem Antibiotikum versetzte Wasser wurde sofort tiefgefroren, das Material gefriergetrocknet, in dest. Wasser aufgenommen und

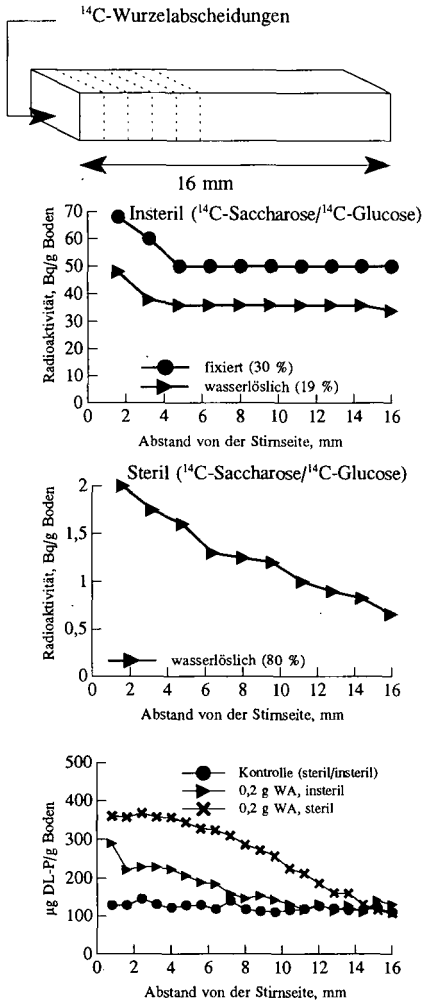


Abb. 1: Verhalten von Wurzelabscheidungen (WA) in Bodenblöcken und Einfluß auf die P-Löslichkeit (Diffusionszeit 3 Tage)

befanden. Die Blöcke sind dann vorn und hinten abgedichtet worden und blieben 3 Tage sich selbst überlassen. Danach wurden sie eingefroren und mit einem Gefriermikrotom in 0,8 mm dicke Scheiben zerschnitten. In diesen sind dann das DL-lösliche Phosphat sowie gegebenenfalls auch das Schicksal der zugesetzten ¹⁴C-Verbindungen untersucht worden. Folgendes ergab sich: Im sterilen Versuch (Sterilisierung der Bodenblöcke mit ⁶⁰Co) stieg die Menge an DL-löslichem Phosphat um

unter Nutzung von Kationen- und Anionenaustauschersäulen in die 3 Gruppen Zucker, Aminosäuren/Amide und sonstige organische Säuren (einschließlich Phenole) aufgeteilt. Die Auftrennung innerhalb der Gruppen mittels HPLC und teilweise GC führte zu den ¹⁴C-Einzelverbindungen, die gegebenenfalls mit GC/MS identifiziert werden mußten. Die Analysen brachten folgende Resultate: Die Menge an abgeschiedenen löslichen ¹⁴C-Verbindungen machte annähernd 10 % der Netto-CO₂-Assimilation aus.

Gefunden wurden 5 bis 8 Zucker, unter ihnen vor allem Glucose und Saccharose, 10 bis 14 Aminosäuren und Amide sowie 4 bis 6 andere Säuren. Die Zucker machten stets den größten Anteil (> 50 %) aus. Doch schwankte die Zusammensetzung je nach Pflanzenart, Sorte, Alter und Ernährung der Pflanzen. Um zu untersuchen, was mit diesen Wurzelabscheidungen geschieht und was sie im Boden bewirken, wurden die gewonnene Mischung (WA) oder einzelne Komponenten daraus auf die Stirnseite kleiner Bodenblöcke getropft (Abb. 1, Versuche von G. Ströhmer), die sich in Plexiglashalbschalen

die Auftropfstelle herum stark an im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 1, unten). Im insterilen Versuch war der Effekt auch sichtbar, aber kleiner. Mikroben spielten also bei der Wirkung der Wurzelabscheidungen auf die Phosphatlöslichkeit eine Rolle, und zwar eine negative. Da die Erhöhung der Löslichkeit in der Nähe der Auftropfstelle der Wurzelabscheidungen besonders hoch war, wurde in weiteren Versuchen analysiert, ob dieser Befund mit der Verteilung der ^{14}C -Wurzelabscheidungen korreliert. In Abb. 1 sind die Ergebnisse des Versuchs mit einer ^{14}C -Saccharose/ ^{14}C -Glucose-Mischung angegeben, der ähnliche Tendenzen wie bei den anderen geprüften Stoffgruppen (Aminosäuren/Amide, andere organische Säuren) erkennen läßt und daher in Grenzen auch für sie stehen kann. Zunächst ist bei der Variante „insteril“ (obere Kurvendarstellung) festzustellen, daß 51 % der ^{14}C -Radioaktivität fehlten, der Kohlenstoff also offenbar veratmet worden ist. Der Rest befand sich in der Tat relativ konzentriert an der Auftropfstelle. 30 % hiervon waren wasserunlöslich, 19 % konnten dagegen mit dest. Wasser noch extrahiert werden. Die Ursprungsverbindungen wurden jedoch überhaupt nicht mehr gefunden. Die Mikroben hatten offenbar alles umgewandelt. Dies geht auch daraus hervor, daß im Sterilversuch (Abb. 1, Mitte) 80 % der Substanz wasserlöslich blieben und die Zucker nach HPLC-Trennung und -Bestimmung als solche praktisch quantitativ wiedergefunden werden konnten. Eine Umsetzung an der Bodenmatrix ohne Mikroben fand also offenbar kaum statt.

Die dargestellten Resultate zeigen, daß Verbindungen aus Wurzelabscheidungen offenbar sehr schnell durch Mikroben umgesetzt werden. Die entstandenen Produkte wandern anscheinend weniger als die meisten Ausgangsverbindungen, können teilweise aber auch Phosphate lösen. Man muß daher neben einer direkten Wirkung auch indirekte Effekte konstatieren. Da die Zusammensetzung der Wurzelabscheidungen stark schwankt, ist zu erwarten, daß sich dies auch auf das Geschehen — sei es direkt oder mikrobiell, indem sich die Mikrobenpopulation und/oder ihre physiologischen Leistungen verändern — auf Lösungs- und Fixierungsprozesse auswirkt. Es wird wichtig sein, solche Fragen nicht nur bei Nährstoffen, sondern auch bei Schwermetallen und Xenobiotika zu untersuchen. Fragen des Einflusses auf die Bodenentwicklung sind dabei auch nicht uninteressant.

Zusammenfassend ist abschließend folgendes festzustellen:

1. Die bodendynamischen Arbeiten bewegen sich immer mehr von den makroskopisch sichtbaren Phänomenen zur molekularen Ebene hin. Sie sollten in Modellbildungen münden, die Voraussagen auf entsprechenden Gebieten gestatten.
2. Die Forschungsrichtung ist insofern interessant und wichtig, als sie auch zur Lösung von Fragen des Umweltschutzes direkt beitragen kann.

3. Bodendynamische Arbeiten erfordern in vielen Fällen das Vorhandensein von Dauerfeldversuchen, deren Erhaltung daher das Anliegen jedes Landes sein muß. Es ist deshalb notwendig, die personelle Basis auf diesem Gebiet nicht abzubauen, wie es derzeit an der Universität Halle geschieht, sondern zu stärken.

Wenn man dies alles bedenkt, dann kann bodendynamische Forschung sehr zu dem beitragen, was Dokutschawew einst für die gesamte Bodenkunde forderte: „Alles Verstehen muß in der Bodenkunde auf die Rekonstruktion von Prozessen zurückgeführt werden!“

Schrifttum

- ALTERMANN, M.: Gliederung von pleistozänen Lagen. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **72**, 825–828, 1993.
- ANONYM: Festschrift für Fritz Scheffer, zum 65. Geburtstag herausgegeben und besorgt von seinen Schülern. Göttingen, 1964.
- GARZ, J., und HAGEDORN, E.: Der Versuch „Ewiger Roggenbau“ nach 110 Jahren. *Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg, Wiss. Beitr.* **31 (S 72)**, 9–30, 1990.
- GRANSEE, A., und WITTENMAYER, L.: Eine neuartige Methode zur Gewinnung und Identifizierung von Wurzelabscheidungen bei Kulturpflanzen. *VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1995* [im Druck].
- KÜHN, D., ALTERMANN, M., und SPIES, E.-D.: Vorschlag zur Substratklassifikation. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **72**, 989–994, 1993.
- LAATSCH, W.: Die Bodentypen um Halle (Saale) und ihre postdiluviale Entwicklung. In: *Jb. d. Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteleuropäischen Bodenschätze und ihrer Verwertung.* 57–112, 1934.
- SCHEFFER, F.: Chemische und biologische Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Böden des „Ewigen Roggenbaus“ in Halle a. d. S. *Archiv f. Pflanzenbau (Berlin)* **7**, 169–238, 1931.
- SCHEFFER, F.: Über das Problem der Bodenfruchtbarkeit. Ein Beitrag zu Justus von Liebig's Ausspruch: Nicht die Fruchtbarkeit der Erde, wohl aber die Dauer der Fruchtbarkeit liegt in dem Willen der Menschen. *Archiv f. Pflanzenbau (Berlin)* **8**, 127–186, 1932.
- SCHILLING, G., STUMPE, H., und GRANSEE, A.: Ein 45-jähriger Dauerdüngungsversuch und die Aktivität saurer Phosphatasen als mögliche Grundlagen für die Überprüfung von P-Grenzwerten nach der DL-Methode. *VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1995* [im Druck].
- SCHMALFUß, K.: Mineraldüngung, Pflanzenertrag und organische Bodensubstanz. *Z. Pflanzenern., Düngung, Bodenk.* **90 (135)**, 50–58, 1960.
- SCHMALFUß, K.: Über Bodenbildung. *Albrecht-Thaer-Archiv* **9**, 3–7, 1965.
- SCHULTEN, H.-R., und LEINWEBER, P.: Influence of long-term fertilization with farmyard manure on soil organic matter: Characteristics of particle-size fractions. *Biol. Fertil. Soils (Heidelberg)* **12**, 81–88, 1991.
- SCHWABE, H.: Zur Idee der universitas litterarum bei Julius Kühn und seinen Nachfolgern. In: *100 Jahre Landwirtschaftliche Institute der Universität Halle.* Landw. Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg, 19–84, 1963.

Aufgaben und Ziele der Umweltforschung im mitteldeutschen Industriegebiet

von

Körschens, M.

Das Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle wurde am 12. Dezember 1991 vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie sowie dem Freistaat Sachsen und dem Land Sachsen-Anhalt als 16. Großforschungseinrichtung Deutschlands gegründet. Es ist im Zentrum der stark belasteten, ehemaligen Chemieregion Leipzig-Halle-Bitterfeld angesiedelt und widmet sich als einzige Großforschungseinrichtung ausschließlich sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientierten Fragen der Umweltforschung.

Die derzeitigen Aufgaben sind dementsprechend folgenden drei Forschungsthemen zugeordnet:

- Struktur und Dynamik von belasteten Systemen
- Grundlagen zur Sanierung belasteter Landschaftsausschnitte und
- Strategien zur Erhaltung und nachhaltigen Entwicklung von Regionen und Kulturlandschaften.

Das Spektrum der wissenschaftlichen Arbeiten ist sehr weit gefächert. Insgesamt 12 wissenschaftliche Sektionen, vergleichbar mit Instituten, haben gegenwärtig ihren Sitz in Leipzig, Bad Lauchstädt (Halle) und Magdeburg.

Leipzig

- Hauptsitz der Verwaltung
- Sanierungsforschung
- Mikrobiologie
- Analytik
- Angewandte Landschaftsökologie
- Ökosystemanalyse
- Chemische Ökotoxikologie
- Expositionsforschung/Epidemiologie

Bad Lauchstädt (Halle)

- Hydrogeologie
- Bodenforschung
- Biozönoseforschung
- Analytik

Magdeburg - Falkenberg

- Gewässerforschung
- Bodenforschung
- Projektträger des Landes Sachsen-Anhalt

Neben den Sektionen gibt es vier landschaftsbezogene Projektbereiche, die zu spezifischen Problemen innerhalb interdisziplinär konzipierter Verbundprojekte die Arbeiten der Wissenschaftler aus den Sektionen fachlich und organisatorisch koordinieren.

Es sind dies die Projektbereiche:

- Urbane Landschaften
- Agrarlandschaften
- Naturnahe Landschaften sowie
- Industrie- und Bergbaufolgelandschaften

Schwerpunkte der Untersuchungen sind u. a. die belasteten Gebiete der Muldeau und der Dübener Heide, die Bergbaufolgelandschaft im Südraum Leipzig, das Mansfelder Land, agrarisch genutzte Flächen sowie das Stadtgebiet Leipzig einschließlich Auenwald.

Innerhalb zahlreicher Forschungsprojekte erfolgt nicht nur eine Zusammenarbeit zwischen den Sektionen des UFZ, sondern darüber hinaus auch eine enge Kooperation mit Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen im nationalen und internationalen Maßstab.

Die Sektion Bodenforschung als eine der 12 Sektionen mit Sitz in Bad Lauchstädt arbeitet am Standort des ehemaligen Forschungszentrums für Bodenfruchtbarkeit. Sie ist in die Abteilungen

- Bodenchemie
- Bodenbiologie
- Bodenphysik
- Bodenprozeßdynamik
- Bodennutzung und -sanierung und
- Ungesättigte Zone (seit 1995 mit Sitz in Falkenberg)

gegliedert und widmet sich den Forschungsarbeiten zum Schutz des Ökosystems Boden in naturnahen, agrarisch genutzten, urbanen und industriell beeinflussten Bereichen.

Wenn auch eine großflächige Belastung, insbesondere landwirtschaftlich genutzter Flächen, erfreulicherweise nicht in dem befürchteten Umfang festzustellen ist, so gibt es doch innerhalb der genannten Gebiete, insbesondere im Überschwemmungsbereich der Flußauen, sehr große Probleme mit anorganischen und organischen Schadstoffen.

Einige Schwerpunkte aus der Arbeit der Sektion Bodenforschung sollen nachfolgend fragmentarisch und beispielhaft dargestellt werden.

Untersuchungen zu Schwermetallgehalten in der Dübener Heide (Tab.1) zeigen ein nur relativ geringfügiges Überschreiten der Grenzwerte für Hg und Cd, wobei in allen Fällen ein deutlicher Konzentrationsgradient in Abhängigkeit von der Entfernung der Emittenten, d. h. den Großkraftwerken des Bitterfelder Raumes, von Pouch bis Reinharz zu erkennen ist.

Tabelle 1:

Schwermetallgehalte in der Humusaufgabe ausgewählter Standorte in der Dübener Heide (Gesamtgehalte in mg kg⁻¹ Boden) (nach Kalbitz und Knappe, 1995)

	Hg	Cu	Zn	Cd	As
Reinharz (Kiefer)	0,2	12,0	21,0	0,4	8,0
Lutherstein (Kiefer)	0,6	13,0	29,0	0,7	7,0
Lutherstein (Buche)	0,7	11,0	48,0	0,9	10,0
Pouch (Kiefer)	0,7	16,0	61,0	1,1	14,0
Referenzwerte der Hollandliste (1994)	0,3	36,0	140,0	0,8	29,0

Wesentlich höhere Konzentrationen finden sich im Überflutungsbereich der Mulde, wo neben sehr hohen Gehalten an Cadmium, Arsen und Quecksilber vor allem auch die PAH's und HCH's im Bereich des Spittelgrabens die Referenzwerte der Hollandliste weit überschreiten (Tab.2).

Die bodenbiologischen Parameter reagieren deutlich auf den Belastungsgrad (Abb.1) Dies zeigt sich sowohl bei der mikrobiellen Biomasse als auch in sehr drastischer Weise bei der Dehydrogenaseaktivität und der DMSO - Reduktion.

Tabelle 2:
Schadstoffkonzentrationen in Böden der Muldeau
(Gesamtgehalte in mg kg⁻¹ Boden) (nach Knappe, u. a., 1995)

	Cd	As	Hg	PAH's	HCH's
Bobbau 0...10 cm	1,7	29,0	2,0	1,4	0,2
Keller 0...10 cm	4,4	93,0	39,0	15,8	343,3
Spittel 0...10 cm	1,5	58,0	8,0	7,4	126,4
Greppin 0...10 cm	13,8	179,0	23,0	1,8	3,1
Referenzwerte der Hollandliste (1994)	0,8	29,0	0,3	1,0	2,0*

*Interventionswert der Hollandliste

Collembolen als Vertreter der Mesofauna gelten als sensible Indikatoren für Schadstoffbelastungen. Mit steigendem Belastungsgrad verringert sich die Artendiversität als Maß für die Mannigfaltigkeit einer Population. Auffallend ist hier jedoch die unerwartet hohe Besatzdichte auf den stark belasteten Standorten, die auf eine Übervermehrung weniger Arten zurückzuführen ist.

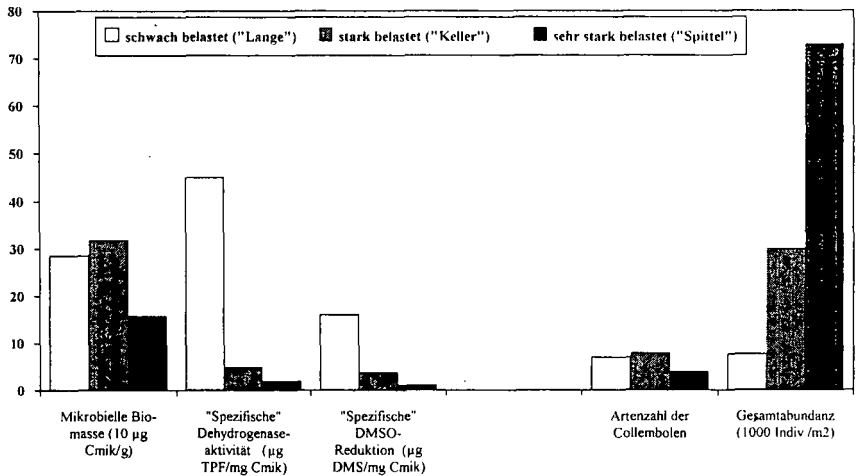


Abb. 1: Untersuchung von Mikroflora und Mesofauna an stark kontaminierten Standorten der Muldeau (nach Matejko, u. a., 1995)

Im Gefäßversuch erfolgt im Hinblick auf die Möglichkeit einer Sanierung die Prüfung der Pflanzenaufnehmbarkeit von Schadstoffen unter Verwendung der belasteten Böden der Muldeau. Abb. 2 weist die Abhängigkeit der Aufnahme von CKW durch Möhren vom Belastungsgrad des Bodens nach. Dabei ist besonders hervorzuheben, daß trotz einer Gesamtkonzentration an CKW's in der Pflanze von > 200 ppm nicht einmal 2 mg CKW/Gefäß von den Pflanzen entzogen wurden. Daraus resultiert, daß eine Sanierung derartig belasteter Flächen innerhalb eines überschaubaren Zeitraumes kaum möglich ist.

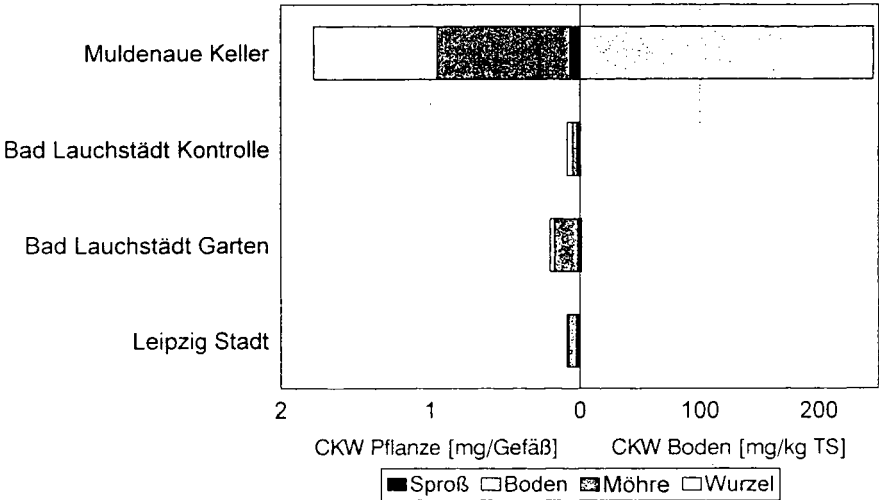


Abb. 2: Pflanzenaufnahme (mg/Gefäß) von Möhren (Sproß, Möhre, Wurzel) an pestizid wirkenden CKW sowie deren Gehalt im Boden (mg/kg TS) in einem Gefäßversuch mit Böden unterschiedlichen Belastungsgrades (nach Heinrich u. Schulz, 1995)

Vergleichbare Relationen zeigt der Gehalt von Möhren an pestizid wirkenden CKW (Abb. 3). Neben den sehr hohen beta-HCH-Konzentrationen liegen auch die alpha-HCH- sowie die HCB-Konzentrationen deutlich höher im Vergleich zu anderen Pestiziden. Da beta-HCH keine Indikation als Pflanzenschutzmittel besitzt, ist hier auf einen Zusammenhang mit der im nahen Umfeld Bitterfelds arbeitenden HCH-Produktion zu schließen.

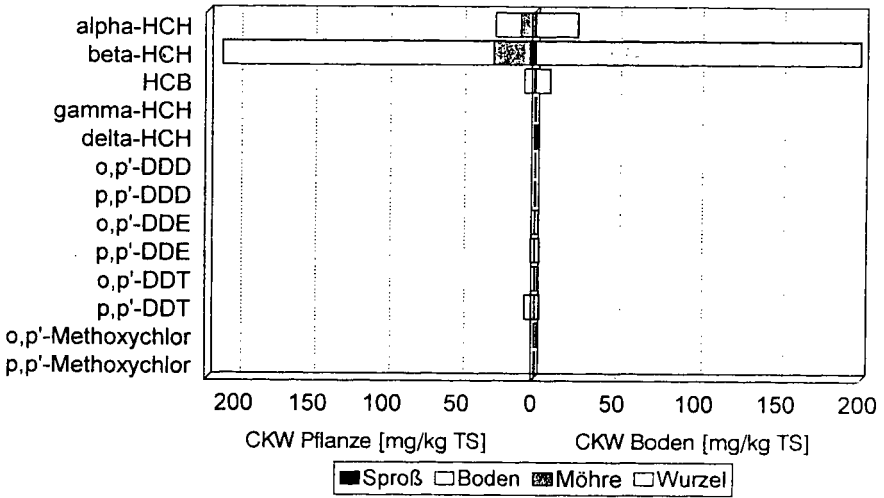


Abb. 3: Gehalt in der Pflanze (Möhren) [mg/kg TS] und im Boden (Muldeau Keller) [mg/kg TS] an pestizid wirkenden CKW in einem Gefäßversuch mit Böden unterschiedlichen Belastungsgrades (nach Heinrich u. Schulz, 1995)

Die Situation der Bodenbelastung im Stadtgebiet Leipzig ist in Abb. 4 am Beispiel der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe dargestellt. Von 20 Untersuchungsgebieten, einer Katena vom Nordosten bis zum Südwesten Leipzigs, wurden jeweils an fünf Stellen Bodenproben gezogen und neben den PAK eine Vielzahl Parameter bestimmt. Die PAK-Konzentrationen zeigen große Unterschiede, wobei im Stadtinneren die Werte um ein Mehrfaches über denen am westlichen Stadtrand liegen. Die A-Werte der Hollandliste werden deutlich überschritten, die B-Werte jedoch nicht erreicht.

Große Beachtung verdient die Aufklärung der Wechselbeziehungen zwischen Boden, Pflanze, Wasser und Atmosphäre im Zusammenhang mit dem C- und N-Haushalt des Bodens und der Spurengasemission, vor allem unter dem Aspekt der Klimaänderung. Die daraus abzuleitenden Folgen stellen eine Gefahr für die Existenz der Menschheit noch innerhalb des folgenden Jahrhunderts dar und erfordern daher intensive Aufklärung.

Allein die Tatsache, daß gegenwärtig die Stickstoffverluste in der Bundesrepublik rd. 100 kg/ha.a betragen und die Landwirtschaft mit 65 % an den N₂O- und mit 20 % an den CO₂-Emissionen beteiligt ist, fordert Maßnahmen zur Reduzierung dieser Belastungssituation. Gleichzeitig gilt es,

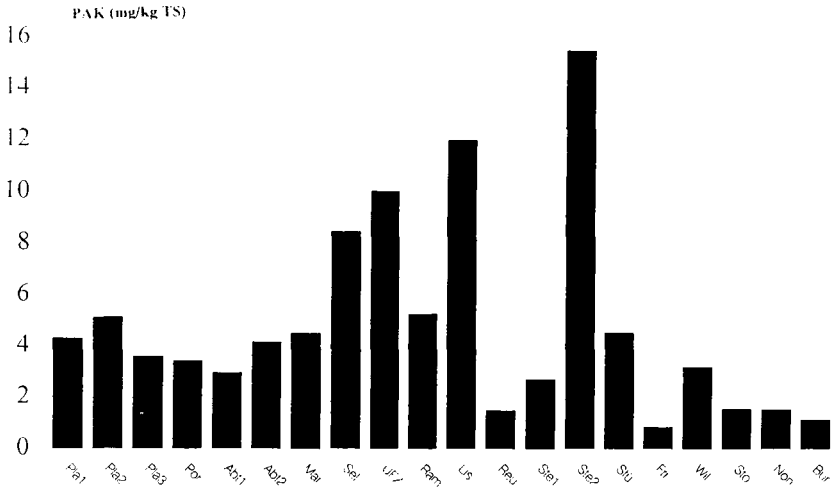


Abb. 4: PAK-Konzentrationen (Maximalwerte) mineralischer Oberböden im Stadtgebiet von Leipzig (nach Schulte, 1995)

die Ertragsfähigkeit der Böden und die Leistungsfähigkeit der Landwirtschaft unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte zu gewährleisten.

Diese Aspekte wurden auch von der Enquetekommission des Deutschen Bundestages im Jahresgutachten 1994 besonders hervorgehoben.

Untersuchungen zur direkten Messung der atmosphären N-Deposition (Abb. 5) zeigen Werte über 50 kg/ha a. Diese Größenordnung wird bestätigt durch den indirekten Nachweis über den N-Entzug der Nullparzelle des Statischen Düngungsversuches Bad Lauchstädt. Im Durchschnitt der letzten acht Jahre wurden auf der seit 1902 ungedüngten Parzelle bei nachgewiesenem unverändertem Bodenvorrat 51 kgN/ha entzogen. Diese Größenordnung entspricht neueren Angaben zum atmosphären N-Eintrag aus der Literatur. Damit gewinnt dieser Anteil eine große Bedeutung bei der Quantifizierung des N-Kreislaufs.

Aus den bisherigen Ergebnissen des Statischen Düngungsversuches wird deutlich, daß eine optimale, dem gegenwärtigen Kenntnisstand entsprechende Mineral-N-Düngung positiv auf Ertrag und Umwelt wirkt. Unsachgemäßer Umgang, beispielsweise bei der Lagerung von Stallung oder Gülle, kann jedoch selbst auf der Löß-Schwarzerde im Trockengebiet zu einer starken Nitratbelastung der tiefen Bodenschichten führen (Abb.6)

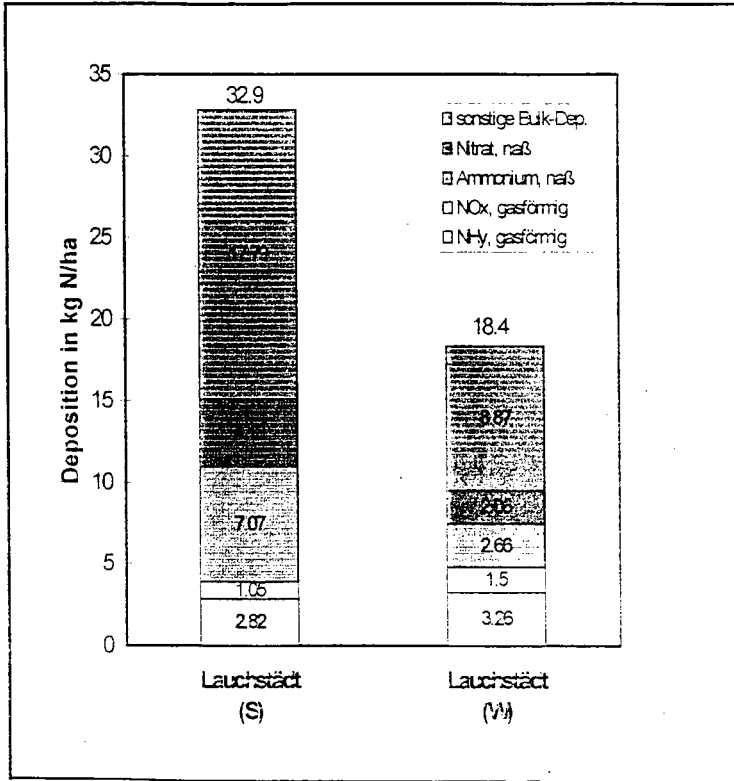


Abb. 5: Atmosphärische N-Deposition am Standort Bad Lauchstädt im Sommerhalbjahr 1993 (S) und Winterhalbjahr 1993/94 (W) unterteilt nach gasförmiger und Bulk-Deposition (nach Russow, u. a., 1995)

Einen weiteren Schwerpunkt stellen die Untersuchungen zur Aufklärung des Stofftransportes in der ungesättigten Zone dar. Als experimentelle Basis wird hierfür die Lysimeteranlage des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie in Brandis gemeinsam genutzt.

Mit der Übernahme des Instituts für Gewässerforschung der GKSS durch das UFZ ab 1995 wurde die Lysimeterstation Falkenberg der Sektion Bodenforschung als Abteilung „Ungesättigte Zone“ zugeordnet. Damit stehen nunmehr mit den Lysimeteranlagen in Falkenberg und in Colbitz insgesamt 183 Lysimeter unterschiedlicher Bauart und Nutzung für die Forschungen auf diesem Gebiet zur Verfügung.

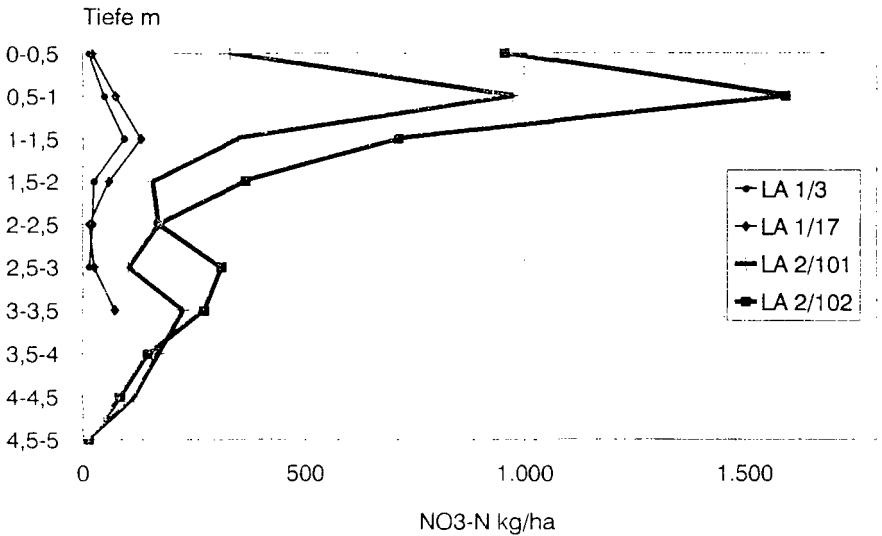


Abb. 6: Gülle-Deponie Bad Lauchstädt, Probenahme Herbst 1993
(nach Moritz, u. a., 1995)

Ergebnisse zum Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen auf die Stickstoffverluste weisen nach, daß von Rotations- und Dauerbrachen kein positiver Effekt zu erwarten ist (Tab. 3).

Tabelle 3:

Vergleich der Sickerwassermengen und der N-Austräge von Lysimetern aus den Bewirtschaftungsregimen Integrierter Landbau, Dauerbrache und Rotationsbrache
(nach Meißner, u. a., 1995)

	Sickerwassermenge (mm)				N-Austrag (kg/ha)			
	1991/92	1992/93	1993/94	Σ	1991/92	1992/93	1993/94	Σ
Integrierter Landbau	54,0 ¹⁾	64,2 ¹⁾	275,3	393,5	31,6	21,4	48,4	101,4
Dauerbrache	68,0	56,3	323,2	447,5	62,0	4,4	27,5	93,9
Rotationsbrache 1991-93	70,0	60,5	295,4	425,9	48,0	7,7	62,9	118,6

¹⁾ mit Zusatzbewässerung

Die großen Schwankungen im N-Austrag zwischen den Jahren werden anhand langjähriger Untersuchungen in der Lysimeteranlage Brandis im Mittel von 6 diluvialen Bodenformen deutlich und unterstreichen die Problematik optimalen N-Einsatzes (Abb.7).

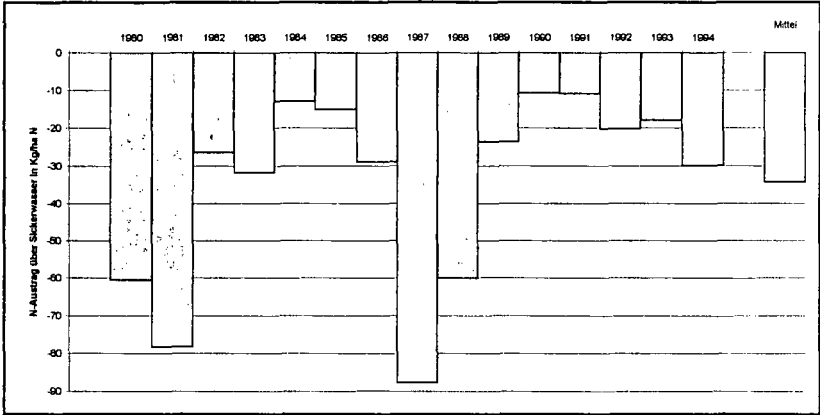


Abb. 7: Jährlicher N-Austrag über Sickerwasser in kg/ha Stickstoff - Mittel über 6 diluviale Bodenformen bei konventioneller Bewirtschaftung - Lysimeterergebnisse aus der Lysimeterstation Brandis (nach Knappe, u. a., 1994)

Für kurz- und langfristige Vorhersagen von Stoffflüssen sowie insbesondere zur Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik wurde ein Simulationsmodell erarbeitet. Im Rahmen von Simulationsrechnungen werden Untersuchungen zum Einfluß von Bewirtschaftung, Klima und Bodeneigenschaften auf den Verlauf und die Prognostizierbarkeit agrarökologisch relevanter Zustandsgrößen im Boden durchgeführt. Das Beispiel (Abb. 8) zeigt die Simulationsergebnisse für den mittleren Nitratgehalt bis zu einer Tiefe von 1 Meter für die Schläge eines größeren Gebietes. Die erkennbare Spanne von 40 bis 170 kg/ha verdeutlicht die Problematik optimaler N-Düngung bei weitgehender Vermeidung von N-Verlusten.

Soweit einige Beispiele zur Situation und zur gegenwärtigen Arbeit der Sektion Bodenforschung.

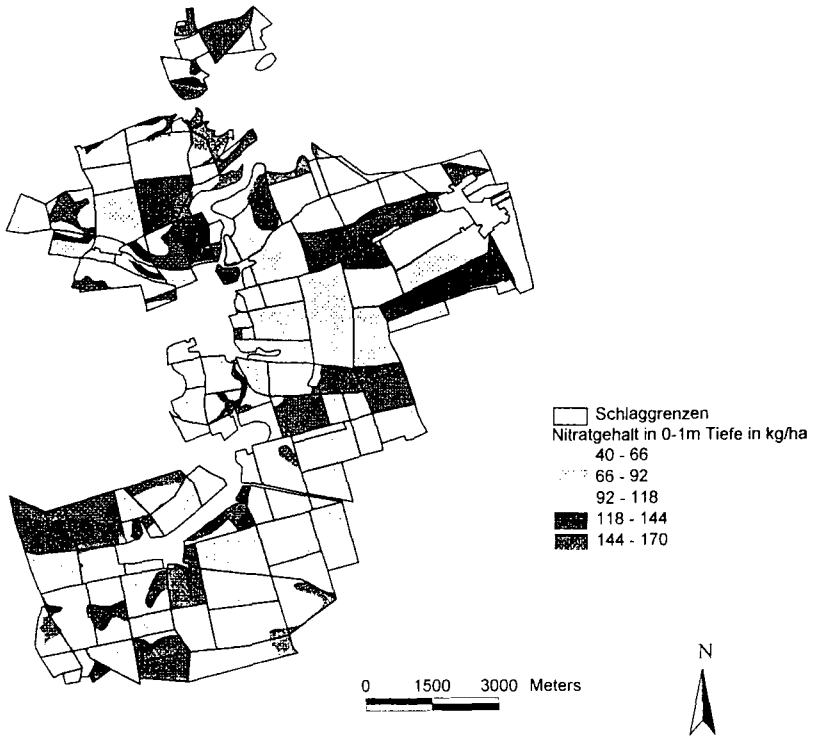


Abb. 8: Mittlerer Nitratgehalt in 0 - 1 m Tiefe im März - Simulationsergebnisse Querfurter Platte (bearbeitet von Franko, Oelschlegel u. Schenk, 1995)

Die Forschungsarbeiten der nächsten Jahre werden neben der Sanierung und Renaturierung belasteter Böden und Landschaften vor allem auch die Erhaltung der Bodenfunktionen mit Blick auf die Sicherung einer nachhaltigen Landnutzung, die Vermeidung von Spurengasemissionen als Beitrag zur Reinhaltung der Atmosphäre und der Erforschung der Transportvorgänge in der ungesättigten Zone zum Schutz der Wasserressourcen zum Ziel haben.

Literatur:

- HEINRICH, K. u. SCHULZ, E.: Einfluß des Belastungsgrades unterschiedlicher Böden an ausgewählten pestizid wirkenden Chlorkohlenwasserstoffen und deren Aufnahme im Gefäßversuch. 1995. Zur Veröffentlichung eingereicht.
- KALBITZ, K. u. KNAPPE, S.: 1995, unveröffentlicht
- KNAPPE, S.; KALBITZ, K.; POPP, P. u. OPPERMANN, G.: Mobilisierung von organischen Schadstoffen aus belasteten Böden der Muldeau. In: UFZ Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung Bad Lauchstädt, Jahresbericht 1994, S.11 - 15
- KNAPPE, S.; MORITZ, CH. u. KEESE, U.: Arch. Acker-Pfl. Boden, 1994, Vol. 38, pp 393- 403
- MATEJKO, C.; DREILING, M. u. KLIMANEK, E.-M.: 1995, Comparison of some biological parameters in selected anthropogenic contaminated soils. (in Vorbereitung)
- MEISSNER, R.; SEEGER, J.; RUPP, H. u. SCHONERT, P.: Lysimeteruntersuchungen über die Beeinflussung des Wasser- und Stoffhaushaltes durch Flächenstilllegungs- und Extensivierungsmaßnahmen. - 5. Gumpensteiner Lysimetertagung „Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone“, BAL Gumpenstein, 25. - 26. April 1995
- MORITZ, CH.; ZIMMERMANN, M.; v. DAMITZ, U.; PAPAJA, S. u. KAWETZKI, I.: Minimierung von Stoffausträgen aus unterschiedlich landwirtschaftlich genutzten Flächen, ermittelt durch Tiefenuntersuchungen des Bodens von Dauerversuchen und Praxisflächen. - In: KÖRSCHENS, M. u. MAHN, E.-G.: Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart und Leipzig, 1995, S. 277 - 312
- RUSSOW, R.; FAUST, H.; DITTRICH, P.; SCHMIDT, G.; MEHLERT, S. u. SICH, I.: Untersuchungen zur N-Transformation und zum N-Transfer in ausgewählten Agrarökosystemen mittels der Stabilisotopen-Technik In: KÖRSCHENS, M. u. MAHN, E.-G.: Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart und Leipzig, 1995, S. 131 - 166
- SCHULTE, G.: 1995, unveröffentlicht

60 Jahre Bodenschätzung in Deutschland

von

Altermann, M.*

Die Verkündung des **Gesetzes über die Schätzung des Kulturbodens (Bodenschätzungsgesetz)** am 16. Okt. 1934 gilt allgemein als Datum für den Beginn der Bodenschätzung in Deutschland. Die 60. Wiederkehr dieses Datums im vorigen Jahr soll für uns Anlaß sein, auf der Jahrestagung der DBG 1995 in Halle die Leistungen der Bodenschätzung für die Bodenkunde und Bodenkartierung zu würdigen.

Wesentlicher auslösender Faktor für die Durchsetzung einer einheitlichen Bodenbonitierung im Jahre 1934 in Deutschland waren die bis dahin in den verschiedenen deutschen Ländern angewandten **unterschiedlichen Bodenbewertungssysteme** für steuerliche Abgaben. Das zersplitterte Steuerrecht mußte im Zuge der Zentralisierung des Finanzwesens nach dem I. Weltkrieg vereinheitlicht werden. Die in den einzelnen Ländern üblichen Bodenbonitätsklassen waren voneinander abweichend und somit für eine einheitliche Bewertungsgrundlage nicht geeignet. Außerdem fußten die Bewertungssysteme der deutschen Länder auf bodenkundlichen und betriebswirtschaftlichen Erkenntnissen des vorigen Jahrhunderts, die in den einzelnen Ländern bei vergleichbaren Standortbedingungen zu unterschiedlichen Ergebnissen führten.

So begannen im damaligen Finanzministerium des Deutschen Reiches bereits Mitte der zwanziger Jahre die vorbereitenden Arbeiten für die Durchführung einer einheitlichen Bodenbewertung. Das System wurde von Walter Rothkegel und Heinrich Herzog ausgearbeitet, das sich von den bis dahin bekannten Verfahren der Grundsteuerbonitierung grundlegend unterschied. Es sollte erstmalig

- eine genaue Kennzeichnung des Bodens nach seiner Beschaffenheit auf Grund **bodenkundlicher** Kriterien und
- eine Bewertung der Ertragsfähigkeit nach einer Reinertragsverhältniszahl von 1 - 100 erfolgen.

Als die eigentlichen Schöpfer der Bodenschätzung gelten somit Walter Rothkegel und Heinrich Herzog.

Walter Rothkegel, geboren 1874 in Groß-Strehlitz in Oberschlesien, verstorben 1959 in Berlin, studierte in Berlin an der Landwirtschaftlichen Hochschule und trat 1897 in den Dienst der Preußischen Katasterverwaltung ein. Er interessierte sich frühzeitig für Bewertungsfragen des Bodens und promovierte 1920 an der Universität Berlin mit der Dissertation „Untersuchungen über Bodenpreise, Mietpreise und Bodenverschuldung... Von 1925 - 1945 arbeitete er im Finanzministerium. Seit 1923 hatte Rothkegel einen Lehrauftrag an der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin und

* Büro für Bodenökologie, Bodenkartierung, Bodenschutz Halle; Kefersteinstr. 3, 06110 Halle; Festvortrag gehalten am 5. Sept. 1995 anläßlich der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Halle

später an der Technischen Hochschule bzw. Technischen Universität Berlin. Seit 1936 führte er den Titel Honorarprofessor. Die Bodenschätzung ging auf seine Ideen zurück, und das Bodenschätzungsgesetz ist ganz wesentlich auf seine Initiative erlassen worden. Damit hatte Rothkegel seine Lebensaufgabe gefunden, der er bis zu seinem Tode treu geblieben ist und für die er durch zahlreiche Schriften und Vorträge unermüdlich in der Öffentlichkeit gewirkt hat. Die letzten Jahren seiner amtlichen Tätigkeit im Finanzministerium waren ausgefüllt mit Vorarbeiten für ein umfassendes Bodenwerk, das eine Darstellung des deutschen Bodens auf der Grundlage der Ergebnisse der Bodenschätzung sein sollte. Leider haben Krieg und Zusammenbruch 1945 die Weiterarbeit an diesem Werk unmöglich gemacht.

Der zweite führende Kopf der deutschen Bodenschätzung war **Heinrich Herzog**. Er wurde 1896 geboren, studierte Agrarwissenschaften, promovierte zum Dr. phil. und trat 1926 in das Reichsfinanzministerium ein und wirkte im späteren Bundesfinanzministerium bis 1960. Er starb 1969.

Die Erkenntnisse der Bodenkunde der zwanziger Jahre flossen in das System der Bodenschätzung ein, und namhafte Bodenkundler der damaligen Zeit, wie G. GÖRZ, A. HOCK, W. WOLF und weitere waren an den konzeptionellen Arbeiten mehr oder weniger beteiligt. Den Schöpfern ist es seinerzeit gelungen, die für den **Ertrag wesentlichen** Boden- und Standortmerkmale herauszuarbeiten und für das Bewertungssystem heranzuziehen. Die bewußte Beschränkung auf die **wesentlichen Bodenmerkmale** sowie die **bewußte Vereinfachung** der naturwissenschaftlichen (Beschränkung auf die weitgehend unveränderlichen Bodeneigenschaften) und ökonomischen Grundlagen sowie die **praxisnahen Durchführungsvorschriften** bildeten den theoretischen Ansatz für das entwickelte Konzept.

Die von der Bodenschätzung ermittelten Parameter werden - wie bekannt - in Schätzrahmen getrennt für Acker- und Grünland miteinander verknüpft sowie durch Wertzahlen die Ertragsfähigkeit zum Ausdruck gebracht. Dabei sind diese Wertzahlen Verhältniszahlen, die die Unterschiede des bei allgemein üblicher und ordnungsgemäßer Bewirtschaftung nachhaltig erzielten Reinertrags in Bezug auf die natürlichen Ertragsfähigkeit des Bodens wiedergeben. Die Verknüpfung der Bewertungskriterien ist dabei genial gelöst und bisher für andere Bewertungsziele des Bodens nicht wieder erreicht bzw. nicht in derartiger Breite zur Anwendung gekommen.

Trotz aller gegen die Bodenschätzung früher und heute vorgebrachten Kritik ist nicht zu übersehen, daß das Konzept der modernen Boden- und Standortansprache im Ansatz bereits bei der Bodenschätzung verwirklicht ist (Abb. 1 und 2). Die Bodenkennzeichnung (Abb. 1) erfolgt heute mit der Bodenform, die den bodengenetischen Zustand sowie als lithogene Elemente die Substratzusammensetzung und Substratgenese ausdrückt. Obwohl die „Zustandsstufe“ als eine zentrale Größe der Bodenschätzung einst und jetzt stark der Kritik ausgesetzt ist, spiegeln sich in den Kriterien der Zustandsstufe durchaus bodengenetische Aspekte wider. Die Substratzusammensetzung wird durch die Bodenart angegeben, und hohe Skeletthalte sind ergänzend dokumentiert. Dabei war die Aggregation der Bodenarten in der Vertikalabfolge (Substratschichtung) zur Durchschnittsbodenart für das Bewertungsziel zwar notwendig, jedoch aus heutiger Sicht ein Nachteil, der nur durch hohen Auswertungsaufwand ausgeglichen werden kann. Schließlich lassen sich die großen Gruppen der Substratgenese in der geologischen Herkunft wiederfinden. Die Kriterien der Standortkennzeichnung landwirtschaftlicher Zielrichtung sind in der Bodenschätzung ebenfalls auf vereinfachte Weise umgesetzt. Der Boden geht mit einer Zahl - Bodenzahl oder Grünlandgrundzahl - in die Standortbeurteilung ein. Die Klima- und Reliefverhältnisse werden bei Abweichungen von den für Deutschland festgelegten „durchschnittlichen“ Bedingungen durch Zu- oder Abschläge von der Boden- bzw. Grünlandgrundzahl berücksichtigt. Auch hierin besticht die Einfachheit. Unterschiedliche Nutzungs- und Vegetationsverhältnisse sind durch die beiden verschiedenen Schätzrahmen umgesetzt. Die Wasserverhältnisse - von Kritikern als Schwachpunkt der Bodenschätzung herausgestellt - sind beim Grünland durch die Wasserstufe ausgedrückt, beim Ackerland sind besonders

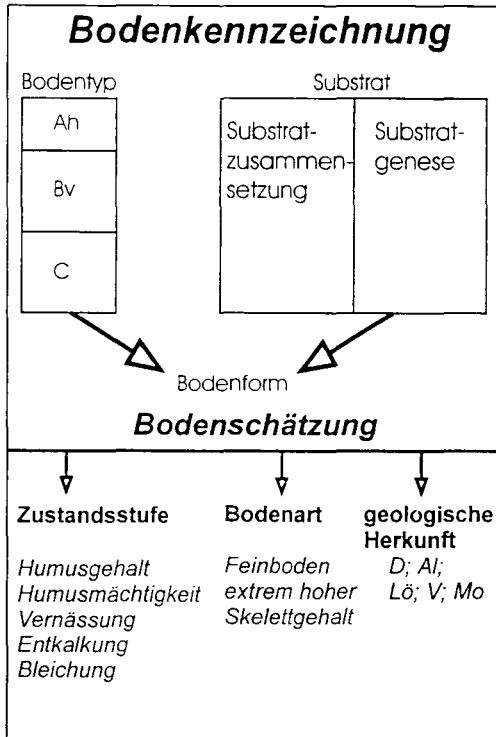


Abb. 1: Umsetzung der Kriterien der Bodenkennzeichnung durch die Bodenschätzung

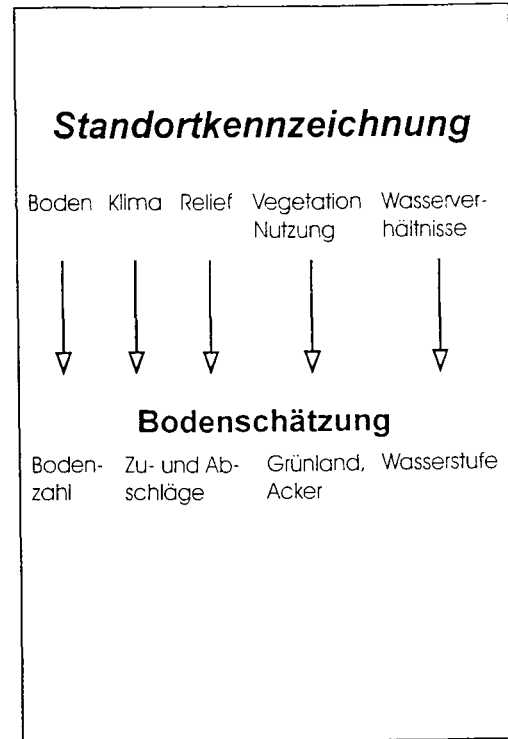


Abb. 2: Umsetzung der Kriterien der Standortkennzeichnung durch die Bodenschätzung

günstige Wasserverhältnisse durch zusätzliche Angaben zum Klassenzeichen der jeweiligen Klassenfläche dokumentiert.

Die Bodenschätzung beinhaltet also eine auf die landwirtschaftliche Bodennutzung und -bewertung ausgerichtete Standortkartierung.

Um eine möglichst objektive Aufnahme und Bewertung der Böden zu abzusichern, wurde eine Vielzahl von Musterstücken und Vergleichsstücken angelegt, die man heute als Referenzstandorte bezeichnen könnte. Insgesamt existieren in Deutschland derzeit über 4 500 solcher Musterstücke - eine beachtliche Zahl, und das breite Spektrum der Böden Deutschlands ist gebührend berücksichtigt.

Als den ertragreichsten Boden Deutschlands, der die Bodenzahl 100 erhielt, legte man als Maßstab die Schwarzerde aus Löß der Magdeburger Börde fest. Die Spitzenmusterstücke wurden 1934, also am Beginn der Bodenschätzung, auf den Flächen des Landwirtschaftsbetriebes Haberhauffe/Jäger in Eickendorf, Kreis Schönebeck festgelegt. Durch die Vielzahl von Musterstücken und Vergleichsstücken in allen kartierten Gebieten wurde - bisher einmalig in Deutschland - eine beachtenswerte Methodik gewählt, um die **Gleichmäßigkeit** der Bodenschätzung abzusichern. Mit Hilfe der Musterstücke fand auch eine regelmäßige Eichung der Bodenschätzer statt, und der subjektive Faktor wurde bei der Kartierung auf ein Minimum herabgesetzt. Die Eichung der Bodenkartierer wurde von der Bodenschätzung vorbildlich gelöst. Heute finden dagegen länderübergreifend überwiegend nur durch Exkursionen solche Eichungen statt, und der Aufbau eines Netzes von Eichprofilen wäre dringend erforderlich.

Im Gelände erfolgte die Erfassung der Bodenverhältnisse durch Rasterbohrungen im Abstand von 50 m bis zu einer Tiefe von 1 m unter Flur und durch die Anlage von Grablöchern (Kleinschürfen bis 1m unter Flur). Die Grablöcher sind nach einheitlichen Kriterien dokumentiert und enthalten eine Fülle von Informationen. Nach neueren Berechnungen (Mitteilung von Dr. K.-L. FREUND, Bonn) wurden von der Bodenschätzung ca. **20 Millionen** Grablöcher angelegt und bodenkundlich dokumentiert - ein wahrer Bodenschatz für gegenwärtige und kommende Bodenkundlergenerationen. Nach Abschluß der Erstschätzungen sind in Deutschland ca. 17 Mill. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche geschätzt. Durch Nachschätzungen erfolgt eine ständige Aktualisierung und Laufendhaltung, die jetzt auch in den neuen Bundesländern wieder begonnen hat.

Die Bodenschätzung als Standortkartierung beinhaltet somit ein flächendeckendes Kartenwerk für die landwirtschaftlich nutzbaren Böden Deutschlands. Der große Wert des bodenkundlichen Inhalts der Bodenschätzung liegt vor allem darin,

- daß in einem relativ kurzen Zeitraum (etwa innerhalb von 20 Jahren, wobei die Unterbrechungen durch den zweiten Weltkrieg mit eingerechnet sind, wodurch sich die Durchführung um ca. 10 Jahre verlängerte) ein flächendeckendes Kartenwerk vorgelegt wurde;
- daß in Deutschland im Rahmen der Bodenschätzung nun seit Jahrzehnten nach einer einheitlichen Methodik bodenkundlich kartiert wurde und wird;
- daß eine mustergültige, einheitliche Dokumentation der Arbeitsergebnisse vorgenommen wurde die den Bodenkundlern jetzt und in Zukunft zur Verfügung steht (sofern die Unterlagen durch Kriegs- und Nachkriegswirren nicht verloren gegangen sind);
- daß die Arbeitsmethodik trotz auch von den Schöpfern erkannter Schwächen grundsätzlich beibehalten wurde, wodurch eine Vergleichbarkeit auf unbestimmte Zeit abgesichert ist.

Was können wir heute von der Bodenschätzung lernen

1. Einheitlichkeit: In den zwanziger Jahren gab es gewiß auch unterschiedliche Auffassungen über die Methodik einer durchzuführenden Bodenschätzung. In der Literatur spiegeln sich die z.T. kontroversen Diskussionen wider. Es wurde aber trotzdem in allen Ländern Deutschlands eine einheitliche Methodik praktiziert. Dies wurde in anderen bodenkundlichen Kartenwerken mittlerer und großer Maßstäbe bisher nur für begrenzte Räume erreicht. Heute ist ein größeres Maß an Einheitlichkeit in der Boden- und Standortkartierung in Deutschland zu wünschen, und es ist zu hoffen, daß sich die guten Ansätze in dieser Richtung möglichst schnell durchsetzen. Die Wirksamkeit und die Anwendbarkeit der Ergebnisse der Bodenkartierung hängen in Zukunft mehr denn je von der Einheitlichkeit der bodenkundlichen Dokumentationen und Auswertungen über Ländergrenzen hinweg ab.

2. Einfachheit: Die Ergebnisse der Bodenschätzung sind leicht überschaubar und insbesondere auch auf die landwirtschaftliche Praxis abgestimmt. Die Bodenschätzung hat damit schnell in verschiedenste Bereiche der Bodennutzung Eingang gefunden. Mit Hilfe der Ergebnisse der Bodenschätzung kann jeder Boden mit einer einzigen Zahl hinsichtlich seiner Ertragsfähigkeit charakterisiert werden. Damit soll nicht eine extrem vereinfachte Bodenaufnahme und Bodenkennzeichnung propagiert werden. Im Gegenteil ist es notwendig, den Boden so genau wie möglich zu untersuchen, zu kartieren und die Ergebnisse zu dokumentieren. Aber wir müssen unbedingt - mehr denn je - Instrumentarien erarbeiten, die eine einheitliche und vergleichbare Aggregation der bodenkundlichen Forschungsergebnisse sowie deren Übertragung und Anwendung ermöglichen, die von einem breiten - im Detail nicht bodenkundlich geschulten Nutzerkreis angewandt werden können. Das Ziel sollte es sein, neben der Bodenzahl/Grünlandgrundzahl bzw. Ackerzahl/Grünlandzahl jeweils auch eine Zahl für die Bewertung der anderen Bodenfunktionen auszuweisen. Diesem Ziel entsprechende Vorstellungen sind im Ansatz in Diskussion bzw. werden z.T. auch schon praktiziert. Nur so können wir absichern, daß unsere mit viel Aufwand gewonnenen bodenkundlichen Erkenntnisse umgesetzt werden.

Im Bodenschätzungsgesetz von 1934 ist als Zweck des Gesetzes formuliert:

„Für den Zweck der gerechten Verteilung der Steuern, einer planvollen Gestaltung der Bodennutzung und einer Verbesserung der Beleihungsunterlagen wird eine Bodenschätzung für die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen des Reichsgebietes durchgeführt.“

Aus dieser Formulierung geht klar hervor, daß die Bodenschätzung nicht nur für steuerliche Zwecke konzipiert ist. Bereits im Jahre 1938 wurden Richtlinien für die Nutzbarmachung der Ergebnisse der Bodenschätzung für nichtsteuerliche Zwecke herausgegeben. Darin ist verankert: **„Die großmaßstäbliche Bodenkarte soll eine eingehende und restlose Darstellung der bei der Bodenschätzung festgelegten Bodeneigenschaften bringen...“** **„Die kleinmaßstäbliche Bodenkarte soll einen Überblick über die bodenkundlichen Verhältnisse eines größeren zusammenhängenden Gebiets geben.“**

Auf der Bodenschätzung fußen eine Vielzahl von Folgekartenwerken. Einerseits sind die Ergebnisse der Bodenschätzung großmaßstäbig 1:5000 dargestellt und außerdem in Karten i.M. 1:25 000 zusammengefaßt (z.B. Bayern), oder andererseits wurden aus der Bodenschätzung neue Kartenwerke entwickelt (Beispiele: Bodenkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung: Nordrhein-Westfalen; Karte der Bodenschätzung 1:10 000 der neuen Bundesländer; die von W. KASCH konzipierte und für einige Gebiete der neuen Bundesländer vorliegende Karte der Standortkundlichen Ergänzung der Bodenschätzung, die die Durchschnittsbodenart in die Substratabfolge differenziert darstellt und qualifizierte Aussagen zu den Wasserverhältnissen beinhaltet; schließlich sei

hier auch die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung - MMK - der neuen Bundesländer genannt, die zu einem wesentlichen Teil auf den Ergebnissen der Bodenschätzung fußt).

Im nichtsteuerlichen Bereich werden die Bodenschätzungsergebnisse außerdem seit langem herangezogen bei der Flurbereinigung und Landesplanung, für agrarpolitische Programme, Bemessung von Entschädigungen usw. Mit der Einführung der maschinellen Datenverarbeitung eröffnen sich für die Bodenschätzungsdaten weitere Anwendungsfelder durch die Nutzung zum Aufbau eines Bodeninformationssystems. Dabei geht es nicht nur darum, die Ergebnisse der Bodenschätzung einzuspeichern (so ist die Digitalisierung der Bodenschätzungsgrenzen und der Grablöcher vorgesehen), sondern auch in die gegenwärtigen Klassifikationen zu transferieren. Dazu sollen die Grablochbeschreibungen mit den Analyseergebnissen der Musterstücke verknüpft werden. Hervorragende Beispiele für diese neuen Auswertungsfelder liegen u.a. aus Niedersachsen vor. Es soll auch nicht unerwähnt bleiben, daß bei heutigen Schätzungen unter Beibehaltung der gesetzlich verankerten Schätzungsmethodik zusätzlich weitere bodenkundliche Parameter erfaßt und dokumentiert werden (z.B. Bodenhorizonte). Dadurch ist die strenge Trennung zwischen Bodenschätzung und Bodenkartierung letztlich aufgehoben.

Die Bodenschätzung ist ein Jahrhundertwerk, das in Wissenschaft und Praxis hohe Anerkennung gefunden hat. Eine derartige flächendeckende Beschreibung und Bonitierung aller landwirtschaftlich genutzten Böden sind weltweit einmalig. Nur noch in Österreich liegen vergleichbare Bodenschätzungsdaten vor. Dabei wird die außersteuerliche Verwertung und Anwendung der Daten in Zukunft weiter zunehmen.

Die DBG hat in den letzten Jahren verstärkt die Leistungen der Bodenschätzung gewürdigt. So sei hier nur an die Anbringung einer aus Spenden der DBG Mitglieder und aus Mitteln des Bundesministeriums für Finanzen finanzierten Erinnerungstafel am Eickendorfer Spitzenbetrieb der Bodenschätzung erinnert, die eine Würdigung der Leistungen der Bodenschätzer beinhaltet. Die Anbringung der Tafel erfolgte im Rahmen einer Sitzung der Kommission 5 der DBG in Halle mit dem Thema: Bodenschätzung - gestern - heute - morgen. Außerdem wurde von der DBG im Zusammenwirken mit den Organen der Finanzverwaltung im Hof des genannten Spitzenbetriebes Haberhauffe/Jäger ein kleines Museum Bodenschätzung eröffnet, um einer breiten Öffentlichkeit die Ziele, Ergebnisse und Leistungen der Bodenschätzung sowie die Bedeutung des Bodens näherzubringen. Diese Initiativen wurden nachhaltig von unserem leider verstorbenen Altpräsidenten, Herrn Prof. Kuntze, mit Nachdruck gefördert. Zur 60. Wiederkehr des Beginns der Bodenschätzung hat der Präsident unserer Gesellschaft, Herr Prof. Blume, den Bodenschätzern gratuliert und die Leistungen mehrerer Bodenschätzergenerationen herausgestellt.

Es ist zu wünschen, daß wir auch im Rahmen unserer Gesellschaft noch stärker als bisher mit den Bodenschätzern zusammenwirken, um voneinander zu lernen und uns gegenseitig Impulse zu geben.

Die DBG beabsichtigt, hervorragende deutsche Bodenkundler zu würdigen. Die Schöpfer der Bodenschätzung in Deutschland, W. Rothkegel und H. Herzog sollten in diese Würdigung einzubezogen werden.

Am Wohnhaus des ehemaligen Spitzenbetriebes der Bodenschätzung in Eickendorf wird u.a. mit folgenden Worten an die Leistungen der Bodenschätzer erinnert:

„Zur Würdigung aller Bodenschätzer, die mit der Kartierung der landwirtschaftlich nutzbaren Böden eine herausragende bodenkundliche Leistung erbracht und bleibende Bewertungsgrundlagen geschaffen haben.“

Statistik und Bodenbeobachtung

von

Papritz, A.*

In der Bodenbeobachtung stellen sich verschiedene Aufgaben, deren Bearbeitung angepasste statistische Methoden verlangt. Modellabhängige, geostatistische Verfahren können für alle wesentlichen Aufgaben eingesetzt werden, sie verlangen aber nach einem statistischen Modell über die räumliche Verteilung der Messgrösse. Dies ist mit dem Nachteil verbunden, dass Fehler bei der Charakterisierung dieses Modells die Datenanalyse beeinflussen. Da die Methoden der Stichprobentheorie kein solches Modell benötigen, sind sie robust gegen derartige Fehler. Ihre Anwendung ist aber im wesentlichen auf die Schätzung der mittleren Belastung abgrenzbarer Untersuchungsgebiete beschränkt.

Einleitung

Die Akkumulation persistenter Schadstoffe in Böden gefährdet langfristig ihre Fruchtbarkeit. Böden von extensiv genutzten Ökosystemen wie Wälder, Moore und Grünland sind zudem der Gefahr ausgesetzt, durch Eintrag von Säuren aus der Atmosphäre übermässig zu versauern (Reuss & Johnson, 1986). Obwohl die Kenntnisse über die effektiven Risiken dieser Entwicklungen vielfach ungenügend sind, müssen Massnahmen ergriffen werden, weil die Anreicherung der Schadstoffe in Böden im allgemeinen irreversibel und eine grossflächige Sanierung praktisch unmöglich ist. Die Notwendigkeit, trotz ungenügender Kenntnisse über Wirkungsbeziehungen Massnahmen zur Einschränkung von Schadstoffemissionen zu erlassen, wird aber von gewissen Interessengruppen bestritten. Der Argumentation dieser Kreise kann auf zwei Wegen begegnet werden: erstens durch intensivierete Forschung über die Wirkung von Schadstoffen auf die Biota und zweitens durch den Nachweis, dass Schadstoffe im Boden unter den heutigen Eintragsraten tatsächlich akkumulieren.

Neben der Untersuchung von Schadstoffflüssen kann letztere Aufgabe durch die wiederholte Bestimmung von Schadstoffgehalten im Boden bearbeitet werden. Je nach Fragestellung stehen bei solchen Untersuchungen unterschiedliche *Zielgrössen* im Vordergrund. Die effiziente Schätzung dieser Grössen aus beobachteten Messwerten verlangt angepasste *statistische Methoden*. Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, einen Überblick über die Aufgaben zu geben, die sich in der Bodenbeobachtung stellen, und aufzuzeigen, für welche Fragestellungen die Methoden der *Geostatistik* und der *Stichprobentheorie* angewendet werden können.

Fragestellungen und Zielgrössen

Die Aufgaben, die sich bei der Analyse räumlicher Daten in der Bodenbeobachtung stellen, lassen sich meist zwei Grundfragen zuordnen:

- *Wieviel?* Die Frage bezieht sich auf den mittleren Wert der Messgrösse in einem Untersuchungsgebiet.

*Institut für terrestrische Ökologie, ETH Zürich, Grabenstrasse 3, CH-8952 Schlieren
e-mail: papritz@ito.umw.ethz.ch

- *Wo?* In diesem Fall interessiert, an welchen Punkten bzw. in welchen Teilen eines Untersuchungsgebiets ein bestimmter Messwert erreicht, unter- oder überschritten wird.

Letztere Frage ist für die Untersuchung der räumlichen Verteilung der Schadstoffe in bekannten *Belastungsgebieten* von Bedeutung. In solchen Gebieten müssen vielfach Massnahmen ergriffen werden, um die direkte Aufnahme der Schadstoffe durch Lebewesen zu reduzieren oder um eine Verunreinigung des bisher unkontaminierten Grundwassers zu verhindern. Dazu können verschiedene Mittel eingesetzt werden, die vom Erlass von Nutzungsvorschriften bis zum Abtrag und Ersatz des kontaminierten Bodens reichen. Allen Massnahmen ist gemeinsam, dass ihre sachgerechte Planung flächendeckende Information über das Ausmass der Schadstoffbelastung verlangt. Ausgehend von den Messwerten einer Stichprobe muss dazu für jeden Ort im Belastungsgebiet eine Schätzung der Schadstoffgehalte berechnet werden. Diese Schätzwerte können dann als Belastungskarten dargestellt werden, auf welche bei der Planung der Massnahmen zurückgegriffen wird.

Eine verwandte Aufgabe stellt sich bei der Identifikation von Emissionsquellen. Auch dazu müssen Belastungskarten erstellt und analysiert werden. Im Gegensatz zur Planung von Sanierungsmassnahmen erfolgt aber die Wahl der Messorte der Stichprobe mit Vorteil aufgrund von Hypothesen, die sich über die Ausbreitung der Schadstoffe rund um die Quelle postulieren lassen (Schulin *et al.* 1994).

Bei der Analyse der Schadstoffverteilung in Belastungsgebieten stellt sich also das Problem, Messwerte für Punkte oder Flächenausschnitte vorherzusagen, die viel kleiner als die Fläche des gesamten Untersuchungsgebiets sind. Die Zielgrösse für diesen Typ von Fragestellung können wir deshalb als *Punkt- oder lokalen Mittelwert* bezeichnen.

Die Frage „Wieviel“ stellt sich bei zwei Aufgaben der Bodenbeobachtung:

- bei der Untersuchung der *grossräumigen Belastung* und
- bei der Bestimmung der *mittleren Belastung* abgrenzbarer Untersuchungsflächen.

Das erstgenannte Problem ist in gewissem Sinne die Bodenbeobachtungsaufgabe schlechthin. Einige Länder haben in den vergangenen Jahren Netze von Beobachtungsflächen eingerichtet, auf welchen periodisch die Belastung des Bodens durch Schadstoffe untersucht wird. In der Schweiz wird seit Mitte der achtziger Jahre das Nationale Bodenbeobachtungsnetz (NABO) betrieben (FAC & BUWAL, 1993). Auf rund 100 Beobachtungsflächen wurden zwischen 1985 und 1989 erstmalig die Schwermetallgehalte des Bodens bestimmt. Zur Zeit sind Folgeuntersuchungen im Gange. Die Lage der Beobachtungsflächen wurde unter Beachtung einer Vielzahl von Kriterien wie Klima, Geologie, Höhenlage, Landnutzung, Distanz zu bekannten Emittenten, usw. gutachtlich gewählt.

Das NABO ist als *Referenzmessnetz* konzipiert, und es hat zwei Zielsetzungen zu erfüllen (FAC & BUWAL, 1993):

- die aktuellen Belastung der Böden ausserhalb des unmittelbaren Einflussbereichs bekannter Emittenten zu erfassen und
- die zeitliche Entwicklung der Bodenbelastung zu beobachten.

Der Begriff „Referenzmessnetz“ schliesst die Vorstellung ein, dass die Beobachtungsflächen für eine bestimmte Kombination von Standortfaktoren, d.h. für einen sogenannten *Standortstyp*, *repräsentativ* sind. Abbildung 1 illustriert dies für den Standortstyp der kollinen Waldstandorte, die auf Böden stocken, welche sich auf wärmezeitlicher Moräne entwickelt haben. Insgesamt 8 NABO-Flächen können diesem Standortstyp zugeordnet werden. Dem Konzept des Referenzmessnetzes liegt nun die Vorstellung zugrunde, dass die Messwerte, die für die 8 Flächen vorliegen, die mittlere Belastung des Standortstyps „kolline Waldstandorte auf Moränenböden“ charakterisieren. Das Areal dieses Standortstyps liegt innerhalb des schraffierten Bereichs von Abb. 1. Es lässt sich aber räumlich nicht genau abgrenzen, so dass keine Randomisierung bei der Wahl der Beobachtungsflächen möglich ist.

Zur Beurteilung der grossräumigen Bodenbelastung wird somit aus der Kenntnis der Belastung von wenigen, gutachtlich gewählten Beobachtungsflächen auf die mittlere Belastung von abstrakten Standortstypen geschlossen. Nicht die Belastung einer einzelnen Untersuchungsfläche, sondern die

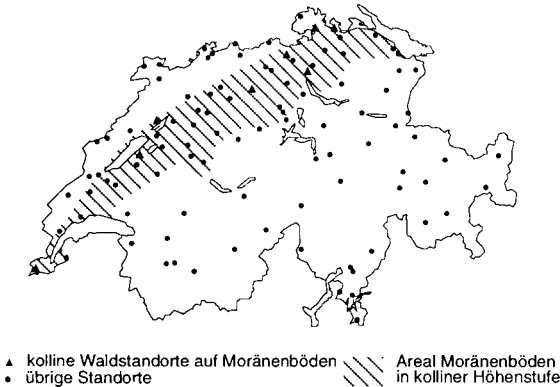


Abbildung 1: Lage der Untersuchungsflächen des Nationalen Bodenbeobachtungsnetz (NABO) der Schweiz. Die Lage der Flächen, die dem Standortstyp „kolline Waldstandorte auf Moränenböden“ zugeordnet werden können, ist mit Dreiecken markiert (Karte nach FAC & BUWAL, 1993).

mittlere Belastung, mit der man bei einem bestimmten Standortstyp rechnen muss, steht im Vordergrund. Von Interesse sind letztlich die biogeochemischen Prozesse, die zu einer bestimmten Verteilung der Schadstoffe innerhalb eines Ökosystems führen. Aus diesem Grund bezeichne ich die Zielgrösse zur Untersuchung der grossräumigen Belastung als *Prozessmittelwert*.

Im Gegensatz zur Frage nach der grossräumigen Belastung ist bei der Untersuchung der *mittleren Belastung einzelner Untersuchungsflächen* das Gebiet, über welches eine Aussage gemacht werden soll, räumlich klar abgrenzbar. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um eine Beobachtungsfläche der Grösse weniger Quadratmeter oder um ein grosses Untersuchungsgebiet mit der Ausdehnung von vielen Quadratkilometern handelt. Entscheidend ist die Tatsache, dass das Areal des Untersuchungsgebiet klar abgrenzbar ist und dass die Messorte über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt werden können.

Ziel ist es, den Mittelwert der Messgrösse im Untersuchungsgebiet verzerrungsfrei und möglichst präzise zu schätzen. Weder Interpolation, d.h. Auflösung der räumlichen Variationsmuster innerhalb des Untersuchungsgebiets, noch Übertragung der Befunde auf andere, nicht untersuchte Gebiete (Extrapolation) ist von Interesse. Die Bestimmung der mittleren Schwermetallgehalte des Bodens auf einer einzelnen NABO-Untersuchungsfläche stellt ein Beispiel für diese Art Fragestellung dar. In Anlehnung an die Terminologie der Geostatistik bezeichne ich die Zielgrösse dieser Fragestellung mit dem Ausdruck *globaler Mittelwert*.

Schätzung und Schätzfehler

Zur Bearbeitung aller Fragestellungen müssen Bodenproben entnommen oder Messinstrumente in den Boden eingesetzt werden. Die Messung bezieht sich in beiden Fällen auf ein bestimmtes Messvolumen, das bei einigen Messinstrumenten (z.B. Saugkerzen) zwar nicht genau bekannt ist, aber eine endliche Grösse hat. In einem endlich grossen Untersuchungsgebiet können deshalb nur endlich viele nicht überlappende Messvolumina untersucht werden. In vielen Fällen ist aber das Volumen bzw. die Fläche, die durch eine Messung erfasst wird, im Vergleich zur Fläche des Untersuchungsgebiets sehr klein, und das Messvolumen kann idealisiert als Punkt betrachtet werden. Die räumliche Verteilung der Messgrösse lässt sich dann als (unbekannte) Funktion $z(\mathbf{x})$ der Ortskoordinate \mathbf{x} betrachten.

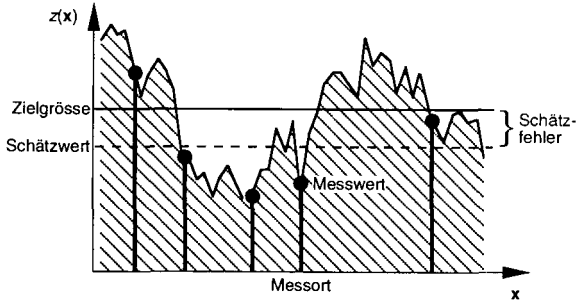


Abbildung 2: Schematische Darstellung der räumlichen Verteilung einer Messgröße entlang eines Transsekts. Die Aufgabe besteht darin, den globalen Mittelwert aus den fünf beobachteten Messwerten zu schätzen.

Diese Abstraktion wird als *regionalisierte Variable* bezeichnet.

Für alle Aufgaben, die sich in der Bodenbeobachtung stellen, ist die regionalisierte Variable nach Entnahme und Analyse der Bodenproben einer Stichprobe nur unvollständig bekannt. Die Zielgröße, welche eine Funktion der regionalisierten Variablen ist, muss deshalb aus den Messwerten der Stichprobe *geschätzt* werden. Im Beispiel, das in Abb. 2 schematisch dargestellt ist, ist der globale Mittelwert die Zielgröße. Er kann durch den arithmetischen Mittelwert der fünf beobachteten Werte geschätzt werden. Offensichtlich ist diese Schätzung aber mit einem unbekanntem *Schätzfehler* behaftet. In vielen Fällen, so z.B. beim Nachweis der zeitlichen Veränderung der Schadstoffbelastung des Bodens, ist die Kenntnis des Schätzfehlers wichtig: Eine Zunahme wird nur dann als statistisch signifikant akzeptiert, wenn ihr Betrag wesentlich grösser als die mit der Schätzung verbundene Unsicherheit ist.

Einer Schätzung kann ein Schätzfehler zugeordnet werden, wenn den beobachteten Werten der Stichprobe in irgendeiner Form ein „Zufallscharakter“ zugeschrieben werden kann, d.h. wenn das Schätzverfahren auf eine probabilistische Basis gestellt wird. Die *Stichprobentheorie* und die *Geostatistik* verfolgen grundsätzlich verschiedene Ansätze, um dieses Ziel zu erreichen. Im folgenden möchte ich die wichtigsten Unterschiede zwischen den beiden Methoden diskutieren.

Stichprobentheorie vs. Geostatistik

Stichprobentheorie

Bei diesen Ansätzen wird einer Beobachtung dadurch ein Zufallscharakter zugeordnet, dass der *Messort* nach einer Zufallsregel gewählt wird (Abb. 3). Der Ort X_i^{**} , an dem der i -te Einstich einer Stichprobe gezogen werden soll, ist somit eine *Zufallsvariable*, deren Wahrscheinlichkeitsverteilung durch die Regel zur Wahl der Messorte festgelegt wird. Der i -te Messwert, $z(X_i)$, ist—als Funktion der Zufallsvariablen X_i —ebenfalls eine Zufallsvariable. Wichtige Eigenschaften der (gemeinsamen) Wahrscheinlichkeitsverteilung aller $z(X_i)$ wird durch die Wahrscheinlichkeitsverteilung der X_i bestimmt. So sind z.B. zwei Zufallsvariablen $z(X_i)$ und $z(X_j)$, $i \neq j$, gegenseitig unabhängig, wenn X_i und X_j auch unabhängig sind.

In der Stichprobentheorie bezieht sich die Variation zwischen verschiedenen Schätzwerten immer auf die Fluktuation, die sich ergeben würde, wenn andere, gleich wahrscheinliche Sets von Messorten gewählt worden wären. Die Regel zur Wahl der Messorte, das sogenannte *Design*, beeinflusst damit

**Eine übliche Notation bezeichnet Zufallsvariablen durch Grossbuchstaben und feste Grössen durch Kleinbuchstaben.

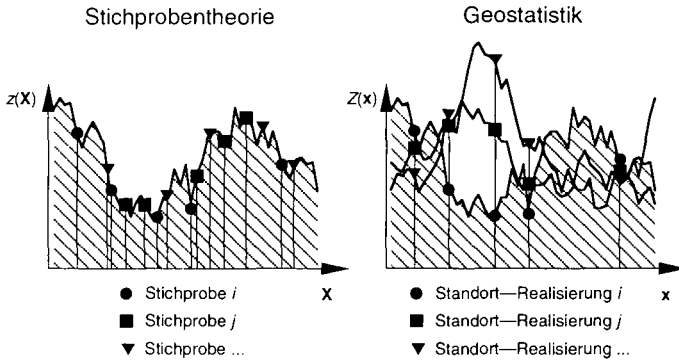


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Ansätze, die in der Stichprobentheorie und Geostatistik gewählt werden, um die Schätzung des globalen Mittelwerts auf probabilistische Basis zu stellen (Einzelheiten siehe Text).

den Schätzfehler. Werden die Messorte auf einem regulären Raster angeordnet, welches zufällig ins Untersuchungsgebiet plaziert wird, so ist der Schätzfehler oft kleiner als wenn die Messorte unabhängig voneinander mit konstanter Wahrscheinlichkeit im Gebiet gewählt werden (z.B. Papritz & Webster, 1995). Die umfangreiche Literatur der Stichprobentheorie (z.B. Cochran, 1977; Thompson, 1992) stellt für verschiedenste Fragestellungen geeignete Stichprobenpläne zur Verfügung.

Die Methoden der Stichprobentheorie eignen sich im wesentlichen zur *Schätzung von globalen Mittelwerten*. Mit gewissen Einschränkungen können sie auch zur Vorhersage von lokalen Mittelwerten eingesetzt werden. In jedem Fall bleiben die Aussagen aber auf das Untersuchungsgebiet beschränkt. Extrapolation auf andere, nicht untersuchte Flächen ist nicht möglich. Dazu wäre ein Wahrscheinlichkeitsmodell für die $z(\mathbf{X}_i)$, d.h. ein Set von Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messwerte notwendig. Die Methoden der Stichprobentheorie benötigen aber lediglich ein Verteilungsmodell für die Messorte. Die Messorte, die dann effektiv gewählt werden, sind eine Realisierung des Modells, und es besteht somit keine Gefahr, dass die Schätzung durch Fehler bei seiner Charakterisierung und durch subjektive Entscheidungen der Person, welche die Datenanalyse durchführt, beeinflusst wird (de Gruijter & ter Braak, 1990).

Geostatistik

In der Geostatistik wird ein Messwert, $z(\mathbf{x}_i)$, *per se* als Realisierung einer Zufallsvariablen, $Z(\mathbf{x}_i)$, interpretiert. Betrachtet man die regionalisierte Variable, d.h. die Gesamtheit aller Messwerte in einem Gebiet, so kann diese als Realisierung eines räumlichen Zufallsprozesses betrachtet werden. Für jeden Punkt in einem Untersuchungsgebiet wird also eine Zufallsvariable definiert. Die Variation, die bei der Schätzung auftritt, bezieht sich somit auf die Fluktuation, die bei der Untersuchung von weiteren Gebieten auftreten würde, in welchen die räumliche Verteilung der Messgröße „ähnliche“ Eigenschaften aufweist.

Eine Zufallsvariable wird durch ihre Wahrscheinlichkeitsverteilung vollständig beschrieben. Zu ihrer teilweisen Charakterisierung genügt aber vielfach die Kenntnis des ersten (Mittelwert) und zweiten Moments (Varianz) ihrer Verteilung. In der Geostatistik müssen diese Größen und zusätzlich die Korrelation zwischen verschiedenen Zufallsvariablen, $Z(\mathbf{x}_i)$ und $Z(\mathbf{x}_j)$, $i \neq j$, aus den Daten geschätzt werden. Dies ist nur möglich, wenn gewisse Annahmen über die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zufallsvariablen getroffen werden. Üblich ist die Annahme der sogenannten Stationarität 2. Ordnung. Sie setzt voraus, dass alle Zufallsvariablen $Z(\mathbf{x}_i)$ den gleichen Mittelwert

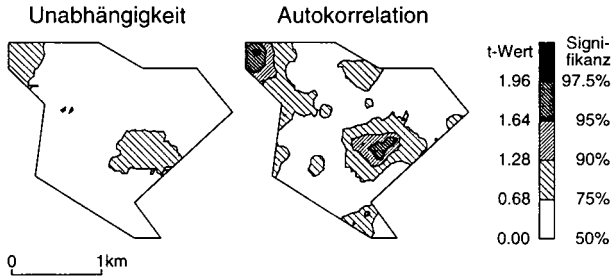


Abbildung 4: Karte des t -Werts der vorhergesagten Differenz der Stickstoffzeigerwerte 1986-1955 für das Waldgebiet Tegel bei Berlin (Daten aus Seidling, 1990). Die Vorhersagen der Punktwerte wurden mit zwei verschiedenen statistischen Modellen berechnet (Einzelheiten siehe Text).

haben und dass die Korrelation zwischen zwei Zufallsvariablen $Z(x_i)$ und $Z(x_j)$ nur von ihrem Abstand $h = x_j - x_i$, nicht aber von den absoluten Positionen x_i und x_j abhängt.

Mit diesem Set von Annahmen und den geschätzten Momenten—sie bilden zusammen ein *statistisches Modell* für die räumliche Verteilung der Messgrösse—lassen sich nun Schätzwerte für Flächenabschnitte berechnen, die nicht mehr mit dem gesamten Untersuchungsgebiet übereinstimmen müssen. Geostatistische Methoden können einerseits zur *Vorhersage von Punkt- und lokalen Mittelwerten*, andererseits auch für die *Schätzung von Prozessmittelwerten* eingesetzt werden. Auch globale Mittelwerte lassen sich durch sie vorhersagen. Alle Schätz- und Vorhersagemethoden werden aber durch die Annahmen beeinflusst, die zur Konstruktion des statistischen Modells getroffen werden. Geostatistische Verfahren gehören deshalb zu den sogenannten *modellabhängigen Methoden*.

Floristische Veränderungen Tegel Nord

Die Abhängigkeit der geostatistischen Datenanalyse von subjektiven Entscheidungen der Person, welche die Daten analysiert, birgt das Risiko in sich, dass auch die Schlussfolgerungen, die sich aus einer Analyse ergeben, von diesen methodischen Entscheidungen abhängen. Im folgenden möchte ich zeigen, dass die Wahl des statistischen Modells einen Einfluss auf die Schlussfolgerungen hat, die sich sowohl bei der Vorhersage von Punktwerten als auch bei der Schätzung des Prozessmittelwerts ergeben. Für eine solche Illustration eignet sich der Datensatz über floristische Veränderungen im Waldgebiet Tegel bei Berlin, den Seidling 1990 in seiner Dissertation veröffentlicht hat. Im Jahre 1955 wurde im rund 3.5 km² grossen Waldgebiet auf rund 150 Flächen die Artenzusammensetzung der Krautschicht und der Deckungsgrad der Arten bestimmt. Seidling hat 1986 die pflanzensoziologischen Aufnahmen wiederholt, und die zeitlichen Veränderung der Häufigkeit des Auftretens der Arten analysiert. Er hat ausserdem für die einzelnen Flächen Mittelwerte der ökologischen Zeigerwerte berechnet.

Die N-Zahl, der sogenannte Stickstoffzeigerwert, kann zur Analyse der Frage herangezogen werden, ob in der Zeitspanne zwischen 1955 und 1986 eine Aufdüngung der ehemals relativ nährstoffarmen Standorte durch Eintrag von Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre stattgefunden hat. Da bereits 1955 und in verstärktem Ausmass 1986 die saunnahen Untersuchungsflächen durch Deponieren von Gartenabfällen eutrophiert waren, werde ich im folgenden nur die Flächen aus dem Bestandesinnern betrachten (Standortstypen 1 & 2 nach Seidling, 1990). Nach Ausschluss je eines Extremwerts stand so die N-Zahl von 119 (1955) bzw. 131 (1986) Flächen zur Verfügung.

Tabelle 1: Zunahme des Stickstoffzeigerwerts der Krautvegetation in Wäldern im Grossraum Berlin—Schätzung des Prozessmittelwerts aus den Daten über das Gebiet Tegel (Daten aus Seidling, 1990).

Modell	Unabhängigkeit		Autokorrelation	
	arith. Mittel	arith. Mittel	generalized least-squares Schätzer	
Schätzer				
Schätzer Standardfehler	0.066	0.125		0.119
Freiheitsgrade	248	37		37
t-Wert	4.22	2.22		2.61
p-Wert	$3 \cdot 10^{-5}$	0.032		0.013

Vorhersage von Punktwerten

Bei der Analyse des Tegeler Datensatzes stellt sich die Frage, ob in verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebiets eine unterschiedliche Veränderung des Stickstoffzeigerwerts zu beobachten ist. Um diese Frage zu untersuchen, wurde mittels Cokriging (Papritz, 1993) eine Karte der zeitlichen Veränderung der N-Zahl berechnet. Abbildung 4 zeigt die Karten des t-Werts der vorhergesagten Differenzen, die mit zwei verschiedenen statistischen Modellen berechnet wurden. Beim Modell „Unabhängigkeit“ wurde angenommen, dass der Mittelwert aller Zufallsvariablen lokal konstant ist und dass die $Z_t(x_i)$ und $Z_t(x_j)$, $i \neq j$, für beide Datensätze unkorreliert sind (t bezeichnet dabei das Beobachtungsjahr). Das Modell „Autokorrelation“ ging dagegen davon aus, dass die Stickstoffzeigerwerte beider Messzeitpunkte als auto- und kreuzkorrelierte Zufallsprozesse zu betrachten sind. Dies bedeutet, dass nicht nur die $Z_t(x_i)$ und $Z_t(x_j)$ sondern auch die $Z_s(x_i)$ und $Z_t(x_j)$, $s \neq t$, $i \neq j$ als korrelierte Zufallsvariablen betrachtet werden. Berechnet man aus den Daten der Stichproben die entsprechenden Statistiken—in der Geostatistik sind das üblicherweise die sogenannten Auto- und Kreuzvariogramme—so zeigt sich, dass die Daten mit dem Modell „Autokorrelation“ verträglich sind.

Der Vergleich der mit beiden Modellen berechneten Karten des t-Werts (Abb. 4) zeigt, dass das Modell die Schlussfolgerungen über die Signifikanz der vorhergesagten Differenz (einseitiger t-Test) deutlich beeinflusst: Setzt man Unabhängigkeit der Messwerte voraus, so lässt sich in keinem Teil des Untersuchungsgebiet eine statistisch signifikante Zunahme des Stickstoffzeigerwerts nachweisen. Berücksichtigt man aber die Autokorrelation, so finden sich zwei Zonen, wo die N-Zahl 1986 deutlich grösser war als 1955. Offensichtlich hilft die Berücksichtigung der Autokorrelation, Vorhersageschärfe zu gewinnen. Dies ist intuitiv verständlich, sollte doch die Vorhersage eines Werts aus den Messwerten an benachbarten Stützstellen umso präziser sein, je stärker die Korrelation zwischen dem unbekanntem Wert und den Stützwerten im Mittel ist.

Schätzung des Prozessmittelwerts

Seidling wies in seiner Arbeit nach, dass der globale Mittelwert der N-Zahl zwischen 1955 und 1986 im Gebiet Tegel signifikant zugenommen hatte. Analysiert man nur die Daten, die für die Flächen im Bestandesinnern vorliegen, kommt man zu den gleichen Schlussfolgerungen. Neben einer Aussage über das Waldgebiet Tegel ist aber die Frage von Interesse, ob im Raume Berlin in ähnlichen Waldbeständen generell eine Zunahme der Stickstoffzeigerwerte eingetreten ist. Die Zielgrösse für diese Frage ist der Prozessmittelwert, dessen Inferenz wiederum eine geostatistische Analyse nötig macht. Tabelle 1 zeigt, dass auch für diese Fragestellung die Wahl des statistischen Modells die Schlussfolgerungen beeinflusst. Betrachtet man die Messwerte der beiden Stichproben wiederum als Realisierungen von unkorrelierten Zufallsvariablen, so scheint eine grossräumige Zunahme der Stickstoffzeigerwerte statistisch sehr klar gesichert. Legt man der Analyse aber das Modell „Autokorrelation“ zugrunde, so ist eine grossräumige Zunahme der N-Zahl auf dem 95% Signifikanzniveau zwar immer noch gesichert, der p-Wert des Tests (0.03) unterscheidet sich aber deutlich vom p-Wert, der sich unter dem Modell „Unabhängigkeit“ berechnet ($3 \cdot 10^{-5}$). Unter dem Modell „Autokorrela-

tion“ lässt sich zudem der sogenannte *generalized least-squares* Schätzer verwenden (z.B. Papritz, 1993), der eine kleinere Varianz als der arithmetische Mittelwert hat.

Ist die Schätzung des Prozessmittelwerts das Ziel, so führt die Vernachlässigung der Autokorrelation im allgemeinen dazu, dass die Varianz des Schätzers unterschätzt wird. Dies lässt sich dadurch erklären, dass unter dem Modell „Unabhängigkeit“ angenommen wird, dass die Varianz der Stichprobe die volle Variabilität des Zufallsprozesses beschreibt. Sind aber die Daten mit einem Modell verträglich, welches Autokorrelation einschliesst, so tritt in einem Untersuchungsgebiet nicht die ganze Variation auf, weil ja die meisten Messwerte gegenseitig korreliert sind.

Schlussfolgerungen

In der Bodenbeobachtung sind verschiedene Aufgaben zu bearbeiten. Die Wahl einer statistischen Methode ist in jedem Fall der Fragestellung anzupassen. Die Methoden der Stichprobentheorie eignen sich im wesentlichen nur für Aussagen über globale Mittelwerte, während die modellabhängigen, geostatistischen Verfahren daneben auch für lokale Vorhersagen und Inferenz über den Prozessmittelwert eingesetzt werden können. Bei der Anwendung letzterer Methoden ist aber darauf zu achten, dass das gewählte statistische Modell die Eigenschaften des untersuchten Datensatzes zutreffend beschreibt. Fehleinschätzungen sind andernfalls die Folge.

Dank: Diese Ausführung sind ein modifizierter Auszug aus der Einleitung zu meiner Dissertation. Die dargelegte Sicht kristallisierte sich in Diskussionen mit meinen Referenten H. Flüher, H.R. Künsch und R. Webster heraus. Für ihre Unterstützung möchte ich ihnen an dieser Stelle danken. Dank geht auch an Dr. W. Seidling, dessen Daten ich zur Illustration verwendet habe.

Literatur

- COCHRAN, W.G. 1977. *Sampling Techniques*. 3rd edition. John Wiley & Sons, New York.
- DE GRUIJTER, J.J. & TER BRAAK, C.J.F. 1990. Model-free estimation from spatial samples: a reappraisal of classical sampling theory. *Mathematical Geology* **22**, 407-415.
- FAC & BUWAL. 1993. Nationales Bodenbeobachtungsnetz. Messresultate 1985-1991. *Schriftenreihe Umwelt*. Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- PAPRITZ, A. 1933. *Estimating Temporal Change of Soil Properties*. Dissertation Nr. 10233. Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.
- PAPRITZ, A. & WEBSTER, R. 1995. Estimating temporal change in soil monitoring: I. Statistical theory. *European Journal of Soil Science* **46**, 1-13.
- REUSS, J.O. & JOHNSON, D.W. 1986. *Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters*. *Ecological Studies Vol. 59*. Springer-Verlag, Berlin.
- SCHULIN, R., WEBSTER, R. & MEULI, R. 1994. Regional soil contamination surveying. Part A. Technical Note. *Environmental Documentation No. 25*, Federal Office of Environment, Forests and Landscape, Berne.
- SEIDLING, W. 1990. *Räumliche und zeitliche Differenzierung der Krautschicht bodensaurer Kiefern-Traubeneichenwälder in Berlin (West)*. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme. Reihe A, Nr. 61
- THOMPSON, S.K. 1992. *Sampling*. Wiley, New York.

Verlagerung von Cadmium in einem Sandboden im Feldmaßstab

von

Streck, T.*

Einleitung

Die Messung der Schwermetallverlagerung im Feld und damit auch die Überprüfung von Transportmodellen ist schwierig, da die Verlagerung (1) ein sehr langsamer Vorgang ist und (2) mit großer räumlicher Variabilität erfolgt. Bei Untersuchungen in den üblichen Zeitspannen überdeckt schon die kleinräumige Variabilität eine mögliche Verlagerung, wie z.B. die zweieinhalbjährigen Messungen von Swartjes (1990) in einem ehemaligen Rieselfeld gezeigt haben. Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden deshalb auf einem Schlag durchgeführt, der seit fast dreißig Jahren in kontrollierter Weise mit kommunalem Abwasser der Stadt Braunschweig be- regnet wird. Die räumliche Variabilität der Verlagerung wurde im Feldmaßstab erfaßt. Anhand dieser Messungen wurden verschiedene Ansätze zur Simulation des Cadmium-Transportes im Feldmaßstab überprüft. Hier können nur die Grundzüge der durchgeführten Untersuchungen dargestellt werden. Details finden sich in Streck (1993) und Streck und Richter (1995a,b).

Material und Methoden

Abwasserverregnung in Braunschweig Die Überlastung der 1896 von der Stadt Braunschweig eingerichteten Rieselfelder durch stetig steigende Abwassermengen führte im Jahre 1954 zur Gründung des Abwasserverbandes Braunschweig, dem heute neben der Stadt drei Landgemeinden und etwa vierhundert Landwirte angehören. Dem Verband obliegt die Organisation der Verregnung von etwa zwei Dritteln des Braunschweiger Abwassers auf ca. 3000 ha landwirtschaftlich genutzten Flächen nordwestlich von Braunschweig. Das restliche Drittel wird weiterhin verrieselt. Die Verregnung erfolgte bis etwa 1975 mit Flachstrahlregnern, die im Abstand von 30 m an fliegende Leitungen angeschlossen wurden. Mitte der siebziger Jahre wurde dieses System durch mobile Großflächenregner ersetzt, die im Abstand von 60 m eingesetzt werden. Statt der ursprünglich geplanten 300 mm werden heute 536 mm Abwasser pro Jahr verregnet. Seit 1980 werden die Schwermetall-Konzentrationen im Abwasser kontinuierlich gemessen. Die mittlere Cadmium-Konzentration des an den Verband abgegebenen Abwassers betrug 1980-1985 $20 \mu\text{g L}^{-1}$, 1986-1990 nur noch $2.3 \mu\text{g L}^{-1}$. Der starke Rückgang ist auf eine verschärfte Einleiterüberwachung durch die Stadt Braunschweig zurückzuführen.

Untersuchungsstandort Der Untersuchungsstandort befindet sich im Pumpwerksbezirk II des Verbandsgebietes auf der Niederterrasse der Oker. Auf dem sandigen Substrat (> 95 % S) hat sich eine saure Braunerde ausgebildet. Der C_{org} -Gehalt des Oberbodens beträgt 0.73 %.

*Institut für Geoökologie der TU, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig

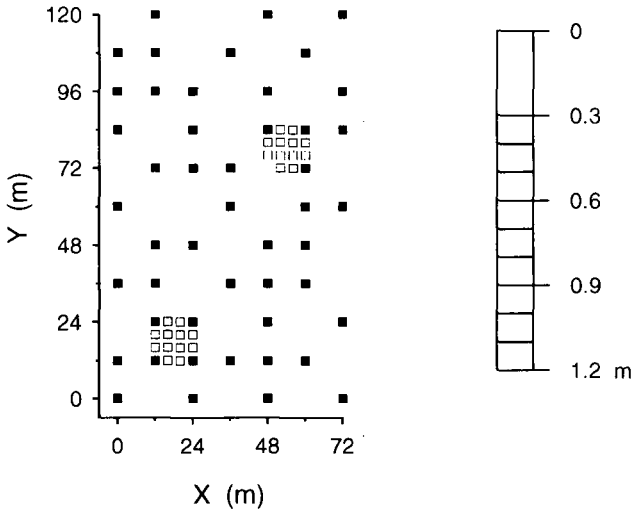


Abbildung 1: Zur Probenahme

die potentielle Kationenaustauschkapazität $0.38 \text{ mval kg}^{-1}$. Bei der Bodenschätzung wurde der Boden mit 18 Punkten bewertet. Seit 1982 ist der Schlag gedränt. Die Standardfruchtfolge ist Kartoffeln-Zuckerrüben-Getreide-Getreide. Im Jahre 1962 wurde am Untersuchungsstandort mit der Abwasserverregnung begonnen.

Probenahme Auf dem Schlag wurde ein insgesamt $72 \text{ m} \times 120 \text{ m}$ großes $12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ - Haupttraster mit zwei $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ - Unterrastern eingemessen (Abb. 1). An 48 Punkten des Hauptrasters und 24 Punkten der Unterraster wurde mit einem Probenstecher jeweils eine Mischprobe aus dem A_p -Horizont (0.3 m) gezogen. An jedem Punkt wurden mit dem Edelman-Bohrer bis in 1.2 m Tiefe weitere 9 Proben entnommen (Abb. 1). Die Proben wurden luftgetrocknet und auf 2 mm gesiebt. Die Probenahme erfolgte im Jahr 1990.

Analysen An allen 720 Proben wurden die Gesamtgehalte des an Sorptions- und Desorptionsreaktionen beteiligten Cadmiums durch Extraktion mit $0.025 \text{ M } (\text{NH}_4)_2\text{-EDTA}$ bestimmt (Welp et al., 1991, Zeien und Brümmer, 1989). Als Näherung für die Cadmium-Konzentrationen in der Bodenlösung wurden an allen 480 Haupttrasterproben zusätzlich die Konzentrationen gemessen, die sich im Gleichgewicht mit 0.0025 M CaCl_2 einstellen (Schüttelzeit 24 Stunden; 30 g Boden auf 30 mL Lösung). Die Ionenstärke dieser Lösung entspricht jener des Braunschweiger Abwassers, dessen vorherrschendes Anion Chlorid ist (Fassbender und Steinert, 1979). An allen Proben wurden außerdem $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ -Werte und C_{org} -Gehalte (Gew.-%) bestimmt.

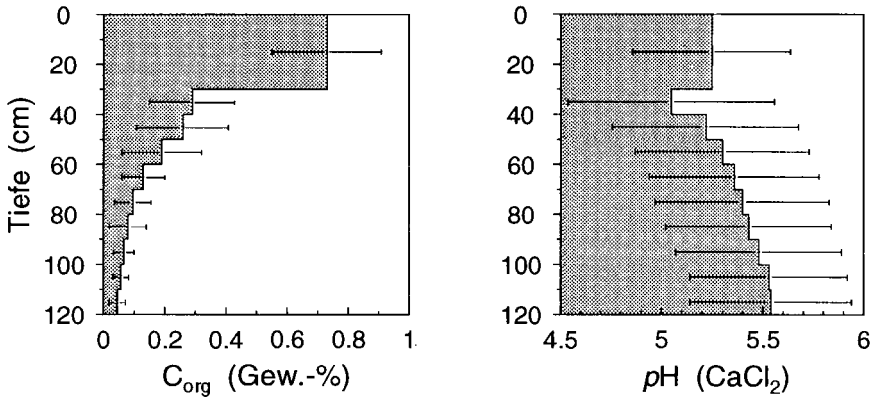


Abbildung 2: Feldgemittelte Profile von C_{org} -Gehalten und pH-Werten. Die Fehlerbalken bezeichnen \pm eine Standardabweichung.

Ergebnisse und Diskussion

Messungen

Abb. 2 zeigt die feldgemittelten Profile der C_{org} -Gehalte und pH-Werte in Abhängigkeit von der Tiefe. Um eine Wichtung durch die Unterraster-Regionen zu vermeiden, wurden bei der Mittelung nur die Profile des Hauptrasters berücksichtigt. Die Variationskoeffizienten der C_{org} -Gehalte jeder Bodenschicht liegen zwischen 24 % und 76 %, jene der pH-Werte zwischen 7 und 10 %. Die pH-Werte sind normal, die C_{org} -Gehalte lognormal in jeder Bodenschicht verteilt.

Die Ergebnisse der Cadmium-Messungen sind in Abb. 3 aufgetragen. Um eine Vorstellung von der räumlichen Variabilität der Meßwerte zu vermitteln, wurden auch alle Einzel-Meßwerte eingezeichnet. Die Variationskoeffizienten betragen im Oberboden etwa 40 %. In den Unterbodenschichten schwanken sie zwischen 50 und über 200 %. Trotz der großen Variabilität der einzelnen Messungen ergeben sowohl arithmetische Mittelwerte als auch Mediane regelmäßige Profile. Aufgrund der räumlichen Variabilität hat sich keine scharfe Front entwickelt. Eine bestimmte Verlagerungstiefe läßt sich infolgedessen nicht eindeutig festlegen. Im Vergleich mit den darunterliegenden Bodenschichten sind Mittelwerte und Mediane der Lösungskonzentrationen bis in 0.6 bzw. 1.0 m Tiefe erhöht. 27 % des gesamten EDTA-extrahierbaren Cadmiums wurden im Unterboden gefunden, die Hälfte hiervon unterhalb 0.4 m Tiefe. Die dreidimensionale Struktur der Verlagerung ist aus Abb. 4 zu ersehen, in der die Tiefenlage der Cadmium-Konzentration $1 \mu\text{g L}^{-1}$ dargestellt ist. Diese Konzentration beträgt etwa 20 % der mittleren Lösungskonzentration im Oberboden. Im Mittel befindet sie sich in 0.72 m Tiefe.

Unter einigen Annahmen, die im einzelnen in Streck (1993) erörtert werden, läßt sich die Cadmium-Gesamtbelastung durch die Abwasserverregnung durch Summation des EDTA-extrahierbaren Cadmiums über die Tiefe abschätzen. Die so errechnete Belastung beträgt im Mittel 171 mg m^{-2} und ist normal verteilt mit einem Variationskoeffizienten von 36 %. Wie aus Abb. 5 hervorgeht, entspricht die Reichweite des Semivariogramms ungefähr dem Abstand der bis 1975 verwendeten Regner (30 m).

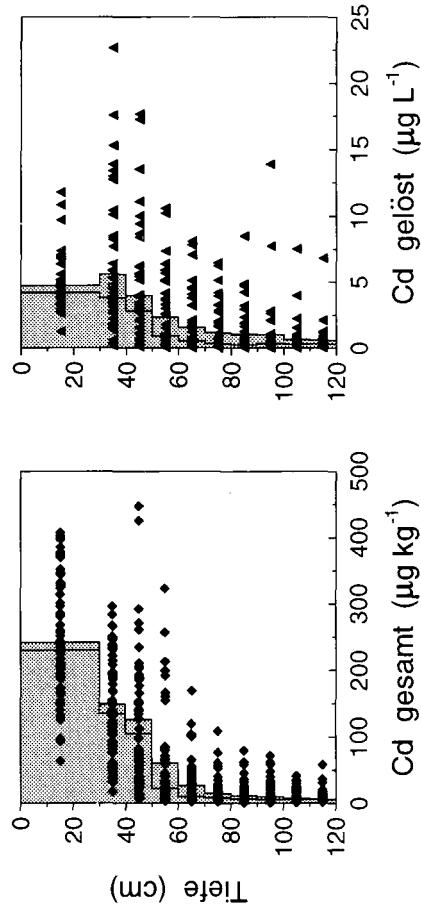


Abbildung 3: EDTA-extrahierbare Gesamtgehalte und Lösungskonzentrationen von Cadmium im Abhängigkeit von der Tiefe. Die grauen Balken bezeichnen die Mittelwerte, die Stufenlinien die Mediane jeder Bodenschicht.

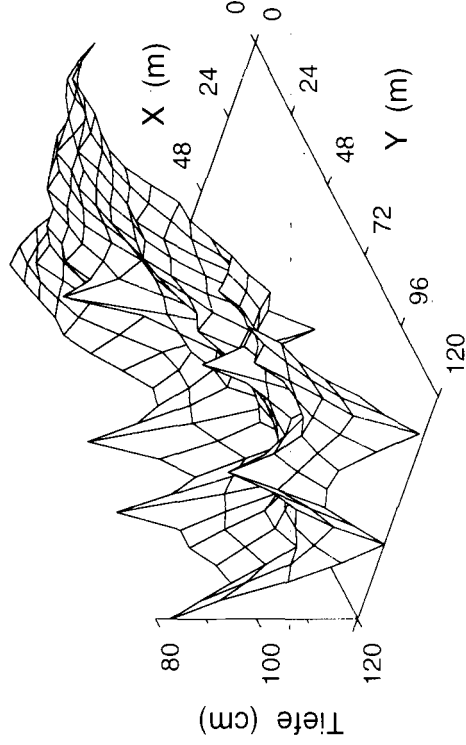


Abbildung 4: Position der Cadmium Konzentration $\mu\text{g L}^{-1}$ im Bereich des Mebrasters.

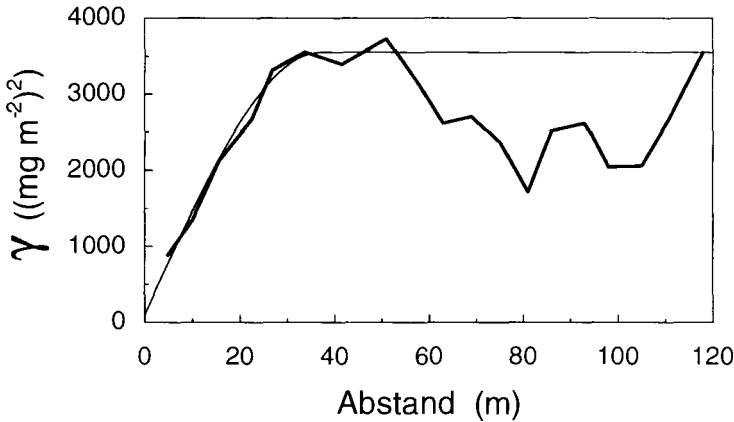


Abbildung 5: Semivariogramm der flächenbezogenen Cadmium-Belastung. Dünne Linie: angepaßtes sphärisches Modell.

Parametrisierung der Sorption

Das Gleichgewicht zwischen sorbierten und gelösten Schwermetallen im Boden läßt sich im allgemeinen mit der Freundlich-Isotherme beschreiben. Unter der Annahme, daß die räumliche Variabilität der Sorption im wesentlichen durch die Variabilität von C_{org} -Gehalten (oc) und pH -Werten verursacht wird, wurde die Freundlich-Isotherme wie folgt erweitert (vgl. van der Zee und van Riemsdijk, 1987):

$$\log S = \log(k^*) + b \log(oc) + a \text{ pH} + m \log C \quad (1)$$

Die Festphasengehalte (S in $\mu\text{g kg}^{-1}$) wurden aus den EDTA-extrahierbaren Gesamtgehalten unter Berücksichtigung des bei der Bestimmung der Lösungskonzentrationen (C in $\mu\text{g L}^{-1}$) in 0.0025 M CaCl_2 verwendeten Boden-Lösungs-Verhältnisses berechnet. Die vier Parameter (k^* , a , b , m) in Gl. (1) wurden mittels multipler Regression geschätzt.

Simulationen

Anhand der gemessenen Konzentrationsprofile wurden verschiedene Ansätze zur Modellierung der Cadmium-Verlagerung zwischen 1962 und 1990 geprüft: Bodensäulenmodelle (Regionalmodell, Monte-Carlo-Simulationen) und die eindimensionale Konvektions-Dispersions-Gleichung (KDG), angewendet im Feldmaßstab.

Bei Bodensäulenmodellen wird das Feld als Ensemble von Bodensäulen mit unterschiedlichen Eigenschaften aufgefaßt, die untereinander nicht verbunden sind, so daß keine transversale Vermischung auftreten kann. In jeder Säule wird die Gültigkeit der eindimensionalen KDG angenommen. Die Sorptionsgleichgewichte als Funktion der räumlich variablen pH -Werte und C_{org} -Gehalte werden nach Gl. (1) berechnet. Beim Regionalmodell (RM) wird die Verlagerung an den Haupttrasterpunkten unter Verwendung der dort erhobenen Meßwerte berechnet. Bei den RM 1-Simulationen wurde von räumlich konstanter Beregnung ausgegangen. Bei den RM 2-Simulationen wurde dagegen angenommen, daß die relative Beregnungshöhe

an jedem Punkt der gemessenen relativen flächenbezogenen Cadmium-Belastung entspricht. Bei den Monte-Carlo-Simulationen (MC) werden die Eigenschaften der Bodensäulen als Realisationen von Zufallsvariablen aufgefaßt. Die Parameter ihrer Verteilungen wurden aus den Meßwerten geschätzt. Korrelationen wurden bei den MC 1-Simulationen vernachlässigt, bei den MC 2-Simulationen dagegen berücksichtigt. Bei den MC-Simulationen wurde ebenfalls räumlich variable Beregnung angenommen.

Anders als bei den Bodensäulenmodellen ist die Dispersionslänge bei der Anwendung der KDG im Feldmaßstab ein kritischer Parameter. Die KDG-Simulation wurde mit dem Wert 0.01 m gerechnet, der von Salzmann (1993) in einem Chlorid-Verlagerungsexperiment (Applikationsfläche 0.56 ha) in einem Sandboden gemessen wurde. Zur Erfassung der Sorption wurden im Labor konventionelle Sorptionsisothermen von vier jeweils eine 0.3 m-Bodenschicht repräsentierenden Mischproben aus 16 Profilen gemessen.

Bei allen Simulationen wurden die Wasserflüsse im Boden jahresweise als eindimensional und zeitlich konstant angenommen. Die räumliche Abnahme der Flüsse mit der Tiefe infolge der Wasseraufnahme durch die Wurzeln wurde berücksichtigt. Die Wirkung des Pflügens wurde durch jährliche Homogenisierung des A_p -Horizontes simuliert. Die Cadmium-Konzentration im Verregnungswasser vor 1980 wurde aus der gemessenen flächenbezogenen Belastung geschätzt (Ergebnis: $15.6 \mu\text{g L}^{-1}$). Alle sonstigen Parameter und Eingangsgrößen für die Modellierung wurden gemessen oder der Literatur entnommen (Streck, 1993).

Abb. 6 zeigt die berechneten feldgemittelten Profile von Gesamt- und Lösungskonzentrationen zusammen mit den gemessenen Profilen. Die mit den Bodensäulenmodellen berechneten Konzentrationsprofile stimmen bemerkenswert gut mit den Meßwerten überein. Der Unterschied zwischen Regionalmodell- und Monte-Carlo-Simulationen ist gering. Wenn bei den Monte-Carlo-Simulationen die Korrelation zwischen den Zufallsvariablen berücksichtigt wird, liefern vergleichbare Simulationen (RM 2 und MC 2) fast identische Ergebnisse.

Bei Anwendung der KDG im Feldmaßstab kann die Verlagerung in die tieferen Bodenschichten mit der aus der Literatur entnommenen Dispersionslänge nicht nachvollzogen werden. Für die Übereinstimmung mit den Meßwerten wäre die Anpassung der Dispersionslänge auf ca. 0.3 m erforderlich. Damit würde allerdings die gesamte Dispersion der Variabilität der Wasserbewegung zugeschrieben. Der Einfluß der räumlichen Variabilität der Sorption auf die Dispersion würde vernachlässigt. Dagegen wird bei den Bodensäulen-Modellen, außer einem kleineren Anteil bei den Varianten mit variabler Infiltration, die Dispersion fast ausschließlich durch die Variabilität der Sorption bewirkt. Soweit sie von der Variabilität der Wassergehalte verursacht wird, hat die Variabilität der Wasserbewegung auf die Verlagerung von Stoffen, die starker Sorption an der Bodenmatrix unterliegen, fast keinen Einfluß (Streck, 1994). Auf die Verlagerung solcher Stoffe wirkt sich infolgedessen die ansonsten wesentliche Verteilung der Porenwasserfließgeschwindigkeiten (Dagan, 1993), deren Bestimmung im allgemeinen die Durchführung eines Tracer-Experimentes erforderlich machen wird, kaum aus. Es sei jedoch angemerkt, daß diese Aussage nur innerhalb des Bodensäulen-Ansatzes gilt, also die Dominanz des konvektiven Transportes gegenüber der transversalen Vermischung voraussetzt.

Mit dem Regionalmodell wurden die zukünftigen Cadmium-Konzentrationen im Sickerwasser in 1.3 m Tiefe mit und ohne Abwasserverregnung berechnet (Abb. 7). Als Cadmium-Konzentration im Beregnungswasser wurde der niedrige Mittelwert aus den Messungen der letzten 5 Jahre ($2.3 \mu\text{g L}^{-1}$) angenommen. Unterschiede zwischen den Simulationen bestehen deshalb eher hinsichtlich der Wasserflüsse als der Cadmium-Belastung. Die Simulationen zeigen, daß die Cd-Konzentrationen mittelfristig bis auf $3-4 \mu\text{g L}^{-1}$ ansteigen und dann langsam auf die Gleichgewichtskonzentration $2.1 \mu\text{g L}^{-1}$ absinken werden. Infolge der 1990 bereits vorhandenen Cadmium-Belastung des Bodens würde eine Einstellung der Abwasserverregnung den Anstieg der Cd-Konzentrationen deutlich verlangsamen, jedoch nicht verhindern.

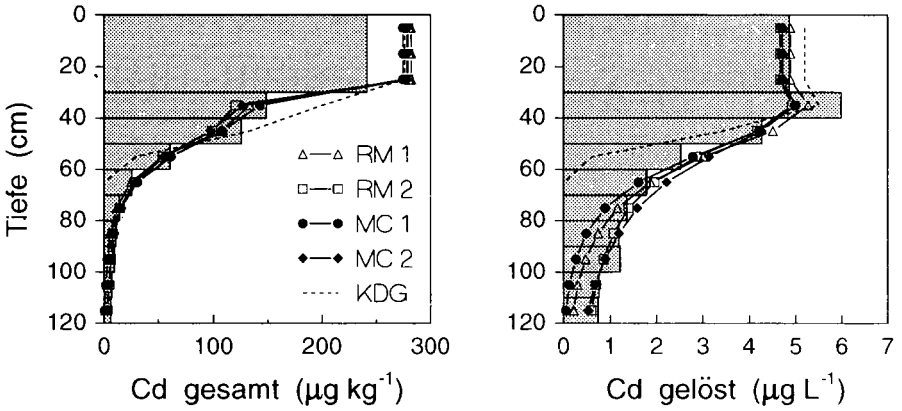


Abbildung 6: Gemessene (Balken) und simulierte feldgemittelte Cadmium-Konzentrationsprofile nach 29 Jahren Abwasserverregnung. RM: Regionalmodell; MC: Monte-Carlo-Simulationen; KDG: Konvektions-Dispersions-Gleichung. Weitere Erläuterungen im Text.

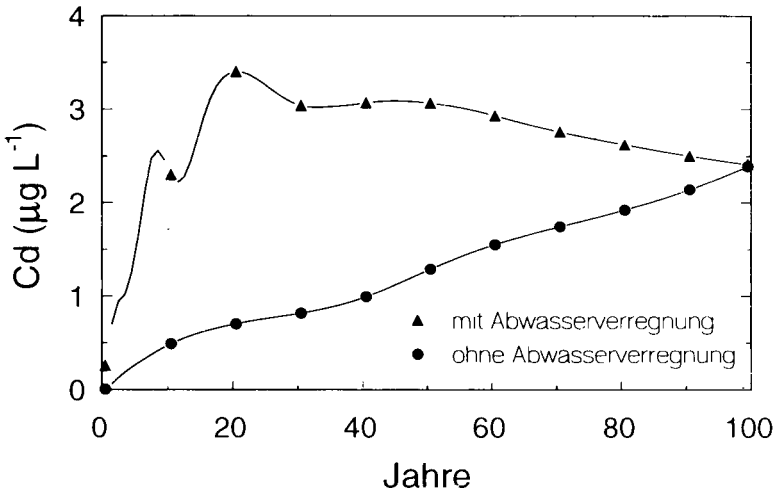


Abbildung 7: Prognostizierte feldgemittelte Cadmium-Konzentrationen im Sickerwasser in 1,3 m Tiefe während der nächsten 100 Jahre (Beginn: 1990).

Schlußfolgerungen

1. In Ackerböden eingetragene Schwermetalle werden verlagert, wenn auch mit geringer Geschwindigkeit.
2. Wenn die Variabilität der die Sorption steuernden Zustandsgrößen C_{org} und pH berücksichtigt wird, läßt sich die Cadmium-Verlagerung am Untersuchungsstandort mit einem einfachen Gleichgewichtsansatz für die Sorption hinreichend genau modellieren.
3. Die Verlagerung von Stoffen, die im Boden starker, räumlich variabler Sorption unterliegen, kann mit Bodensäulenmodellen ohne Kenntnis der Transport-Parameter des Feldes, d.h. ohne Tracer-Experiment bzw. Kalibrierung, modelliert werden.
4. Obwohl die Cadmium-Konzentration des Verregnungswassers seit Mitte der achtziger Jahre stark gesunken ist, wird die Konzentration im Sickerwasser am Untersuchungsstandort deutlich ansteigen. Die Einstellung der Abwasserverregnung würde den Anstieg verzögern, jedoch nicht verhindern.

Danksagung Dem Umweltbundesamt wird für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit im Rahmen des Forschungsvorhabens 107 02 004/03 gedankt.

Literatur

- Dagan, G. 1993. The Bresler-Dagan model of flow and transport: Recent theoretical developments. Kap. 1. S. 13–32. In D. Russo und G. Dagan. (Hrsg.) Water Flow and Solute Transport in Soils. Springer-Verlag, Berlin.
- Fassbender, H. W. und B. Steinert. 1979. Anfall und chemische Zusammensetzung der städtischen Abwässer von Wolfsburg und Braunschweig. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 142:219–231.
- Salzmann, Th. 1993. One dimensional modeling of ion transport at the field scale in a sandy soil. Modeling Geo-Biosphere Processes 2:83–91.
- Streck, T. 1993. Schwermetallverlagerung in einem Sandboden im Feldmaßstab - Messung und Modellierung. Dissertation, Braunschweig.
- Streck, T. 1994. On field scale dispersion of sorbing solutes. S. 179–184. XXIV. Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche. CNR - Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche. Neapel, Italien.
- Streck, T. und J. Richter. 1995a. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale. I. Measurements and parameterization of sorption. Zur Veröffentl. eingereicht.
- Streck, T. und J. Richter. 1995b. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale. II. Modeling. Zur Veröffentl. eingereicht.
- Swartjes, F. 1990. Numerische Simulation der eindimensionalen Schwermetallverlagerung im homogenen gesättigten/ungesättigten Boden. Dissertation, Berlin.
- van der Zee, S.E.A.T.M. und W.H. van Riemsdijk. 1987. Transport of reactive solute in spatially variable soil systems. Water Resour. Res. 23:2059–2069.
- Welp, G., Y. Zheng, G. W. Brümmer und R. Breder. 1991. Adsorptions- und Löslichkeitseigenschaften von zehn Metallen in Böden variierenden Stoffbestandes. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch. 66:427–430.
- Zeien, H. und G. W. Brümmer. 1989. Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch. 59:505–510.

Ein Index-Wert zur Kennzeichnung von hartsetzenden Böden

von

Becher, H. H.⁺, J. Breuer⁺⁺ und B. Klingler⁺⁺⁺

Einführung

Die in den Tropen und Subtropen verbreiteten, sog. hartsetzenden Böden widersetzen sich aufgrund ihrer ungünstigen bodenphysikalischen Eigenschaften einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung. Diese ungünstigen Eigenschaften bewirken nach einer Bodenbearbeitung eine starke natürliche Wiederverdichtung dieser Böden mit zunehmender Austrocknung, deren Ursachen und Mechanismen an Böden aus Kamerun untersucht wurden (BREUER, 1994). Ein Aspekt war die Wassergehaltsabhängigkeit des Fall-cone-Eindringwiderstandes, aus der ein kennzeichnender Index-Wert abgeleitet werden konnte. Dies ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Material und Methoden

Für diese Untersuchung wurden 3 hartsetzende und 7 nicht-hartsetzende Böden in Nordkamerun ausgesucht, deren Grundeigenschaften in Tab. 1 aufgeführt sind.

Boden	Ton	Schl	Sand	pH	$C_{org.}$	Fe_d	Ca	Mg	Na
	%	%	CaCl ₂	%					
HS11OB	8.0	35.0	57.0	5.55	0.31	0.33	62.2	18.0	0.0
HS21	11.8	27.6	60.2	4.38	0.24	0.21	3.0	21.5	0.8
HS41	8.8	38.8	53.8	5.30	0.14	0.28	78.0	14.1	3.3
PL11OB	14.8	41.1	44.8	6.12	1.14	2.43	89.5	25.0	0.0
PL31OB	8.9	26.1	64.2	5.82	0.62	1.73	86.4	25.4	0.0
PL61	7.4	29.9	61.4	6.56	0.97	1.87	71.7	9.9	0.0
PS11	4.6	5.4	90.5	5.46	0.35	0.25	81.6	12.2	0.0
PS21	3.2	97.3	89.6	5.29	0.24	0.07	83.2	16.1	0.0
PS31OB	21.5	26.4	52.7	4.27	1.26	0.17	77.8	12.2	0.1
V21	23.6	53.5	23.1	5.49	0.86	0.70	73.4	28.8	4.7

Lufttrockenes Material <1mm wurde unter definierten Bedingungen in kleine Plastikzylinder (20·40mm \varnothing) eingefüllt und nach Wassersättigung mit unterschiedlichen Wasserspannungen ins Gleichgewicht gebracht (je Wasserspannung und Boden minde-

⁺Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, D-8050 Freising-Weißenstephan

⁺⁺Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie, Univ. Hohenheim, D-70593 Stuttgart

⁺⁺⁺Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), D-65760 Eschborn

stens eine Probe). Anschließend wurde mit einem *Geonor A/S, Type Cone Penetrometer g-200* in mehrfacher Wiederholung die Eindringtiefe gemessen und danach der Wassergehalt der Probe ermittelt. Aus dem Kegengewicht Q und der Eindringtiefe h wurde in Anlehnung an HANSBO (1957) der Eindringwiderstand RP ermittelt als $RP = Q/h^2$. Diese Werte wurden zusammen mit den Grunddaten regressionsanalytisch untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Der Eindringwiderstand RP der hartsetzenden und der sandarmen, nicht-hartsetzenden Böden hängt nach Gl.(1)

$$RP\left[\frac{g}{mm^2}\right] = 10^a + b \cdot \log(WG) + c \cdot (\log(WG))^2 \quad (1)$$

vom Wassergehalt WG der Probe ab. Die hartsetzenden Böden weisen im Gegensatz zu den nicht-hartsetzenden Böden größere Maximalwerte des Eindringwiderstandes (RP_{max}) bei niedrigeren Wassergehalten auf (Abb. 1, Tab. 2). Nach Abb. 1 verändert sich

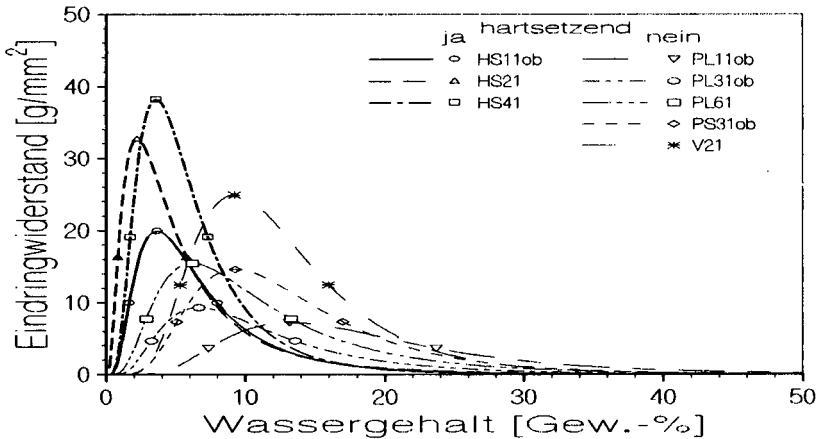


Abb. 1: Beziehung zwischen Wassergehalt und Fall-cone-Eindringwiderstand

der Eindringwiderstand bei den hartsetzenden Böden stets in einem engeren Wassergehaltsbereich, so daß die Kurvenpeaks ausgeprägter sind. In Anlehnung an die tonmineralogische Auswertung von Röntgen-Diagrammen wurde für diese Kurven (Abb. 1) die Halbwertsbreite berechnet als Wassergehaltsspanne zwischen den beiden $0.5 \cdot RP_{max}$ -Werten. Weil große Halbwertsbreiten eine langsame Zu- und Abnahme des Eindringwiderstands nach Unterschreiten eines Grenzwassergehalts anzeigen, wird diese Halbwertsbreite **Unempfindlichkeit** oder **Insensitivität I** genannt. Tab. 2 der Gleichungsparameter, RP_{max} , WG_{max} und I-Werte zeigt, daß die hartsetzenden Böden stets I-Werte < 7 , die nicht-hartsetzenden Böden stets I-Werte > 10 aufweisen. Somit können mittels der **Insensitivität I** Böden in den fraglichen Regionen klassifiziert

werden.

Tabelle 2: Parameter der Regressionsgleichung (1) und berechnete Werte für maximalen Kegel-Eindringwiderstand (RP _{max}), Wassergehalt bei RP _{max} (WG _{max}) und Insensitivität (I)								
Böden	a	b	c	r ²	n	RP _{max}	WG _{max}	I
HS1lob	0.48	2.92	-2.60	0.89 ^{***}	17	19.95	3.64	6.31
HS21	1.31	1.19	-1.73	0.92 ^{***}	20	32.71	2.21	4.92
HS41	0.65	3.39	-3.08	0.92 ^{***}	18	38.26	3.55	5.57
PL1lob	-4.99	10.44	-4.66	0.82 ^{***}	20	7.20	13.19	16.33
PL3lob	-1.16	5.17	-3.14	0.92 ^{***}	19	9.29	6.66	10.32
PL61	-0.53	4.34	-2.74	0.82 ^{***}	19	15.44	6.19	10.40
PS11	0.61	-0.83	0.46	0.15 ^{ns}	20	(1.72) [†]	(7.98)	n.b.
PS21	0.60	-0.56	0.28	0.17 ^{ns}	20	(2.09)	(10.00)	n.b.
PS3lob	-2.95	8.50	-4.39	0.89 ^{***}	19	14.60	9.29	11.90
V21	-3.56	10.27	-5.32	0.93 ^{***}	19	24.91	9.23	10.62

[†] Werte (in Klammern) berechnet unter Verwendung der nichtsignifikanten Beziehung (Gl.(1)), deshalb konnte I nicht ermittelt werden (n.b.)

Daß sich in den I-Werten die unterschiedliche Aggregation und Aggregatstabilität der untersuchten Böden widerspiegelt, zeigt die enge multiple Korrelation zwischen den Gehalten an organischer Substanz und Eisenoxiden und diesen I-Werten (Abb. 2).

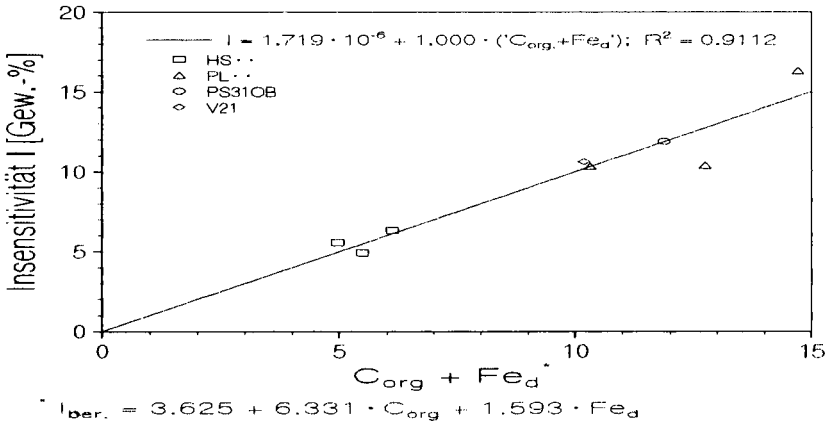


Abb. 2: Einfluß von organischer Substanz + Fe-Oxide auf die Insensitivität

Folglich kann durch Zufuhr von organischer Substanz das Gefüge der hartsetzenden Böden verbessert und damit deren Neigung zum Hartsetzen vermindert werden. D.h. Ernterückstände u.ä. sollten auch aus diesem Grund auf den Feldern verbleiben oder wieder zurückgebracht und flach eingearbeitet werden. Näheres siehe BECHER et al.

(1995).

Danksagung

Das German-Israeli Agricultural Research Agreement und die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit finanzierten das Gesamtvorhaben (J.B.).

Literatur:

Becher, H.H., Breuer, J., und Klingler, B. (1995): An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration.- Soil Tech. (eingereicht).

Breuer, J. (1994): Hartsetzende Böden Nordkameruns.- Diss., LS Bodenkunde, TU München.

Hansbo, S. (1957): A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test.- Royal Swedish Geotech. Inst. Proc. No. 14.

Ableitung der Filter- und Puffereigenschaften von Böden aus Ökologischen Standortkarten

von

Rommel, J.* und W. R. Fischer**

1 Problemstellung

Die von WELLER 1990 publizierte „Ökologische Standorteignungskarte für den Landbau in Baden-Württemberg 1:250000“ enthält auf der Grundlage einer agrarökologischen Gliederung der Landesfläche in 855 Standortkomplexe zahlreiche Aussagen über im Gelände erfaßte Standortseigenschaften. Die hier vorgestellte Studie im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg sollte aufzeigen, ob eine Auswertung der in solchen Karten enthaltenen Information hinsichtlich der potentiellen Filter- und Puffereigenschaften der jeweils vorherrschenden Böden für Säure- und Schwermetalleinträge möglich und sinnvoll ist.

2 Material und Methode

Um die Angaben der Standorteignungskarte zu den Faktoren Bodenart (als Buchstabenfolgen), Gründigkeit, Wasser/Luft-Haushalt und Azidität/Kalkgehalt (als Relativzahlen) einer rechnerischen Verarbeitung zugänglich zu machen, waren folgende Modifikationen notwendig:

- Bodenart: Schätzen von Ton- und Schluffgehalten
- Azidität/Kalkgehalt: Zuordnung von pH-Pufferbereichen nach ULRICH (1981) bzw. Kalkgehalt schätzen

2.1 Ermittlung des Puffervermögens für Säuren

- verwendete Faktoren: Bodenart, Gründigkeit, Azidität/Kalkgehalt
- Zuordnung des aktiven Puffersystems nach der Azidität
- Berechnung der Säureneutralisationskapazität der noch vorhandenen Puffersubstanzen: Austausch (Ton), verwitterbare Minerale (Schluff) und Carbonate als Produkt aus deren Menge und Pufferkapazität * Gründigkeit

* Institut für Bodenkunde und Standortlehre (310), 70593 Stuttgart (jrommel@uni-hohenheim.de)

** Institut für Bodenkunde, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover

2.2 Filter- und Puffervermögen für Schwermetalle

(in Anlehnung an das vom DVWK (1988) vorgeschlagene Schätzverfahren)

- verwendete Faktoren: Bodenart, Gründigkeit, Wasser/Luft-Haushalt und Azidität/Kalkgehalt
- Zuordnung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle nach der Aziditätsstufe
- Zuschlag für Tongehalt; ggf. Abschlag für Wechselfeuchte
- Multiplikation der Bewertungszahl mit der Gründigkeit

Für jede Funktion wurde die Bewertungszahl als Mittelwert über alle möglichen Faktorkombinationen und zusätzlich der Variationskoeffizient der Einzelwerte berechnet. Anschließend erfolgte eine Transformation der Bewertungszahlen in eine neunstufige Skala. Die Algorithmen wurden als Makros in einer Tabellenkalkulation implementiert. Die kartographische Bearbeitung führte das Institut für Angewandte Forschung, Fachhochschule Nürtingen durch.

3 Ergebnisse und Diskussion

Das vorgestellte Bewertungsverfahren liefert auf der Grundlage einer ökologischen Standort-eignungskarte eine landesweite Übersicht über das Filter- und Puffervermögen der landwirtschaftlich genutzten Böden Baden-Württembergs für Säuren und Schwermetalle für raumplanerische Zwecke. Zusammenhängende Waldgebiete sind standortskundlich nicht beschrieben und in der Karte grau dargestellt. Standortkomplexe mit stark variierenden Filter- und Puffereigenschaften sind durch Punktschraffur hervorgehoben. Die Daten liegen in digitaler Form vor und sind Teil eines landesweiten Agrarökologischen Informationssystems (DURWEN et al. 1994).

Aus Zielsetzung und Maßstab der zugrundeliegenden Karte ergeben sich folgende Einschränkungen für die Anwendung daraus abgeleiteter Karten:

- die ermittelten Schätzwerte dürfen nur auf der Ebene von Standortkomplexen interpretiert werden (wegen z.T. erheblicher Flächenvariabilität)
- Aussagen über eine Grundwassergefährdung sind wegen fehlender Klimadaten nicht möglich
- die Prognose der Schwermetallbindung erfolgt für „mobile“ Elemente (z.B. Cd) und geht von gering belasteten Standorten aus. Vorbelastungen verringern die Filter- und Pufferwirkung.

4 Literatur

- Durwen, K.-J., F. Weller, H. Beck, W. Bortt, S. Klein u. C. Tilk (1994): Ein landesweites Agrarökologisches Informationssystem auf der Basis der Standort-Eignungskarten. - Agrarinformatik 2, 93-98.
- DVWK (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. - DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft 212, 8 S.
- Ulrich, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. - Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144, 289-305.
- Weller, F. (1990): Ökologische Standort-eignungskarte für den Landbau in Baden-Württemberg 1:250000. - Hrsg.: Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart.

Vorschlag zur Substratsystematik

vom

Arbeitskreis für Bodensystematik der DBG
(Diskussionsstand April 1995, Ergänzungen Juli 1995)

verantwortliche Bearbeiter: Altermann, M.¹ und D. Kühn²

1. Ziele der Substratsystematik

- Eine umfassende Kennzeichnung der Böden ist nur durch die Angabe pedogener **und** lithogene Merkmale möglich.
- Die pedogenen Merkmale und Eigenschaften der Böden sind weitgehend aus dem Horizontaufbau ableitbar, der aber nur in Ausnahmefällen die lithogene Kennzeichnung ausdrückt. Damit die bodensystematischen Einheiten nicht überfrachtet werden, sollen lithogenetische Aspekte nicht oder nur dann eingebracht werden, wenn sie zur Kennzeichnung pedogenetischer Vorgänge unbedingt notwendig sind. In jedem Fall soll mit Hilfe des **Substrats** das geologische Ausgangsmaterial der Böden nach bodenkundlich relevanten Merkmalen klassifiziert und systematisiert werden.
- Analog zur Bodensystematik muß auch die Substratsystematik ein hierarchisches System widerspiegeln, das eine einheitliche und vergleichbare sowie geregelte Ansprache der Substrate für verschiedene Anforderungen (z.B. Kennzeichnung von Bodenprofilen sowie Kartiereinheiten) und auf verschiedenen Niveaus ermöglicht. Die Substratsystematik mit ihren Hierarchiestufen soll dabei die Grundregeln liefern, um die Substratkennzeichnung mit unterschiedlicher Intensität und Differenziertheit einheitlich durchführen zu können. Dabei sind Regeln zu aggregierter und differenzierter Ansprache unerlässlich.
- Die Substratsystematik fußt auf der KA 4, und sie ist notwendig für die Bodenformensystematik.
- Das Kernstück der Substratsystematik ist die Gliederung der Substrate in **Substratarten**, die die Substratzusammensetzung und die Substratgenese in einem hierarchischen System widerspiegelt.
- Durch die Verknüpfung der in der Substratartengliederung ausgewiesenen Merkmale sowie durch die differenzierte Ansprache der vertikalen Substratabfolgen lassen sich verschiedene **substratsystematische Einheiten** ausweisen.

¹⁾ Büro für Bodenökologie, Bodenkartierung, Bodenschutz, Kefersteinstr. 3, 06110 Halle

²⁾ Landesamt für Geowissenschaften u. Rohstoffe Brandenburg, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow

2. Gliederung der Substrate

Die **Substratart** (synonym i.e.S. auch als Substrat bezeichnet) ist eine Klassifikationseinheit nach der Körnung und weiteren bodenkundlich relevanten lithologischen Merkmalen unter Ausschluß der Schichtung:

- **Substratzusammensetzung:**
 - **Körnung: Grobboden, Feinboden,**
 - **Zusatzmerkmale: Kalk-, Kohlegehalt (Kohlegehalt nur bei Kippböden)**
 - **Gesteine:**
 - zur Differenzierung der organischen Gesteine,**
 - zur Differenzierung der Ausgangsgesteine der Substrate,**
 - zur Differenzierung der Festgesteine des Anstehenden.**
- **Geogenese (Substratgenese).**

Die Differenzierung und Ansprache nach den genannten Kriterien in den verschiedenen Kategorien der Substratgliederung geht aus der Tabelle 1 hervor.

3. Substratsystematische Einheiten

Durch Verknüpfung der verschiedenen Merkmale gemäß der Substratartengliederung und unter Berücksichtigung der vertikalen Substratabfolge werden **substratsystematische Einheiten** gebildet (Abb. 1). Für die Hierarchiestufen substratsystematischer Einheiten werden in Anlehnung zur Bodensystematik folgende Kategorien unterschieden: **Substratklasse, Substrattyp, Substratsubtyp**. Dabei werden in der Substratklasse die Substrate in ihrer vertikalen Abfolge auf dem Niveau der Substratartengruppe gekennzeichnet. Für Substrattypen wird zur Substratcharakterisierung das Niveau der Substratart, für Substratsubtypen das der Substratunterart herangezogen. Lediglich für das Niveau der Substratsubtypen können unterhalb 12 dm im Bedarfsfall die Merkmale der Substratart miteinander verknüpft werden. Das Beispiel in der Tabelle 2 veranschaulicht diese Verfahrensweise (siehe auch Tabelle 4).

Die vertikale Kennzeichnung der Substratabfolgen wird in den verschiedenen Kategorien substratsystematischer Einheiten folgendermaßen differenziert (vergl. Tabelle 3):

- **Festlegung der Anzahl der Substrate in der Vertikalabfolge,**
- **Begrenzung der Substratansprache in der Tiefe,**
- **tiefenstufenabhängige Klassifizierung der Substratwechsel.**

Diese Regelung läßt von der Substratklasse zum Substratsubtyp hin eine stärkere Differenzierung der Substratkennzeichnung zu (siehe Abb. 2). Die Kategorie des Substratsubtyps ist vorrangig für die Profilkennzeichnung vorgesehen. Die übergeordneten Kategorien werden vordringlich für die Kennzeichnung von Bodengesellschaften herangezogen (in den Darstellungen jeweils gerastert gekennzeichnet).

Beispiele für die Ansprache der Substrate und deren vertikaler Abfolgen auf den verschiedenen Niveaus substratsystematischer Einheiten vermitteln die Tab. 4 sowie die Abb. 2. Im Beispiel des Blockbilds wird die zunehmende Differenzierung von der Substratklasse (6 Substratklassen) zum Substratsubtyp (10 Substratsubtypen) hinsichtlich der Anzahl, der Substratzusammensetzung, Substratgenese, Tiefenansprache und Vertikalabfolge deutlich.

Tabelle 1: Kriterien der Substratartengliederung

Substratarten-kategorie	Substratzusammensetzung								Geo-genese (Substrat-genese)
	Lockergestein							Festge-stein des An-stehenden	
	mineralisches Lockergestein					organisches Lockergestein	Ausgangs-gestein der Substrate		
	Skelett		Feinboden	Kalkanteil (CaCO ₃)	Kohle-anteil (C _l)				
Art	Anteil	Angabe bei > 2 M.-%				Angabe bei > 2 M.-%	Angabe bei > 2 M.-%		
Substratarten-gruppe	zu Skelett zusammengefaßte Grobbodenarten	3 Klassen	Bodenartenhauptgruppe; Feinbodenangabe für Löß und Sandlöß entfällt, da durch die geogenetischen Begriffe ausgedrückt	Angabe bei > 2 M.-%	keine Angabe	Torf, Kohle	ohne Kennzeichnung	Gestein: carbonathaltiges Gestein, carbonatfreies Gestein	Kennzeichnung: anthropogene Genese; keine Kennzeichnung: natürliche Genese
Substratart	Grobbodenart	5 Klassen	Bodenartenhauptgruppe; Feinbodenangabe für Löß, Sandlöß, Lößsand, Flug-sand entfällt, da durch die geogenetischen Begriffe ausgedrückt	Angabe bei > 2 M.-%	Angabe bei > 2 M.-%	Torfarten-gruppe, Kohle	dominierende Gesteinsarten-gruppe für Substrate aus Festgesteinen	Gesteinsarten-gruppe	Genese-gruppe
Substratunterart	Grobbodenart	6 Klassen	Bodenartengruppe; Feinbodenangabe für Löß, Sandlöß, Lößsand, Flug-sand entfällt, da durch die geogenetischen Begriffe ausgedrückt	Angabe bei > 2 M.-% in 3 Klassen	Angabe bei > 2 M.-% in 2 Klassen	Torfarten-gruppe, Kohleart	dominierende Gesteinsart für Substrate aus Festgesteinen; für Lockergesteine nur, wenn deren Ausgangsgesteine durch Substratgenese nicht eindeutig	Gesteinsart	Geneseunter-gruppe
s. Abb.:	3 und 5	3 und 5	4 und 5	4	4	4	6	6	7

Tabelle 2: Beispiel für die Bildung substratsystematischer Einheiten auf der Basis verschiedener Kategorien der Substratartengliederung gemäß Tab. 1

substratsystematische Einheit	Substratartengliederung	Substratbezeichnung	Substratsymbol
Substratklasse ← →	Substratartengruppe	<i>Carbonatskelettelem</i>	evl
Substrattyp ← →	Substratart	<i>kiesführender Moränencarbonatlem</i>	g-(k)el
Substratsubtyp ← →	Substratunterart	<i>schwach kiesführender Grundmoränenkalksandlem</i>	gm-(k1)csl

Tabelle 3: Kriterien für die verschiedenen Kategorien der substratsystematischen Einheiten unter Berücksichtigung der vertikalen Substratabfolge

Substratsystematische Einheit	Anzahl der Substrate in der Vertikalabfolge	Ansprache- und Tiefenbereiche der Substratwechsel		Benennung der Abfolge	Kennzeichnung der Abfolge im Symbol
		max.Tiefe	Substratwechsel		
Substratklasse	bis 2 Substrate der Kategorie Substratartengruppe	0 - 12 dm	3 - 7 dm 7 - 12 dm	... über über tiefem/... ...//...
Substrattyp	bis 2 Substrate (Regelfall), bzw. bis 3 Substrate (bei extremen Substratunterschieden) der Kategorie Substratart	0 - 12 dm	0 - 3 dm 3 - 7 dm 7 - 12 dm	flacher ... über über über tiefem ...	\.../... .../... ...//...
Substratsubtyp	bis 4 Substrate der Kategorie Substratunterart oder im Bedarfsfall ab 12 dm unter Flur Substratart	0 - 20 dm	0 - 3 dm 3 - 7 dm 7 - 12 dm 12 - 20 dm	flacher ... über über über tiefem über sehr tiefem ..	\.../... .../... ...//... ...///...
weitere Differenzierung durch Berücksichtigung lokaler Besonderheiten möglich					

Tabelle 4: Beispiele für die verschiedenen Kategorien der substratsystematischen Einheiten

substrat-systematische Einheit	Symbol und Bezeichnung der substratsystematischen Einheit
Substratklasse	<p style="text-align: center;">vs//vl <i>Skelettsand über tiefem Skelettlehm</i></p>
Substrattyp	<p style="text-align: center;">p-(k)s//p-(k)l <i>kiesführender (Kryo-)Sand über tiefem kiesführenden (Kryo-)Lehm</i></p>
Substratsubtyp	<p style="text-align: center;">pky-(k1)ls//pfl-(k2)s//lgm-(k2)ll <i>schwach kiesführender Kryoturballehmsand über tiefem stark kiesführenden Flieβsandlehm über sehr tiefem stark kiesführenden Grundmoränennormallehm</i></p> <p style="text-align: center;">oder im Bedarfsfall bei Substraten tiefer 12 dm unter Flur</p> <p style="text-align: center;">pky-(k1)ls//pfl-(k2)s//lg-(k)l <i>schwach kiesführender Kryoturballehmsand über tiefem stark kiesführenden Flieβsandlehm über sehr tiefem kiesführenden Moränenlehm</i></p>

Die Substratsystematik befindet sich weiter in Diskussion.

Hinweise und Änderungsvorschläge senden Sie bitte umgehend an die genannten verantwortlichen Bearbeiter!

Abb. 1

Baukastenprinzip zur Substratkennzeichnung natürlicher Substrate

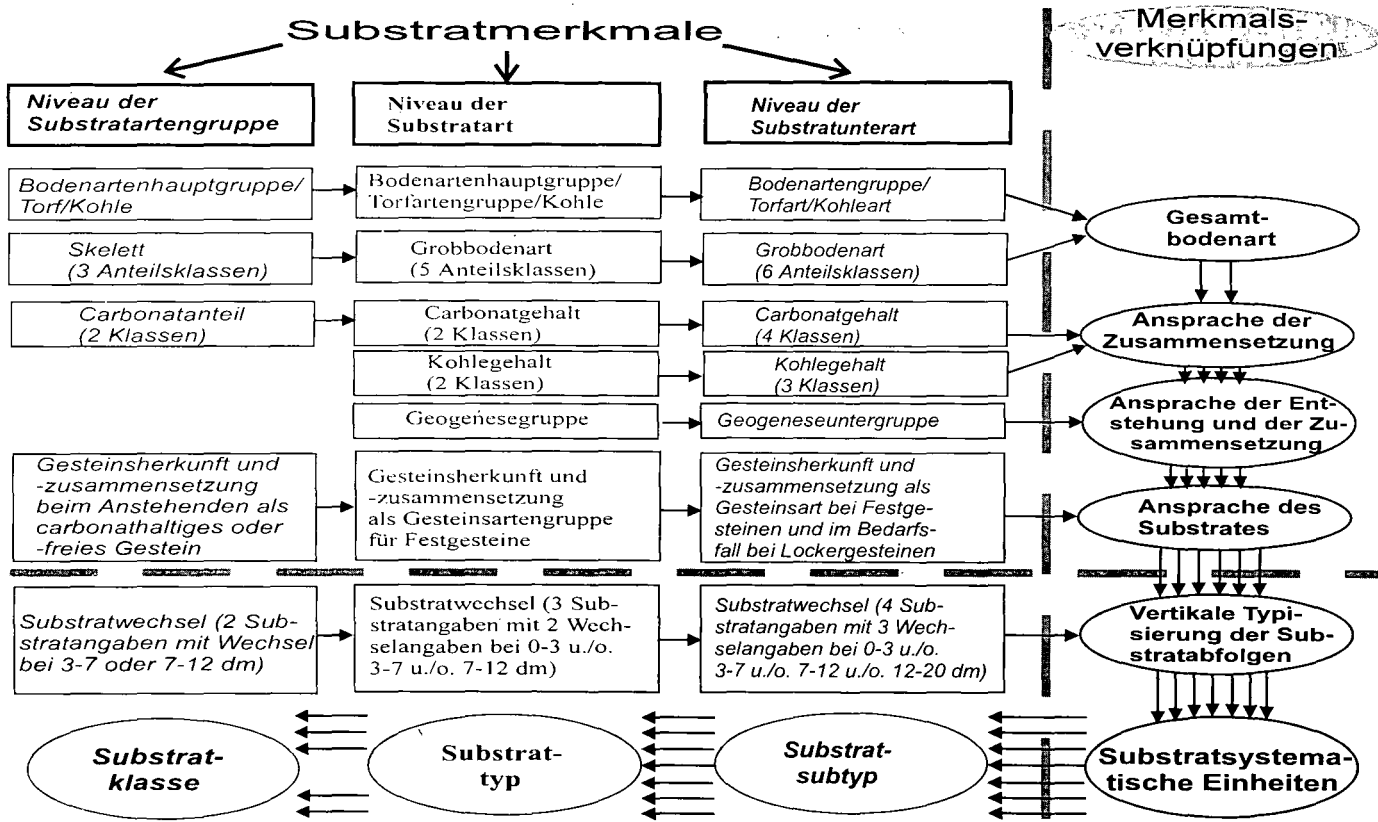


Abb. 2

Bildung und Abgrenzung von substratsystematischen Einheiten

skeletthaltige Lehmböden	skeletthaltige Sandböden		Sandböden
Substratklasse			
vl/evl		vs/vl	
vl		s	
Substrattyp			
p-(k)l/g-ekl(Mg)		p-(k)s(Sp)/p-(k)/(Mg)	
p-(k)s(Sp)/p-(k)l(Mg)		p-(k)s(Sp)/p-(k)/(Mg)	
Substratsubtyp			
pfl-(k2)sl /gm-ckll(Mg)		pky-(k1)ls(Sp)/pfl-(k2)sl /gm-ckll(Mg)	
pky-(k1)ls(Sp)/pfl-(k2)sl /gm-ckll(Mg)		pky-(k1)ls(Sp)/pfl-(k2)sl /gm-ckll(Mg)	
pfl-(k2)sl /gm-ckll(Mg)		pky-ls(Sp)/fg-ss(sdr) /pfl-(k2)sl(Mg)	
pfl-(k2)sl /gm-ckll(Mg)		pky-ls(Sp)/fg-ss(sdr) /pfl-(k2)sl(Mg)	
pfl-(k2)sl /gm-ckll(Mg)		pky-ls(Sp)/fg-ss(sdr) /pfl-(k2)sl(Mg)	

- reiner Sand ohne Skelett
- schwach lehmiger Sand mit < 2 Vol.-% Kies
- schwach lehmiger Sand mit > 2 Vol.-% Kies
- mittel lehmiger Sand mit 2 - 25 Vol.-% Kies
- stark sandiger Lehm mit 25 - 50 Vol.-% Kies
- Steinanreicherung (Steinsohle) an des Basis des Geschiebedecksandes

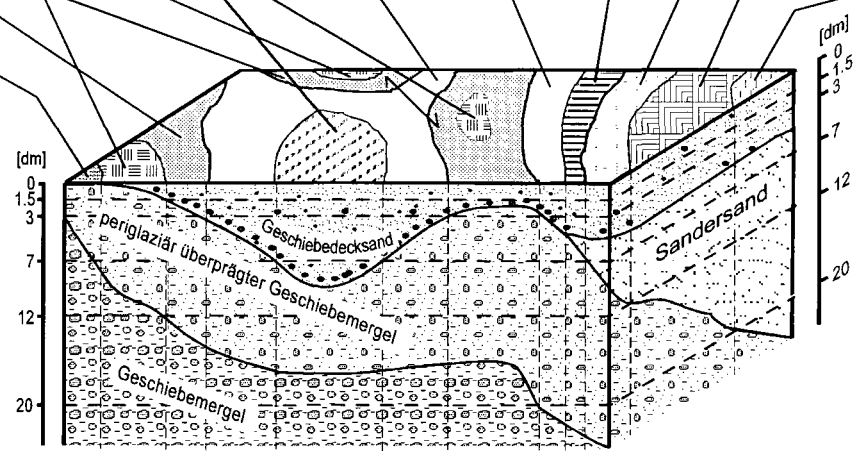
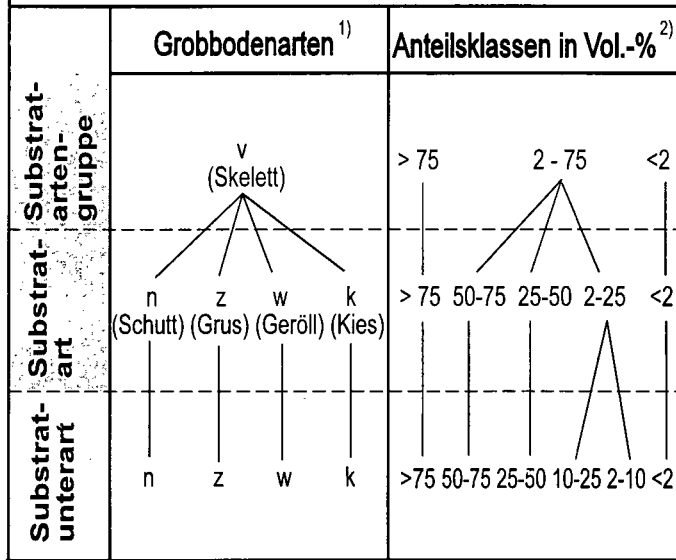


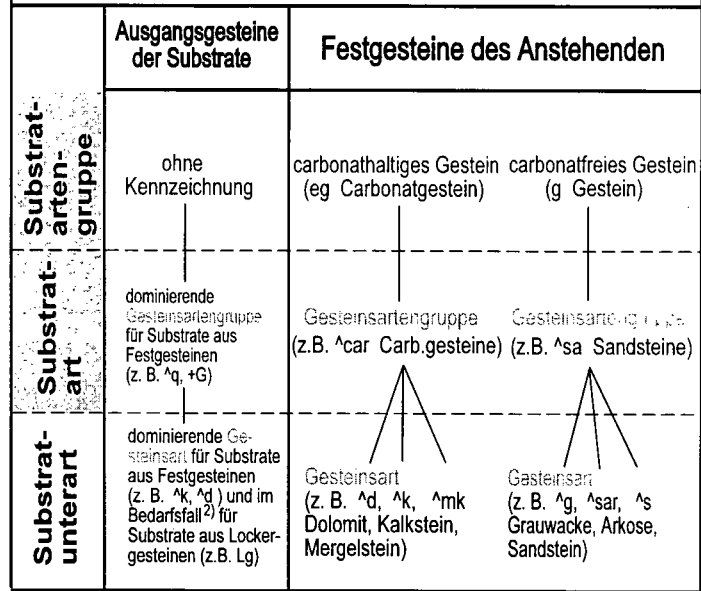
Abb. 3 Kategorien der Substratartengliederung
Merkmal: **Grobboden**



1) Ansprache nach der Dominanz von Grobbodenfraktionen (siehe Darstellung der Verknüpfung von Grob- und Feinboden):
 n Schutt = Dominanz kantiges Skelett > 63mm Durchmesser
 z Grus = Dominanz kantiges Skelett < 63mm Durchmesser
 w Geröll = Dominanz gerundetes Skelett > 63mm Durchmesser
 k Kies = Dominanz gerundetes Skelett < 63mm Durchmesser

2) Ansprache siehe Darstellung der Verknüpfung von Grob- und Feinboden

Abb. 6 Kategorien der Substratartengliederung
Merkmal: **Gesteine** ¹⁾



1) Kennzeichnung zur Charakterisierung der Zusammensetzung und Herkunft der Substrate (in den Kategorien Substratart und Substratunterart nach Symbolschlüssel Geologie)

2) wenn aus der Substratgenese das geologische Ausgangsgestein nicht zweifelsfrei herleitbar ist, z. B. periglaziär überprägter Geschiebelehm (primär kalkfrei)

Abb. 4

Kategorien der Substratartengliederung

Merkmal: **Feinboden, Kalk-, Kohleanteil**

Substrat- unterart	Substrat-Substrat- art	Substrat-Substrat- artengruppe	mineralischer Feinboden				organisches Lockergestein
			äolisches Lockergestein	Kömung	Kalkanteil (CaCO ₃)	Kohle- anteil (C _x)	
<p>↓ technische mineralische Sondersubstrate (Mw, Kg, ...)¹⁾</p> <p>↓ natürliche mineralische Sondersubstrate (Mw, Kg, ...)²⁾</p>	<p>ö (Löß)</p> <p>ö (Sand)</p> <p>as (Flugsand)</p> <p>ös (Lössand)</p>	<p>ö s (Löß)</p> <p>ös s (Sand)</p>	<p>Bodenartengruppe</p> <p>s (Sand) l (Lehm) u (Schluff) t (Ton)</p>	<p>e... (>2 Masse-%, z.B. el Carbonatlehm)</p> <p>e... (>2 Masse-%, z.B. el Carbonatlehm)</p>	<p>ohne Kennzeichnung</p> <p>b... (>2 M.-%, z.B. bl köhligler Lehm)</p>	<p>X (>30 M.-% C_x; Kohle)</p> <p>H (>15 M.-% C_x; Torf)</p>	
<p>ö</p> <p>sö</p> <p>as</p> <p>ös</p>	<p>ö</p> <p>sö</p> <p>as</p> <p>ös</p>	<p>ö s</p> <p>ös s</p>	<p>Bodenartengruppe</p> <p>ss (Reinsande) sl (Lehmsande) us (Schluffsande) sl (Sandlehme) ll (Normallehme) tl (Tonlehme) su (Sandschluffe) lu (Lehmschluffe) tu (Tonschluffe) ut (Schlufftone) lt (Lehmtone)</p>	<p>c... (2-25 Masse-%, z.B. clis Kalklehm sand) c... (25-75 Masse-%, z.B. lsc Lehmsandkalk) c... (>75 Masse-%, Kalk)</p>	<p>x... (2-15 Masse-%, z.B. xlis Kohlelehm sand) x... (15-30 Masse-%, z.B. lslx Lehmsandkohle)</p>	<p>Kohleart</p> <p>^brk (Braunkohle) ^stk (Steinkohle)</p> <p>Hh (Hochmoortorf) Hu (Übergangsmoortorf) Hn (Niedermoortorf)</p>	

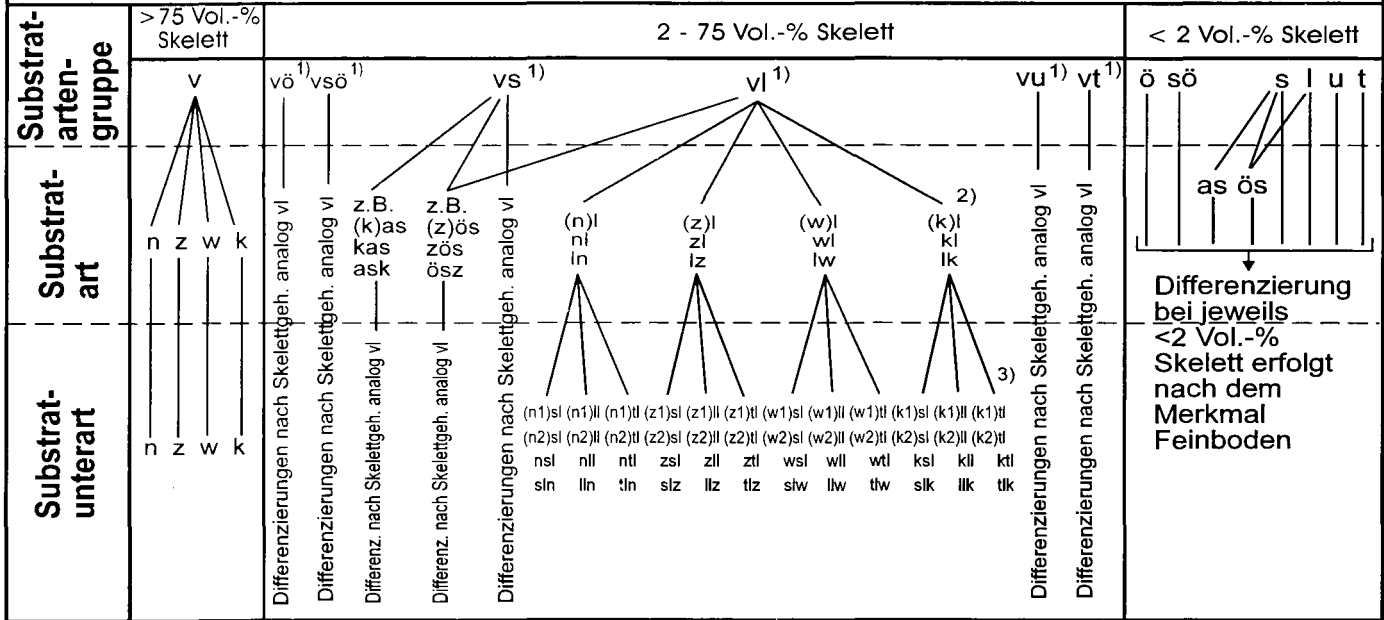
1) technogene Substrate werden auf allen Ebenen als Sondersubstrate behandelt, z.B. Yü Müll, Yb Bauschutt (nach KA 4 - keine Bodenartenansprache)

2) Begriffe und Kurzzeichen nach Symbolschlüssel Geologie, z.B. Mw Wiesenmergel (nach KA 4 - keine Bodenartenansprache)

Abb. 5

Kategorien der Substratartengliederung

Verknüpfung von Grob- und Feinboden

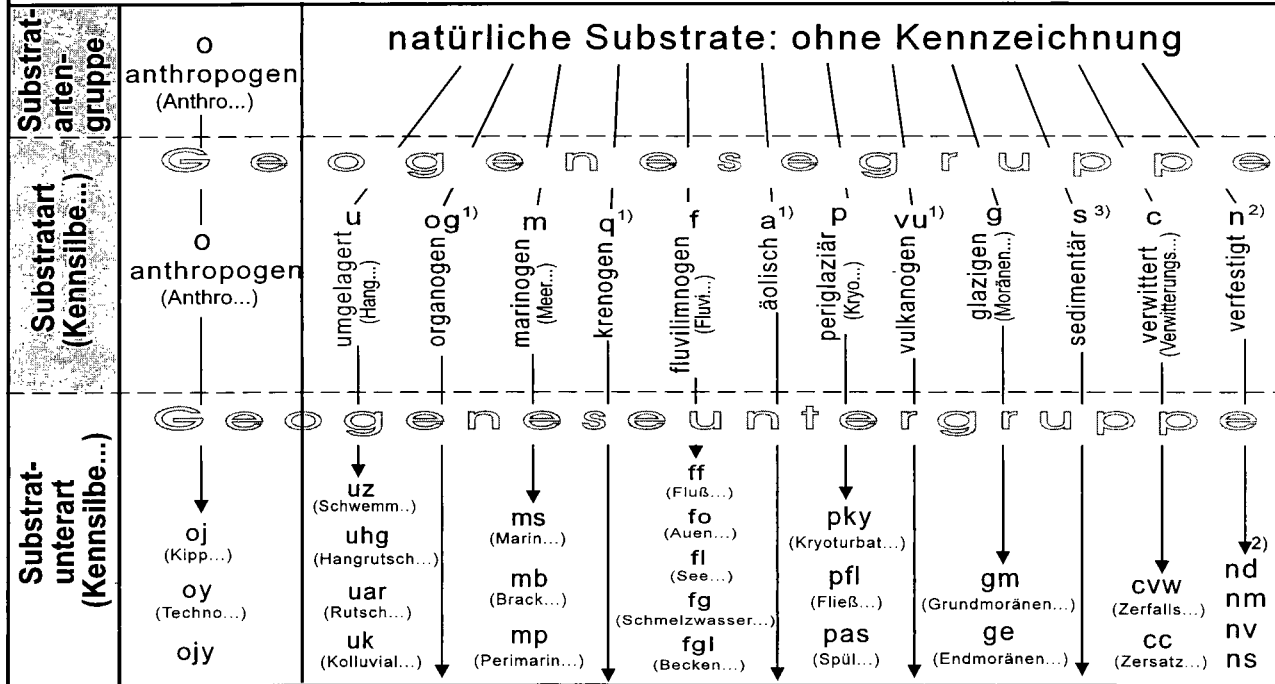


- 1) vö Skelettlöß, vsö Skelettsandlöß, vs Skelettsand, vl Skelettlehm, vu Skelettschluff, vt Skeletton
- 2) Beispiele für Bezeichnungen: (n)l schuttführender Lehm (2 - 25 Vol.-% Skelett als Grobbodenart Schutt)
zl Gruslehm (25 - 50 Vol.-% Skelett als Grobbodenart Grus)
- 3) Beispiele für Bezeichnungen: (k1)sl schwach kiesführender Sandlehm (2 - 10 Vol.-% Skelett als Grobbodenart Kies)
(z2)tl stark grusführender Tonlehm (10 - 25 Vol.-% Skelett als Grobbodenart Grus)

Abb. 7

Kategorien der Substratartengliederung

Merkmal: **Geogenese (Substratgenese)**



1) Substratkennzeichnung durch Verknüpfung von Geogenese- und Gesteinssymbol ("Sondersubstrate" nach KA 4)

2) ohne Kennsilbe; n, nd, nm, nv, ns werden nur als Kurzzeichen verwendet (z. B. nd-As diagenetisch verfestigter Sandstein)

3) ohne Kennsilbe; s nur als Kurzzeichen in Verbindung mit Grob- und Feinbodenansprache für präquartäre Lockergesteine

100 Jahre Agrar- und Umweltforschung Bad Lauchstädt

von

Körschens, M.

Die Landwirtschaft ist der älteste Wirtschaftszweig der Geschichte. Es galt und gilt noch heute der Grundsatz: Wir leben auf dem Boden von dem, was der Boden hergibt. Er stellt die Existenzgrundlage der Menschen dar, nicht nur in Bezug auf die Nahrungsmittelproduktion. Er ist, unter Einbeziehung von Wasser und Luft, Gestaltungsgrundlage unseres Lebensraumes. Seine lebenswichtige Rolle wird gerade in unserer Region angesichts des derzeitigen Überschusses an Nahrungsmitteln oftmals vergessen und alle anderen Funktionen des Bodens bleiben unberücksichtigt.

Die Landwirtschaft nahm in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts einen stürmischen Aufschwung. Mit der Einführung der Mineraldüngung und mit LIEBIG's Vorstellungen zum Ausgleich der Nährstoffbilanz wurde eine Entwicklung eingeleitet, die einerseits der Landwirtschaft einen entscheidenden Auftrieb gab, andererseits eine wissenschaftliche und vor allem experimentelle Bearbeitung zur Lösung der damit verbundenen Probleme erforderte.

Bereits 1843 wurden in Rothamsted in England die ersten Düngungsversuche angelegt. Die Tatsache, daß diese Versuche zu Dauerversuchen wurden und heute, nach 150 Jahren, zu den ältesten Dauerdüngungsversuchen der Welt zählen, ist nicht zuletzt dem wissenschaftlichen Meinungsstreit zwischen LAWES und GILBERT auf der einen und LIEBIG auf der anderen Seite zu verdanken.

Die Notwendigkeit, die neuen Theorien der Nährstoffdynamik und -verfügbarkeit experimentell zu untermauern, wurde allgemein für unumgänglich gehalten und besonders von KÜHN und MAERCKER praktisch umgesetzt. Julius KÜHN hatte im Jahre 1862 das Landwirtschaftsstudium an der Universität Halle begründet und 1878 den Dauerdüngungsversuch „Ewiger Roggenbau“, der heute der älteste Dauerversuch Deutschlands ist, angelegt. MAERCKER wurde 1871 im Alter von 29 Jahren bereits zum Leiter der agrilkulturchemischen Versuchsstation des Landwirtschaft-

lichen Zentralvereins der Provinz Sachsen in Halle berufen und 1872 zum a. o. Professor ernannt. Unter seiner Leitung wurde das Versuchs- und Untersuchungswesen ständig erweitert.

Als logische Folge der großen Fortschritte in der Agrarwissenschaft wurde am 1. Oktober 1895 die „Versuchswirtschaft Bad Lauchstädt“ von Prof. Dr. Max MAERCKER gegründet. Sein Ziel war es, „die Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung durch die Praxis eines größeren Betriebes zu erproben und die gewonnenen Resultate in die große Praxis einzuführen“.

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

wir haben Ihnen mit den Tagungsunterlagen eine ausführliche Darstellung zur Geschichte der Forschungsstätte Bad Lauchstädt übergeben. Ich möchte an dieser Stelle auf einige Schwerpunkte der Entwicklung und die wichtigsten Ergebnisse hundertjähriger Forschung eingehen.

Zuvor möchte ich meine ganz besondere Freude darüber zum Ausdruck bringen, daß wir heute neben vielen ehemaligen Mitarbeitern und Gästen auch alle Direktoren und Leiter der Forschungseinrichtung der letzten 50 Jahre hier begrüßen können.

Unmittelbar nach der Gründung der Forschungseinrichtung begann eine intensive Versuchstätigkeit. Im Vordergrund standen

- Feldversuche zur Prüfung unterschiedlicher Sorten und Düngungsvarianten
- Versuche zur unterschiedlichen Aufbereitung und Anwendung von Stallung sowie
- Fütterungsversuche

Einen großen Umfang nahm von jeher die Untersuchungs- und Kontrolltätigkeit ein. Im Zeitraum von 1913 bis 1950 hatte sich z. B. die Untersuchung von Saatgutproben von 16 000 auf 28 000 und die von Bodenproben von 200 auf 140 000 pro Jahr gesteigert.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Versuchs- und Untersuchungstätigkeit unter MAERCKER war bereits um die Jahrhundertwende die Aufbereitung, Lagerung und der Einsatz von Stallung. Seine Arbeiten haben zu damaliger Zeit starke Beachtung im In- und Ausland gefunden. Die Verbindung mit der Praxis war ein vorrangiges Anliegen von MAERCKER. BAHN u. a. (1995) führen dazu aus:

“Der sehr beachtliche Einfluß, der vom Landwirtschaftlichen Institut der Universität Halle unter Leitung von J. KÜHN und von der agrikulturchemischen Versuchsstation in Halle, vor allem durch MAERCKER persönlich, auf die landwirtschaftliche Praxis der näheren und weiteren Umgebung von Halle ausging, hatte bewirkt, daß die Provinz Sachsen seitdem an der Spitze der Agrarwissenschaft und -praxis Deutschlands stand. Hier, inmitten einer Landschaft mit hoch entwickelter Ackerkultur und tüchtigen Landwirten, fielen die Lehren SPRENGEL's, LIEBIG's

und MAERCKER's bald auf fruchtbaren Boden. Es wird gesagt, daß in der Provinz Sachsen die Wiege aller Bodenkulturen gestanden hat.“

Die Landwirte der ehemaligen Provinz Sachsen vollbrachten schon damals Pionierleistungen.

Die Gründe dafür waren nicht allein die vorherrschend guten Böden in dieser Region, sondern ebenfalls das gute Zusammenwirken zwischen Wissenschaft und Praxis, das auch in allen folgenden Jahrzehnten die Forschungsarbeiten dieser Einrichtung bestimmte.

Nach dem Tode MAERCKER's im Jahre 1901 übernahm SCHNEIDEWIND die Leitung der agrikulturchemischen Versuchsstation in Halle mit der Versuchswirtschaft Bad Lauchstädt und legte 1902, zusammen mit GRÖBLER, den Statischen Düngungsversuch an, der heute zu den bedeutendsten Dauerdüngungsversuchen der Welt zählt, nicht zuletzt weil hier eine nahezu lückenlose Dokumentation aller in den vergangenen 90 Jahren erzielten Ergebnisse vorliegt. Sie sind u. a. in rd. 80 wissenschaftlichen Veröffentlichungen dokumentiert.

Das Spektrum der von MAERCKER begonnenen und von SCHNEIDEWIND, MÜNTER u. a. weitergeführten Versuchs- und Untersuchungstätigkeit war sehr weit und umfaßte neben den Fragen der organischen Düngung und der Sortenprüfung Probleme des Pflanzenschutzes, der Anbautechnik und Fruchtfolgegestaltung sowie Qualitätsbestimmungen, z. B. zur Backqualität von Getreide. Im Jahre 1924 enthielt die Sortenprüfung allein von Winterweizen 78 Sorten.

Um die Jahrhundertwende wurden insbesondere bodenbiologische und -bakteriologische Untersuchungen begonnen. So ist die Entdeckung des N-bindenden Bakteriums *Azotobacter chroococcum* KRÜGER zuzusprechen und nicht, wie fälschlicherweise in der Literatur angegeben, BEIJERINCK.

Bis 1916 wurden außerdem Fütterungsversuche durchgeführt.

Ab Mitte der dreißiger Jahre wurde unter SELKE, der von 1938 bis 1942 die Forschungsstätte leitete, der Einfluß der mineralischen Düngung auf Ertrag und Qualität verschiedener Fruchtarten, insbesondere aber bei Getreide, untersucht. Mit seinen Arbeiten zur „Stickstoffspätdüngung“ zu Getreide konnte er nachweisen, daß durch eine zeitlich und mengenmäßig gestaffelte Stickstoffdüngung nicht nur die Qualität des Getreidekorns, sondern auch die Kornträge wesentlich gesteigert werden können. Dabei konnten Mehrträge von 15 bis 20 % erreicht werden. Dieses Verfahren hat weltweit Anerkennung gefunden und ist heute selbstverständlicher Bestandteil jeder Düngungsstrategie.

Den II Weltkrieg hat die Forschungsstätte relativ unversehrt überstanden. Sie wurde ab 1945 als „Landesversuchsanstalt der Landesregierung Sachsen-Anhalt“ weitergeführt. Prof. Dr. Hans RÜTHNER übernahm die Leitung der „Landesversuchsanstalt“ und späteren „Forschungsstelle für

Acker- und Pflanzenbau“. Im Zuge der Bodenreform war die Domäne Lauchstädt mit einer Gesamtfläche von 460 ha wieder an die Forschungsstätte gelangt. Als Lehr- und Versuchsgut hat sie unter Leitung von LUCHS, später unter MENDE, eine hervorragende Rolle bei der Erprobung und Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis gespielt.

Die Forschungsstelle für Acker- und Pflanzenbau wurde 1951 der neugegründeten Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin zugeordnet und 1953 zusammen mit dem Landwirtschaftlichen Untersuchungsamt Halle zum „Institut für Landwirtschaftliches Versuchs- und Untersuchungswesen Halle-Lauchstädt“, als eines der fünf Institute der Sektion 10 der Akademie, vereinigt. Als Voraussetzung zur Lösung der neuen Aufgaben wurden in den Folgejahren ein Laborgebäude, zwei Gewächshäuser, eine Vegetationshalle und zwei Wohnhäuser gebaut.

Im folgenden begann eine für die Wissenschaft und Praxis gleichermaßen segensreiche und intensive Versuchstätigkeit. Zum Institut gehörten sechs Versuchsstationen, die sich vom Harzvorland bis zu den leichten Sandböden der Altmark über das gesamte Gebiet der damaligen Bezirke Halle und Magdeburg erstreckten. Die Gesamtversuchsfläche betrug z. B. im Jahre 1955 mehr als 100 ha mit rund 25 000 Versuchspartikeln. Hinzu kamen sieben Arbeitsgebiete für das Versuchswesen in der Praxis mit der Aufgabe, Feldversuche in den Landwirtschaftsbetrieben durchzuführen und wissenschaftliche Erkenntnisse in die Praxis zu übertragen. Im Vordergrund standen zu dieser Zeit ebenfalls Sortenprüfungen, die bis zum Jahre 1969 generell Bestandteil des Experimentalprogramms waren, sowie Düngungs- und anbautechnische Fragen.

Unter den Bedingungen dieser Zeit und im Hinblick auf die Auswirkungen des II. Weltkrieges standen unter der Federführung von RÜTHER anbautechnische Versuche mit Öl- und Körnerhülsenfrüchten im Vordergrund, um Möglichkeiten zur Schließung der Fett-/Eiweißlücke, vor allem für die menschliche Ernährung, aufzuzeigen.

In den folgenden Jahren rückte die Fruchtfolgeforschung in den Vordergrund. In mehreren Versuchsstationen wurden Dauerversuche zu dieser Fragestellung angelegt und über einen langen Zeitraum durchgeführt. Diese Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit der Universität Halle, deshalb dürfen an dieser Stelle die Namen ROEMER und KÖNNECKE nicht unerwähnt bleiben. Beide Wissenschaftler haben sich um den Fortschritt der Wissenschaft und um die Übertragung wissenschaftlicher Ergebnisse in die Praxis in gemeinsamer Arbeit mit dem Institut Bad Lauchstädt verdient gemacht.

Mit der Neuorientierung des Versuchswesens im Jahre 1962 wurde Bad Lauchstädt in ein „Institut für Saatgut und Ackerbau“ umgewandelt

Einen wesentlichen Schwerpunkt in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts bildeten die Arbeiten zur Feldversuchsmethodik. Die bis dahin angewendeten, vielfach noch systematischen, Anlagemethoden entsprachen nicht mehr den aktuellen Anforderungen zur Prüfung komplexer Fragestellungen und der Forderung nach immer höherer Genauigkeit, um die zwangsläufig zunehmend geringer werdenden Prüfglieddifferenzen noch als signifikant nachweisen zu können. So wurde von der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften eine „Arbeitsgemeinschaft zur Versuchsmethodik“ gebildet und RÜTHER mit der Leitung dieser Arbeitsgemeinschaft beauftragt. In den folgenden Jahrzehnten waren es vor allem BÄTZ, BAHN, DÖRFEL und HOFFMANN, die auf dem Gebiet der Planung und Auswertung von Feldversuchen grundlegende Erkenntnisse erarbeiteten. Die Ergebnisse sind in zahlreichen Fachzeitschriften und mehreren Büchern veröffentlicht.

Von besonderer Bedeutung waren die Arbeiten zur Standardisierung auf dem Gebiet des Feldversuchswesens. Damit wurde eine wesentliche Grundlage für das Verständnis und für die Qualifizierung der Feldversuchsdurchführung und -auswertung geschaffen.

Feldversuche sind ein unverzichtbares Erkenntnismittel, sie kosten aber auch viel Geld. Deshalb ist es notwendig, ihren Informationsgehalt umfassender zu nutzen. Diesem Ziel diente die Einrichtung eines „Archivs für Feldversuchsergebnisse“ im Jahre 1963.

In dem Archiv wurden alle Feldversuchsergebnisse der fünf Institute für Landwirtschaftliches Versuchs- und Untersuchungswesen sowie der Universitäten ab dem Jahre 1954 gespeichert, und es stand beliebigen Nutzern für sekundäre Auswertungen zur Verfügung. Dieser große Datenfonds mit den Ergebnissen von 30 000 Feldversuchen bildete eine wesentliche Basis für die Entwicklung des Düngungssystems durch das damalige Institut für Düngungsforschung in Leipzig.

Bei der Auswertung von Prüfmerkmalsdaten aus mehreren Einzelversuchen entsteht das Problem der Vergleichbarkeit dieser Daten und deren Präzision. Deshalb war es eine logische Folge, Fragen der Vergleichbarkeit von Daten aus Einzelversuchen und der Präzision der zu ermittelnden Prüfmerkmalswerte bereits in der Planungsphase der Feldversuche stärker zu berücksichtigen. Dazu wurde 1966 eine Koordinierungsstelle eingerichtet. Sie hatte die Aufgabe, entsprechende Abstimmungen zwischen den Versuchsanstellern herbeizuführen und diese bei der Wahl der Anlage- und Auswertungsmethoden zu beraten. Das „Institut für Saatgut und Ackerbau“ Bad Lauchstädt wurde im gleichen Jahr Leitinstitut für das Feldversuchswesen.

Für die sekundäre Auswertung von Daten aus dem Archiv für Feldversuchsergebnisse und die Speicherung der Versuchsdaten wurde das EDV-Projekt „Datenspeicher Versuchsergebnisse Pflanzenproduktion (DAVEP)“ entwickelt. Mit Hilfe dieses Projektes wurden bis 1989 Feldversuchsdaten der pflanzenbaulichen Institute der Akademie der Landwirtschaftswis-

senschaften und der Universitäten sowie des Sortenprüfungswesens ausgewertet und zentral gespeichert.

Ab 1989 werden ausschließlich Landessortenversuche erfaßt.

Diese Daten bilden u. a. eine wichtige Grundlage für die Evaluierung der genetischen Ressourcen in den Genbanken Deutschlands sowie für vielfältige weitere Möglichkeiten von Sekundärauswertungen. Das Projekt hat einen international anerkannten Standard.

Die Pflege der Daten, die Durchführung von Recherchen sowie die umfangreichen methodischen Arbeiten zu Problemen der Sekundärauswertung von Feldversuchsergebnissen werden heute von STEGEMANN weitergeführt.

Eine grundlegende Neustrukturierung der Forschungseinrichtung mit entsprechender Änderung der Aufgabenstellungen ergab sich als Folge der angestrebten Konzentration der Agrarforschung. Bad Lauchstädt wurde 1970 als Zweigstelle dem Institut für Acker- und Pflanzenbau Müncheberg zugeordnet und drei Jahre später in das Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin eingegliedert. Die „Koordinierungsstelle für Feldversuchswesen“ wurde dem Bereich Pflanzenproduktionsforschung der Akademie direkt unterstellt und BUHTZ deren Leitung übertragen.

Unter Leitung von EICH standen nun Fragen der Versorgung der Böden mit organischer Substanz im Vordergrund. Sie erstreckten sich von der Erarbeitung von Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an Kohlenstoff und Stickstoff bis zur Ausarbeitung von Verfahren der Düngestoffproduktion.

In den darauffolgenden Jahren wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Düngungsforschung, Bereich Potsdam, eine Humusbilanzmethode erarbeitet, die bereits 1979 flächendeckend in die Praxis eingeführt werden konnte.

Mit den weiteren Arbeiten, insbesondere unter Einbeziehung von Ergebnissen der Dauerversuche und umfangreicher Bodenuntersuchungen in diesen Versuchen, konnte ein entscheidender Beitrag zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Standort- und Bewirtschaftungsmaßnahmen und dem Gehalt des Bodens an organischer Substanz geleistet werden. 1986 wurden erstmalig Orientierungswerte für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz für grundwasserferne Sand- und Lößböden veröffentlicht.

Es wurden Richtlinien für den Einsatz von Seeschlamm zur Melioration humusverarmer Sandböden und von Niedermoortorf zur Melioration erodierter Kuppen ausgearbeitet und als Voraussetzung dazu die Abhängigkeit bodenphysikalischer Eigenschaften vom Humusgehalt quantifiziert.

Ein Schwerpunkt war ebenfalls der Einsatz von Stroh als organischer Dünger. Hierzu wurden acker- und pflanzenbauliche sowie verfahrenstechnische Lösungen ausgearbeitet.

Die verfahrenstechnischen Arbeiten brachten im Ergebnis neue Lösungen der komplexen betrieblichen Verfahrensgestaltung der organischen Düngung, insbesondere zur Herstellung und Ausbringung von Feldbaukomposten. Die Produktion von Feldbaukomposten betrug in der DDR rd. 12 Mio t und war ein wichtiger Faktor zur Abfallbeseitigung und zur Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Müllkomposten rückten auch Fragen des Bodenschutzes in den Vordergrund. Umfangreiche Untersuchungen zur Qualität von Hausmüllkomposten unter dem Aspekt der Schadstoffbelastung wurden durchgeführt und Einsatzbegrenzungen in Abhängigkeit vom Gehalt an Schwermetallen festgelegt. Im Vordergrund standen weiterhin Arbeiten zum Abbaueverlauf polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe im Boden sowie PAK-Gehalte in den Komposten.

Eine zukunftsweisende Aufgabe war auch die Modellierung der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik im Boden. Im Laufe von 10 Jahren wurden umfangreiche experimentelle Arbeiten zur Quantifizierung der Modellparameter durchgeführt. Dazu gehörten Untersuchungen zur Menge und Qualität der Ernte- und Wurzelrückstände sowie zur Abhängigkeit der Umsetzungsprozesse von Standort- und Bewirtschaftungsmaßnahmen und vom Gehalt des Bodens an umsetzbarer organischer Substanz. Den Modellierungsarbeiten gingen umfassende methodische Arbeiten voraus, die Verifizierung erfolgte vorrangig mit Daten aus Dauerversuchen unterschiedlicher Standorte. Das daraus resultierende Simulationsmodell Carbon and Nitrogen Dynamics (CANDY) nimmt heute im internationalen Vergleich einen vorderen Platz ein.

Es ist nicht möglich, an dieser Stelle alle Aktivitäten zu nennen, jedoch sollte die Erarbeitung einer Schlagkartei im Zusammenhang mit einem „Datenspeicher Schlagbezogene Kennzahlen (DASKE)“ nicht unerwähnt bleiben. Das Projekt konnte Ende der siebziger Jahre in die Praxis eingeführt werden. Im Zusammenhang damit wurden die inzwischen ausgearbeiteten Bodenfruchtbarkeitskennziffern als Zielgrößen für komplexe Verfahren zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und der Erträge in der Praxis erprobt und deren Vorteilswirkung nachgewiesen.

In der Zeit von 1965 bis 1990 wurden in Bad Lauchstädt 22 Dissertationen und acht Habilitationen erarbeitet und erfolgreich verteidigt.

Mit der Wiedervereinigung Deutschlands gingen die Forschungsarbeiten in Bad Lauchstädt nach den bis dahin geltenden Strukturen und Zielstellungen zu Ende. Gemäß Artikel 38 des Einigungsvertrages wurde die Akademie der Landwirtschaftswissenschaften aufgelöst, der 31.

Dezember 1991 war zunächst das Ende aller bisherigen Arbeiten und somit ebenfalls für alle bis zu dieser Zeit Beschäftigten. Glücklicherweise folgte dem Ende am 1. Januar 1992 der neue Anfang. Die erfolgreiche Arbeit der letzten Jahrzehnte, bestätigt im Ergebnis der Evaluierung durch den Wissenschaftsrat einerseits und der glückliche Umstand, daß in Halle kein geeignetes Objekt für das Umweltforschungszentrum, Teil Sachsen-Anhalt, gefunden werden konnte andererseits, führte zur Etablierung des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle in Bad Lauchstädt. Gleichzeitig konnte für eine beachtliche Anzahl ehemaliger Mitarbeiter eine Weiterbeschäftigung im UFZ und über die KAI im Rahmen des WIP innerhalb des HEP gesichert werden. (Zu gut Deutsch: Die Mitarbeiter wurden von der Koordinierungs- und Aufbauinitiative über das zunächst für zwei Jahre ausgelegte Wissenschaftler-Integrations-Programm im Rahmen des Hochschul-Erneuerungs-Programms angestellt.) Weitere Mitarbeiter konnten ihre Arbeit innerhalb des Landessortenversuchswesens fortsetzen.

Die Sektion Bodenforschung des UFZ in der moralischen Nachfolge des ehemaligen Forschungszentrums für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bad Lauchstädt, konnte am 2. Januar 1992 die Arbeit aufnehmen und wandte sich nun den dringenden Aufgaben der Bodenforschung innerhalb der Umweltforschung zu. Zunächst galt es, 40 Jahre Isolierung zu überwinden und Kontakte über alle ehemaligen und noch bestehenden Grenzen zu knüpfen.

Dank des Entgegenkommens vieler Kollegen aus den alten Bundesländern waren sehr schnell zahlreiche Verbindungen geknüpft und gemeinsame Forschungsprojekte ausgearbeitet.

Von großem Vorteil war dabei, daß Bad Lauchstädt eine international anerkannte, gute Versuchsbasis aufweisen konnte und dieser Standort mit seiner tiefgründigen Schwarzerde im Trockengebiet für Deutschland einmalige Standortbedingungen hat.

So war und ist das Versuchsfeld und insbesondere der 1902 angelegte Statische Düngungsversuch auch eine wesentliche Grundlage für den neuen Anfang gewesen.

In den folgenden Jahren konnte einerseits Dank der großzügigen Möglichkeiten, die das Umweltforschungszentrum hinsichtlich der Ausstattung mit modernsten Ausrüstungen und Analysetechnik bot und andererseits durch das erfolgreiche Einwerben von Drittmitteln ein beachtlicher Ausrüstungsstand erreicht werden. Diesbezüglich wurden die Erwartungen, die wir anfangs hegten, nicht nur erreicht, sondern noch übertroffen.

Die Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen der alten Bundesländer konnte auf breiter Basis realisiert und Beziehungen zu ausländischen Forschungseinrichtungen neu geknüpft bzw. zu osteuropäischen Ländern wieder aktiviert werden.

Es besteht heute eine vertraglich vereinbarte Zusammenarbeit, z. T. auf der Basis von Förderprojekten der Europäischen Union, mit England, Österreich, Tschechien, Rußland und Polen. Kontakte bestehen zu zahlreichen anderen Ländern.

Thematisch werden heute in der Sektion Bodenforschung des UFZ neben prozeßdynamischen und ökologischen Aspekten der Nutzung von Böden in Agrarlandschaften ebenfalls biologisch-chemische Prozesse in Böden von urbanen, naturnahen und Bergbaufolgelandschaften bearbeitet. Darüber hinaus sind in Bad Lauchstädt die Sektion Hydrogeologie mit dem Forschungsschwerpunkt aquatische Systeme und wasserungesättigte Zone sowie die Sektion Biozönoseforschung mit den Forschungsaufgaben der Untersuchung von Struktur und Dynamik anthropogen beeinflusster Lebensgemeinschaften angesiedelt.

Manche mögen das Thema unserer Festveranstaltung „100 Jahre Agrar- und Umweltforschung“ als nicht gerechtfertigt ansehen, weil dem Namen nach erst seit vier Jahren Umweltforschung in Bad Lauchstädt betrieben wird. Aber wir beschäftigen uns seit Jahrzehnten mit der Bodenforschung, und Bodenforschung im weiteren Sinne ist Umweltforschung.

In der Europäischen Bodencharta heißt es: „Der Boden ist eines der kostbarsten Güter der Menschheit. Er ermöglicht es Pflanzen, Tieren und Menschen, auf der Erdoberfläche zu leben.“

Gegenwärtig zeichnen sich national und global beunruhigende Fehlentwicklungen ab, die einer sowohl ökologischen als auch ökonomischen Landnutzung entgegenstehen. Ressourcenverschwendung und Überfluß auf der einen, Hunger auf der anderen, weitaus größeren Seite.

98 % unserer Nahrungsmittel werden über den Boden erzeugt. Gegenwärtig verhungern jährlich 15 Millionen Menschen. Wir dürfen uns durch den momentanen Überfluß in unserem kleinen Teilbereich dieser Welt nicht über die tatsächliche Lage täuschen lassen, sondern müssen die Probleme global sehen. Diesen Aufgaben wird sich die zukünftige Bodenforschung vorrangig widmen müssen.

Galt die Forschung in Bad Lauchstädt in den ersten hundert Jahren dem Ziel der Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und der Erträge, so werden für die Bodenforschung im zweiten Jahrhundert Probleme der Aufklärung und Quantifizierung der Wechselwirkungen zwischen Boden, Wasser und Atmosphäre im Vordergrund stehen.

Dabei wird es, entgegen dem gegenwärtigen Trend zum Abbau der Überproduktion und der Flächenstilllegung in unserer Region, auf eine angemessene Produktion von Biomasse hinzielen. Wo diese zur Zeit nicht als Nahrungsmittel benötigt wird, ist der Anbau von Industriepflanzen die einzige Alternative. Es geht um Lösungen zur Sicherung einer standortgerechten, nachhaltigen und umweltschonenden Bodennutzung.

Wenn wir heute über 100 Jahre Forschung in Bad Lauchstädt reden, so können wir das nicht, ohne gleichzeitig einen Blick auf die Stadt Bad Lauchstädt, auf die Historischen Kuranlagen, auf nahezu 200 Jahre Goethe-Theater sowie auf die positive Entwicklung der letzten Jahre zu werfen. Bad Lauchstädt bietet zunehmend angenehme Wohn- und Lebensbedingungen, verbunden mit einem hohen Sicherheitsstandard. Es gibt hier keine Erdbeben, keine Sturmfluten und auch keine Waldbrände. Das letzte Hochwasser ist genau 30 Jahre her, und es ist Vorsorge getroffen, daß es sich nicht wiederholt. Sorge bereitet manchmal die Trockenheit, aber Dank erfolgreich verlaufender Bohrarbeiten fließt das heilende Brunnenwasser in ausreichenden Mengen und ist für Export und Eigenverbrauch reichlich vorhanden. So hat auch das Umfeld von Bad Lauchstädt einen akzeptablen Standard und die Gewähr für eine positive Entwicklung zu bieten.

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

es ist mir ein besonderes Anliegen, der Geschäftsleitung des Umweltforschungszentrums dafür zu danken, daß sie nach der Wiedervereinigung Deutschlands den Neuanfang unserer Forschungseinrichtung unterstützt, den Weg in das zweite Jahrhundert geebnet und die Würdigung der Leistungen der vergangenen einhundert Jahre mit der heutigen Festveranstaltung ermöglicht hat.

Mit der für die Zukunft angestrebten Lösung einer gemeinsamen Nutzung des Standortes durch das Umweltforschungszentrum und die landwirtschaftliche Fakultät der Universität Halle erhält die Forschungsstätte Bad Lauchstädt wieder eine langfristige Perspektive auf dem wissenschaftlichen Gebiet, das hier seit hundert Jahren bearbeitet wird. Dabei wird eine enge Zusammenarbeit zwischen dem UFZ und der Universität sehr fruchtbar und erfolgreich sein und auch in dieser Hinsicht an frühere Traditionen anknüpfen.

Es bleibt zu hoffen und zu wünschen, daß der Forschungsstätte Bad Lauchstädt auch im zweiten Jahrhundert ihres Bestehens eine erfolgreiche, wissenschaftliche Arbeit zum Wohle der Menschheit und in Frieden beschieden sein möge.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, ich danke Ihnen für ihre Aufmerksamkeit und für Ihre Teilnahme an unserer Jubiläumsveranstaltung.

Ziele der Agrar- und Umweltforschung

von

Baeumer, K.

Das Handeln der Landwirte wird stets von den jeweiligen Zielen bestimmt. Diesen Zielen folgt meist auch die Agrar- und Umweltforschung. Nach Art eines Rückkopplungseffektes machen sich Wissenschaft und Praxis gegenseitig Vorgaben. Daraus ergeben sich nicht selten sowohl positive als auch negative Folgen für die Produktivität und die Umwelt. Positiv sehen die Landwirte eine steigende Produktivität bei sinkendem Aufwand. Negativ sind häufig die damit in Kauf genommenen Umweltbelastungen und die Verarmung der Standorte an natürlich ablaufenden Prozessen, ferner die Verarmung der Agrarlandschaft an naturnahen Biotopen.

Doch gilt die grundsätzliche Regel, daß alle Landwirte auf das Funktionieren der natürlich ablaufenden Prozesse angewiesen sind. Dennoch geben sie in ihrem Denken meist einer technischen Beherrschung der Natur den Vorzug. Damit entsteht ein Gegensatz zwischen technischer Naturbeherrschung und dem Ziel, die natürlich ablaufenden Prozesse zu erhalten und zu fördern. Dieser Gegensatz zwingt deshalb immer wieder zum Nachdenken über die Ziele der Agrar- und Umweltforschung.

Folgen einer Technik-bestimmten Landwirtschaft

Heute feiern wir die hundertjährige Wiederkehr der Gründung der Forschungseinrichtung Bad Lauchstädt. Damals wie heute sind die Probleme der Bodenfruchtbarkeit ein Schwerpunkt ihrer Forschung. Ein Beispiel aus dieser Versuchstätigkeit möge deutlich machen, wie sich unterschiedliche Bodennutzungssysteme auf die Standortbedingungen auswirken.

In Abhängigkeit von der Art und Weise der Bodennutzung stellt sich nach einiger Zeit ein neues Fließgleichgewicht zwischen Zufuhr und Abbau der organischen Bodensubstanz ein. 1956 legte ANSORGE mit unterschiedlich gedüngten Böden des Statischen Dauerdüngungsversuches Bad Lauchstädt einen Versuch an, in dem er die Veränderung des C_1 -Gehaltes unter Kleegras, Fruchtwechsel mit und ohne NPK-Düngung und unter Dauerbrache untersuchte. Abb. 1 zeigt nach 25jähriger Bewirtschaftung die Veränderungen im C_1 -Gehalt in Abhängigkeit vom Ausgangsgehalt an C_1 .

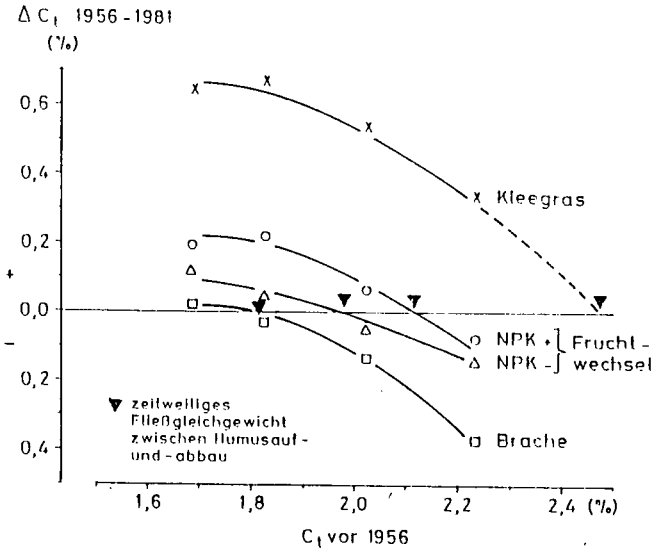


Abb. 1:

Auf- und Abbau der organischen Bodensubstanz in Abhängigkeit vom Bodennutzungssystem: Neue Fließgleichgewichtszustände nach Änderung des Bodennutzungssystems. Böden des Statischen Versuchs Bad Lauchstädt (1902-1956): Fruchtwechsel mit den Varianten ungedüngt; NPK-Düngung; 150 dt/ha und Jahr Stallmist; NPK + 150 dt/ha und Jahr Stallmist. Mittelwerte von 4 Untersuchungen 1979-1981, nach Daten von EICH und FREYTAG 1984.

Es kam zu deutlichen Veränderungen bei den neuen Fließgleichgewichten. Sie verschoben sich zu höheren C_t -Gehalten in der Reihenfolge: Brache < Fruchtwechsel ohne NPK, Fruchtwechsel mit NPK < Kleegras. Dieses Beispiel zeigt deutlich, daß sich die Art und Weise der Bodennutzung deutlich auf die Bodenfruchtbarkeit auswirkt.

Ein zweites Beispiel in Tab. 1 zeigt die negativen Wirkungen überhöhter Herbizidanwendung und einer mit Mais angereicherten Fruchtfolge.

Überhöhte Gaben von Triazin-Herbiziden und dreimal fortgesetzter Maisanbau verminderten den Anteil der Grobporen in der Ackerkrume, die Anzahl Regenwürmer je Flächeneinheit und die Bodenatmung. Die Mais-Folge und der überhöhte Herbizideinsatz griffen deutlich negativ in das vielfältig verknüpfte Gefüge zwischen Pflanzen-, Tier- und Bodenleben ein.

Tab. 1: Wirkung unterschiedlicher Bodennutzungssysteme auf ausgewählte relative Kennwerte der Bodenfruchtbarkeit im Versuch Tänikon, Schweiz, nach 10jähriger Laufzeit (KELLER et al. 1987)

Fruchtfolge Herbizideinsatz ³⁾	Klee gras-Folge ¹⁾		Mais-Folge ²⁾	
	sparsam	doppelt	sparsam	doppelt
Anteil an Grobporen in der Ackerkrume ⁴⁾	100	91	69	60
Anzahl Regenwürmer je Flächeneinheit ⁵⁾	100	109	48	34
Bodenatmung ⁶⁾	100	87	88	71

1) Klee gras - Klee gras - W. Weizen - W. Weizen - Kartoffeln - S. Gerste

2) Ackerbohnen - Mais - Mais - Mais - W. Weizen - W. Weizen

3) Triazinderivate

4) 100: 20,4%, Porengrößenbereich: 1-80 cm Wassersäule

5) 100: ohne Mengenangabe

6) CO₂-Entbindung von Bodeproben aus der Ackerkrume

100: ohne Mengenangabe

Diese negativen Folgen auf die Umwelt werden weitgehend von den Vorgaben der Gesellschaft bestimmt. Mit dem Wiederaufbau der Industrie 1955 in Westdeutschland wanderten vermehrt Arbeitskräfte aus der Landwirtschaft zur Industrie ab. Das zwang die Landwirte zur Einsparung an Arbeitskräften, d.h. zu einer Mechanisierung der Hof- und Feldwirtschaft. Mähdrusch verlangt unkrautfreies, stehendes Getreide. Steigende Stickstoffdüngung verursacht nicht selten Lager. Deshalb mußten Wachstumsregulatoren angewandt werden. Steigende Stickstoffdüngung vermehrt den Befall des Getreides mit pilzlichen Erregern von Halmbasis-, Blatt- und Ährenkrankheiten, wie Tab. 2 zeigt.

Diese Folge der Stickstoffdüngung kann nur mit geeigneten Fungiziden verhindert werden. Verminderung der Pflanzenkrankheiten durch Fungizide verlängert die Lebensdauer der Getreideblätter. Das gibt tierischen Parasiten, vor allem Getreideläusen, Raum für weitere Schäden. Das fordert die Anwendung von Insektiziden. Allerdings wurde mit einer einmaligen Anwendung von Insektiziden der Schädlingsbefall nur vergrößert. Das Insektizid tötet auch die Blattläusräuber. Da die Blattläuse sich parthenogenetisch vermehren können, sind die Blattläusräuber nicht mehr imstande, die Vermehrung der Läuse zurückzuregeln. Das ist nur ohne Insektizideinsatz möglich.

Agrarökosystem

- Verlust an Selbstregulung
- Verlust an Artenvielfalt
- Verarmung des Bodenlebens

Umwelt

- Belastung des Bodens, der Luft, des Wassers mit Agrochemikalien
- Bodenverdichtung
- Erosion

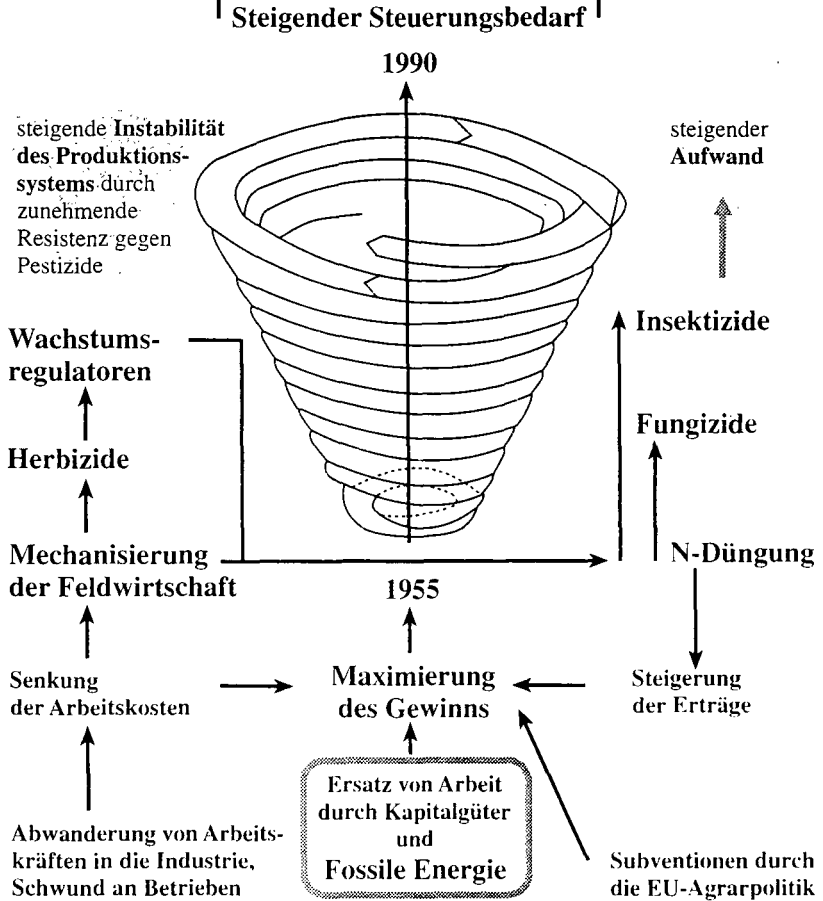


Abb. 2
Dynamik eines sich selbst verstärkenden Systems am Beispiel des Getreidebaues
1955-1990

Tab. 2: Einfluß steigender N-Düngergaben zu Getreide auf den Befall mit Blattkrankheiten und Schädlingen. Ergebnisse aus dem Ackerbau-Systemversuch Reinshof bei Göttingen (WILDENHAYN 1991)

Pflanzen- schutz ¹⁾	Mehltau-Befall bei Wintergerste ²⁾		Zwergrost-Befall bei Wintergerste ³⁾		Getreideblattläuse bei Winterweizen ⁴⁾	
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
	% befallene Blattfläche				Anzahl je Fahnenblatt	
N-Düngung kg · ha ⁻¹						
0	0,3	1,3	0,0	0,8	2,5	2,4
60	0,3	2,6	0,0	1,7	6,5	1,4
120	0,6	17,9	0,1	8,5	7,2	1,0
180	0,7	36,8	0,4	11,9	10,3	1,0

1) Mit vorbeugender Fungizid- und Insektizidbehandlung;

Ohne jeglichen chemischen Pflanzenschutz

2) Zweitletztes Blatt, EC 80, 1984

3) Fahnenblatt EC 84, 1984

4) EC 75, 1985

Zwischen allen diesen Produktionsmaßnahmen besteht ein durchgängiger Wirkungszusammenhang, wenn nicht der Landwirt sogar störend in das Wirksamwerden der natürlich ablaufenden Prozesse (Getreideläuse > < Blattlausräuber) eingreift. Jede Intensivierung verlangt schadensenkende Folgemaßnahmen. Diese selbstgeschaffenen Zwänge setzen die Dynamik eines sich selbst verstärkenden Systems in Gang. Steigender Aufwand und steigende Instabilität des Produktionssystems - z.B. als Folge zunehmender Resistenz der Schadorganismen gegenüber Pestiziden - gefährden den Erfolg des Produktionssystems.

Die vermehrte Anwendung von Agrochemikalien belastet die Luft, das Wasser und den Boden. Gleiches trifft für eine überhöhte Anwendung von organischen Düngern, wie Gülle, zu. Die Mechanisierung mit immer schwereren Geräten führt zu Bodenverdichtungen und auf geneigten Flächen zur Bodenerosion. Das Agrarökosystem wird seiner natürlich ablaufenden Prozesse, der Selbstregulierung, beraubt. Verlust an Artenvielfalt und Verarmung des Bodenlebens sind die Folge.

Alle diese Wirkungen drängen den Landbau in eine Lage, die von einer technisch erzeugten und technisch beherrschten Natur geprägt ist. Das Handeln vieler Landwirte wird durch das Streben bestimmt, die von der Natur erzeugten Produkte in geldwerte Waren zu verwandeln. Damit wol-

len sie an einem Markt teilhaben, der die Landwirte in den Gesamtproduktionsprozeß der Nahrungsmittelindustrie einbindet.

Mit diesen Vorgaben lautet die eine Zielalternative der Agrarforschung: Weitere Steigerung der Produktivität bei vermindertem Aufwand. Ein allgemein akzeptiertes Ziel der Landwirte ist es, die Produktionsverfahren zu optimieren. Produktionskosten sollen gesenkt werden, um die Gewinne zu steigern. Dabei sollen umweltbelastende Schäden, Krankheiten, Schädlinge und die Konkurrenz von Ackerwildpflanzen soweit wie möglich vermindert werden.

In dieser allein auf die Weiterentwicklung der Produktionsverfahren gerichteten Landwirtschaft sollen die Umweltbedingungen für die Produktion möglichst vollständig bekannt sein und weitgehend gesteuert werden. Damit sollen unnötige Kosten vermieden und mögliche Umweltbelastungen vermindert werden. Die dazu nötigen Verfahrensweisen sind bekannt, wenn auch nicht flächendeckend in Gebrauch:

1. Anpassung der Düngung an die im Boden schon vorhandenen Pflanzennährstoffe.
2. frühzeitiges Erkennen des Auftretens von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten (Prognoseverfahren) für eine zielgenaue Bekämpfung in Raum und Zeit,
3. Kontrolle der Wirksamkeit von Arbeitsverfahren in der Hof- und Feldwirtschaft,
4. Nutzung weiterer Leistungssteigerung und Krankheitsresistenz bei Kulturpflanzen und Haustieren, bewirkt durch moderne Methoden der Züchtungswissenschaft,
5. zur Vermeidung unnötiger Umweltbelastungen Nutzung von verbesserten Methoden der Tierfütterung und wirksamere Maßnahmen in der Tierhygiene.

In welchem Maße das Ziel einer möglichst weitgehenden Beherrschung der Produktionssysteme zu einer Verringerung von Umweltschäden beiträgt, muß sich erst noch erweisen. Die Notwendigkeit zu einer weiteren Produktionssteigerung besteht eigentlich nicht. Der Bedarf an Nahrungsmitteln ist in den entwickelten Ländern mehr als gedeckt. Wegen der biologischen, technischen und ökonomischen Fortschritte wird auch bei dem Zwang zur Extensivierung die Nahrungsmittelproduktion künftig noch weiter zunehmen.

Das eigentliche Ziel der Landwirte besteht vor allem in einer Steigerung der Produktionseffizienz. Jeder Fortschritt in der Produktionstechnik kann sowohl zu einer Verminderung als auch zu einer Vermehrung der Umweltbelastungen führen. Letzteres wird durch Fehlverhalten verursacht, dem auch die Landwirte in ihrem Handeln unterliegen.

Bodennutzungs- und Agrarökosysteme

Abb. 3 zeigt exemplarisch die Wirkung eines Bodennutzungssystems auf ein Agrarökosystem. Ausgangspunkt der Wirkung von Bodennutzungssystemen sind die Eingriffe des Landwirtes zur Steuerung der einzelnen, gleichzeitig betriebenen Produktionssysteme.

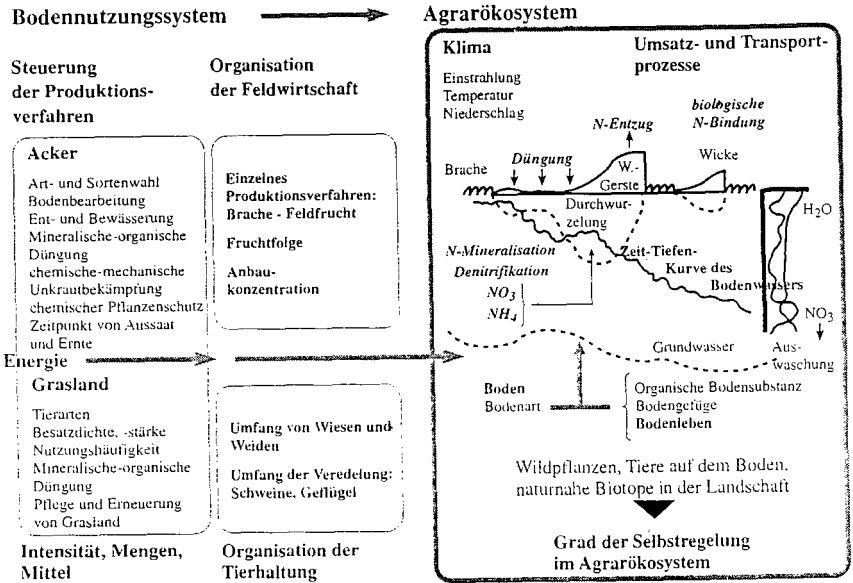


Abb. 3
Überformung der ursprünglichen Ökosystemelemente durch produktionstechnische Eingriffe (Bodennutzungssystem) zu einem Agrarökosystem

Soweit es noch Viehhaltung gibt, wird diese entweder im Stall (Schweine, Geflügel) oder auf der Grundlage des vorhandenen Grasiandes (Rinder, Schafe) betrieben. Die dabei entstehenden Exkrememente werden als organische Dünger auf die Betriebsflächen zurückgeführt.

Landwirtschaftliche Bodennutzung wird auf Flächen betrieben, die ursprünglich von Wald bedeckt waren. Deshalb sind regelmäßig wiederholte und mit Energieaufwand verbundene Eingriffe notwendig, um die Kulturlflächen vor einer Wiederbewaldung zu schützen. Auf den Ackerflächen

werden kürzere oder längere Zeiten mit Schwarzbrache eingehalten. Daher verharrt ein Ackerbausystem stets im Zustand des Anfangsstadiums einer Ökosystementwicklung. Nur im natürlich entstandenen Grasland bildet sich unter einer dauernden Vegetationsdecke ein weiter entwickeltes, vollständigeres Ökosystem aus.

Jedes Agrarökosystem wird durch die Art und Weise der jeweiligen Bodennutzung geprägt. Es ist deshalb das Ergebnis seiner eigenen Geschichte und daher von allen anderen Agrarökosystemen unterschieden. Sieht man ein Agrarökosystem als einen Ausschnitt der Agrarlandschaft, so sind Abgrenzungen von anderen Agrarökosystemen nur schwer zu erkennen, weder im Raum noch im Zeitverlauf.

Bestimmend für ein Agrarökosystem ist der jeweilige Anteil an der Fläche von Acker- und Grasland sowie der Umfang und die Lage von Magerrasen, Rainen, Hecken und Ufersäumen. Von Bedeutung ist ebenfalls die Struktur der Landschaft, das heißt, wo im Gelände die Acker- und Graslandflächen liegen. Der biotische und abiotische Zustand der Elemente eines Agrarökosystems, der ja die Grundlage jeder Pflanzenproduktion bildet, wird im Ackerbau von der Häufigkeit und Dauer der Schwarzbrache bestimmt. Dieser Zustand wird wesentlich von der Intensität der Bodennutzung beeinflusst. Dazu gehören Art und Umfang des Anbaues von Feldfrüchten, das heißt ihre Fruchtfolge und Anbaukonzentration, die Intensität und Häufigkeit der Bodenbearbeitung, der mineralischen und organischen Düngung, des chemischen und mechanischen Pflanzenschutzes und schließlich der Ent- und Bewässerung.

Auf dem Grasland sind die Intensität und Häufigkeit der Nutzung ausschlaggebend: Art der Nutztiere, Besatzdichte und Besatzstärke in der Weideführung, Schnitthäufigkeit der Wiesen, mineralische und organische Düngung, chemischer Pflanzenschutz, Pflegemaßnahmen und die Notwendigkeit zur Erneuerung der Grasnarbe durch Neuaussaat bestimmen die Ausprägung eines Graslandökosystems.

Eingriffe zur Steuerung von Bodennutzungssystemen können sich positiv oder negativ auf den Zustand eines Agrarökosystems auswirken. Ein positiver Rückkopplungseffekt entsteht, wenn eine Bodenruhe unter mehrjährigem Futterbau oder durch Verzicht auf eine tiefgreifende Bodenlockerung und -wendung eine fortgesetzte Mulchwirtschaft betrieben wird. Die oberste Bodenschicht reichert sich mit organischer Bodensubstanz an, deshalb wird das Bodenleben gefördert; die Krümelbildung nimmt zu, der feste Bodenverband verbessert die Befahrbarkeit. Vor allem aber steigert sich der Grad der Selbstregelung im Agrarökosystem durch die Intensivierung des Bodenlebens, z.B. durch die Abnahme von Halmbasierkrankungen des Getreides und die zunehmende Kontrolle von tierischen Parasiten durch Freßfeinde.

Ein negativer Rückkopplungseffekt tritt immer dann ein, wenn z.B. nach der Rübenenernte ein nasser Boden gepflügt wird. Bodenverdichtung mit der Folge von Staunässe und Sauerstoffmangel hemmt das Bodenleben, verzögert den Abbau von eingepflügten Ernteresten und vermindert das Tiefenwachstum von Wurzeln der Feldfrüchte. Da die Bodenverdichtung durch mechanische Bodenlockerung kaum zu beseitigen ist, setzt sich der negative Rückkopplungseffekt auch in die Zukunft fort.

Solche Bodenverdichtungen sind einerseits die Folgen der Nutzung immer größerer und schwererer Geräte in der Feldwirtschaft, andererseits der Absicht der Landwirte, ohne Rücksicht auf die nachteiligen Folgen die Feldarbeit auch unter ungünstigen Bedingungen noch zu erledigen. Ein solches Handeln stört die Umsatz- und Transportprozesse im Boden und vermindert die Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion.

Erforschung der biologischen Prozesse in Agrarökosystemen als alternatives Ziel der Agrar- und Umweltforschung

Agrarökosysteme sind dadurch gekennzeichnet, daß sie in unterschiedlichem Ausmaß über Elemente, Funktionen und Prozesse verfügen, die zu einer Selbstregelung wie in einem ursprünglichen Ökosystem führen. In welchem Maße die Selbstregelung ausgeprägt ist, hängt von der Intensität der Fremdsteuerung eines Agrarökosystems ab. Je naturnäher die Bodennutzungssysteme betrieben werden, desto stärker sind die Selbstregelungsprozesse ausgeprägt. Abbau der makroorganischen Substanz (Erntereste) ist ein solcher, autonom ablaufender Selbstregelungsprozeß.

Ist die natürliche Lebensgemeinschaft aus wildlebenden Pflanzen und Tieren in ihrer Struktur stark gestört, z.B. wenn die steuernden Eingriffe in den Standort überwiegen und das Ziel einer möglichst vollständigen Beherrschung der Produktionsverfahren Vorrang hat, dann werden die Selbstregulationseffekte weitgehend zurückgedrängt. Für wildlebende Pflanzen- oder Tierarten sind die Überlebenschancen sehr gering, es sei denn, sie sind an die Bedingungen einer derart intensiven Bewirtschaftung angepaßt (Abb. 4). Immer wieder werden die wenig angepaßten Ackerwildpflanzen mit Herbiziden, natürliche Freßfeinde von Schädlingen mit Insektiziden beseitigt, naturnahe Biotope, die als Rückzugsräume für Tiere und Wildpflanzen benötigt werden, aus der Landschaft geräumt und das Bodenleben durch häufige und intensive Bodenbearbeitung gehemmt. Solche Umweltbedingungen herrschen häufig in Feldern mit intensivem Gemüse- oder Hackfruchtbau vor, aber auch beim Anbau von Wintergerste und Winterweizen mit hoher Bewirtschaftungsintensität.

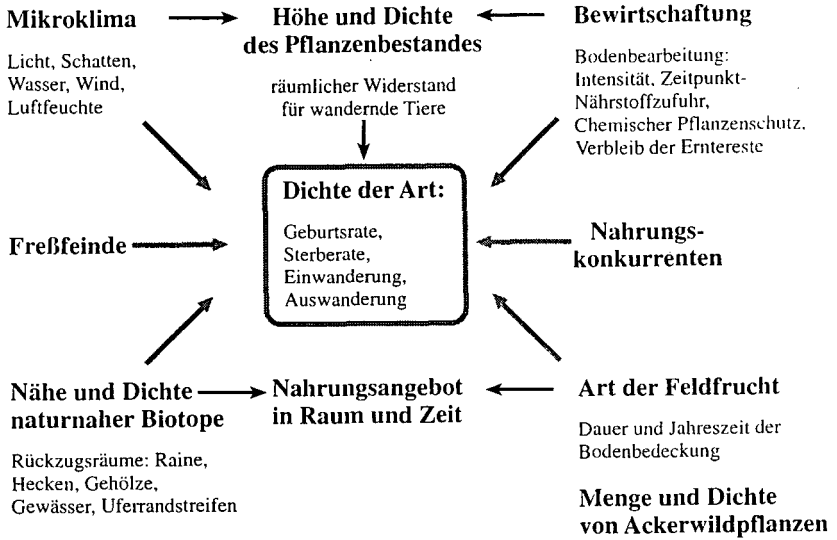


Abb. 4
Lebensbedingungen einer wildlebenden Tierart in der Feldflur

Bei nur geringfügig gestörter Struktur der Lebensgemeinschaft werden überwiegend die Nachhaltigkeit der Produktion fördernde Produktionsmaßnahmen angewandt. Dazu gehören ein mehrjähriger Feldfutterbau, eine vielfältige Fruchtfolge mit Extensivfeldfrüchten und Anbau von Körnerleguminosen, reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung, Regelung der Verunkrautung mit mechanischen Mitteln und Nutzung aller natürlichen Prozesse zur Minderung von Schäden an Nutzpflanzen. Solche Verfahrensweisen sind vor allem im Organischen Landbau üblich.

Nur in Magerrasen, Rainen, Hecken und Ufersäumen besteht noch eine naturnahe Ausprägung der Struktur von Lebensgemeinschaften. Sie ermöglicht die volle Funktion einer natürlichen Selbstregulierung. Solche Bedingungen sind in den meisten Agrarökosystemen nicht mehr gegeben (BASEDOW, 1990; NENTWIG 1994). Die Dichte und Vielfalt der wildlebenden Arten ist vermutlich an die Dauer der Bodenbedeckung einer Fläche mit lebender oder toter Vegetation gebunden. Zum Beispiel nahm der Artenreichtum von Invertebraten, von Schwarzbrachen über Getreidebau zu Dauergrasnarben zu (ALEYNIKOWA und UTROBINA 1969). Entsprechendes gilt für Collembolen (FROMM et al. 1993). Die Artenvielfalt von Isopoda, Diplopoda und Lumbriziden nahm in der Reihenfolge: Maisanbau > Getreidebau > Intensivgrasland > Extensivgrasland zu (EMMERLING und SCHRÖDER 1992). Durch fortgesetzte Mulchwirtschaft nahmen biologisch bedingte Selbstregulierungsprozesse zu (EL TITI 1990).

Was bewirkt Selbstregelung und wovon hängt sie ab? Tab. 3 zeigt das an einem Beispiel.

Tab. 3: Beziehungen zwischen Fangzahlen von Laufkäfern und Nacktschnecken (Barker-Fallen 1981) in Abhängigkeit von der Produktionsintensität und dem Besatz mit Ackerwildpflanzen (Flora: BRAUN 1981; Fauna: PAWLITZKI 1984)

S: Anzahl gefangener Schnecken, überwiegend *Deroceras agreste*

L: Anzahl gefangener Laufkäfer, *Poecilus cupreus*, *Carabus granulatus*, *Carabus cancellatus*, deren Imagines überwiegend im Frühjahr auftreten.

Bewirtschaftungsintensität	Ackerwildpflanzen (x 1975-1978)		Feldfrüchte			
	Artenzahl	Deckungsgrad %	Hafer		Kartoffeln	
			L	S	L	S
Extensiv-Landbau ¹⁾	36,4	25,7	351	75	128	64
Integrierter Landbau ²⁾	30,9	14,6	16	150	19	136
Intensiver Landbau ³⁾	21,0	10,7	7	171	16	252

1) Ohne mineralische N-Düngung, nur Stallmist, ohne chemischen Pflanzenschutz;

2) Bemessung der mineralischen N-Düngung nach Bodenvorrat, chemischer Pflanzenschutz nur bei Überschreitung von Schadensschwellen;

3) Verstärkte mineralische N-Düngung, vorbeugender chemischer Pflanzenschutz.

In einem langjährigen Feldversuch wurde die Intensität der mineralischen Stickstoffdüngung und des chemischen Pflanzenschutzes variiert. Die Ackerschnecken wurden nicht bekämpft. Im "Extensiven Landbau" wurden keine mineralische Stickstoffdüngung und kein chemischer Pflanzenschutz angewendet. In der mittleren Intensitätsstufe, dem "Integrierten Landbau", wurde die Höhe der N-Düngung dem jeweiligen Bodenvorrat angepaßt und die Pflanzenschutzmaßnahmen an den ökonomischen Schadensschwellen orientiert. Im "Intensiven Landbau" dagegen wurde der Höchstertag angestrebt, deshalb die mineralische Stickstoffdüngung erhöht und der chemische Pflanzenschutz vorbeugend gehandhabt.

Als Folge dieser langjährigen unterschiedlichen Behandlung nahmen Artenzahl und Deckungsgrad der Ackerwildpflanzen mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität ab. Entsprechend nahm auch die Anzahl der in den Hafer- und Kartoffelbeständen gefangenen Laufkäfer ab. Mit der Abnahme der Laufkäfer dagegen nahm die Anzahl der gefangenen Nacktschnecken zu.

Offenbar üben die Laufkäfer eine Dichte-regulierende Wirkung auf die Schneckenpopulation aus, vermutlich über den Fraß von Schneckeneiern und Jungtieren. Diese natürliche Selbstregelung, das heißt die Verminderung der Nacktschneckenpopulation durch die Laufkäfer, wurde von der Dichte der Laufkäferpopulation beeinflusst. Diese wiederum hing von der Bewirtschaftungsintensität und damit von der Artenvielfalt und Bodendeckung der Ackerwildpflanzen ab. Offenbar verbesserte eine artenreiche und bodendeckendere Unkrautvegetation die Lebensbedingungen und das Nahrungsangebot der Laufkäfer. Daraus folgt, daß eine "naturnahe" Wirtschaftsweise die Selbstregelungsprozesse fördert.

Häufig werden von den Landwirten nur die Prozesse wahrgenommen, die zu einer Verminderung der Schadensfälle an Feldfrüchten führen. Um einen solchen Effekt zu erkennen, muß man die Ursachen wahrnehmen, d.h. über eine gewisse Artenkenntnis verfügen. Wer dies nicht kann, wird die wildlebenden Verursacher von Selbstregelungsprozessen in der Feldflur nicht vermissen.

Im Ackerbau gibt es autonom ablaufende Selbstregelungsprozesse und vom Landwirt selbst eingeleitete Prozesse. Als Beispiel für autonom ablaufende Prozesse, die noch von den ursprünglich vorhandenen Ökosystemen stammen, möge der Auf- und Abbau der organischen Substanz im Boden exemplarisch genannt sein. Ohne ein intaktes Bodenleben funktioniert der Acker- und Pflanzenbau nicht; Wurzelausscheidungen in der Rhizosphäre würden nicht mineralisiert, abgestorbene Erntereste der Feldfrüchte nicht abgebaut.

Bodenwühler, wie z.B. Regenwürmer, ziehen die auf der Bodenoberfläche liegende Streu in den Boden. Dort zerkleinern sie die Streufresser, wie z.B. die Asseln, Milben oder Doppelfüßler. deren Kot wird wiederum von Kot- und Aasfressern aufgenommen, wie z.B. Milben, Springschwänze oder Arthropodenlarven, und weiter zersetzt. Die Reste werden schließlich von den Mikroorganismen, den Zersettern, teilweise mineralisiert oder die schwer angreifbaren Substanzen zu dauerhaftem Humus umgeformt.

Die vom Landwirt eingeleiteten Prozesse der Selbstregelung betreffen die Gestaltung des Bodennutzungssystems: Fruchtfolge, Anbaukonzentration oder Regelung der Unkrautvegetation durch Wettbewerb der Kulturpflanzen. Solche Maßnahmen steuern die Stabilität des Bodennutzungssystems und die Nachhaltigkeit der Produktion in der Feldwirtschaft.

Von der Agrarwissenschaft wurden bisher bevorzugt die physikalischen und chemischen Umsatz- und Transportprozesse untersucht. Sie sind deshalb relativ gut bekannt. Was fehlt, sind eingehendere Kenntnisse von den biologischen, natürlich ablaufenden Prozessen in den Agrarökosystemen, wie das am Beispiel des Bodenlebens schon dargestellt wurde. Nur wenn eine vertiefte Einsicht in die Zusammenhänge zwischen den biotischen und abiotischen Funktionen und Prozessen von

Agrarökosystemen besteht, kann die Bodennutzung nachhaltig gestaltet werden. Nachhaltigkeit bewirkt, daß der Landbau mit geringstem Energieeinsatz eine hohe Wirkung erreicht.

Die Ziele einer auf das Verständnis von Agrarökosystemen gerichteten Forschung lassen sich wie folgt umreißen:

1. Wie wirken unterschiedliche Bodennutzungssysteme auf die natürlich vorgegebenen Funktionen und Prozesse in einem Agrarökosystem?
2. Welche Bedeutung kommt den Prozessen der Selbstregelung in einem Agrarökosystem zu, und wie kann der Landwirt sie zu seinem Vorteil nutzen?
3. Welchen Einfluß haben naturnahe Landschaftselemente, wie Raine, Hecken, Ufersäume, auf den Ausprägungsgrad von Selbstregelungsprozessen in der Agrarlandschaft, das heißt, wie wirkt sich Naturnähe aus?

Mit solchen Vorgaben für die Agrar- und Umweltforschung könnten sich die Ziele der Landwirte ändern: Nicht die Steigerung der Produktivität und der Effizienz einzelner Produktionsverfahren, sondern das Agrarökosystem als Ganzes würde wieder in den Mittelpunkt der Betrachtung rücken. Das würde eine Hinwendung zu einer auf Nachhaltigkeit bedachten Landwirtschaft bedeuten. Eine ökologisch orientierte Produktion würde die Umweltbelastungen mindern, die Nutzung von Selbstregelungsprozessen fördern und die Agrarlandschaft wieder mit naturnahen Biotopen anreichern. Ziel der Agrar- und Umweltforschung muß eine ganzheitliche Entwicklung der Landwirtschaft sein. Mehr Naturnähe bei der Bodennutzung und Erhaltung intakter Strukturen in der Agrarlandschaft sorgen für eine dauerhafte, nachhaltige Produktion.

Hat das Ziel, vermehrt die naturnahen Prozesse in den Agrarökosystemen zu erforschen, überhaupt eine Chance von der Agrar- und Umweltforschung realisiert zu werden?

Wie eingangs angemerkt wurde, folgt das Handeln der Landwirte überwiegend den gesellschaftlichen Vorgaben. In Tab. 3 wurden keine Angaben über den wirtschaftlichen Erfolg der drei Bodennutzungssysteme gemacht. Dieser Erfolg ist aber bestimmend für die Akzeptanz einer Wirtschaftsweise bei den Landwirten.

Setzt man im "Intensiv-Landbau" die Naturalerträge von Winterweizen, Hafer, Sommergerste, Kartoffeln und Zuckerrüben im Mittel von fünf Jahren gleich 100, so leistete der "Integrierte Landbau" 91% und der "Extensive Landbau" nur 48%. Eine Extensivierung bedeutet für den Landwirt in der Regel ökonomische Mindereinnahmen. Abb. 5 zeigt den Gegensatz zwischen ökologischem und ökonomischem Nutzen von drei Intensitätsstufen der Bodennutzung. Da die Landwirte zur Zeit in einem scharfen wirtschaftlichen Verdrängungswettbewerb stehen, werden sie keine Mindereinnahmen hinnehmen wollen.

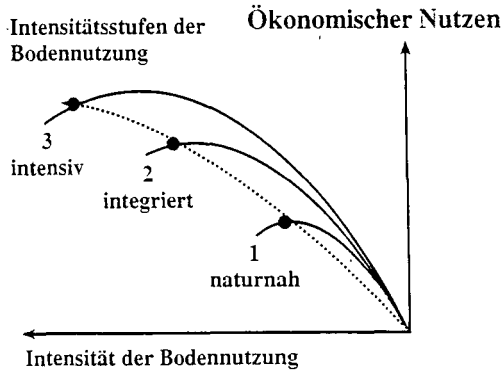
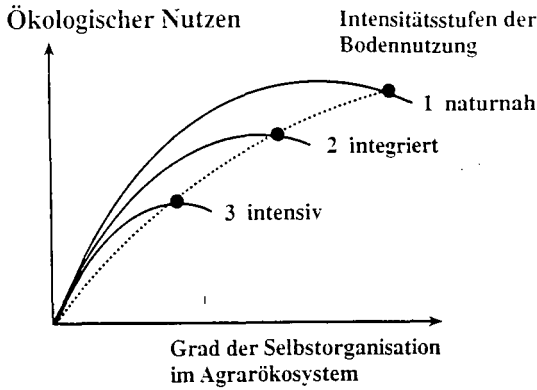


Abb. 5
Konflikt zwischen ökonomisch lohnender Bodennutzung und einer auf Nachhaltigkeit und Schonung der natürlichen Ressourcen gerichteten Wirtschaftsweise

Dieses Dilemma ist durch die derzeitige Agrarpolitik entstanden. Nur die wirtschaftlichen Verluste der Landwirte werden durch Subventionen ausgeglichen. Vernünftiger wäre es, wenn diese finanziellen Zuwendungen für die Schonung der Umwelt und die Schaffung von mehr Naturnähe in der Agrarlandschaft verwendet würden. Eine naturnahe Wirtschaftsweise, die Wiedereinrichtung von Rainen, Hecken und Ufersäumen, führt zu größerer Nachhaltigkeit der Bodennutzung und müsste auch finanziell belohnt werden.

Eine zwangsweise Stilllegung von 15% der Produktionsfläche hemmt nicht den biologischen, technischen und ökonomischen Fortschritt in der Landwirtschaft. Die Produktivität und deren Effizienz werden weiter steigen. Deshalb wird Landwirtschaft vermutlich nur noch auf den produk-

tivsten Flächen betrieben. Marginale Flächen, wie z.B. in den Mittelgebirgen oder auf Sandböden, werden über kurz oder lang zunächst verbuschen und dann sich wieder bewalden.

Den einzigen Ausweg aus diesem Dilemma kann allein die Gesellschaft weisen, indem sie für extensiv erzeugte Nahrungsmittel angemessene Preise zahlt. Die Gesellschaft muß sich auf ein zukunftsweisendes Konzept einigen. Sie muß den Ausgleich herbeiführen zwischen wirtschaftlichem Wachstum - dem Wohlstand einzelner -, den Bedingungen des Zusammenlebens - der Wohlfahrt aller - und der Erhaltung einer intakten Umwelt und der natürlichen Ressourcen. Nur so können sich die Ziele einer naturnahen Bodennutzung verwirklichen lassen.

Literatur

- Aleynikowa, M.M. und N.M. Utrobina, 1969: In: Aleynikowa, A. (Hrsg.): Zhivotnoye nasclyme pochv agrobiogeocenosa severhogo Povolzhya. Zhivonoye nasclynie pochv agrobiocenozov i ego izmieneneye pod vliyaniem selskokozyast vennogo proizovstvwa, 3-61, Kazan, Izdatielstvo Kazahkogo Universita
- Basedow, T., 1990: Zum Einfluß von Feldrainen und Hecken auf Blattlausräuber, Blattlausbefall und die Notwendigkeit von Insektizideinsätzen im Zuckerrübenanbau. *Gesunde Pflanzen* 42, 241-245
- Braun, W., 1981: Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Zusammensetzung der Wildkrautflora. *Bayer. Landw. Jb.* 58, 300-312
- Eich, D. und H.H. Freytag, 1984: Versorgung der Böden mit organischer Substanz. FZB-Report 1983, Müncheberg, 5-11
- El Titi, A., 1990: Modellvorhaben Lautenbacher Hof. In: Diercks, R. und R. Heitefuß (Hrsg.): Integrierter Landbau. BLV-Verlagsgesellsch. München, 316-329
- Emmerling, Chr. und D. Schröder, 1992: Zur Auswirkung einer Nutzungsextensivierung auf die Biologie semiterrestrischer Standorte. *VDLUFA-Schriftenreihe* 35, 254-257.
- Fromm, H., J. Filser und F. Beese, 1993: Die Verteilung von Collembolen in einer heterogenen Agrarlandschaft. *Mitteilg. Deutsch. Bodenkd. Ges.* 69, 91-94
- Keller, E.R., W. Sturmy, P. Weißkopf und F. Schwendimann, 1987: Was schadet der Ertragsfähigkeit des Bodens? *Landfreund* 7, Schweiz
- Nentwig, W. 1994: Wechselwirkungen zwischen Ackerwildpflanzen und der Entomofauna. In: *Dynamik und Regulation von Biozönosen im Agrarökosystem. Berichte über Landwirtschaft: 209 Sonderheft*, 123-135
- Pawlitzki, K.-H., 1984: Auswirkungen abgestufter Produktionsintensitäten auf die Aktivitätsabundanz von Feldcarabiden (Coleoptera, Carabidae) sowie auf die Selbstregulation von Agrarökosystemen. *Bayer. Landw. Jb.* 61 SH 2, 11-40
- Wildenhayn, M., 1991: Integrierter Pflanzenbau - Stand des Wissens. In: *Landw. Kammer Hannover (Hrsg.): Hochschulgatung* 1991, 28-41

Landwirtschaft und Umwelt aus gegenwärtiger Sicht

von

Breitschuh, G. und H. Eckert¹

1. Landwirtschaft und Umwelt

Jahrhundertlang bildeten Landwirtschaft und Umwelt eine Einheit. Die Umwelt, außerhalb des städtischen Verdichtungsraumes, war die vom Landwirt geschaffene und immer wieder durch Nutzung erneuerte Kulturlandschaft.

Heute mag kaum jemand von dieser Einheit sprechen. Landwirtschaft und Umwelt sind in der veröffentlichten Meinung fast zu Gegensätzen verkommen, und morgen schon scheint sogar eine Umwelt ohne Landwirtschaft für viele denkbar zu sein.

Die Gründe für diesen Gesinnungswandel sind sicherlich vielgestaltig. Zum einen haben die wenigen Jahre hoher Versorgungssicherheit ausgereicht, um die landwirtschaftliche Nahrungsmittelerzeugung gering zu schätzen.

Zum anderen werden der Landwirtschaft Umweltbelastungen vorgeworfen, die der öffentlichen Akzeptanz äußerst abträglich sind.

Aber ebensowenig, wie die frühere Einheit zwischen Umwelt und Landwirtschaft den Tatsachen entsprach, trifft heute der vermeintliche Gegensatz zu. Es hat nie ein Gleichgewicht gegeben. Die vielbeschworene Kreislaufwirtschaft vorindustrieller Epochen ist eine Fiktion. Der Mensch entnahm immer mehr, als er zurückgab. Erst in den letzten Jahrzehnten war der Landwirt in der Lage, dem Boden das zurückzugeben, was er entzog. Mit neuen Belastungen freilich, weil er jetzt mehr zuführt, als er entnimmt und oft Eingriffe tätigt, für die der Besorgnisgrundsatz gilt. Zahlreiche, heute als ökologisch wertvoll eingestufte Biotope (Hutewälder, Magerrasen, Heiden), resultieren ja aus nicht nachhaltiger Verhaltensweise unserer Vorfahren. Umweltverträglich ist somit weder der jetzige noch der frühere Zustand.

Beide bieten kein Modell für die Zukunft. Die jetzige EU-Agrarpolitik subventioniert nach wie vor die Produktion von Nahrungsgütern. Nur dadurch können gegenwärtig diese in Deutschland zu Welthandelsbedingungen überhaupt erzeugt werden (Abb. 1).

Wir müssen heute anerkennen, daß es beim Umgang mit Naturgütern Grenzen gibt, die im Interesse der nachhaltigen Ernährungssicherung und des Umwelterhalts nicht überschritten werden dürfen, um nachfolgenden Generationen nicht die Lebensgrundlagen zu beschneiden. Konsensfähige Grenzen zu finden, d.h. den Handlungsspielraum einer umweltverträglichen Landwirtschaft abzustecken und fördernde Rahmenbedingungen zu formulieren, muß daher als Nahziel, sowohl landwirtschaftlicher als auch umweltpolitischer Forschung, angesehen werden.

Die Neuausrichtung einer Politik für den ländlichen Raum ist daher nur über einen integrativen Ansatz denkbar, der die Zielansätze der Agrar- und Umweltpolitik koordiniert und übergeordnete Ziele der Landnutzung sucht.

¹ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Str. 98, 07743 Jena

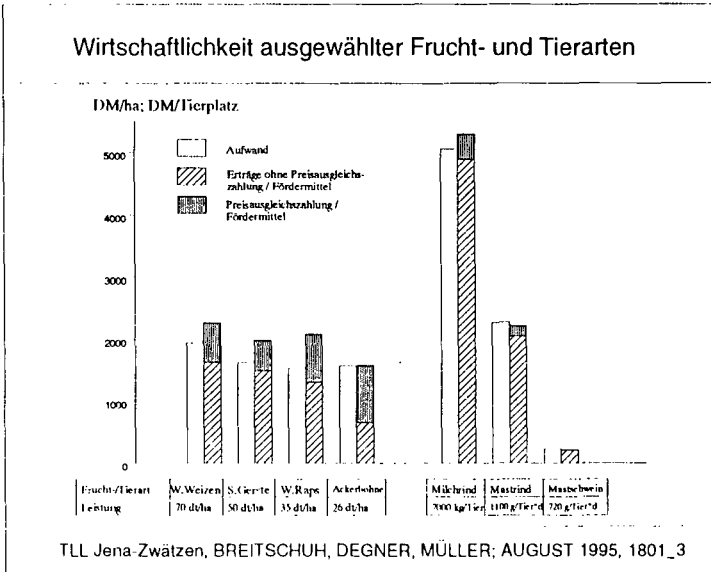


Abbildung 1

Die Umweltbeziehungen der Landwirtschaft realisieren sich in zwei wesentlichen Problemfeldern:

- a) in der Art und Weise der Flächennutzung, bei der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit gleichberechtigt neben das ökonomische Effizienzgebot treten müssen und
- b) landschaftsprägend im Agrarraum bei der Gestaltung und Erhaltung ökologischer und landeskultureller Vielfalt.

Derzeit existieren keine konsensfähigen Vorstellungen über umweltpolitisch erwünschte und unerwünschte Zustände. Die isolierte, sektorale Betrachtungsweise der gegenwärtigen Agrar- und Umweltschutzpolitik steht dem entgegen. Jeder sieht nur seine Interessen. Diese eingeschränkte Sichtweise verhindert das Formulieren von übergeordneten Zielvorstellungen, die gemeinsam getragen werden können. So ersetzen Konfrontation den wissenschaftlichen Meinungsstreit und Ineffizienz eine pragmatische Umweltschutzpolitik. Der unendliche und wohl auch unproduktive Streit über Fehlverhalten und Fehlorientierungen sollte abgelöst werden von der Zielvorstellung einer modernen Landwirtschaft in einer industriell hochentwickelten Gesellschaft, die ökonomische Effizienz mit Umweltverträglichkeit und Kulturlandschaftserhalt verbindet. Diese in sich schlüssig zu begründen und in der Praxis zu demonstrieren steht im Zentrum. Für die nächste Dekade stellen wir, nach umfangreichen Anhörungen und Auseinandersetzungen mit Vertretern der verschiedensten am ländlichen Raum interessierten Gruppen, folgende Formulierungsvorschläge für eine zukunftsorientierte Nutzung des Agrarraumes zur Diskussion.

1. Bewahrung der nachhaltigen Funktionsfähigkeit des Agrarraums
 - Produktivität der Standorte zur Nahrungsgüter- und Rohstoffherzeugung,
 - nachhaltiger Schutz der Naturgüter und des Naturhaushaltes.
2. Erhaltung und Gestaltung einer vielfältigen, produktiven und ästhetisch ansprechenden Kulturlandschaft.
 - Flächenbereitstellung und Leistungen zum Erhalt und zur Neuanlage von sogenannten "ökologischen und landeskulturellen Vorrangflächen" (ÖLV) im Agrarraum,
 - erhöhte Aufwendungen und/oder Erlösminderungen durch Intensitätseinschränkungen auf den Produktionsflächen, die über ordnungsgemäße Landwirtschaft hinausgehen.
3. Erhaltung landwirtschaftlicher Betriebe und des landwirtschaftlichen Berufsstandes zur Bewahrung der Integrität des ländlichen Raumes.

2. Umweltrelevante Konfliktpunkte der Landbewirtschaftung

Nachfolgend werden einige Kernprobleme des zukünftigen Verhältnisses von Landwirtschaft und Umwelterhalt näher beleuchtet.

Wesentlich ist in diesem Zusammenhang, daß problemnahe Ziele und keine Wege definiert werden. In diesem Sinne sind Forderungen nach Kreislaufwirtschaft, nach Extensivierungsstrategien oder nach gewünschten Betriebsstrukturen eben keine Ziele, sondern Wege. Wer Wege formuliert und vorgibt, glaubt zu wissen, wie sich der Landwirt am umweltverträglichsten verhält, anstatt ihm selbst die Entscheidung im Bereich erlaubter Handlungen zu überlassen.

2.1 Extensivierung - Intensivierung

Das Begriffspaar gehört sicherlich zu den wesentlichsten Reibungspunkten im Verhältnis Landwirtschaft und Umweltschutz. Zweifellos führte die Steigerung der speziellen Intensität und die Substitution von Arbeit durch Kapital zu stofflichen Umweltbelastungen, zur Biotopzerstörung und zu einem negativ empfundenen Landschaftsbild. Gleichzeitig bewirkte sie aber auch, historisch erstmalig, Versorgungssicherheit und geringe Nahrungsmittelpreise, so daß Hunger in Mitteleuropa zum Fremdwort wurde.

Heute wird vielfach in einer unverantwortlichen Vereinfachung Extensivierung mit Umweltentlastung und Ressourcenschonung gleichgesetzt. Extensivierung stellt aber in der Landwirtschaft den Verzicht auf Faktoren oder die Verminderung des Faktoreinsatzes je ha bzw. je Tier dar. Weder über die Effizienz der eingesetzten und genutzten Faktoren noch über die Erreichung konkreter umweltpolitischer Ziele wird damit eine Aussage getroffen (Abb. 2). Die selektive Betrachtung von Stickstoff und Pflanzenschutzmitteln darf im notwendigen Streben nach ganzheitlichen Betrachtungen keinesfalls Gültigkeit erlangen, wenn, gleichzeitig und völlig zu Recht, die wirtschaftliche Bewertung externer Effekte von Produktionsverfahren gefordert wird (Abb. 3).

Ertragssteigernde Faktoren, seien es Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel oder Energie, können sowohl Nutzen bringen, als auch Schaden verursachen. Dies kennzeichnet allerdings ausnahmslos alle menschlichen Erfindungen. Ein sachgerechtes Abwägen des erhofften Nutzens gegen den möglichen Schaden ist daher geübte Praxis seit altersher. Und geübte Praxis ist es auch, Maßnahmen zu finden, die den möglichen Schaden minimieren, ohne auf den Nutzen verzichten zu müssen. Geübte Praxis ist es jedoch nicht, auf eine nutzensbringende

Erfindung zu verzichten, ohne geprüft zu haben, ob sich der mögliche Schaden minimieren läßt. Die Beseitigung jeglicher Exzesse, wie Überdüngung und vorbeugender PSM-Einsatz, wird ebenso klar unterstützt, wie sie bei Unterschreitung der Nutzungseffizienz der insgesamt zur Erzeugung eines Produktes eingesetzten Faktoren Boden und Arbeit abzulehnen ist.

Vollkosten von Winterweizen				
Parameter	Dimension	50 dt/ha	60 dt/ha	70 dt/ha
Aufwand	DM/ha	1750	1926	2100
	DM/dt	35,00	32,10	30,00
Preisausgleichszahlung	DM/ha	649		
bleibender Aufwand	DM/ha	1101	1277	1451
	DM/dt	22,02	21,28	20,73

TLL Jena-Zwätzen, BREITSCHUH / DEGNER, September 1995, 1801_4

Abbildung 2

Kalkulation erforderlicher Ausgleichszahlungen auf AF für Auflagen in TWS-Gebieten, die über ordnungsgemäße Landwirtsch. hinausgehen		
Auflage: Reduzierung der N-Aufwendungen um 25 % gegenüber Düngungsempfehlung		
Kostenposition	Ertragsniveau	
	60 GE / ha	80 GE / ha
Ertragsverlust	216,- DM/ha ¹⁾	240,- DM/ha ²⁾
Qualitätseinbuße ³⁾	40,- *	53,- *
Mehraufwand für Nachweisführung ⁴⁾	80,- *	80,- *
Σ	356,- *	393,- *
Einsparung Düngekosten	40,- *	44,- *
Erforderlicher Ausgleichsbetrag	296,- *	329,- *

1) 12 % = 7,2 GE x 30 DM/GE
 2) 10 % = 8,0 GE x 30 DM/GE
 3) Reduzierung Rohproteingehalt bei WW / 33 % der Anbaufläche
 4) Nmin-Untersuchung, Berechnung Düngungsempfehlung, Datendokumentation

TLL Jena-Zwätzen, KERSCHBERGER, THÄMERT, 1994; 1506_1

Abbildung 3

Je höher der vergegenständlichte Aufwand (ertragsunabhängige Aufwendungen, Festkosten), z.B. je ha Ackerland, je Kuhplatz ist, desto höher bleibt der Einsatz von Wachstumsfaktoren (Stickstoff, Kraftfutter) verantwortungsvoll (Abb. 4).

Ertrag und Aufwand in der Milchproduktion in Abhängigkeit von der Bruttomilchleistung (DM/Kuh und Jahr)				
Parameter	Leistungsniveau in kg/ Kuh und Jahr			Veränderung je 1 000 kg Steigerung
	4 750	6 000	7 250	
Ertrag	3793	4553	5298	602
Aufwand	4264	4656	5060	318
Saldo mit Fördermitteln	- 470	- 102	238	283
Saldo ohne Fördermittel	- 847	- 495	- 171	407
Schwellenpreis (DPI/kg)	75,4	64,9	58,2	- 6,9

TLL Jena-Zwätzen, BREITSCHUH, MÜLLER, Juli 1995; 1801_2

Abbildung 4

In Umkehrung dieses Zusammenhanges ermöglicht der geringe Faktoreneinsatz (Festkostenaufwand) je ha Grünland viel eher ein geringes Intensitätsniveau, d.h. eine wirtschaftlich erfolgreiche extensive Grünlandnutzung. Diesem Sachverhalt folgend existieren zu Recht sehr unterschiedliche Intensitätsstufen für eine kleinräumlich differenzierte Landbewirtschaftung. Mit der Rücknahme des Intensitätsniveaus oder gar der Flächenstilllegung sind neben den vielfach beschriebenen, vermeintlichen Gunstwirkungen stets verbunden:

- * Verzicht auf Photosyntheseleistung, auf Energiefixierung und CO₂-Bindung auf allen für eine landwirtschaftliche Flächenutzung geeigneten Flächen,
- * Verschlechterung der subventionsfreien Wirtschaftlichkeit, infolge Senkung des Produktionsvolumens und daraus folgend Wettbewerbsschwächung. Eine Ausnahme bilden Unternehmen des alternativen Landbaus, solange diese auf Grund erklärter Wirtschaftsweise Hochpreisprodukte vermarkten können,
- * Minderung der Ertragsstabilität und damit der Entzugssicherung,
- * Verminderte Nutzungseffizienz begrenzter Naturressourcen, wie Boden und Wasser (sinkender Transpirationsquotient bei abnehmenden Erträgen),
- * Preisgabe der quantitativen Eigenversorgung als Voraussetzung für eine Minimierung von Lebensmittel-, insbesondere von Lebendviehtransporten,
- * Substitutionsverzicht von fossilen Rohstoffen.

So gesehen stellt die Forderung nach Extensivierung, im Sinne eines Verzichts auf ertragssteigernde Faktoren durchaus ein Novum dar. Sie läßt sich nur damit erklären, daß man dem Landwirt die Fähigkeit abspricht, sachgerecht mit der Erfindung Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel umgehen zu können.

2.2. Umweltverträglichkeit extensiver und intensiver Wirtschaftsweisen

Ähnlich kontrovers wie das Begriffspaar 'Extensivierung-Intensivierung' sind auch die Diskussionen um den Begriff 'Umweltverträglichkeit' zu sehen.

Bekanntlich hat die Landwirtschaft bislang darauf verzichtet, Umweltverträglichkeit zu präzisieren. Sie verweist auf die ordnungsgemäße Landwirtschaft, die gute fachliche Praxis oder den integrierten Pflanzenbau. Die wenig operationalen Begriffe sind nahezu beliebig auslegbar. Es kommt zu ständigen Auseinandersetzungen mit dem Natur- und Umweltschutz, zum wachsenden Vertrauens- und Akzeptanzverlust des landwirtschaftlichen Berufsstandes in der Öffentlichkeit, zu einer Flut von Rechtsverordnungen und Regelungen und letztlich zu Bestrebungen, die umweltverträgliche Landwirtschaft sozusagen von außen zu definieren und damit den Wirtschaftszweig zu reglementieren.

Umweltverträglichkeit kann aber eigentlich nichts anderes heißen, als daß anerkannt wird, daß es im Umgang mit Naturgütern Grenzen gibt, die im Interesse der nachhaltigen Ernährungssicherung, des Schutzes anderer Ökosysteme, der Wahrung begrenzter Ressourcen und aus ethischen Motiven (Tierhaltung) nicht überschritten werden sollten.

Mit dem Verfahren "Kritische Umweltbelastungen Landwirtschaft" (KUL) versuchen wir derartige Grenzen aufzuzeigen, zu begründen und das notwendige methodische Instrumentarium zu entwickeln (ECKERT, BREITSCHUH 1995).

Das Verfahren basiert darauf, wesentliche Umweltbereiche des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses, wie Nährstoffhaushalt, Bodenschutz, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Arten- und Landschaftsvielfalt, Energiebilanz, Tierhaltung und Tierschutz sowie Grünlandwirtschaft durch quantifizierbare Kriterien zu untersetzen. Für diese können ökologische Optima und kritische Belastungen definiert und somit ein Rahmen vorgegeben werden, der Umweltverträglichkeit meßbar und beweisbar macht (Abb. 5).

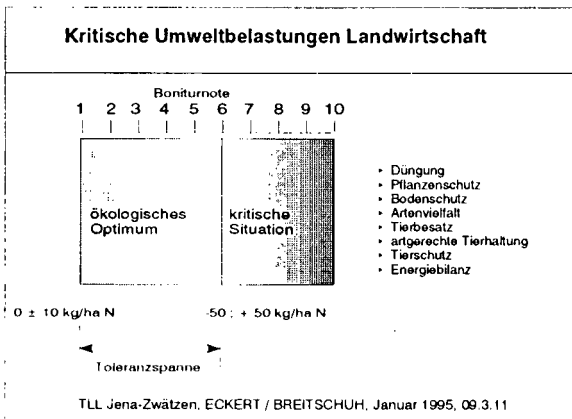


Abbildung 5

Das Verfahren erlaubt es, die Umweltverträglichkeit von ganzen Unternehmen, von Produktionsverfahren bis hin zu einzelnen Schlägen zu beurteilen, zu bewerten und konkrete Beratungsansätze abzuleiten. Ihre praktische Anwendung verdeutlicht, daß gleich gute Bewertungen erreicht werden können von Betrieben, die nach den Regeln des alternativen Landbaus arbeiten und solchen, die eine intensive Flächennutzung betreiben (Abb. 6). Nicht der erklärte Weg der Bewirtschaftung (alternativ oder konventionell, intensiv oder extensiv) sondern die Anwendung agronomischer Grundregeln (Viehbesatz, entzugsorientierte Düngung, schadsschwellenbestimmter Pflanzenschutz) entscheidet über den Grad der Umweltverträglichkeit. Dabei zeigt sich in Deutschland durchaus eine Trendwende, z.B. beim nationalen und regionalen Bilanzüberschuß (Abb. 7).

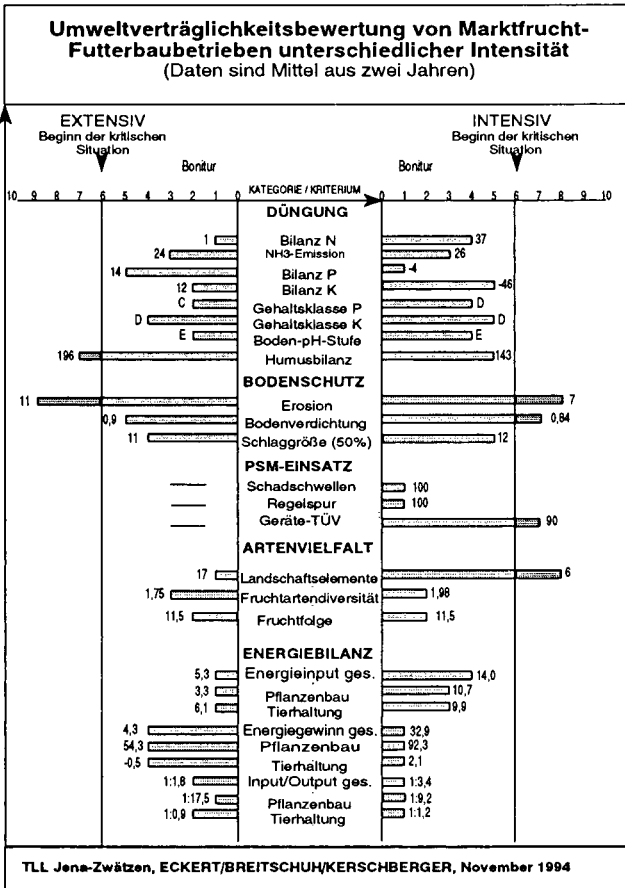


Abbildung 6

Nährstoffbilanzen für Thüringen (ohne Bracheflächen)			
Nährstoff	1989	1993	1994
Stickstoff	+ 85	+ 25	+ 7
Phosphor	+ 24	- 6,3	- 8
Kalium	- 4	- 57	- 68
Magnesium	+ 8	- 4	+ 0,5

TLL Jena-Zwätzen, KERSCHBERGER / BREITSCHUH, März 1995,0604_1

Abbildung 7

Schwellenpreise zur Substitution von Heizöl und Diesel durch Biobrennstoffe (DM/l)				
Biobrennstoff	abzulösender Bezugsbrennstoff	Kostengleichheit zum Bezugsbrennstoff		
		subventionsfreie Erzeugung der Biobrennstoffe		
				+ Stillelegungsprämie nach EU-Agrarreform
				+ 50 %ige Investförderung
Hackschnitzel	Heizöl	1,00	1,00	0,70
Stroh	Heizöl	1,35	1,00	0,80
Rapsöl	Diesel	1,90	1,30	1,10

TLL Jena-Zwätzen, BREITSCHUH, Juni 1995, 1104_1

Abbildung 8

2.3. Nachwachsende Rohstoffe und deren Umweltverträglichkeit

Die Endlichkeit fossiler Energieträger und die begrenzte Fähigkeit der Biosphäre, den anthropogenen CO₂-Anstieg zu kompensieren, erfordert zunehmend, CO₂-Emissionen zu vermindern und vor allem Szenarien für eine klimaverträgliche Energieversorgung zu entwickeln. In diesen Überlegungen darf das annähernd CO₂-neutrale Photosynthesepotential der Fläche nicht ausgeklammert werden. Dem derzeitigen Überangebot an billigen Nahrungsmitteln ist nicht mit Produktionseinschränkungen (Flächenstillegungen, Extensivierung) zu begegnen, sondern mit Flächenentzug durch Biorohstoffherzeugung. Dafür besteht ein potentiell nahezu unbegrenzter Bedarf, der eine flächendeckende Bewirtschaftung sichern kann.

Obwohl Bioenergieerzeugung aus Festbrennstoffen an der Rentabilitätsschwelle steht, behindern die gegenwärtigen Preise für fossile Brennstoffe, die weder die Ressourcenerschöpfung noch die negativen externen Effekte (CO₂) widerspiegeln, den Einstieg massiv (Abb. 8). Hier sind staatliche Eingriffe in Form investiver Zuschüsse notwendig, um die Etablierung voranzutreiben. Das erscheint insofern gerechtfertigt, als:

- die nahezu CO₂-neutrale Bioenergie einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung und CO₂-Vermeidung (ca. 80 - 100 Mt CO₂-Vermeidungspotential) leisten kann,
- die potentielle Versorgungssicherheit gewahrt bleibt, weil jederzeit von Biomasse zur Verbrennung auf Biomasse zur Nahrungserzeugung umgeschaltet werden kann und
- die Struktur des ländlichen Raumes gesichert wird; es werden Arbeitsplätze geschaffen und es wird vor Ort investiert.

Besonders die Umweltschutzverbände aber auch die Vertreter des Alternativen Landbaus äußern immer wieder Befürchtungen, der Einstieg in die Bioenergieerzeugung wäre mit einem erneuten Intensitätsschub und neuen Belastungen durch Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel verbunden. Biomassepflanzen benötigen, infolge geringer Qualitäts- und Inhaltsstoffansprüche, weniger Düngemittel und Pflanzenschutz. Energie- und Industriepflanzen müssen und können mindestens nach den gleichen Umweltstandards angebaut werden, wie Nahrungsmittelpflanzen. Wie im vorigen Abschnitt gezeigt, können landwirtschaftliche Unternehmen umweltverträglich produzieren, unabhängig davon, welchem Verwendungszweck die landwirtschaftlichen Erzeugnisse zugeführt werden.

Für die ökologische Bewertung nachwachsender Energierohstoffe muß wiederum eine ganzheitliche Denkweise angemahnt werden. Eine umweltverträgliche hohe Intensität reduziert gemeinsam mit den Auswirkungen der Liberalisierung des Weltenergie- und Agrarmarktes und der Öffnung gegenüber dem osteuropäischen Agrarmarkt den Flächenbedarf zur Erzeugung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Mitteleuropa (Abb. 9). Je effektiver - bei mittels KUL definierter Umweltverträglichkeit - die Nahrungsmittelerzeugung ist, je höher also deren Nettoenergieertrag, desto mehr kann von der begrenzt zur Verfügung stehenden Fläche der Bioenergieerzeugung dienen. Damit ist der CO₂-entlastende Beitrag der Landwirtschaft eine Funktion der Fläche, die zur Bioenergieerzeugung bereitgestellt werden kann (Abb. 10).

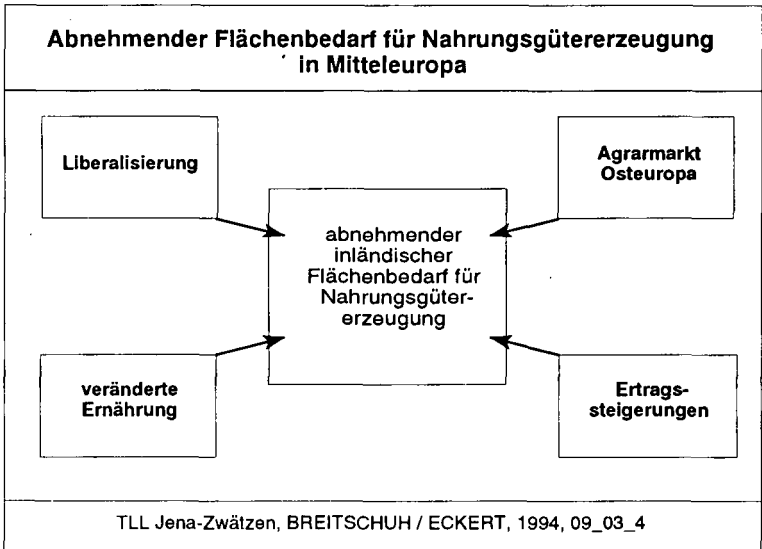


Abbildung 9

Netto-CO₂-Vermeidung landwirtschaftlicher Fruchtarten bei Verwendung als Energiepflanze

Fruchtart	TM-Ertrag t/ha	Verwertbarer ¹⁾ Energieertrag t ÖE/ha	Prozeßenergie		Netto-CO ₂ - Verminderung t CO ₂ /ha
			t ÖE/ha	t CO ₂ /ha	
Energietri- ticale	10 (Korn + Stroh)	2,6	0,3	0,9	6,9
Energieraps	1 (Öl) + 3 (Stroh)	2,0	0,3	1,0	5,0
Bergroggen	6 (Korn + Stroh)	2,2	0,2	0,6	6,1
Dauer- kulturen	10	3,7	0,1	0,4	10,8

1) Bruttoenergieertrag minus Biomasserückführung zum Ausgleich der Humusbilanz

TLL Jena-Zwätzen, BREITSCHUH/ECKERT, September 1994, 13.0.1

Abbildung 10

Erneuerbare Energiequellen stellen eine Komponente der künftigen vielfaktoriellen Rohstoffbereitstellung für die Industrie und die Energiewirtschaft dar. Die richtigerweise anzuerkennen bedeutet, von einer realen Knappheit landwirtschaftlicher Nutzflächen auszugehen. Die landwirtschaftliche Nutzfläche gilt es deshalb, effizient und umweltverträglich, d.h. wirtschaftlich wie ökologisch nachhaltig zu nutzen.

Daß trotz dieses Potentials die landwirtschaftliche Bioenergieerzeugung gegenwärtig nicht greift, hat agrar-, energie- und preispolitische Ursachen, die außerhalb der Landwirtschaft liegen und deren Beseitigung dringlich ist (Abb.11). Das gilt um so mehr, als der Einstieg in die Bioenergieerzeugung auch Chancen für den ländlichen Raum und die Zukunftssicherung der heimischen Landwirtschaft verspricht.

Preise je l Dieslersatz in Abhängigkeit von der Mineralölsteuer ohne MWSt		
Produkt	Besteuerung	Rapsöl frei Ölmühle 0,70 DM/l DMI Dieslersatz ohne MWSt
TESSOL NADI	ohne Mineralölsteuer (MÖSt)	0,81
TESSOL NADI	Mischung im Tank (MÖSt-Benzin; 0,98 DM/ Additiv)	1,01
TESSOL NADI	Mischung beim Hersteller (MÖSt-Diesel; 0,62 DM/ Gemisch)	1,43
RME	Mineralölsteuer-Befreiung	1,00

TLL Jena-Zwätzen, BREITSCHUH Juni 1995, 13_1_09

Abbildung 11

Signalisiert die Landwirtschaft allerdings, daß sie durch flächendeckende Extensivierung der Nahrungsmittelerzeugung nur geringe Flächenanteile zur Verfügung stellen kann und dadurch auch nur einen marginalen CO₂-entlastenden Beitrag zu leisten imstande ist, werden entsprechende politische Lösungen weiterhin auf sich warten lassen.

2.4 Landwirtschaft nur in Gunstregionen?

Der weiträumige Rückzug der Landwirtschaft aus der Fläche und die Beschränkung der produzierenden Landwirtschaft auf wenige Gunststandorte trägt vordergründig marktwirtschaftlichen Forderungen Rechnung. Er bedeutet aber Verzicht auf potentielle Eigenversorgung, dürfte die Strukturkrise des ländlichen Raums in den vom Rückzug der Landwirtschaft betroffenen Regionen erheblich verschärfen und läßt die Frage offen, wie man sich die brachfallenden Regionen vorzustellen hat. Hier wird unterschätzt, daß Landwirtschaft mehr

ist als Nahrungsmittelerzeugung. Und es wird verkannt, daß Landwirtschaft als größter Flächennutzer auch öffentliche Güter erhält bzw. produziert, die nicht importiert werden können, und die bei einem großräumigen Rückzug aus der Fläche gefährdet sind.

Die großräumige Segregation der Kulturlandschaft in landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Biomasseerzeugung und die Überlassung der Ungunststandorte für Belange des Naturschutzes wird zugunsten der Ausgrenzung von ökologischen und landeskulturellen Vorrangflächen (ÖLV) (kleinräumlichen Segregation) auf Gemarkungsebene abgelehnt.

3. Konzept einer umweltverträglichen und effizienten Landnutzung (EULANU)

Wenn wir davon ausgehen, daß die heutige Krise im Verhältnis Landwirtschaft-Umwelt vor allem eine Zielkrise ist, haben wir uns zu fragen, welche Zielvorstellungen eine moderne Landwirtschaft erfüllen muß und welcher Stellenwert der Landwirtschaft in einer industriell hochentwickelten Gesellschaft künftig beizumessen ist.

Die unveränderte Fortsetzung der in den letzten 5 Jahrzehnten praktizierten Prinzipien der Landbewirtschaftung einschließlich der Tierhaltung führt offensichtlich nicht zu einer neuen Übereinstimmung zwischen Mensch und Natur, zwischen Agrarraumnutzung und -pflege.

Das EULANU-Konzept (BREITSCHUH und ECKERT 1995) enthält Lösungsansätze, indem es ein methodisches Instrumentarium vorschlägt und agrarpolitische Optionen zur Durchsetzung formuliert (Abb. 12). Kernpunkte des Konzeptes sind:

* Die Nahrungsgütererzeugung erfolgt subventionsfrei und unterliegt den sich in den Regionen Europas herausbildenden Marktpreisen. Nahrungsgüterüberschüsse entstehen nur in dem Umfang, wie diese vom Staat als Vorsorgereserve erworben werden. Das derzeitige Überschußmanagement mit seinen immensen und unnötigen Kosten wird entbehrlich.

*** Überschußabbau durch Non-Food-Produktion**

Alle für die Nahrungsgütererzeugung und als ökologische und landeskulturelle Vorrangflächen nicht benötigten landwirtschaftlichen Nutzflächen werden, wie unter 2.3. erläutert, zur Produktion nachwachsender Energie- und Industrierohstoffe verwendet. Infolge der derzeitigen Preisbevorzugung fossiler Rohstoffe (reine Gewinnungs-, Transport- und Aufbereitungskosten) bedarf es des Einsatzes öffentlicher Gelder in Form von investiven Förderungen.

*** Kulturlandschaftserhalt als Dienstleistung**

Im dichtbesiedelten Deutschland hat die Kulturlandschaft, neben unabdingbaren ökologischen Aufgaben, auch eine ästhetische und eine Erholungsfunktion, die zunehmend mit dem Effizienzgebot der landwirtschaftlichen Produktion kollidieren. Die öffentlich gewünschte Kulturlandschaft ist somit nur als Dienstleistung zu haben. Als solche ist sie zu planen und zu bewerten. Innerhalb des EULANU-Konzeptes wird das über einen Gemarkungsnutzungs- und -pflegeplan (GNP) bewerkstelligt (ROTH und BREITSCHUH 1994). Darin werden die Erfordernisse der Landwirtschaft, der Landschaftspflege und des Natur-

und Ressourcenschutzes koordiniert und durch das jeweilig zuständige Parlament, in der Regel auf Gemeindeebene, notwendige Beschlüsse gefaßt. Der GNP dient der Abstimmung, wo Landschaftselemente gestaltet werden müssen, welche Flächen auf Dauer aus jeglicher Nutzung ausscheiden, welche gepflegt werden müssen (mechanisch oder mit Tieren), wo forstwirtschaftliche Nutzung vorgesehen ist und welche Flächen in freier Unternehmerentscheidung landwirtschaftlich genutzt werden können (Abb. 13).

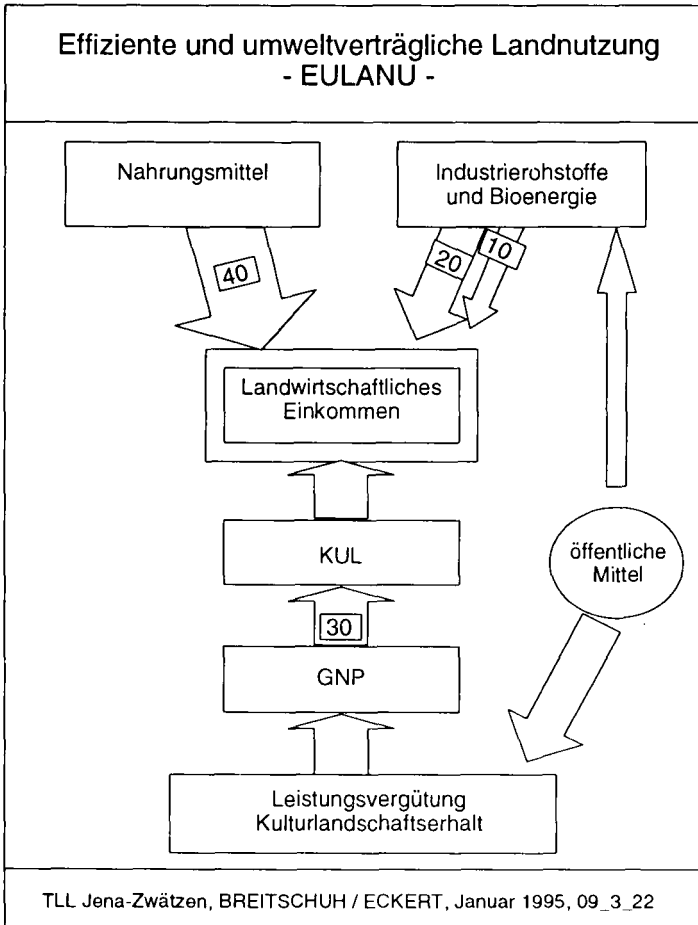


Abbildung 12

Ökologische und landeskulturelle Vorrangflächen (ÖLV) in unterschiedlichen Agrarräumen Thüringens (%)			
Agrargebiete	Ziel für ÖLV	davon vorhanden	Erforderlicher Flächenzugang aus der derzeitigen LF
Ackerhügelland (Thüringer Becken und Ostthür. Lösgebiet)	10 - 12	6	6
Buntsandsteinhügelland	12	10	2
Thür. Schiefergebirge	15	9	6
Muschelkalkbergland Randlagen des Thüringer Beckens, Südwestthüringen	20 - 24	12 - 16	8
Thüringer Wald, Rhön	> 20	> 10	> 10
x Thüringen	-	-	6,6 % = 52 Tha

TLL Jena-Zwätzen, ROTH, September 1995, 05_0_1

Abbildung 13

Wert der landeskulturellen Leistungen der Landwirtschaft - Beispiel Mittleres Saaletal -			
Maßnahme	ha LF	DM/ha	DM gesamt
Anpflanzungen	2,5	6.400	16.000
Naturbelassung	10,5	40	420
Landschaftspflege mit Schafen	124,7	838	104.499
Landschaftspflege mit Mutterkühen	144,0	1.385	199.440
Grünland/Extensivgetreide/Brache	69,3	1.515	104.989
Gesamt	351,0	1.212	425.348
Einnahmen aus Produktverkauf		626	219.726
Angebotspreis der Landwirtschaft		586	205.686

TLL Jena-Zwätzen, BREITSCHUH / ROTH, 1994, 05_0_7

Abbildung 14

Auf der Grundlage bestätigter GNP kann konkret ermittelt werden, was die Herstellung und Erhaltung einer so gegliederten und gewollten Landschaft jährlich kostet (Abb. 14). Der Gesamtaufwand setzt sich zusammen aus:

- den realen Kosten, für die ökologischen und landeskulturellen Leistungen auf den nicht produktionsorientierten ÖLV und
- den normativen Kosten für landwirtschaftlich genutzte Flächen. Hier wird zugrunde gelegt, was es mindestens kosten würde, solche Flächen ohne produktionsorientierte Pflegemaßnahmen in dem im GNP fixierten Erscheinungsbild zu erhalten.

Den so bestimmten Betrag für einen - hoffentlich immer nur theoretisch - landwirtschafts-freien Erhalt der Kulturlandschaft erhält jeder Flächenbewirtschafter, unabhängig davon, ob er nur die mindest geforderte Pflegeleistung erbringt, oder ob er den Kulturlandschafts-erhalt durch landwirtschaftliche Nutzung sichert.

* **Umweltsicherung durch Kontrolle**

Die im vorigen Abschnitt hergeleitete Vergütung des Kulturlandschaftserhaltes stellt eine Vergütung notwendiger Leistungen durch die Gesellschaft als Nutzer der Kulturlandschaft dar. Berechtigerweise kann die Gesellschaft von den Flächenbewirtschaftern eine nachhaltige, sprich umweltverträgliche Flächennutzung fordern. Die über GNP ermittelten Zah-lungen öffentlicher Gelder sind an die anspruchsgerechte Erbringung der GNP-Leistungen und an die Umweltverträglichkeit der landwirtschaftlichen Flächennutzung gebunden. Öffentliche Gelder kann nur erhalten, wer umweltverträglich wirtschaftet.

Zusammengefaßt führt die Nutzung dieser Instrumente zu einer Landwirtschaft, die, regional unterschiedlich, außer der Nahrungsmittelerzeugung zwei weitere Standbeine als Bioenergieproduzent und Landschaftsgärtner hat. Das sichert entscheidend die Einkommenssituation, mindert das Risiko und erlaubt dem Landwirt, flexibel zu reagieren. Direkte Einkommens-übertragungen sind überflüssig. Der Landwirt erhält öffentliche Gelder nur, wenn er einen Gegenwert in Form von Gütern erbringt, für die ein öffentlicher Bedarf besteht. Das trifft zu, wenn er über Bioenergie fossile Energieträger spart und dadurch CO₂ vermeidet. Das trifft ebenfalls zu, wenn er Schutzgüter gestaltet und pflegt, die im Zusammenhang mit der Kulturlandschaft zu sehen sind.

4. Zusammenfassung

1. Es kann eine weitgehend flächendeckende Landbewirtschaftung realisiert werden. Auch wenn sich die Nahrungsmittelerzeugung auf Gunststandorte konzentriert, bleiben Bio-energieerzeugung und Landschaftspflege als Nutzungsalternativen erhalten.
2. Dem Überangebot an Nahrungsmitteln kann mit GATT- und marktkonformen Mitteln begegnet werden. Statt Wachstum über Flächenstilllegung kostenintensiv zu begrenzen, wird der Wachstumsprozeß in ökologisch (CO₂-Vermeidung) und auch sozial verträgliche Felder umgelenkt und gleichzeitig die potentielle Versorgungssicherheit gewahrt.
3. Das Verhältnis Landwirtschaft - Umwelt kann weitgehend entschärft werden. Die Gestal-tung der Kulturlandschaft erfolgt nach einem gemeinsam abgestimmten Plan, und die Umweltverträglichkeit wird über meßbare Kriterien kontrolliert. Beides wird mit ökonomi-schen Mitteln durchgesetzt.
4. Die Rahmenbedingungen erlauben dem Landwirt unternehmerischen Spielraum. Das kann

Akzeptanzverluste entscheidend abbauen, weil der Landwirt sein gesamtes Einkommen am Markt erwirtschaftet und dadurch seine wirtschaftliche Sonderrolle sowie das Image eines Subventionsempfängers verliert.

5. Bioenergieerzeugung und Kulturlandschaftserhalt erfordern neue und vielseitige Qualifikations-, Arbeits- und Organisationsstrukturen. Das kann die Attraktivität des landwirtschaftlichen Berufsbildes entscheidend verbessern und auch die Infrastruktur des ländlichen Raumes positiv beeinflussen.

Für die Gesellschaft entstehen aus den geforderten finanziellen Rahmenbedingungen zur Etablierung erneuerbarer Energien und für den Kulturlandschaftserhalt keine neuen Ausgaben. Die dafür erforderlichen Mittel sind aus der Umverteilung zu gewinnen, indem die bestehenden Preisausgleichszahlungen, Flächenstilllegungsprämien und die für Kulturlandschaftserhalt und Umweltverträglichkeit vorgesehenen Fördermittel umgewidmet werden. Die Mittel verlieren dadurch den Charakter von Subventionen.

Die ökologischen Anforderungen an eine zukunftsfähige Landbewirtschaftung werden mit dem EULANU-Konzept durch die Erstellung und Realisierung der Gemarkungsnutzungs- und -pflegepläne sowie mit der Anwendung der Kritischen Umweltbelastung Landwirtschaft ökonomisiert. Diese Ökonomisierung des Nachhaltigkeitsanspruches scheint in einer marktwirtschaftlich verfaßten Grundordnung einen wirkungsvollen Lösungsansatz des Grundkonfliktes von Landwirtschaft und Umwelt zu bieten.

Literatur:

BREITSCHUH, G.; ECKERT, H.; Effiziente und umweltverträgliche Landnutzung (EULANU)- ein Konzept für eine marktwirtschaftlich organisierte Landbewirtschaftung; Arbeitsunterlagen DLG Landwirtschaft 2000 - wirtschaftlich und umweltfreundlich - Klar das Ziel - strittig die Wege Vorträge und Ergebnisse des DLG-Kolloquiums vom 6. und 7. 12.1994 in Bonn, S 87 - 98

ECKERT, H.; BREITSCHUH, G.: Kritische Umweltbelastung Landwirtschaft (KUL) - eine Methode zur Analyse und Bewertung der ökologischen Situation von Landwirtschaftsbetrieben; Arbeitsunterlagen DLG Landwirtschaft 2000 - wirtschaftlich und umweltfreundlich - Klar das Ziel - strittig die Wege Vorträge und Ergebnisse des DLG Kolloquiums vom 6. und 7. 12.1994 in Bonn, S.77 - 86

ROTH, D.; BREITSCHUH, G.: Gemarkungsnutzungs- und Pflegepläne sowie Kosten für ihre Realisierung, Schriftenreihe der TLL Jena-Zwätzen (1994) 10. - S. 14 - 29

Zur Energietransformation bei der Ertragsbildung von Kulturpflanzen

von

Schilling, G.*

Ein Jubiläum wie das heute hier in Bad Lauchstädt begangene bietet nicht nur Gelegenheit zum Rückblick, sondern auch zur Vorausschau. Bei Versuchseinrichtungen wie der hiesigen muß das bedeuten, die wissenschaftlichen Möglichkeiten zur umweltschonenden Landnutzung auf noch nicht bekannte oder genutzte Zusammenhänge zu analysieren. Aus dieser Sicht dürfte das hier zu behandelnde Thema von Interesse sein. Auf der einen Seite wird der Landwirtschaft häufig vorgeworfen, durch ihre derzeitige Produktionsweise zur Verknappung der Energiereserven der Erde beizutragen; denn der Aufwand für die Herstellung von Düngemitteln, Kraftstoffen und Maschinen erscheint erheblich. Andererseits aber ist die Landwirtschaft fast der einzige Produzent, der Sonnenenergie gezielt in chemische Energie transformiert und dabei noch CO₂ aus der Atmosphäre entnimmt. Die Effektivität dieser Prozesse zu analysieren und nach Möglichkeiten zu ihrer Wirkungsverbesserung zu durchforschen, erscheint daher nützlich.

Zunächst darf mitgeteilt werden, daß es hier um rein naturwissenschaftliche Untersuchungen geht, obwohl der Ertrag eine ökonomisch bestimmte Größe darstellt. Doch ist die Bildung der Stoffe, die er umfaßt, natürlich mit Energietransformationen gekoppelt und daher naturwissenschaftlich bearbeitbar.

CO₂-Assimilation höherer Pflanzen und ihre Umweltabhängigkeit

Der Grundprozeß jeder Ertragsbildung im geschilderten Sinne ist die CO₂-Assimilation, für die folgende Summengleichung gilt:



Der angegebene Betrag an freier Enthalpie mit positivem Vorzeichen wird aus dem Sonnenlicht gedeckt. Das Endergebnis ist letztlich die Nettoprimärproduktion an Trockensubstanz. Nach LIETH (1974), der entsprechende Schätzungen vornahm, handelt es sich dabei um einen Betrag von 155

¹ Prof. Dr. habil. Günther Schilling, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Adam-Kuckhoff-Str. 17 b, D-06108 Halle/S., unter Nutzung von Versuchen folgender ehemaliger bzw. derzeitiger Mitarbeiter: E. Adgo, Dr. Beschow, Dr. Freye, Dr. Otto, Dr. Schulze, Dr. Schumann, Dr. Wittenmayer.

10^9 t pro Jahr. Von dieser hohen Leistung der grünen Gewächse entfallen etwa 65 % auf Landpflanzen und 35 % auf Meeresorganismen. Doch schwankt die Primärproduktion im Wasser offenbar erheblich, und zwar zwischen 125 g/m^2 in den Weltmeeren und 2000 g/m^2 im Brackwasser (LIETH, 1974). Ähnliches gilt für das Land, wenn man Wüsten und tropische Regenwälder vergleicht.

Aus energetischer Sicht ist natürlich interessant, wieviel der eingestrahnten Sonnenenergie in Form der Nettoprimärprodukte wiedergefunden wird. Vergleicht man den Gesamtheizwert der fraglichen Produkte mit der eingestrahnten Energie, so findet man nur 0,135 % in Form der festen Produkte wieder. Das ist wenig und zeigt, daß die Strahlungsenergie offenbar nicht den begrenzenden Faktor für die Substanzbildung darstellt. Auch wenn man nur den biologisch aktiven Strahlungsanteil im roten und blauen Teil des Spektrums berücksichtigt und intensive Bewirtschaftung im warmen Klima mit Beregnung zugrunde legt, kommt man lediglich zu Ausnutzungswerten von maximal 7 ... 8 %.

Sonnenenergie steht also in den meisten Fällen im Überfluß zur Verfügung. Der begrenzende Faktor für die Primärproduktion muß also an anderer Stelle zu suchen sein, zum Beispiel im Falle der Landpflanzen beim Wasserangebot. SCHNEIDER und CHILDERS (1941) konnten an Apfelbäumen zeigen, daß die Netto- CO_2 -Assimilation eng mit der von der Wasserzufuhr abhängenden Öffnungsweite der Stomata korreliert. Damit wird das CO_2 -Angebot offenbar als eigentlicher begrenzender Faktor in den Vordergrund gerückt. Um dies zu quantifizieren, sind in unserer Arbeitsgruppe CO_2 -Assimilationsmessungen bei verschiedenen Pflanzenarten in Abhängigkeit vom CO_2 -Angebot in der Luft durchgeführt worden. Registriert wurde die CO_2 -Abnahme der Begasungsluft nach Durchströmen von Plexiglaskammern, in denen die in Quarzsand angezogenen Pflanzen in Mitscherlichgefäßen standen (Abb. 1).

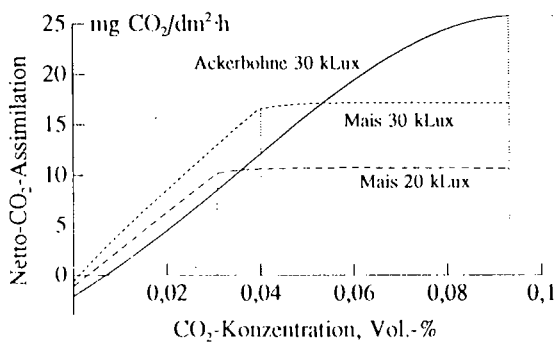


Abb. 1: Abhängigkeit der Netto- CO_2 -Assimilation je Blattflächeneinheit und Stunde von der CO_2 -Volumenkonzentration (28°C , nach Freye).

Man erkennt, daß 0,03 Vol.-% CO₂ bei 20000 Lux weißen Lichtes zur maximalen Netto-CO₂-Assimilation ausreichen, daß dies bei 30000 Lux aber nicht mehr zutrifft. Lichtangebot und CO₂-Versorgung stehen also in Wechselbeziehung: Je mehr sich das Angebot des einen Faktors der maximal nutzbaren Quantität nähert, um so mehr wird vom anderen Faktor benötigt. Anspruchsvoller bezüglich des CO₂-Angebotes als Mais verhalten sich Ackerbohnenpflanzen vor der Blüte. Ihre Netto-CO₂-Assimilation erreichte im Falle von 30000 Lux erst bei ≈ 0,1 Vol.-% das Maximum. Das ist durch ihren Charakter als C₃-Pflanzen bedingt, die auf Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase/Oxygenase als CO₂-Einbauenzym angewiesen sind und eine hohe Photorespiration besitzen. Sie nutzen CO₂ daher weniger effektiv aus als die C₄-Pflanzenart Mais, die das CO₂ mit Phosphoenolpyruvat-Carboxylase bindet, einem Enzym mit niedrigerer Michaeliskonstante. Außerdem erleidet diese Pflanzenart geringere Atmungsverluste im Licht. Insgesamt bleibt aber die Tatsache bestehen, daß der CO₂-Gehalt der Luft meist der für die photosynthetische Energieausnutzung begrenzende Faktor ist.

Man könnte denken, daß dies günstig für unsere gegenwärtige Situation ist, in der durch die Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Luft der gefürchtete Greenhouse-Effekt heraufbeschworen wird. Eine verstärkte CO₂-Bindung durch grüne Pflanzen, die außerdem zu höheren Erträgen führt, könnte hier nur günstig sein. Versuche von FRANK (persönliche Mitteilung 1989) mit Untersuchungen über den Einfluß erhöhten CO₂-Gehaltes der Luft auf die Ertragsbildung bei Getreide zeigen jedoch, daß dies nur teilweise zutrifft (Tab. 1).

Tab. 1: Veränderungen von Ertragskriterien bei Getreide durch Angebot von 0,15 Vol.-% CO₂ nach FRANK (1989). Klimakammerversuche.

Art, Sorte	Biomasse je Pflanze		Kornmasse je Pflanze		Ähren bzw. Rispen je Pflanze		Kornzahl je Ähre	
	g	%	g	%	%		%	
(Angaben für die Variante mit 0,15 Vol.-% CO ₂)								
Hafer ‚Solidor‘	10,0	= 139	2,7	= 73	1,6	= 80	60	= 85
Sommerweizen ‚Carola‘	7,8	= 144	2,8	= 126	2,0	= 133	40	= 105
Winterweizen ‚Alcedo‘	6,2	= 107	1,6	= 80	1,6	= 80	30	= 91
Winterweizen ‚Facon‘	6,0	= 150	1,8	= 95	2,6	= 130	28	= 90

Erhöhtes CO₂-Angebot bei der C₃-Pflanze Weizen steigerte zwar erwartungsgemäß die Biomassebildung der Pflanze. Gleichzeitig sank jedoch bei den meisten Sorten der Korntrag infolge geringerer Ährenzahl je Pflanze und gesenkter Kornzahl je Ähre. Nur der Sommerweizen Carola machte eine Ausnahme. Bei ihm stieg auch der Korntrag. Die Ursachen für dieses Verhalten sind

noch nicht klar. Möglicherweise fördern höhere CO₂-Konzentrationen die Umsetzung von 2-Amino-cyclopropan-carbonsäure zu Ethen und Ameisensäureamid. Ethen seinerseits greift hemmend in die Ährenausbildung bei Getreide ein, was bekannt ist². Damit wird deutlich, daß CO₂ durch seine multiplen Funktionen nicht nur fördernd auf die Substanzbildung wirkt, sondern zugleich Differenzierungsveränderungen bzw. Blütenrückbildungen hervorruft. In den Fällen, in denen als Ertrag vor allem bestimmte Organe erwünscht sind, muß die Erhöhung der Substanzbildung daher nicht zugleich eine Vermehrung der ökonomisch wichtigen Organe bedeuten.

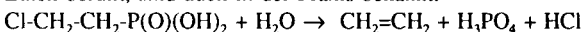
Daher bleibt zu fragen, wo es Reserven gibt, durch deren Mobilisierung die Effektivität der Verwertung von Sonnenlicht im gewünschten Sinne erhöht werden kann. Die Beeinflussung des CO₂-Assimilationsapparates selbst scheint ein schwieriges Unterfangen zu sein. Ist doch beispielsweise bei Getreide bekannt, daß alte Landsorten aus dem vorigen Jahrhundert unter den heutigen Produktionsbedingungen die gleiche Menge an oberirdischer Biomasse erzeugen wie die heutigen Intensivsorten. Nur ist bei letzteren das Korn/Strohverhältnis sehr zugunsten des Kornanteils verschoben. 150 Jahre Pflanzenzüchtung haben daher offenbar nicht die Primärproduktion gesteigert, sondern vor allem zur Veränderung des Organverhältnisses und damit der Assimilatverteilung geführt. Damit und wenn zugleich die geschilderte Sekundärwirkung hohen CO₂-Angebotes betrachtet wird, sollte der Blick auf die Gesetzmäßigkeiten der Assimilatverwertung gelenkt werden. Möglicherweise gibt es hier Verlustquellen oder Möglichkeiten, die Bildung von Organen zu fördern, die für die Ertragsbildung erwünscht sind.

Gesetzmäßigkeiten der Assimilatverwertung

Um die für die Assimilatverwertung gültigen Zusammenhänge näher zu untersuchen, sind von unserer Arbeitsgruppe (insbesondere Dr. Schulze und Herr Adgo) Gaswechsellmessungen mit Untersuchungen über den Verbleib der gebildeten Produkte in der aus Abb. 2 ersichtlichen Weise durchgeführt worden.

Luft mit konstantem CO₂- bzw. ¹⁴CO₂/CO₂-Gehalt wird einerseits durch eine Plexiglasküvette mit Pflanzen gepumpt, andererseits direkt einem Infrarotgasanalysator zugeleitet. Aus der Differenz im CO₂-Gehalt beider Luftströme, gekoppelt mit dem Ergebnis von Gasdurchsatzmessungen, läßt sich im Licht die Netto-CO₂-Aufnahme ermitteln, im Dunkeln die Atmung. Die Bilanzgleichung in Abb. 2 zeigt, daß die Netto-CO₂-Aufnahme im Licht (D₀) aufgeteilt werden kann in Beträge, die sich als Trockensubstanzzunahme in der Versuchszeit wiederfinden (z.B. 7 oder 14 Tage, Ernte von

² Falsche Anwendung des Halmstabilisators Cerone, dessen Wirkung auf der Freisetzung von Ethen beruht, sind auch in der Praxis bekannt:



Parallelgefäßen der in Quarzsand angezogenen Pflanzen am Anfang und am Ende), ferner in die Atmung im Dunkeln ($A_{\text{Sproß} + \text{Wurzel}}$) und in die Wurzelabscheidungen (W_A). Mikrobielle Atmungsprozesse im Substrat, die bei Quarzsandkultur nachweislich minimal sind, werden in $A_{\text{Sproß} + \text{Wurzel}}$ miterfaßt.

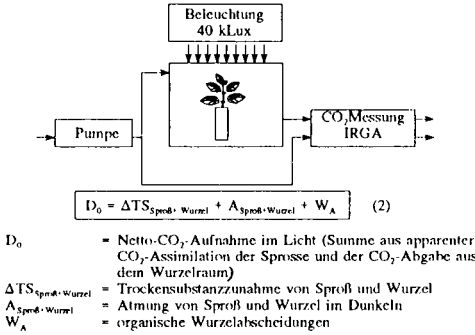


Abb. 2: Vereinfachtes Schema der CO_2 -Begasungsanlage für Gesamtpflanzen (entwickelt durch Dr. Schulze)

Alle Größen müssen in mg CO_2 eingesetzt werden, um die Vergleichbarkeit zu garantieren. Bei Verwendung von $^{14}\text{CO}_2/\text{CO}_2$ -Mischungen in der Begasungsluft kann $\Delta TS_{\text{Sproß} + \text{Wurzel}}$ auch über die ^{14}C -Akkumulation in den Pflanzenorganen ermittelt werden.

Tab. 2: Prozentuale ^{14}C -Verteilung bei $^{14}\text{CO}_2/\text{CO}_2$ -Einsatz über 3 Tage (Versuche von Dr. Schulze). Mittel aus jeweils 4 Gefäßversuchen ($n = 8$) in Quarzsand. Temperatur tagsüber 20°C und nachts 16°C . Gleiche Buchstaben = nicht signifikant verschieden, $\alpha \leq 5\%$ (waagerechter Vergleich, Tukey-Test).

	Mais		Weizen		Erbsen	
	MBq	%	MBq	%	MBq	%
D_0 (Netto- CO_2 -Aufnahme im Licht)	5,8	100	5,2	100	0,5	100
A (Atmung von Sproß und Wurzel im Dunkeln)		10,71 ^a		11,06 ^a		36,48 ^b
$\Delta TS_{\text{Sproß}}$ (Substanzzunahme = ^{14}C -Ablagerung)		67,94 ^a		60,78 ^b		25,82 ^c
$\Delta TS_{\text{Wurzel}}$ (Substanzzunahme = ^{14}C -Ablagerung)		10,45 ^a		18,45 ^b		19,71 ^c
W_A = (organische Wurzelabscheidung, direkt bestimmt)		8,21 ^a		7,26 ^a		12,76 ^b
Verluste (= Bilanzgröße)		2,69 ^a		2,45 ^a		5,23 ^b

Tab. 2 zeigt die Ergebnisse bei 3 Pflanzenarten im Vergleich. Man erkennt, daß sich Mais und Weizen recht ähnlich verhalten. Etwa 78 ... 79 % der Netto-CO₂-Aufnahme des Tages erscheinen im Substanzzuwachs wieder. Der Rest geht der Pflanze verloren, etwa zur Hälfte über die Atmung in der Nacht, zur anderen Hälfte über die Wurzelabscheidungen. Im Unterschied hierzu speichern Erbsen nur rund 46 % der Tages-Netto-CO₂-Aufnahme in gebildeter Pflanzensubstanz, während über die Atmung in der Nachtzeit mehr als 36 % wieder verlorengehen. Der Anteil der Wurzelabscheidungen beträgt hier sogar 13 %. Die Verluste durch Atmung im Dunkeln und Abgabe der Wurzeln machen damit bei der Leguminose nahezu 50 % der Netto-CO₂-Aufnahme im Licht aus. Von diesen Befunden dürften zwei Phänomene besonders interessant sein, die Höhe der Wurzelabscheidungen und die großen Atmungsverluste der Leguminose.

Die Problematik der Wurzelabscheidungen, die zu mehr als 50 % aus Zuckern- insbesondere aus Glucose und Saccharose - bestehen und zu denen 10 bis 14 Aminosäuren und Amide sowie 4 bis 6 weitere organische Säuren sowie Phenole hinzukommen, ist an anderer Stelle näher behandelt worden (SCHILLING, 1995; WITTENMAYER *et al.*, 1995). Die Substanzen werden in der Rhizosphäre sehr schnell von Mikroben umgesetzt, und die entstehenden Produkte, die im Boden größtenteils weniger beweglich sind als die eigentlichen löslichen Wurzelabscheidungen, tragen teilweise zur Mobilisierung von Bodenphosphaten bei. Auf Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden. Die hohen Atmungsverluste der Erbsen verdienen dagegen an dieser Stelle weitere Betrachtung. Es liegt nahe, sie mit dem Assimilatbedarf für die N₂-Fixierung in Verbindung zu bringen. Träfe dies zu, so müßte die Wurzelatmung N₂-fixierender Pflanzen im Vergleich zur Ernährung solcher Organismen mit reduziertem mineralischem Stickstoff (z. B. Harnstoff) erhöht sein. Um dies zu untersuchen, sind Gaswechseluntersuchungen mit getrennter Erfassung des CO₂-Umsatzes im Sproß- und im Wurzelraum mit Leguminosenpflanzen durchgeführt worden. Wenn von der durch die Wurzeln nodulierter Pflanzen im Quarzsand entwickelten CO₂-Menge diejenige abgezogen wurde, die aus der Erhaltungatmung sowie aus dem Teil der Wachstumsatmung stammte, der zur Unterhaltung der Proteinsynthese u.a. diente, so ließ sich derjenige Atmungsanteil erfassen, der die N₂-Fixierung in den Knöllchen antrieb (methodische Einzelheiten vgl. SCHULZE *et al.*, 1994).

Tab. 3 zeigt einige Resultate. Es wird deutlich, daß die mit N₂ ernährten Pflanzen bei Erbsen wie bei Ackerbohnen eine wesentlich höhere CO₂-Freisetzung aus dem Wurzelraum und einen erhöhten Aufwand an Wurzelwachstumsatmung je Einheit assimilierten Stickstoffs haben im Vergleich zu den mit mineralischem Stickstoff versorgten, die keine Impfung erhalten hatten und daher keine Knöllchen trugen. Der C-Aufwand für die N₂-Fixierung beläuft sich damit bei Erbsen auf 2,35 mg C/mg N_{fix}, bei Ackerbohnen auf 4,86 mg C/mg N_{fix}. Die Vermutung trifft also zu, daß Leguminosen einen größeren Teil der Assimilate für Atmungsprozesse opfern müssen als Nichtleguminosen, sofern erstere mit Luft N₂ ernährt werden. Die Beträge je Einheit fixierten Stickstoffs wechseln

dabei in Abhängigkeit von den Idiotypen des Makro- und Mikrosymbionten und vom Alter (ADGO *et al.*, im Druck), worauf hier aber nicht näher eingegangen werden kann. Bedeutsam ist jedoch, wie die für die N₂-Fixierung benötigten Assimilate von der höheren Pflanze aufgebracht werden.

Tab. 3: Vergleich des C-Bedarfs für den N-Einbau bei Erbsen und Ackerbohnen (Versuche von Dr. Schulze). Gefäßversuche in Quarzsand an 4 Wochen alten Pflanzen (Tukey-Test, n = 6, $\alpha \leq 5\%$, * = signifikante Differenz zwischen N₂- und Mineral-N-Variante).

Kenngröße (Angaben je Mitscherlichgefäß)	Erbsen („Grapis“)		Ackerbohne („Fribo“)	
	N ₂ -Ernährung	relativ zu Mineral-N	N ₂ -Ernährung	relativ zu Mineral-N
ΔTS_{sp} , g	7,68	(108)	5,97	(95)
ΔTS_{wu} , g	0,59	(63)*	0,95	(91)
apparente CO ₂ -Assimilation der Sprosse, g CO ₂	19,3	(98)	19,2	(115)*
Atmung der Sprosse im Dunkeln, g CO ₂	3,3	(97)	2,4	(104)
CF _{Wurzelraum} , g CO ₂	2,8	(162)*	4,0	(222)*
A _w /ΔN, mg C/mg ΔN	7,08	(150)*	10,26	(190)*
A _{N-fix} /Δ N _{fix} , mg C/mg N _{fix}	2,35		4,86	

Abkürzungserklärung: Δ TS = Trockensubstanzzunahme Sproß (= ΔTS_{sp}) bzw. Wurzel (ΔTS_{wu}), CF_{Wurzelraum} = CO₂-Freisetzung aus dem Wurzelraum, A_w/ΔN = CO₂-Freisetzung aus der Wachstumsatmung der Wurzel je Einheit assimilierten Stickstoffs, A_{N-fix}/ΔN_{fix} = CO₂-Freisetzung zur N₂-Bindung je Einheit fixierten Stickstoffs.

Tab. 3 zeigt, daß dies bei der Ackerbohne durch erhöhte apparente CO₂-Assimilation der Sprosse geschieht, bei der Erbsen, die hierzu offenbar nicht in der Lage ist, durch Einschränkung des Wurzelwachstums. Damit zeigt sich folgendes: Die Wurzelknöllchen N₂-fixierender Leguminosen sind starke Sinks, die auf Kosten anderer wachsender Teile Assimilate an sich reißen können. Sofern der CO₂-Assimilationsapparat über "Reserven" verfügt, werden diese Anforderungen durch erhöhte apparente CO₂-Assimilation kompensiert. Wenn dies nicht möglich ist, verringert sich das Wachstum anderer Teile. Offenbar haben also nicht alle Photosynthesecapparate Reserven dieser Art. Wenn starke Sinks Assimilate auf Kosten schwächerer akkumulieren, so müßte sich das Organverhältnis von Kulturpflanzen durch Stärkung erwünschter und Schwächung unerwünschter Sinks in bestimmten Grenzen verschieben lassen. Ein Beispiel hierfür ist die Zuckerrübe, bei der die Wurzelkörper erwünscht sind, der Blattapparat aber - aus landwirtschaftlicher Sicht betrachtet - notwendiges Beiwerk darstellt. Sein Umfang soll deshalb begrenzt bleiben. Füttert man nun ein an der Pflanze befindliches ausgewachsenes Blatt in einer speziellen Plexiglkammer selektiv mit ¹⁴CO₂, so finden sich die daraus gebildeten Assimilate zum Teil im Sektor des Rübenkörpers wieder, der sich unterhalb dieses Blattes befindet. Der andere Teil wandert in die noch wachsenden

jungen Blätter (Versuche von Dr. Otto). Hemmt man das Wachstum letzterer ab Anfang August durch ständiges mechanisches Entfernen, so werden die Assimilate verstärkt in den Rübenkörper transportiert, und dessen Trockenmassertrag erhöht sich um bis zu 20 %. Auf der Ausnutzung dieses Prinzips beruht die Wirkung eines von unserer Arbeitsgruppe entwickelten Wachstumsregulators für Zuckerrüben. Ein synthetisches "Pseudoauxin" verhindert durch Stärkung der apikalen Dominanz ab Anfang August den Austrieb ruhender Blattknospen. Auf diese Weise hat das Präparat in 26 exakten Feldversuchen im Mittel einen 8 % höheren Zuckrertrag gebracht, ohne daß schädliche Rückstände auftraten. Interessanterweise hatte übrigens auch die Zuckerrübenpflanze CO₂ Assimilationsreserven in ausgewachsenen Blättern. Wurde ein solches Blatt durch selektive Verdunklung (Überstülpen einer Tüte) an der Photosynthese gehindert, so zeigte das gegenüberliegende nach 4 h eine bis zu 37 % erhöhte apparente CO₂-Assimilation. Nach Wiederbelichtung verschwand der Effekt sofort (Versuche von Dr. Schumann). Das bedeutet, daß der Verbraucher offenbar auch bei Zuckerrüben die Leistung des Spenders steuern kann. Wenn man in der Züchtung also Typen mit starken Sinks in den ertragbildenden Organen mit solchen kombinierte, die in den Assimilatspendeorganen über Reserven verfügen, so könnten vielleicht neue, ertrags- und energieoptimierte Sorten entstehen.

Tab. 4: Zusammenhang zwischen Wasserversorgung und Hormonstatus voll entwickelter Blätter sowie der Trockenmasseverteilung bei Zuckerrübenpflanzen im Gefäßversuch mit Quarzsand. Probenahme zu DC 44. (Versuche von Dr. Wittenmayer und Dr. Beschow)

	Substratfeuchte, % der max. WK				Art der Berechnung
	60 ... 65		30		
Trockenmasse, g/Gef.					relativ = Mittel von
Blatt	34,6	(100) ^a	(87) ^b		2 Versuchen,
Rübenkörper	17,2	(100) ^a	(101) ^a		n = 11, $\alpha \leq 5 \%$,
Insgesamt	51,8	(100) ^a	(93) ^b		Newman-Keuls-Test
Voll entwickelte Blätter					
freie ABA, µg/g TM	1,12	(100)	2,08	(186)	n = 10 für ABA,
Gesamt-ABA, µg/g TM	17,0	(100)	20,7	(122)	n = 2 für GA ₁
freie GA ₁ , ng/g TM	12,1	(100)	8,0	(66)	

Rübenkörper: Die Gehalte an Gesamt-ABA betragen 1 ... 2 µg/g TM, die Gehalte an freiem GA₁ lagen unter 0,1 ng /g TM und damit unterhalb der bestimmbaren Grenze (GC, GC/MS).

Unklar bleibt dabei zunächst die molekulare Basis der genannten Regulationsprozesse. Offenbar spielen hierbei Phytohormone eine wichtige Rolle. Ein Beispiel hierfür liefert wieder die Zuckerrübenpflanze, bei der sich Assimilatspender, d.h. Blätter, und Empfänger, das sind die Rübenkörper, gut getrennt untersuchen lassen. Es zeigte sich, daß hohe Wasser- und/oder hohe N-Gaben wie auch das Besprühen der oberirdischen Organe mit Gibberellinsäure (GA₃) das Blattwachstum auf Kosten der Rübenkörperbildung förderten. Andererseits erhöhte Trockenheit den Rübenkörperanteil an der

Gesamtrockenmasse, was mit einer Steigerung seines Saccharosegehaltes einherging. Interessanterweise ergab sich nun, daß Abscisinsäure (ABA), ein Gegenspieler der Gibberelline, bei Trockenheit im Blattapparat eingereichert wurde. Das ging eindeutig auf Kosten des Gehaltes an GA_1 (Tab. 4, Versuche von Dr. Wittenmayer und Dr. Beschow).

Da derartige Wechselbeziehungen auch bei anderen Pflanzenarten (z.B. Raps) von uns gefunden wurden, scheint ihnen ein allgemeines Prinzip zugrunde zu liegen. Bei den Gibberellinen wie bei Abscisinsäure handelt es sich um Terpene, die aus L-Mevalonsäure gebildet werden (Abb. 3) und deren Biosyntheseweg sich erst beim Farnesylpyrophosphat verzweigt. Daher wäre folgendes denkbar: Bei Trockenheit wird der Weg zu den Gibberellinen blockiert, wodurch eine verstärkte ABA-Bildung zustande kommt. Die Pflanze könnte dadurch von der Bildung der Gibberelline, die den Wasserverbrauch durch vermehrte Blattbildung erhöhen, auf die das Wurzelwachstum relativ begünstigen-

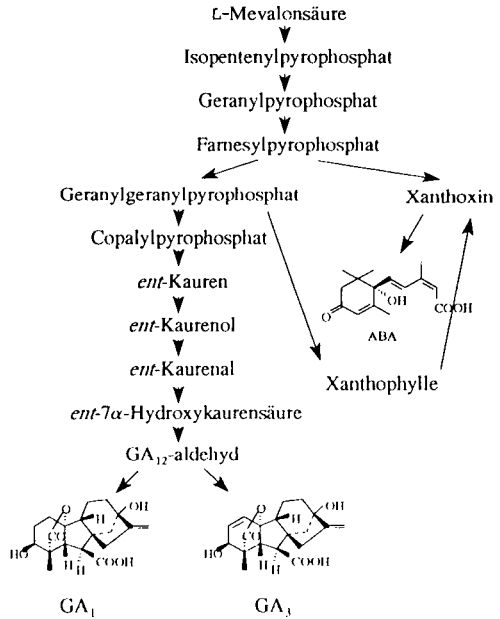


Abb. 3: Biosyntheseweg für GA und ABA

de Abscisinsäure umschalten. Wenn es so wäre, müßte man wieder einmal über den "Einfallreichtum" der Natur staunen. Der Beweis ist jedoch noch zu führen.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß die Transformation des Sonnenlichtes bei der Primärproduktion der höheren Pflanzen in der Regel durch das CO_2 -Angebot begrenzt wird. Die Ausbeute an Assimilaten hängt aber nicht nur vom CO_2 -Assimilationsapparat und von der Art der sekundär daraus gebildeten Verbindungen ab, sondern auch vom Sinkverhalten des verbrauchenden Organes. Letzteres wird offenbar von der Phytohormonkonstellation gesteuert. Außeneinflüsse wie Wasser- und Nährstoffversorgung wirken zum mindesten teilweise über den Phytohormonhaushalt auf die Gestaltbildung der Pflanze ein. Ansatzpunkte für die Züchtung gibt es daher in verschiedenen Richtungen, um Typen mit verbesserter Strahlungsausnutzung zu schaffen.

Schrifttum

- ADGO, E., SCHULZE, J., und SCHILLING, G.: Ausleseskriterien für die Auffindung von Körnerleguminosendiotypen mit N₂-Fixierung nach der Blüte. *Ökophysiologie des Wurzelraumes* Nr.6, 1995, im Druck.
- FRANK, R.: Persönliche Mitteilung, 1989.
- LIETH, H.: Basis und Grenze für die Menschheitsentwicklung: Stoffproduktion der Pflanzen. *Umschau in Wiss. u. Techn. (Frankfurt/M.)* **74**, 169-174, 1974.
- SCHNEIDER, G. W., und CHILDERS, N. F.: Influence of soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration of apple leaves. *Plant Physiol. (Palo Alto, Calif.)* **16**, 565-583, 1941.
- SCHILLING, G.: Tradition und Fortschritte bodendynamischer Forschungen im mitteldeutschen Raum. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **78**, 1995, im Druck.
- SCHULZE, J., ADGO, E., und SCHILLING, G.: The influence of N₂ -fixation on the carbon balance of leguminous plants. *Experientia (Basel)* **50**, 906-912, 1994.
- WITTENMAYER, L., GRANSEE, A., und SCHILLING, G.: Untersuchungen zur quantitativen und qualitativen Bestimmung von organischen Wurzelabscheidungen bei Mais und Erbsen. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **76/II**, 971-974, 1995.

Hinweise für Autoren

1. Manuskripte für ein Heft der Mitteilungen der DBG werden nur bis zum festgesetzten Termin bei der Schriftleitung angenommen (in der Regel 14 Tage nach Ende der betreffenden Veranstaltung)
2. Der Umfang eines Manuskriptes ist incl. aller Darstellungen, Photos und Literaturzitate auf 4 Seiten DIN A 4 begrenzt.
3. Auf der Titelseite sind 8 cm für Kopfleiste, Titel und Autorennamen, die von der Schriftleitung in endgültiger Form eingesetzt werden, freizulassen. Ansonsten ist ein umlaufender Rand von 2 cm erforderlich.
4. Photos sind in der Qualität schwarz/weiß, Hochglanz in den Text einzukleben.
5. Abbildungen und Darstellungen sind als schwarze Kopie in den Text einzufügen.
6. Ausdrücke von Druckern aus EDV-Anlagen werden nur angenommen, wenn sie das Format DIN A 4 ausweisen und auf weißem, linienfreiem Papier vorliegen.
7. Es sind nur die Schrifttypen Times-Roman und Courier zugelassen.
8. Sonderdrucke werden nicht zur Verfügung gestellt. Die Manuskripte werden nach Drucklegung nicht zurückgesandt.

