

## Der Boden im Umweltsystem des Menschen\*

Ernst Schönhals zum 70. Geburtstag

Das für dieses Fest-Kolloquium und den heterogen zusammengesetzten Hörerkreis gewählte allgemeine Thema enthält zwei Begriffe — „Boden“ und „Umwelt“ —, von denen wohl jeder glaubt zu wissen, was sie bedeuten. Trotzdem ist es recht schwierig, sie genau zu definieren. Ich beginne mit der Frage: Was ist eigentlich ein **Boden**?

Die Bodenkundler sind nicht in der glücklichen Lage wie z. B. Botaniker, Zoologen, Mineralogen, die sich mit abgrenzbaren Naturkörpern — Pflanzen, Tieren, Mineralen — beschäftigen. Das sind isolierte oder isolierbare Individuen, während der Boden eine kontinuierliche Gesamtheit, die *Pedosphäre* (von gr. pedon: Boden), bildet, in der sich Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre gegenseitig durchdringen und verändernd aufeinander einwirken (Abb. 1).

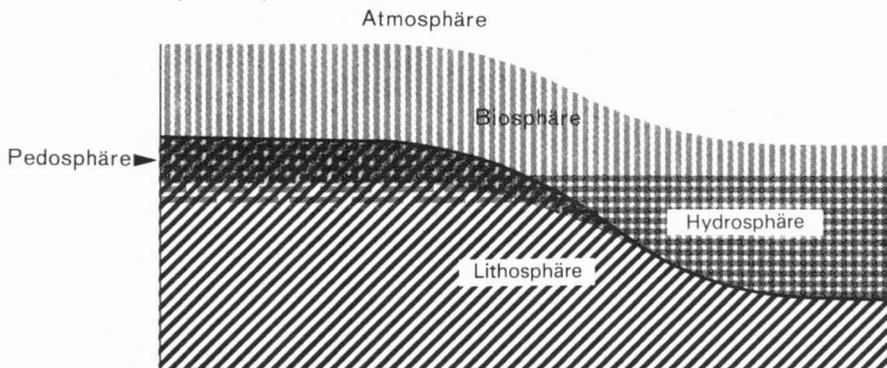


Abb. 1: Die Pedosphäre als Grenzphänomen der Erdoberfläche

Damit ist zunächst als Raum der schmale Grenzbereich an der Erdoberfläche, in dem Böden auftreten, beschrieben. Böden sind somit ausgesprochene Grenz- und Übergangsphänomene.

Ein einzelner, spezieller Boden ist ein dreidimensionaler etwa hexagonal umgrenzter Ausschnitt aus dem Kontinuum der Pedosphäre von der Erdoberfläche bis zum unveränderten Ausgangsgestein (Abb. 2). Mit einem Kunstgriff wird so ein „Pseudoidividuum“ geschaffen, das als *Pedon* bezeichnet wird. Solch ein kleinster Bodenkörper kann nun beschrieben, untersucht und in Beziehung zu benachbarten Pedons gesetzt werden.

\* Nach einem Vortrag, gehalten am 9. Februar 1979 im Fest-Kolloquium für Prof. Dr. Ernst Schönhals anlässlich der Vollendung seines 70. Lebensjahres.

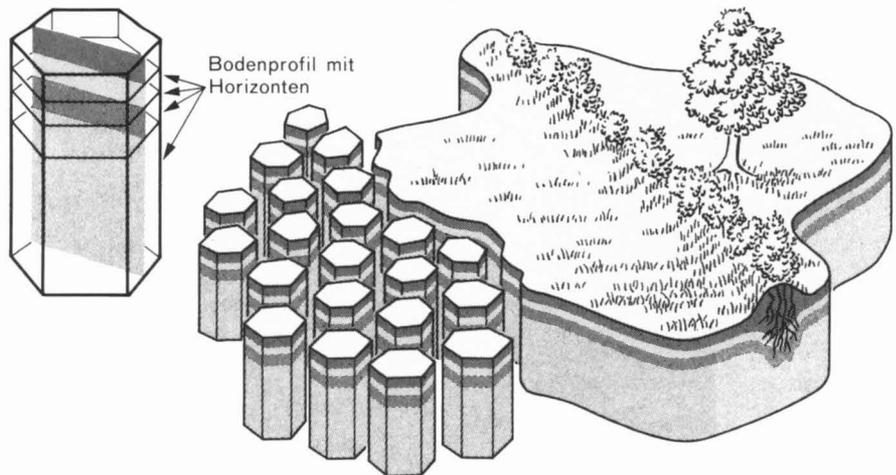


Abb. 2: Aufteilung eines willkürlichen Ausschnitts aus der Pedosphäre in Pedons (korrekt Pedon); links oben: idealisiertes Einzelpedon mit Bodenprofil

Das Ausscheiden von Pedons entspricht etwa dem Vorgehen in der Mineralogie oder Kristallographie, wo ja auch nicht immer isolierte Einzelkristalle, sondern meistens Kristallverbände vorliegen, und wo man sich eine kleinste dreidimensionale Elementarzelle vorstellt, die alle Eigenschaften und Symmetrieanordnungen des Gesamtkristalls aufweist.

Der senkrechte Schnitt durch die Pedosphäre oder durch ein Pedon (Abb. 2) wird mit dem häufig gebrauchten Ausdruck *Bodenprofil* bezeichnet. Dieser zweidimensionale Schnitt kann auch beschrieben werden, vor allem kann man an ihm die *Bodenhorizonte* als Ergebnis der Pedogenese, d. h. der Entstehung und Entwicklung der Böden im Ablauf der Zeit, erkennen; das Bodenprofil ist aber kein Bodenkörper, in dem z. B. Pflanzen wurzeln oder Bodentiere leben können.

Die Ausmaße eines Pedons betragen lateral etwa  $1-10 \text{ m}^2$ , je nach der Variabilität der Bodenmerkmale, vor allem der Bodenhorizonte, die nicht immer horizontal, sondern auch wellenförmig verlaufen oder auskeilen können; vertikal variiert die Tiefe von wenigen Zentimetern bei schwach entwickelten Rohböden in Gebirgslagen bis zu mehreren Metern einer in ihrer Bodenentwicklung weit fortgeschrittenen tropischen Roterde<sup>1</sup>.

Böden bilden — als Einzelpedons betrachtet, aber auch als Bestandteile der kontinuierlichen Bodendecke — in allen Richtungen *offene Pedosysteme*. Sie sind durch Gewinne und Verluste an Energie und Materie gekennzeichnet (z. B. Wärme, gasförmige, flüssige und feste Bestandteile) und damit durch externe und interne *Energie- und Massenflüsse*. Es sind somit keine statischen, sondern *dynamische* Systeme, die sich außerdem unter dem Einfluß der Außenfaktoren im Laufe der *Zeit* verändern und entwickeln (s. o.). Böden sind also nicht nur dreidimensionale Körper, sondern letzten Endes vierdimensionale **Raum-Zeit-Strukturen**.

Der einfache Begriff „Boden“ umfaßt somit eine Reihe von Begriffsinhalten, die sich aus seinem komplexen Charakter als Grenzphänomen im Überschneidungsbereich verschiedener Sphären ergeben.

Auch die **Bodenkunde** oder *Pedologie*, die sich mit dem Boden in Forschung, Lehre und Studium beschäftigt, liegt in einem Überschneidungsbereich — zwar nicht verschiedener Natursphären wie der Boden —, aber verschiedener wissenschaftlicher Nachbardisziplinen (Abb. 3). Sie ist eine ausgesprochen interdisziplinäre Wissenschaft.

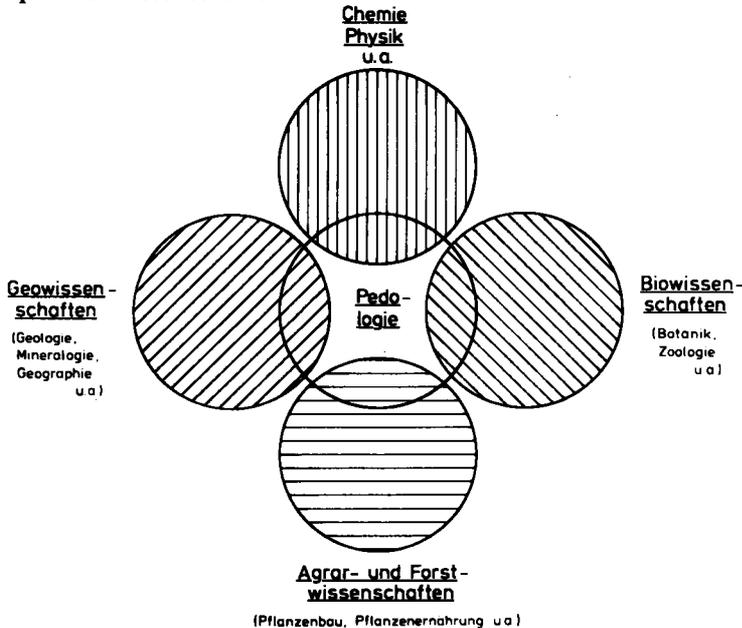


Abb. 3: Die Stellung der Bodenkunde (Pedologie) im Rahmen ihrer Nachbardisziplinen

In den Überschneidungssegmenten — das sind die Teilbereiche der Bodenchemie, -physik, -biologie, -geographie, -mineralogie und -technologie — bedient sich die Bodenkunde vorwiegend der Verfahren der Nachbarwissenschaften; aber auch die Nachbardisziplinen benutzen in zunehmendem Maße den Boden (oder Bodenbestandteile) als ihren Forschungsgegenstand (z. B. Kolloidchemiker, Mineralogen, Geomorphologen, Mikrobiologen).

Im Zentralbereich liegen die spezifisch bodenkundlichen Bereiche der *Boden-genetik*, die sich mit der Entstehung und Entwicklung der Böden befaßt, und die *Bodensystematik*, deren Gegenstand die Klassifizierung der Böden unter genetischen, regionalen und funktionalen Aspekten ist.

In diesen Bereichen hat die Pedologie auch eigene Arbeitsmethoden und Denkweisen entwickelt, z. B. das Verfahren der Bodenhorizontbilanzierung oder die Idee von der Pedogenese. Damit erfüllt die Bodenkunde trotz ihres interdisziplinären Charakters alle drei Forderungen, die an eine eigenständige wissenschaftliche Disziplin gestellt werden müssen:

sie besitzt einen eigenen Forschungsgegenstand — den Boden —, sie hat eigene fach- und objektspezifische Verfahren erarbeitet, und sie hat eigene Denkweisen und Konzepte entwickelt.

Nach diesem Exkurs über die Stellung der Bodenkunde nun zur **Umwelt des Menschen**, der die Böden als offene Pedosysteme und Bestandteile von Ökosystemen angehören.

Das Wort *Umwelt* ist ein sehr vielschichtiger Begriff, der allein oder in zusammengesetzter Form wie Umweltschutz, -sicherung, -forschung, -belastung u. a. in unterschiedlicher Weise gebraucht und vielfach als sehr komplex, als diffus und schwer faßbar bezeichnet wird. Das trifft in der Tat zu.

*K. Scholder*, der langjährige Vorsitzende des Senatsausschusses für Umweltforschung der DFG meint sogar: „Der Begriff Umwelt ist kein naturwissenschaftlicher Begriff, der eindeutigen Definitionen zugänglich wäre“. Ich bin anderer Meinung; der Begriff ist sowohl naturwissenschaftlich als auch definierbar.

Geprägt wurde er nach den Erkenntnissen der Sprachforscher wahrscheinlich von dem deutsch-dänischen Dichter und Geisteswissenschaftler *Jens Baggesen*, der ihn etwa 1790 in das deutsche Schrifttum einführte. In weiten naturwissenschaftlichen Kreisen publik gemacht wurde er jedoch durch den dänischen Physiker *Hans Christian Ørsted* (Entdecker des Elektromagnetismus) mit der deutschen Ausgabe seines Buches „Der Geist in der Natur“, in dem das dänische Wort „Omverden“ 1850 im Sinne *Baggesens* mit „Umwelt“ übersetzt wurde. Seither hat das Wort seinen festen Platz im deutschen Schrifttum, wenn auch mit unterschiedlicher Begriffsbestimmung.

Was bedeutet nun dieses Wort „Umwelt“?

Zunächst: „Die Welt um uns“, „die Welt, in der wir leben“ ist Bestandteil eines umfassenden Systems, einer übergeordneten Sphäre, die den gesamten Erdraum umfaßt, der *Geosphäre*. Diese Geosphäre mit den obengenannten Teilosphären der Litho-, Hydro-, Atmo-, Bio- und Pedosphäre bildet ein globales Ökosystem, das nach *H. Ellenberg* je nach den Lebensmedien unterteilt werden kann in:

- *Marine* Ökosysteme des Salzwassers
- *Limnische* Ökosysteme des Süßwassers
- *Semiterrestrische* Ökosysteme der Naß-Standorte,
- *Terrestrische* Ökosysteme der Feucht- und Trocken-Standorte.

Neben diesen natürlichen oder naturnahen Systemen existieren die künstlichen — *Urban-industriellen* Ökosysteme der Stadt- und Industriegebiete mit ihren Randzonen.

Da zur Definition der Umwelt des Menschen der Begriff Ökosystem benötigt wird, ist — obwohl auch fast jedem geläufig — zunächst dieser Begriff zu klären.

Das Wort Ökosystem entstammt der Ökologie, der Wissenschaft von den Beziehungen der Lebewesen zu ihrer Umwelt im Energie- und Stoffhaushalt der Natur. Ein Ökosystem ist dementsprechend das Beziehungssystem oder das Wirkungsgefüge von Lebewesen mit ihrer Umwelt. Hierbei wird das Wort Umwelt von den Ökologen allerdings nicht im Sinne der hier zu definierenden Umwelt des Menschen gebraucht, sondern als die abiotische „Umgebung“ der Lebewesen, als die Summe der Außenfaktoren, die auf die Lebewesen einwirken, angesehen.

Dabei wurde in der Ökologie bis vor kurzem fast ausschließlich an pflanzliche und tierische Ökosysteme gedacht und der Mensch als Lebewesen und Bestandteil von Ökosystemen weitgehend vernachlässigt. Erst *H. Ellenberg* hat den Versuch gemacht, die Bedeutung des Menschen bei seiner Klassifikation der Ökosysteme mit der Bildung der urban-industriellen Ökosysteme zu berücksichtigen, wobei kritisch angemerkt werden muß, daß der Mensch natürlich auch in den terrestrischen und semiterrestrischen Ökosystemen zu Hause ist und dort wirkt.

Wenn wir aber die gesamte Umwelt des Menschen im Blickfeld haben und sie ökologisch definieren wollen, dann muß unter den Lebewesen — neben den niederen und höheren Pflanzen und Tieren — dem *Menschen* im umfassenden Ökosystem der Natur — das wir jetzt als *Ökosphäre* bezeichnen können — ein besonderer zentraler Platz zugewiesen werden.

Es erscheint daher sinnvoll, neben der Phyto- und Zoosphäre — als Teilsphären der Biosphäre — die *Anthroposphäre*, den Lebensraum des Menschen, als weiteren Bestandteil der Biosphäre einzuführen.

Der Verbund dieser drei Teilsphären der Biosphäre mit der Atmosphäre, der Hydrosphäre und der Pedosphäre (die die Lithosphäre mit einschließt) — mit der Anthroposphäre im Mittelpunkt — wäre dann die Umwelt des Menschen. Das ist in dem in der Mitte stehenden Kreis der Abb. 4 schematisch dargestellt, wobei die Worte Mensch, Flora, Fauna, Wasser, Luft und Boden für die entsprechenden Sphären stehen.

Man kann jetzt definieren: **Die Umwelt des Menschen ist das Beziehungssystem zwischen der Anthroposphäre und den übrigen Teilsphären der globalen Ökosphäre.**

Stark verkürzt könnte man auch die Umwelt des Menschen als ein „*Anthropoökosystem*“ bezeichnen, wobei dieses eine Fremdwort für das ganze komplexe Verbundsystem mit seinen vielfachen Verflechtungen stünde. Dieses Wort „Anthropoökosystem“ scheint mir ziemlich genau und treffend zu sein. „Es liegt aber leider“ — um mit *Dürrenmatt* zu sprechen — „im Wesen der Sprache, an Inhalt zu verlieren, was sie an Genauigkeit gewinnt.“

In diesem Verbundsystem der Umwelt des Menschen nimmt der Boden zwar keine zentrale Stellung ein — im Zentrum steht der Mensch —, wohl aber eine

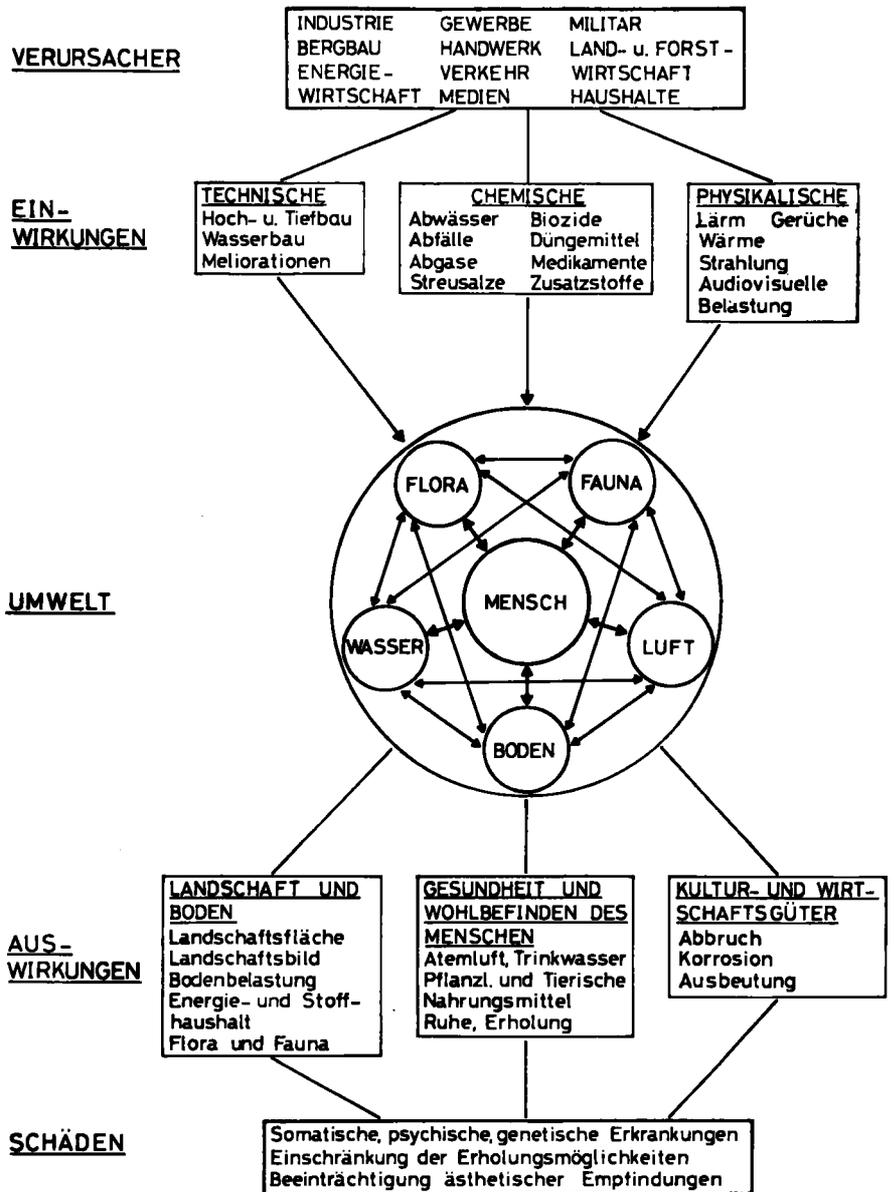


Abb. 4: Die Umwelt des Menschen und ihre Belastung

*fundamentale* (im Schema der Abb. 4 beziehungsweise dadurch angedeutet, daß er an der Basis des Systems steht).

Der Boden ist das **Fundament**, auf dem wir leben und wohnen; der Boden ist das **Substrat**, in dem grüne Pflanzen wurzeln, die im Zuge der Photosynthese die organischen Pflanzenstoffe produzieren, die als Nahrung für Tier und Mensch dienen, und das außerdem wichtige Nutstoffe liefert.

Zwar bringen auch die Weltmeere, in denen das Leben ursprünglich entstanden ist, große Mengen an pflanzlichen und tierischen organischen Substanzen hervor; aber ohne des Festland mit seiner Bodendecke, ohne den fruchtbaren Boden als Standort für Pflanze, Tier und Mensch ist menschliches Leben auf Dauer nicht möglich. Das ist eine Binsenwahrheit und eine Selbstverständlichkeit; aber auch Binsenwahrheiten müssen gelegentlich formuliert und ausgesprochen werden.

Vielleicht nicht so selbstverständlich und allgemein bekannt ist die *etymologische* Ableitung der fundamentalen Bedeutung des Bodens im Umwelt-System des Menschen.

Das lateinische Wort *homo* in *homo sapiens* und das althochdeutsche Wort *gomo* (heute noch in Bräutigam erhalten) und das lateinische Wort *humus* für Erdboden (im Sinne des fruchtbaren, humosen Bodens) gehen auf die gleiche indogermanische Wurzel zurück. Auch in einem ganz anderen Sprachkreis besteht diese enge semantische Beziehung: im Hebräischen heißt der Mensch *adam* und der Ackerboden *adamah*. Der Mensch ist also der auf dem fruchtbaren Boden Lebende. Von den Anfängen der Menschheit existiert somit schon das Bewußtsein, daß der Boden die Basis unseres Lebens und damit natürlich auch unseres ganzen Umwelt-Systems ist.

Mit den bisherigen Ausführungen sind die beiden wichtigsten, sozusagen klassischen Aufgaben und Funktionen des Bodens in unserem Umwelt-System angesprochen: einmal Standort und Lebensraum für Pflanze, Tier und Mensch zu sein, und zweitens als Produzent von Nahrungs- und Nutstoffen zu fungieren.

In der modernen Industriegesellschaft kommen weitere Funktionen hinzu: die **Funtionen als Filter-, Puffer- und Transformations-Systeme gegenüber Umwelt-Belastungen**. Abb. 4 zeigt in einem generellen Schema die möglichen Belastungen unserer Umwelt und die möglichen Schäden. Unser „Anthropo-ökosystem“ steht hier in der Mitte zwischen *Verursachern* und den möglichen *Einwirkungen* (oben) und den resultierenden *Auswirkungen* und potentiellen *Schäden* auf den Menschen (unten). Das Schema spricht für sich und bedarf keiner näheren Erläuterung.

Zu behandeln ist jedoch die Frage, was der Boden als Filter-, Puffer- und Transformations-System gegenüber diesen Belastungen — selbstverständlich nicht allen, sondern nur denen, die das Pedosystem betreffen — leisten kann. Die **Filter-Funktion** besteht in der Bindung *fester* — nicht gelöster — Schmutz- und Schadstoffe, z. B. Abfälle aller Art wie Müll, Schutt, Mist, Gülle, Fäkalien, Klärschlamm mit denen in ihnen enthaltenen potentiell toxischen Elementen wie Fluor, Quecksilber, Cadmium, Blei, Zink, Kupfer u. a., so daß diese Schmutz- und Schadstoffe das Grund- und Trinkwasser nicht verunreinigen können.

Filterwirkung und -leistung sind vor allem von der Bodentextur und -struktur (Bodenart und -gefüge) sowie von der Mächtigkeit des Bodenkörpers abhängig. Die *Filterwirkung*, d. h. die Menge an festen Schadstoffen ist am höchsten bei Ton- und Schluffböden mit feinem Porensystem, geringer Permeabilität und großer Mächtigkeit des Bodenkörpers. Sie ist gering bei Sandböden mit grobem Porensystem, guter Permeabilität und bei geringer Mächtigkeit des Bodenkörpers.

Anderes gilt für die *Filterleistung*, worunter die Sickerwassermenge je Zeiteinheit zu verstehen ist, die gereinigt werden kann. Sie ist gering bei den schwer durchlässigen Schluff- und Tonböden und höher bei den gut durchlässigen Sandböden, die aber nur eine geringe Filterwirkung haben.

Das *Optimum* für Filterwirkung und Filterleistung liegt bei den Lehm Böden guter Struktur mit mächtigem Bodenkörper.

Unter **Puffer-Funktion** wird die Bindung gelöster — nicht fester — Schmutz- und Schadstoffe verstanden, z. B. im Niederschlagswasser gelöster Schwefel- oder Stickstoffoxide, löslicher toxischer Elemente aller Art (s. o., die je nach den physikochemischen Verhältnissen in der festen oder flüssigen Phase vorliegen können), gelöster Streusalze, löslicher Pflanzenschutz- und Unkrautbekämpfungsmittel.

Diese gelösten potentiellen Schadstoffe können von den mineralischen und organischen Bodenkolloiden — das sind vor allem die Tonminerale und Huminstoffe, aber auch die Eisen-, Aluminium- und Manganhydroxide und -oxide — adsorbiert und fixiert und damit immobilisiert werden. Sie können aber auch in Abhängigkeit vom pH und Redox-Potential als schwer- oder unlösliche chemische Verbindung ausfallen und damit dem Stoffkreislauf entzogen werden.

Die *Pufferkapazität* der Böden ist abhängig vom Gehalt an Bodenkolloiden aller Art und vom jeweiligen physikochemischen Zustand der Böden. Sie ist am höchsten in Böden mit hohen Gehalten vor allem an Tonmineralen und Huminstoffen.

Die **Transformations-Funktion** bezieht sich auf die Umwandlung und den Abbau *organischer* Schmutz- und Schadstoffe, z. B. Jauche, Gülle, Klärschlamm, organische Biozide, zu unschädlichen Verbindungen durch die biotische Aktivität der Bodenorganismen im Zuge von Verwesung, Mineralisierung und Humifizierung.

Das höchste Transformationsvermögen haben unsere fruchtbaren Böden mit hohen Gehalten an leicht umsetzbarer Substanz und optimalen Wasser-, Luft-, Wärme-, Nährstoff- und Reaktionszuständen. Hohe Bodenfruchtbarkeit, hohe biotische Aktivität und hohes Transformationsvermögen laufen daher fast immer parallel.

Mit seiner Funktion als Filter-, Puffer- und Transformations-System spielt der Boden somit eine entscheidende Rolle im Kampf gegen Umweltverschmutzung und -Belastung. Allerdings darf der Boden auch nicht über-

fordert werden. Belastungen sind nur so lange kompensierbar, wie die Filter- und Pufferkapazität nicht überschritten und die biotische Aktivität nicht gestört werden. Ständige *Kontrolle* durch Bodenuntersuchung und -kartierung ist deshalb vonnöten.

Faßt man die erstgenannten klassischen Funktionen des Bodens als Standort, Lebensraum und Nahrungsproduzent mit den eben behandelten Funktionen gegen Umwelt-Belastungen zusammen, und bedenkt man, daß der Boden zusätzlich als Bestandteil von Landschafts- und Naturschutzgebieten sowie Erholungsräumen auch noch ideelle und ästhetische Funktionen ausübt (vgl. Abb. 4), dann kann wohl mit vollem Recht festgestellt werden, daß der Boden im Umweltsystem des Menschen eine fundamentale Stellung einnimmt.

Vielleicht haben einige Zuhörer in meinem Vortrag konkretes Zahlenmaterial, Ergebnisse von Erhebungs- und experimentellen Untersuchungen, genauere Angaben über die aktuelle Belastung und die potentielle Belastbarkeit unserer Böden vermißt — sie liegen in großer Zahl vor —; ich habe bewußt darauf verzichtet und habe geglaubt, auf einem Fest-Kolloquium für einen bedeutenden Bodenkundler einmal ganz allgemein die Bedeutung des Bodens für unser Leben herauszustellen.

Ich möchte mit einem Zitat schließen, daß meine Intentionen unterstützt, und das von *Friedrich Albert Fallou* stammt, dem Wegbereiter der modernen Bodenkunde, einem sächsischen Advokaten und Steuerrevisor, der mit 57 Jahren seinen Beruf aufgab und sich mit einer fast schwärmerischen Liebe der Erforschung des Bodens widmete. Er schrieb 1862 in einem Prospekt zu seinem Buch „Pedologie oder allgemeine und angewandte Bodenkunde“ die — wie ich meine — sehr schönen Sätze:

„Es gibt in der ganzen Natur keinen wichtigeren, keinen der Betrachtung würdigeren Gegenstand als den Boden! Es ist ja der Boden, welcher die Erde zu einem freundlichen Wohnsitz der Menschen macht; er allein ist es, welcher das zahllose Heer der Wesen erzeugt und ernährt, auf welchem die ganze belebte Schöpfung und unsere eigene Existenz letztlich beruhen“.

#### *Anmerkung*

<sup>1</sup> Während des Vortrages wurden 10 ausgewählte Farbdias positive von Natur- und Kulturböden als Beispiele für die große Vielfalt der Bodenbildungen auf der Erde demonstriert, die hier aus Kostengründen nicht reproduziert werden können.