

Ein Bodenkonzept für die Landwirtschaft in der Schweiz: Grundlagen für die Beurteilung der nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodennutzung

Toni Candinas, Jean-Auguste Neyroud, Hansrudolf Oberholzer und Peter Weisskopf

Dipl. Ing.-Agr. ETH Toni Candinas

Studium der Agronomie, Fachgebiet Pflanzenbau Von 1980 bis 1999 an der damaligen Eidg Forschungsanstalt für Agrarkulturchemie und Umwelthygiene in Liebefeld-Bern im Bereich Dünger, insbesondere Abfalldüngung. Seit 1999 im Direktionsstab, Stabsstelle Ökologie, des Bundesamtes für Landwirtschaft für den Bereich „Boden, Stoffe“ verantwortlich

Dr. sc. nat. Hansrudolf Oberholzer

Studium der Naturwissenschaften, Fachgebiet Biologie. Promotion, seither Leiter der Gruppe Bodenbiologie an der Eidg Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FaAL, Zürich-Reckenholz

Dr. sc. techn. Peter Weisskopf,

dipl. Ing. Agr. ETH Agronomiestudium, Dissertation über „Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht“, Leiter der Gruppe „Bodenfruchtbarkeit/Bodenschutz“ an der Eidg Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FaAL, Zürich-Reckenholz

Dr. sc. techn. Jean-Auguste Neyroud

Studium der Agronomie, Dissertation über Zeolithbildung aus Kaolinit-Ton. Leiter der Gruppe „Boden und Düngung“ an der Eidg Forschungsanstalt für Pflanzenbau RAC, Changis-Nylon

Zusammenfassung

Mit dem Ziel, die Bodenfruchtbarkeit in landwirtschaftlichen Böden langfristig zu erhalten, hat das Bundesamt für Landwirtschaft der Schweiz zusammen mit zwei Forschungsanstalten ein „Bodenkonzept“ erarbeitet. Mögliche Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen und -eigenschaften durch menschliche Tätigkeiten werden damit beurteilt. Das Konzept bietet eine naturwissenschaftlich abgestützte, transparente und dadurch nachvollziehbare, diskussions- und entwicklungsfähige gemeinsame Basis für Forschung, Monitoring, Beratung, Vollzug und Politik im Bereich Boden.

◆ **Schlüsselwörter:** Bodenfruchtbarkeit, Bodenkonzept, Bodenfunktionen, Bodeneigenschaften, landwirtschaftliche Bodennutzung, Bodenschädigung und Bodenregeneration.

Summary

In order to protect the fertility of soils by sustainable soil uses, the Swiss Federal Office for Agriculture has - together with two research stations - developed a „soil concept“.

Possible alterations of soil functions and soil properties by human activities are described and evaluated. The concept offers a scientifically sound, transparent and easily applicable tool for the control of legislative acts and agricultural policies related to sustainable soil use. As a common basis for research and extension services, it can be extended to take new research results into account.

◆ **Keywords:** Soil fertility, soil concept, soil functions, soil properties, agricultural soil use, soil degradation, soil regeneration

1. Einleitung

Boden, Luft und Wasser sind drei wichtige Umweltbereiche. Zum Bereich Wasser wurde in der Schweiz 1971 ein Gewässerschutzgesetz erlassen. 1983 folgte das Umweltschutzgesetz, das 1985 mit einer Verordnung zur Reinhaltung der Luft, 1986 mit einer Verordnung zum Schutz des Bodens konkretisiert worden ist. Die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist in der Öffentlichkeit als Anliegen weniger gut verankert als die Luftreinhaltung und der Gewässerschutz – ein mit Schadstoffen kontaminierter Boden kann eben mit den menschlichen Sinnen nicht so einfach als solcher erkannt werden wie verschmutztes Wasser oder verdreckte Luft.

Land- und Forstwirtschaft nutzen 3/4 der Gesamtfläche der Schweiz (28 % sind landwirtschaftliche Nutzfläche, 20 % Alpweiden). Der Boden ist die Produktionsgrundlage dieser Wirtschaftszweige. Die Sicherung und wo möglich Verbesserung der Ertrags- und Nutzungsfähigkeit der Boden ist ein zentrales Anliegen der Agrarpolitik. Dabei gibt es einerseits den quantitativen Aspekt, landwirtschaftlich nutzbare Böden in ihrer flächenhaften Ausdehnung zu erhalten. Andererseits muss die Fruchtbarkeit der einzelnen Böden auch qualitativ erhalten bleiben. Agronomisch gesehen geht es vor allem um die Fähigkeit, regelmäßig quantitativ und qualitativ gute Pflanzenerträge zu erbringen. Aus ökologischer Sicht hingegen ist Bodenfruchtbarkeit viel umfassender zu beurteilen. Sie ist dort vorhanden, wo der Boden die angestammten vielfältigen Funktionen zu erfüllen vermag.

Da die Nahrungsmittelerzeugung der modernen Landwirtschaft in den westlichen Industrieländern den Bedarf der einheimischen Bevölkerung übertrifft, neigen viele Menschen in diesen Ländern zur Annahme, die Ressource Boden sei für die Landwirtschaft qualitativ und quantitativ zur Genüge vorhanden. Es bestehen aber verschiedene Indizien, dass dem nicht so ist.

Global betrachtet

◆ steigt der Nahrungsmittelbedarf: 800 Millionen Menschen hungern und die Erdbevölkerung nimmt pro Jahr um 80 Millionen Menschen zu.

◆ hat die landwirtschaftlich genutzte Fläche pro Kopf der Erdbevölkerung abgenommen (von 6500 m² pro Person im Jahr 1965 auf 5100 m² im Jahr 1995 [1]) und wird weiter abnehmen.

◆ nimmt die Bodenfruchtbarkeit des anbaufähigen Landes ab: Von der Landfläche der Erde von rund 13.000 Mio ha werden heute 4.600 Mio ha (36%) als Acker-, Wies- und Weideland genutzt. Davon wurden 1990 1.200 Mio ha (27%) als (mindestens teilweise) degradiert klassifiziert [1].

Vor diesem Hintergrund und gestützt auf verschiedene gesetzliche Erlasse (u. a. die Verordnung über Belastungen des Bodens [2] und die Nachhaltigkeitsverordnung [3]) verstärkt das schweizerische Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) sein Engagement im Bereich Boden. Das vorliegende Bodenkonzept soll dem BLW die bodenkundlichen Grundlagen liefern, um die Wirkungen der Agrarpolitik und der landwirtschaftlichen Tätigkeiten auf den Boden untersuchen und geeignete Maßnahmen veranlassen zu können.

Die Partner des BLW zur Erarbeitung dieses Bodenkonzepts sind insbesondere die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FaAL) in Zürich und die station fédérale de recherches en production végétale de Changins (RAC) in Nyon. Das Anliegen, den Boden qualitativ und quantitativ zu erhalten, ist ihnen und dem BLW gemeinsam. Aus der Sicht dieser Forschungsanstalten besteht aber in erster Linie das Bedürfnis, eine naturwissenschaftlich abgestützte, transparente und dadurch nachvollziehbare, diskussions- und entwicklungsfähige gemeinsame Basis für Forschung, Monitoring, Beratung, Vollzug und Politik im Bereich Boden zu erarbeiten.

Die Partner des BLW zur Erarbeitung dieses Bodenkonzepts sind insbesondere die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FaAL) in Zürich und die station fédérale de recherches en production végétale de Changins (RAC) in Nyon. Das Anliegen, den Boden qualitativ und quantitativ zu erhalten, ist ihnen und dem BLW gemeinsam. Aus der Sicht dieser Forschungsanstalten besteht aber in erster Linie das Bedürfnis, eine naturwissenschaftlich abgestützte, transparente und dadurch nachvollziehbare, diskussions- und entwicklungsfähige gemeinsame Basis für Forschung, Monitoring, Beratung, Vollzug und Politik im Bereich Boden zu erarbeiten.

2. Bodenkundliche Grundlagen des Bodenkonzepts

Das Bodenkonzept des BLW schafft die fachlichen Grundlagen für

◆ Abklärungen der politischen Bedürfnisse im Hin-

blick auf die landwirtschaftliche Bodennutzung in der Schweiz

- ◆ Festlegungen der entsprechenden Steuergrößen, sowie
- ◆ die Lösung von Fragen der Organisation und Koordination aller Akteure im Bereich landwirtschaftliche Bodennutzung

Die bodenkundlichen Beurteilungen stützen sich sinngemäß auf die schweizerische Verordnung über Belastungen des Bodens [2] ab.

In einem ersten Schritt werden die Funktionen, dann die Eigenschaften von Boden definiert. In den weiteren Schritten werden die Einflüsse von Veränderungen der Bodeneigenschaften auf die Bodenfunktionen beschrieben und die Möglichkeit von Beeinträchtigungen des Bodens sowie deren Behebung beurteilt. Das Ziel ist die Bewertung von Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen aufgrund von Veränderungen der Bodeneigenschaften. Dahinter steht die Absicht, die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zu gewährleisten.

2.1 Definition und Beschreibung der Bodenfunktionen

Ein Boden wird dann als fruchtbar betrachtet, wenn er die an ihn gestellten Erwartungen bzw. seine Funktionen erfüllt. Dieser Ansatz wurde grundsätzlich auch der Verordnung über Belastungen des Bodens [2] (VBBö) zugrundegelegt. Für das Bodenkonzept wurden 17 Bodenfunktionen definiert und beschrieben. Sie werden in 5 thematische Gruppen gegliedert.

Der Detaillierungsgrad der Funktionsaufteilung ist grundsätzlich variabel. Je nach Fragestellung können einzelne Funktionen weggelassen oder weitere hinzugefügt und unterschiedlich gruppiert werden.

Die Lebensraumfunktionen

Die Lebensraumfunktionen sind ursprüngliche und natürliche Funktionen des Bodens, sie sind gegeben durch die räumliche Anordnung der Bodenmatrix und der Hohlräume.

- ◆ **Erschließbarer Raum** Die festen Bestandteile des Bodens bilden ein Gerüst mit unterschiedlich großen und mehr oder weniger vernetzten Hohlräumen. Diese Hohlräume bilden den Lebensraum für Organismen und Pflanzenwurzeln und bieten gleichzeitig Verankerungsmöglichkeiten für die Pflanzen.
- ◆ **Wasserspeicher** Das pflanzenverfügbare Wasser macht nur den kleineren Teil des im Boden gespeicherten Wassers aus. Es ist jener Anteil des Bodenwassers, der nicht übermäßig stark in den Feinporen zurückgehalten wird; er ist abhängig von der Größenverteilung der Poren („Groporen“, „Mittelporen“).
- ◆ **Gasaustausch** Die nicht mit Wasser gefüllten Poren enthalten Luft und ermöglichen dadurch den Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre.
- ◆ **Wärmespeicher** Boden nimmt Wärme auf und speichert sie; die Wärmespeicherfähigkeit wird bestimmt durch die spezifische Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität der Komponenten Bodenmatrix, Bodenwasser und Bodenluft

	Lebensraumfunktionen				Allgemeine ökologische Funktionen				„Anthropozentrische“ ökologische Funktionen		Agronomische und hydrologische Funktionen		Ökonomische, gesellschaftliche und kulturelle Funktionen			
	Erschließbarer Raum	Wasserspeicher	Gasaustausch	Wärmespeicher	Pufferung der Bodenreaktion	Stoffspeicher	Stoffumsatz/-abbau	Füllwirkung (physikalisch)	Diversität Pflanzen	Diversität Bodenorganismen	Produktion von Pflanzenbiomasse	Wasserhaushalt	CO ₂ -Senke	Landwirtschaftswertfall	Rohstoffquelle	Baugrund
Grundigkeit	3d	3d	0	3d	3d	3d	1	3d	0	0	3d	3d	2d	0	3d	0
Körnng., Steingehalt	i	i	i	d	i	i	i								0	
Gefügeaufbau	3d	3d	3d	2d	0	1	2i	3d	0	0.5	3d	3d	2i	0	0	0
Gefugestabilität	2i	2i	2i	1	0	0	1	1	0	0	2i	2i	1	0	0	0
Menge und Diversität des Bodenlebens	0	0	0	0	0	1	3d	0	0	3d	0	0	1	0	0	0
Aktivität des Bodenlebens	0	0	0	0	1	0	3d	0	0	0	2i	0	2d	0	0	0
Gehalt und Qualität des organisch gebundenen Kohlenstoffs	1	2i	1	2d	1.5d	2i	1	1	0	2d	2i	2i	2i	0	0	0
Bodenreaktion	0	0	0	0	3d	2i	3i	0	0	2d	2d	0	1	0	0	0
Speicherkapazität Stoffe	0	0	0	0	2d	2d	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Nährstoffgehalt inkl. Salzgehalt	0	0	0	0	0	0	1	0	3d	0.5	3d	0	0	0	0	0
Schadstoffgehalt	0	0	0	0	0	0	2i	0	2d	1.5d	2d	0	2i	0	0.5	0

Bewertungsskala
 Note 0 = Eine massive Veränderung einer Bodeneigenschaft (gemäß Tabelle 2) hat keinen Einfluss auf die entsprechende Bodenfunktion
 Note 3 = Eine massive Veränderung einer Bodeneigenschaft (gemäß Tabelle 2) führt zum Ausfall der betreffenden Bodenfunktion
 Noten 1 – 2 = Zwischen den Noten 0 und 3 wird interpoliert
 „Körnng., Steingehalt“ wurde nicht quantitativ bewertet, weil sich diese Eigenschaft nicht ändert
 Erläuterungen
 d = die Eigenschaft hat einen direkten Einfluss auf die entsprechende Bodenfunktion
 i = die Eigenschaft hat einen indirekten Einfluss auf die entsprechende Bodenfunktion

Tabelle 1
Bewertung der Bedeutung von Bodeneigenschaften für Bodenfunktionen

Allgemeine ökologische Funktionen

Die allgemeinen ökologischen Funktionen haben einen starken Einfluss auf die Lebensbedingungen der Organismen im Boden und in angrenzenden Biotopen.

- ◆ **Pufferung der Bodenreaktion:** Im Boden sind eine Reihe von Puffersystemen wirksam, welche die anfallenden Protonen reversibel oder irreversibel binden und damit den pH-Wert stabilisieren können. Der pH-Wert ist stark vom Ausgangsmaterial und den Bodenbildungsfaktoren bzw. -prozessen abhängig.
- ◆ **Stoffspeicher** Viele dem Boden zugeführte Stoffe (Makro- und Mikronährstoffe, anorganische und organische Schadstoffe, Pflanzenbehandlungsmittel bzw. deren Abbauprodukte, ...) können im Boden gespeichert und – in unterschiedlichem Ausmaß – aus dem Bodenspeicher wieder abgegeben oder ihm entzogen werden.
- ◆ **Stoffumsatz/-abbau:** Der Boden ist in den Stoffkreisläufen die für den Stoffabbau mit Abstand wichtigste Station. Gleichzeitig finden im Boden auch Um- und Aufbauprozesse statt. Der Abbau abgestorbener und zugeführter organischer Substanz (inklusive synthetischer Fremdstoffe) ist die wichtigste ökologische Funktion der Bodenorganismen.

- ◆ Filterwirkung (physikalisch). Abgestorbene Organismen (Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen), Erntereste, sowie viele andere anorganische und organische Partikel werden auf dem Boden bzw. in den oberen Bodenschichten zurückgehalten. Sie gelangen deshalb nicht ins Grundwasser und können im Boden gespeichert bzw. abgebaut werden

„Anthropozentrische“ ökologische Funktionen

Eine hohe Diversität ist nicht immer und überall eine natürliche Notwendigkeit, sondern wird oftmals als Anliegen der Gesellschaft angestrebt.

- ◆ Diversität Pflanzen. Je nach Standort- und damit auch Bodeneigenschaften können sich typische Pflanzengesellschaften entwickeln.
- ◆ Diversität Bodenorganismen: Boden weisen eine ihrem Standort entsprechende vielfältige Lebensgemeinschaft an Bodenorganismen auf

Agronomische und hydrologische Funktionen

Biomasseproduktion und Wasserhaushalt sind weiter gefasste, natürliche Funktionen von grundlegender Bedeutung für die Menschen

- ◆ Produktion von Pflanzenbiomasse: Seit Jahrtau-

senden nutzt der Mensch den Boden für den Anbau von Kulturpflanzen, die ihm Nahrung, Futter für Nutztiere, Rohstoffe und Energie liefern. Ohne diese Nutzung gibt es für den Menschen kein Leben auf der Erde.

- ◆ Wasserhaushalt: Die Böden haben hinsichtlich Grundwasserneubildung und Abflussregulation (Wasserrückhaltevermögen) eine wichtige Pufferfunktion

Ökonomische, gesellschaftliche und kulturelle Funktionen
Nicht mehr direkt mit Bodeneigenschaften verknüpfte und sehr weit gefasste Funktionen des Bodens, die nur aus menschlicher Sicht als Funktionen des Bodens zu verstehen sind.

- ◆ CO₂-Senke: Im Zusammenhang mit den Kyoto-Verträgen wird im Zuge der Begrenzung von CO₂-Emissionen der Einsatz von speziellen Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen zur vermehrten Speicherung von C im Boden diskutiert.
- ◆ Landschaftsvielfalt. Eigenart, Vielfalt und Schönheit der Landschaft als Lebens- und Erlebnisraum entsprechen Grundbedürfnissen der Menschen; zur Landschaftsvielfalt tragen auch die unterschiedlichen Böden bei.
- ◆ Rohstoffquelle: Die Nutzung des Bodens als Rohstoffquelle (Ton-, Sand-, Kies- und Torfabbau, Steinbrüche usw.) ist ökonomisch bedeutsam.
- ◆ Baugrund: Als Fläche für Siedlungen, Produktion, Verkehr erhält der Boden ökonomisch den größten unmittelbaren Wert
- ◆ Ablagerungsstätte für Abfälle: Die Nutzung des Bodens als Ablagerungsstätte für Abfälle (Verwertung von organischem Material, Deponie) ist ökonomisch bedeutsam

Tabelle 2
Maßstab für die Bewertung des Ausmaßes der potenziellen Schädigung und Regeneration von Bodeneigenschaften

Bodeneigenschaft	Kenngröße	Optimum/Ideal	massive Veränderung (entsprechend Sanierungswert-Gedanken) vgl. z. B. Tabellen 1, 4, 6	mäßige Veränderung (entsprechend Richtwert-Gedanken) vgl. z. B. Tabelle 3.
Grundigkeit	physiologische Grundigkeit [mm]	keine Erosion	*Gesamtverlust an Oberboden < 30 cm	4t/ha = 12 mm/30 Jahre
Kornung, Steingehalt	Gewichtsanteile Ton, Schluff und Sand [Gew %]	(kein Richtwert)	(nicht bewertet, da keine Veränderungen zu erwarten sind)	(nicht bewertet, da keine Veränderungen zu erwarten sind)
Gefugeaufbau	Grobporenvolumen bei pF 1,8 [Vol %]	15% Grobporenvolumen	Grobporenvolumen von 3% unterschritten	Grobporenvolumen von 6% unterschritten
Gefügestabilität	Aggregatstabilität (AS)	(kein Richtwert)	AS mit mehr als 30% Abweichung gegenüber Referenzwert (= Ausgangswert)	AS mit mehr als 15% Abweichung gegenüber Referenzwert (= Ausgangswert)
Menge und Diversität des Bodenlebens	Gehalt an mikrobieller Biomasse [mg BM-C/kg Boden]	**Referenzwert berechnet aufgrund von Bodenzusammensetzung [6]	mikrobielle Biomasse außerhalb des Wertebandes Referenzwert +/- 3 Standardabweichungen [6]	mikrobielle Biomasse außerhalb des Wertebandes Referenzwert +/- 2 Standardabweichungen [6]
Aktivität des Bodenlebens	Bodenatmung [mg CO ₂ -C/kg Boden x h]	Referenzwert berechnet aufgrund von Bodenzusammensetzung [6]	Bodenatmung außerhalb des Wertebandes Referenzwert +/- 3 Standardabweichungen [6]	Bodenatmung außerhalb des Wertebandes Referenzwert +/- 2 Standardabweichungen [6]
Gehalt und Qualität des organisch gebundenen Kohlenstoffs	Gewichtsanteil Corg [Gew %]	Gehalt Optimum nach Neyroud [7] (Qualität noch nicht definierbar)	Corg-Gehalt weniger als 50% des Referenzwertes (= standorttypischer Gehalt)	Corg-Gehalt weniger als 30% des Referenzwertes (= standorttypischer Gehalt)
Bodenreaktion	pH-Wert (H ₂ O)	pH (H ₂ O) 6.5 - 7.2	pH (H ₂ O) tiefer als 4	pH (H ₂ O) tiefer als 5.5 bzw. höher als 8.0
Speicherkapazität für Stoffe	Kabonenaustauschkapazität KUK	(kein Richtwert)	30% Abweichung gegenüber Ausgangswert	15% Abweichung gegenüber Ausgangswert
Nährstoffgehalt inkl. Salzgehalt	P-, K- und Mg-Versorgungsklasse	Versorgungsklasse genügend	einer oder mehrere Pflanzennährstoffe liegen in der Versorgungsklasse sehr arm	einer oder mehrere Pflanzennährstoffe liegen in der Versorgungsklasse arm
Schadstoffgehalt	Cu-, Zn-, Cd-, Pb-Gehalt, PAK-, PCB-Gehalt	häufiger Hintergrundwert	Gehalt ist grösser als der Sanierungswert gemäß VBBo [3]	Gehalt ist grösser als der Richtwert gemäß VBBo [3]
Anmerkungen				
* Ackerkrume wird in einer Mächtigkeit von 30 cm abgetragen, da wegen verbreitet angewendeter mischender Bodenbearbeitung ständig eine „Verdünnung“ des Oberbodens mit Unterbodenmaterial stattfindet, ist der Gesamtverlust an Oberboden geringer als 30 cm				
** für Diversität noch keine Angaben möglich				

2.2 Definition und Beschreibung von Bodeneigenschaften

Grundsätzlich kann sich die Bezeichnung „Bodeneigenschaften“ sowohl auf eigentliche Zustandsgrößen des Bodens als auch auf potenzielle Prozessverläufe im Boden beziehen. Bei der Auswahl von Bodeneigenschaften wurde vorausgesetzt, dass jeweils ein direkter Bezug zu einer oder mehreren Bodenfunktionen besteht.

Bodeneigenschaften können in unterschiedlichem Detaillierungsgrad beschrieben werden. Z. B. kann die übergeordnete Bodeneigenschaft „Bodengefüge“ sukzessive bis zu einzelnen messbaren Bodenkenngrößen heruntergebrochen werden, die zudem noch von einer bestimmten Untersuchungsmethode abhängig sind.

Im bodenkundlichen Teil des Bodenkonzepts wurden die Bodeneigenschaften begrifflich einerseits so allgemein wie möglich definiert, damit alle wesentlichen Eigenschaften darin enthalten sind, d. h. damit die Bodenqualität mit dieser Auswahl an Bodeneigenschaften weitestgehend beschrieben werden kann. Andererseits wurden die Bodeneigenschaften so detailliert wie nötig definiert, damit sie einheitlich beurteilbare Eigenschaften darstellen („Bodenkennwerte“).

Je nach Fragestellung und benötigten Aussagen kann diese Auswahl angepasst werden, indem bevorzugt übergeordnete Bodeneigenschaften oder zusätzliche detaillierte Bodenkenngrößen ausgewählt werden.

Für das Bodenkonzept wurden die mit * markierten Bodeneigenschaften oder -eigenschaftengruppen ausgewählt und in den Tabellen nach Fachgebiet gruppiert:

Die Eigenschaften „Zusammensetzung des Bodens“ und „Bodenmächtigkeit“

Diese beiden Eigenschaften beschreiben Grundvoraussetzungen für jeden Bodenkörper. Die Art und Menge der konstituierenden Bodenbestandteile.

- ◆ * **Grundigkeit:** Ist ein Maß für die Mächtigkeit des Bodenkörpers und wird häufig auf das durch Pflanzenwurzeln erschließbare Bodenvolumen bezogen.
- ◆ * **Kornung, Steingehalt.** Aufgeteilt nach Größe und mit Mengenangaben ergänzt wird mit diesen Eigenschaften die partikuläre mineralische Festsubstanz des Bodens charakterisiert.
- ◆ * **Gehalt und Qualität des organisch gebundenen Kohlenstoffs.** Üblicherweise wird der gewichtsmaßige Anteil an organisch gebundenem Kohlenstoff im Boden erfasst. Seltener wird die sehr unterschiedliche Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz auch qualitativ beschrieben

Die Eigenschaften „Gefugeaufbau“ und „Gefugestabilität“

Mit dem Gefugeaufbau wird die räumliche Anordnung der Festsubstanz bzw. der dazwischenliegenden Hohlräume beschrieben. Die Gefugestabilität zeigt auf, wie stark der Zusammenhalt zwischen den Festsubstanzbestandteilen eines Bodengefüges ist.

**Gefugeaufbau*

- ◆ **Festsubstanzanteil:** Summarisch wird auf Basis der Trockenmasse bestimmt, wie groß der gewichtsmaßige Anteil der Festsubstanz pro Volumeneinheit Boden ist.
- ◆ **Porosität.** Beschreibt summarisch den volumetrischen Anteil von Hohlräumen pro Volumeneinheit Boden. Dabei kann aufgrund eines speziellen Bestimmungsverfahrens („Desorption“) auch auf den Anteil von Hohlräumen mit unterschiedlichem Durchmesser („Groporen“, „Mittelporen“, „Fein-poren“) zurückgeschlossen werden
- ◆ **Durchlässigkeit:** Mit diesen Eigenschaften wird bestimmt, wie groß die Leitfähigkeit der Hohlräume eines Gefüges bezüglich Flüssigkeiten oder Gasen ist. Erlaubt in Verbindung mit der Porosität Rückschlüsse auf Form und Verbindung der leitenden Hohlräume

**Gefugestabilität:*

- ◆ **Aggregatstabilität.** Stellt ein Maß für die kleinräumige Stabilität der Verbindungen zwischen mineralischer und organischer Substanz im einzelnen Bodenaggregat dar.
- ◆ **Eindringwiderstand:** Gibt Hinweise auf den mechanischen Widerstand, den in den Boden eindringende kleine Körper (üblicherweise kegelförmig, stellvertretend für Pflanzenwurzeln) überwinden müssen. Erlaubt Rückschlüsse auf die gesamtheitliche Stabilität (bzw. negativ formuliert auf den Verdichtungsgrad) eines Bodengefüges
- ◆ **Vorbelastung:** Bodenmechanische Kenngröße zur Beschreibung des Verhaltens eines Bodengefüges gegenüber einwirkenden Drücken. Gibt Hinweise auf

die gesamtheitliche Stabilität (bzw. positiv formuliert auf die mechanische Tragfähigkeit) eines Bodengefüges.

Die Eigenschaften „Menge und Diversität des Bodenlebens“ und „Aktivität des Bodenlebens“

Mit diesen Eigenschaften wird einerseits die qualitative und quantitative Zusammensetzung der vielfältigen Bodenorganismen-Gemeinschaft beschrieben. Andererseits werden damit auch die verschiedensten Lebensäußerungen von Bodenorganismen-Gruppen erfasst.

**Menge und Diversität des Bodenlebens*

- ◆ **Mikrobielle Biomasse:** Menge (Masse) aller Mikroorganismen im Boden. Diese Menge kann indirekt mit verschiedenen Methoden bestimmt werden
- ◆ **Populationsstruktur der Mikroorganismen:** Mit verschiedenen Methoden können Angaben über die Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation erfasst werden.
- ◆ **Regenwurm-Biomasse:** Die Anzahl und Menge aller Regenwürmer sowie von einzelnen ökologischen Gruppen können mit standardisierten Methoden erhoben werden

**Aktivität des Bodenlebens*

- ◆ **Bodenatmung:** Allgemeines Aktivitätsmaß der Bodenorganismen.
- ◆ **Potenzielle N-Mineralisation.** Maß für das N-Mineralisationspotenzial der im Boden vorhandenen Mikroorganismen unter optimalen Bedingungen.

Die Eigenschaften „Bodenreaktion“ und „Speicherkapazität für Stoffe“

Die Bodenreaktion umschreibt das Milieu für biochemische Reaktionen im Boden. Mit der Speicherkapazität für Stoffe wird quantitativ und qualitativ beschrieben, wie viel von welchen Stoffen in einem Boden gespeichert werden kann

**Bodenreaktion:*

- ◆ **pH-Wert:** Die Protonenkonzentration im Boden gibt wesentliche Hinweise auf den Verlauf von biochemischen Reaktionen und das Auftreten bzw. Verhalten von chemischen Substanzen (Nähr- und Schadstoffe) im Boden

- ◆ Redoxpotenzial Mit dieser Eigenschaft wird die Verfügbarkeit von Elektronen im Boden beschrieben Sie erlaubt Rückschlüsse auf im Boden ablaufende biochemische Reaktionen und das Auftreten bzw. Verhalten von chemischen Substanzen im Boden
Speicherkapazität für Stoffe
- ◆ Kationen-Austauschkapazität: Gibt Hinweise auf die Menge an positiv geladenen Teilchen, die an mineralischen und organischen Oberflächen im Boden zwischengespeichert und wieder ausgetauscht werden können.

Die Eigenschaften „Nährstoffgehalt“ und „Schadstoffgehalt“ Diese beiden Eigenschaften beschreiben, wie viel von bestimmten pflanzenphysiologisch erwünschten Nährstoffen bzw. okotoxikologisch unerwünschten Schadstoffen im Boden vorhanden bzw. verfügbar sind

- ◆ *Nährstoffgehalt inkl. Salzgehalt: Menge an pflanzenphysiologisch wichtigen verfügbaren Haupt- und Spurenelementen im Boden, meist mit Gewichtsbezug. Ein zu hoher Salzgehalt kann das Ergebnis natürlicher Vorgänge oder die Folge von Überdüngung sein.
- ◆ *Schadstoffgehalt: Menge an anorganischen (Schwermetalle) bzw. organischen Schadstoffen (PCB's, PAK's, Pestizide, ...) im Boden, meist mit Gewichtsbezug. Je nach verwendetem Extraktionsmittel kann auf die Verfügbarkeit der Schadstoffe für Pflanzenwurzeln und Bodenorganismen geschlossen werden.

2.3 Zusammenhang zwischen Bodenfunktionen und Bodeneigenschaften (Bewertungsschritt 1)

Um den Zusammenhang zwischen Bodenfunktionen und Bodeneigenschaften sichtbar zu machen, wurden die Bodenfunktionen und -eigenschaften in einer Matrix einander gegenüber gestellt. Es ist anzunehmen, dass alle Bodeneigenschaften in irgendeiner Weise auf

alle Funktionen wirken. In der Tabelle 1 wurden allen Bodenfunktionen (außer „Ablagerungsstätte für Abfälle“) die Bodeneigenschaften

zugeordnet, welche einen maßgeblichen Einfluss auf diese Funktionen ausüben. Es wurde zwischen Eigenschaften mit einem direkten (d) oder einem indirekten Einfluss (i) auf die Bodenfunktionen unterschieden.

Anschließend erfolgte im Sinne eines Gedankenexperiments ein erster Bewertungsschritt: Mit Unterstützung von weiteren Bodenfachleuten wurde bewertet, wie stark sich mögliche Beeinträchtigungen der Bodeneigenschaften auf die Bodenfunktionen auswirken können (Noten 0 – 3). Ausgangspunkt der Bewertung war immer der standortübliche optimale Zustand der Bodeneigenschaft (also z. B. die natürlicherweise an einem Standort gegebene Grundigkeit). Die Bewertung erfolgte anhand folgender Kriterien:

Bewertet wurden die Auswirkungen einer massiven Veränderung der einzelnen Bodeneigenschaft auf die entsprechenden Bodenfunktionen (gemäß Tabelle 2). Dabei wurde eine Notenskala von 0 bis 3 verwendet. 0 bedeutet, die massive Veränderung der Bodeneigenschaft hat keinen Einfluss auf die Bodenfunktion; 3 bedeutet, sie hat einen sehr großen Einfluss (d. h. die

Bodenfunktion fällt aus). Zwischen diesen Noten wurde interpoliert.

Aus den in Tabelle 1 zusammengestellten Ergebnissen dieser Überlegungen geht hervor, dass Grundigkeit, Gefügeaufbau und Gehalt an organischem Kohlenstoff diejenigen Bodeneigenschaften sind, die den potentiell umfassendsten Einfluss auf die hier betrachteten Bodenfunktionen ausüben. Sie haben somit eine besonders große Bedeutung für die nachhaltige Bodennutzung.

3. Fachliche Ausgestaltung des Konzeptes

Im Zusammenhang mit der nachhaltigen landwirtschaftlichen Nutzung des Bodens ist es von großer Bedeutung, die unterschiedliche Beeinflussbarkeit der Bodeneigenschaften durch die Art der Bewirtschaftung zu kennen. Der organische C-Gehalt wird z. B. durch die Umstellung von Grasland- auf Ackernutzung vermindert, kann jedoch durch erneute Graslandnutzung langsam wieder erhöht werden. Die Kornung eines Bodens hingegen bleibt, unabhängig von der Bewirtschaftung, gleich.

Um die Auswirkungen landwirtschaftlicher Einflüsse auf die Bodeneigenschaften und damit auf die Bodenqualität zu beurteilen, wurde ein zweiter Bewertungsschritt durchgeführt.

3.1 Beurteilung landwirtschaftlicher Einflüsse auf die Bodenqualität (Bewertungsschritt 2)

Eine landwirtschaftliche Tätigkeit kann sich auf die Bodenqualität neutral auswirken, d. h. die Bodenqualität verändert sich nicht. Die Bewirtschaftung des Bodens kann aber auch eine Schädigung oder eine Verbesserung (bzw. Regeneration von Schaden) bewirken. Um diese Zusammenhänge beurteilen zu können, wurde ein zweites Gedankenexperiment durchgeführt. Ausgangspunkt dieses zweiten Bewertungsschritts war wiederum der standortübliche optimale Zustand einer Bodeneigenschaft. Wie in der Tabelle 3 dargestellt, wurde zuerst das Ausmaß ungünstiger Auswirkungen von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen und anschließend die Wirkung adäquater landwirtschaftlicher Regenerationsmaßnahmen bewertet. Auch diesmal beruhten die Bewertungen auf Erfahrungswissen von Bodenfachleuten. Dabei galten die folgenden Grundsätze:

In einer ersten Phase mit *bodenbelastender* Bewirtschaftung

- ◆ wurden mögliche Auswirkungen einseitiger (ungünstiger) Bewirtschaftung im Rahmen geltender ökologischer Anbau Richtlinien (LwG [4], DZV [5]) auf Bodeneigenschaften bewertet, nicht jedoch extreme Fälle von Bewirtschaftungsfehlern.
- ◆ sollte die einseitig ungünstige Bewirtschaftung während einer Generation (30 Jahre, ein Kompromiss zwischen sehr kurzer und extrem langer Zeitdauer) erfolgen
- ◆ reichte die Benotung von 0 (= keine messbaren Auswirkungen) bis 3 (maßige Veränderung gemäß Tabelle 2). Dazwischen wurde wiederum interpoliert. Für eine zweite Phase mit *bodenverbessernder* Bewirtschaftung
- ◆ wurden die Auswirkungen einer möglichst boden-

Die Bewertungsmatrix als erster Schritt

schonenden bzw. die Bodenfruchtbarkeit mehrenden Bewirtschaftung im Rahmen der ökologischen Anbau Richtlinien während der gleichen Dauer von 30 Jahren beurteilt. Darunter sind aber keine gezielten Sanierungsmaßnahmen zu verstehen: Kalkung, Maulwurfsdrainage und tiefe Lockerung (bis 45 cm) waren hier zwar noch zugelassen, alle übrigen meliorativen Maßnahmen wie Tiefpflügen/-lockern oder Schlitz- bzw. Rohrendrainage hingegen nicht. Kulturwahl, Fruchtfolgegestaltung und Bewirtschaftungsintensität konnten geändert werden, nicht hingegen die Bewirtschaftung des gesamten Betriebes (der Betriebstyp musste erhalten bleiben).

◆ wurde ebenfalls eine Notenskala zwischen 0 und 3 gewählt. Kann nach einer Schädigung durch einseitig ungünstige (bodenbelastende) Bewirtschaftung der Ausgangspunkt („optimaler Bodenzustand“) innerhalb dieses Zeitrahmens von 30 Jahren durch bodenschonende Bewirtschaftung wieder hergestellt werden, wurde die Regenerationsfähigkeit einer Bodeneigenschaft mit 3 benotet; bestehen dagegen keine Verbesserungsmöglichkeiten, wurde die Note 0 gesetzt; dazwischen wurde wiederum interpoliert.

Aus der Differenz zwischen potentieller Schädigung und Regeneration lässt sich das langfristige Schädigungspotenzial ableiten.

Schwierigkeiten bei der Bewertung ergaben sich dadurch, dass neben den direkten positiven oder negativen Wirkungen auch indirekte Wirkungen möglich sind. Ein abnehmender Nährstoffgehalt z. B. oder eine beginnende Versauerung des Bodens können direkt und relativ rasch durch Dungungs- bzw. Kalkungsmaßnahmen korrigiert werden. Es ist aber denkbar, dass ein abnehmender Nährstoffgehalt bzw. eine zunehmende Versauerung des Bodens auch indirekte negative Auswirkungen (z. B. auf die Vielfalt von Pflanzen und Bodenorganismen) haben kann. Bewertet wurden aber nur direkte Wirkungen.

Aufgrund der Ergebnisse aus dem Bewertungsschritt 2 (Tabelle 3) muss angenommen werden, dass auch bei Erfüllung der heute geltenden ökologischen Anbau Richtlinien bei allen Bodeneigenschaften (außer bei der Kornung) erhebliche Beeinträchtigungen auftreten können. Durch eine angepasste Bewirtschaftung sind andererseits jedoch auch große Regenerationsmöglichkeiten gegeben. D. h. der Spielraum für die konkrete Ausgestaltung der Bewirtschaftungsmaßnahmen und deren Abstimmung auf die standortlichen Gegebenheiten ist selbst innerhalb der ökologischen Anbau Richtlinien beträchtlich. Erheblich zur Vermeidung von Bodenschädigungen beitragen dürfte nicht zuletzt die Fähigkeit des Betriebsleiters bzw. der Betriebsleiterin, die Bewirtschaftungsmaßnahmen jeweils den gegebenen Bodenverhältnissen anzupassen. Insbesondere der Bodenabtrag durch Erosion, die Verdichtung des Unterbodens sowie der Schadstoffeintrag wurden jedoch selbst bei bester landwirtschaftlicher Praxis als mittelfristig nicht reversibel betrachtet.

3.2 Beurteilung möglicher Beeinträchtigungen der Bodenqualität durch verschiedene menschliche Aktivitäten (Bewertungsschritt 3)
Nicht nur die landwirtschaftliche Bewirtschaftung,

Bodeneigenschaften	potenzielle Schädigung durch Landwirtschaft	Regenerationsmöglichkeit	langfristiges Schädigungspotenzial
Grundigkeit	3	0	3
Kornung, Steingehalt	0	0	0
Gefugeaufbau Oberboden	3	3	0
Gefugeaufbau Unterboden	3	1	2
Gefugestabilität	2	2	0
Menge und Diversität des Bodenlebens	2	2	0
Aktivität des Bodenlebens	2	2	0
Gehalt und Qualität des organisch gebundenen Kohlenstoffs	2,5	2	0,5
Bodenreaktion	3	3	0
Speicherkapazität für Stoffe	2,5	2	0,5
Nährstoffgehalt	3	3	0
Salzgehalt	1	2	0
Schadstoffgehalt	3	0,5	2,5

Fragestellung:
 Potentielle Schädigung: Kann durch Bewirtschaftung im Zeitraum von 20–30 Jahren das max. Schädigungsausmaß gemäß Tabelle 2 erreicht werden?
 Regeneration: Kann durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen im Zeitraum von 20–30 Jahren das max. Schädigungsausmaß wieder aufgehoben (positive Veränderung bis zum Optimum) gemäß Tabelle 2 werden?
 langfristiges Schädigungspotenzial: Welches Schädigungsausmaß bleibt auch nach erfolgter Regeneration erhalten?

Bewertungsskala
 (für potenzielle Schädigung, Regeneration und langfristiges Schädigungspotenzial)
 Note 0 = Die entsprechende Bodeneigenschaft ändert sich praktisch nicht (Optimum gemäß Tabelle 2 bleibt erhalten)
 Note 3 = Die entsprechende Bodeneigenschaft ändert sich stark (maßige Veränderung gemäß Tabelle 2)
 Noten 1–2 = Zwischen den Noten 0 und 3 wird interpoliert

Interpretation
 • Bleibt eine Bodeneigenschaft innerhalb einer Generation (30 Jahre) auch bei einseitig ungünstiger Bewirtschaftung innerhalb des Optimums, wird die Note 0 gegeben, verändert sich die Bodeneigenschaft um das oben genannte Ausmaß, wird die Note 3 gegeben
 • Dazwischen wird linear interpoliert
 • Benotung 0: Kein Problem, normale Bewirtschaftung fortführen, 3: Großes Problem, Maßnahmen unbedingt notwendig.

Bemerkung
 • Bei Regeneration ist normale Bewirtschaftung gemeint, d. h. keine Sanierungsmaßnahmen (Kalkung und Tieflockerung inklusive, nicht aber Tiefpflügen oder Drainage, Fruchtfolge umstellen) ja, nicht aber Betriebsumstellung.

Tabelle 3
Bewertung der Bedeutung landwirtschaftlicher Bewirtschaftung für die Beeinträchtigung und Regeneration von Bodeneigenschaften

sondern auch verschiedene andere menschliche Tätigkeiten können ungünstige Auswirkungen auf die Bodenqualität haben. In einem dritten Gedankenexperiment wurden neben typischen Bodenbelastungen durch landwirtschaftliche Bodennutzung (wie Bodenverdichtung, Bodenerosion, Überdüngung) auch Bodenbelastungen durch Bauwirtschaft (wie Versiegelung, Kiesabbau) sowie durch allgemeine Umweltbelastungen (wie Schadstoffausstoß, Saureintrag) hinsichtlich ihrer ökologischen Bedeutung gewichtet. In diesem dritten Bewertungsschritt wurde beurteilt, wie sich diese den Boden belastenden menschlichen Aktivitäten (= indirekte Indikatoren) auf die Bodeneigenschaften (= direkte Indikatoren) auswirken können.

Ein Beispiel für die resultierende Bewertung wird in Tabelle 4 aufgeführt. Wo möglich wurden als Maßstab die Kriterien für eine massive Beeinträchtigung der Bo-

deneigenschaften aus Tabelle 2 angewendet. Folgende Ergänzungen wurden gemacht:

- ◆ Torfsackung: Weitgehender Verlust an organischer Substanz (Verringerung des Gehaltes an organischer Substanz unter 30 %)
- ◆ Über-/Unterversorgung mit Nährstoffen: starker Mangel eines Pflanzennährstoffs (Versorgungs-kategorie arm) bzw. Überdüngung mit resultierendem Salzgehalt > 2,5 mS/cm
- ◆ Überbauung: Vollständiger Verlust des natürlich gewachsenen Bodens durch Versiegelung
- ◆ Kiesabbau: Bodenqualität nach erfolgter fachge-rechter Rekultivierung

Die Benotung sowohl der Bodenbelastung als auch der anschließenden Regeneration bzw. Melioration wurde nach demselben Schema vorgenommen wie im Bewertungs-schritt 2. Als Maßnahmen wurden in diesem Fall auch eigentliche Sanierungs- bzw. Meliorationsmaß-nahmen zugelassen. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, mussten sie allerdings innerhalb einer Generation (30 Jahre) durchgeführt werden können.

Aus den Ergebnissen in Tabelle 4 lässt sich zum Bei-spiel der Schluss ziehen, dass nach Meinung der be-fragten Bodenfachleute die Torfsackung auf fast alle Bodeneigenschaften einen stark ungünstigen Einfluss ausübt und dass beinahe keine wirksamen Regenerati-onsmaßnahmen bekannt sind. Beim Kiesabbau hin-gegen sind sowohl die Schädigungs- wie auch die Rege-nerationsmöglichkeiten grundsätzlich relativ groß, so dass es sich beim Kiesabbau nicht zwangsläufig um eine die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht beeinträch-tigende Tätigkeit handeln muss.

4. Anwendungsmöglichkeiten des Bodenkonzeptes

Das vorgelegte Konzept ist kein „Papiertiger“ Nachfol-

gend wird anhand von ein paar Beispielen aufgezeigt, wie die Grundidee und die Ergebnisse der drei Bewer-tungsschritte zu begrifflichen Abgrenzungen des Bo-denkonzepts konkret verwendet werden sollen. Es wurden Beispiele aus den Bereichen Agrarökologie, Agrarpolitik und Forschungspolitik ausgewählt.

4.1 Agrarökologische Anwendungsmöglichkeiten

4.1.1 Beurteilen des Schädigungs- und des Regenerations-potenzials von Boden

Bezogen auf schweizerische Verhältnisse können aus den bodenkundlichen Überlegungen des Bodenkon-zepts folgende Schlussfolgerungen gezogen werden (vgl. Tabelle 3):

- ◆ Selbst bei Berücksichtigung des heutigen Stands der Technik und der geltenden gesetzlichen Anforder-ungen (LwG [4], DZV [5]) ist es denkbar, dass infolge landwirtschaftlicher Bodennutzung innerhalb einer Generation bei praktisch allen Bodeneigenschaften eine erhebliche Schädigung eintreten kann (Phase 1 im Bewertungsschritt 2). Dies wäre der Fall, wenn die schlechteste im Rahmen der ökologischen An-baurichtlinien noch erlaubte Bewirtschaftung kon-sequent durchgeführt wurde. Besonders ausgeprägt wurde dies bei der Grundigkeit, der Gefügeverdich-tung, der Bodenreaktion, dem Nährstoffgehalt und dem Schadstoffgehalt des Bodens bemerkbar.
- ◆ Beim Regenerationspotenzial wurde von der An-nahme ausgegangen, dass die beste, d. h. den gege-benen Standortverhältnissen am besten angepasste und bodenschonendste heute zur Verfügung ste-hende Bewirtschaftung im Rahmen der ökologi-schen Anbaurichtlinien durchgeführt wird (Phase 2 im Bewertungsschritt 2). Das Regenerationspoten-zial, das im Idealfall zur vollständigen Wiederher-stellung des Ausgangsbodenzustandes innerhalb einer Generation führt, wurde bei der Grundigkeit (Erosion) sowie der Belastung mit persistenten Schadstoffen als sehr gering beurteilt, bei Gefüge-verdichtungen im Oberboden als hoch, im Unter-boden hingegen nur als gering eingestuft. Bei den übrigen Bodeneigenschaften durfte das Regenerati-onspotenzial ähnlich hoch sein wie das Schädigungspotenzial. Leichtere, aber im Laufe der Genera-tionen zunehmende Schäden konnten sich durch die Abnahme des organischen C-Gehaltes sowie bei der Speicherkapazität für Stoffe ergeben.
- ◆ Aus diesen Überlegungen ergibt sich, dass die Erosi-on mittelfristig das höchste Gefährdungspotenzial beinhaltet, gefolgt von der Verdichtung im Unter-boden und dem Schadstoffeintrag. Dabei muss bei der Umsetzung berücksichtigt werden, dass von der Wassererosion im Allgemeinen nur geneigte Stand-orte betroffen sind, die anderen Risiken jedoch über-all auftreten können. Mit Abstand folgen der Verlust an organischer Substanz und – damit gekoppelt – die Abnahme der Speicherkapazität des Bodens.

4.1.2 Beurteilen des Bodenqualitäts-Zustandes

Zur Abklärung, ob und in welchem Ausmaß es in der Schweiz anthropogen verursachte Bodenbelastungen gibt, wurde zwischen Beeinträchtigungen an einzel-nen Standorten (punktueller Probleme auf einzelnen

Tabelle 4 Beispiel einer Bewertung der ökologischen Bedeutung bekannter Bodenbelastungen (bezogen auf Bodeneigenschaften)

Bodenbelastungen	Bodeneigenschaften (= direkte Indikatoren)																					
	Grundigkeit	Kornung (Feinerte und Steine)	Gefüge Porosität Durchlässigkeit	Gefüge (Stabilität)	Menge und Diversität Bodenleben (inkl. Anteil Pathogene)	Biologische Aktivität	Humusgehalt und Humusqualität	Bodenreaktion (pH, Redoxpotential)	Speicherkapazität Stoffe (z. B. N, P, K)	Nährstoffgehalt (inkl. Salzgehalt)	Schadstoffgehalt (v. a. persistente)	pot. Schädigung	pot. Regeneration	pot. Schädigung	pot. Regeneration							
Torfsackung	7	0	1	0	5	1	6	0	4	0	4	0	5	1	4	2	5	1	4	4	3	0
Humusabbau	3	1	0	0	4	2	4	2	4	2	4	2	4	3	2	2	4	2	4	3	2	0
Erosion	7	1	2	1	5	1	5	2	3	2	3	2	5	3	1	0	4	2	5	4	2	0
Verdichtung	4	2	0	0	6	5	5	2	5	4	6	4	4	3	2	2	3	3	1	1	0	0
Überdüngung	0	1	0	0	0	1	2	2	4	5	5	6	1	1	3	3	1	1	3	4	4	0
Saureintrag	1	1	0	0	2	2	5	6	5	4	5	4	3	3	6	5	5	4	4	5	3	2
Anorg. Schadstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	2	4	1	0	0	2	0	0	1	3	0
Org. Schadstoffe	0	0	0	0	1	0	1	0	4	1	5	2	3	1	0	0	2	0	1	1	3	0
Überbauung	4	1	1	0	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Kiesabbau	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	3	3	0	0

Bewertung
Die Zahlen entsprechen der Anzahl Bodenfachleute, die den entsprechenden Zusammenhang zwischen Bodenbelastungen und Bodeneigenschaften bezüglich potenzieller Schädigung bzw. möglicher Regenerierbarkeit mit Note 2 oder 3 gemäß Tabelle 3 bewertet haben (Gesamtanzahl Bodenfachleute = 9)

Aren oder Hektaren) und grossflächigen Bodenbelastungen (Flächen mit mehr als 1000 ha) unterschieden

Die Bewertung des Ausmaßes aktueller Bodenschädigungen in der Schweiz ist in Tabelle 5 zu finden. Sie orientierte sich an folgenden Kriterien

- ◆ Die Beurteilung des Zustandes einzelner Bodeneigenschaften erfolgte aufgrund vorhandener Kenntnisse aus der Literatur
- ◆ Als beeinträchtigt galt eine Bodeneigenschaft, wenn das Optimum gemäß Tabelle 2 nicht erreicht wird
- ◆ Die Notenskala reicht von 0 (= „Optimum“) bis 3 (= „maximales Schädigungsmaß“ gemäß Tabelle 2). Dazwischen wurde interpoliert
- ◆ Fehlende Informationen werden mit Fragezeichen (?) gekennzeichnet.

Es zeigt sich, dass bei allen Bodeneigenschaften einzelne Standorte mit „maximalem Schädigungsmaß“ bekannt sind. Eine Ausnahme machen die Speicherkapazität des Bodens, über die zu wenig systematische Angaben vorhanden sind, sowie die Kornung, die nicht beeinträchtigt wird. Zu grossflächigen Bodenbelastungen gibt es nur wenige gesicherte Angaben. Es wird geschätzt, dass in der Schweiz die Schadstoffbelastung von Boden auf 300.000 ha zu Richtwertüberschreitungen führt [8]. Dies sind 9 % der Gesamtfläche gewachsener Boden. Vermutlich können auch die Erosion sowie die Verdichtung grossflächig von Bedeutung sein, aber zuverlässige Angaben über die effektive Situation fehlen. Bei allen übrigen Bodeneigenschaften ist noch weniger bekannt

4.2 Agrarpolitische Anwendungsmöglichkeiten

Um den agrarpolitischen Handlungsbedarf aufzuzeigen, werden den Bodenbelastungen die verursachenden Bewirtschaftungsmaßnahmen zugeordnet. Dadurch können Einwirkungen bestimmter landwirtschaftlicher Aktivitäten auf einzelne Bodenbelastungen bewertet werden. Für konkrete Aussagen wäre eine stärkere Detaillierung der Bewirtschaftungsmaßnahmen (= indirekte Indikatoren) notwendig, um die dominierenden Faktoren der Bodenbelastung erkennen zu können. Anstelle der Aktivität „Pflanzenschutz“ mussten beispielsweise die einzelnen eingesetzten Pflanzenschutzmittel bzw. -maßnahmen bekannt sein und beurteilt werden, anstelle von „organischen Düngern“ die entsprechenden Qualitäten und Mengen an Hofdünger, Klarschlamm, Kompost usw. Im gezeigten Beispiel (Tabelle 6) geht es um die Idee, Auswirkungen von bodenrelevanten menschlichen Tätigkeiten auf bekannte Bodenbelastungen darzustellen. Zur Illustration der Zusammenhänge werden erste Ergebnisse einer Befragung von Bodenfachleuten aufgeführt, wegen des eingeschränkten Umfrageumfangs ist das Ergebnis allerdings mit Vorsicht zu bewerten. Schwerpunkte, an denen agrarpolitisch angesetzt werden konnte, werden trotzdem sichtbar

Die Torfsackung z. B. wird v. a. durch Grundwasserabsenkung, Drainage und Kulturenwahl beeinflusst, die Verdichtung lässt sich durch die Wahl der Mechanisierung der Ernte, die Grundbearbeitung und viele andere landwirtschaftliche und bauliche Eingriffe steuern. Wichtig für die Beurteilung der agrarpolitischen Be-

Bodeneigenschaften	aktuelle Beeinträchtigung an einzelnen Standorten (a oder ha LN)	aktuelle Beeinträchtigung in einzelnen Regionen (> 1000 ha Gesamtfläche LN)*
Grundigkeit	3	?
Kornung, Steingehalt		
Gefugeaufbau	3	?
Gefugestabilität	3	?
Menge und Diversität des Bodenlebens	3	?
Aktivität des Bodenlebens	3	?
Gehalt und Qualität des organisch gebundenen Kohlenstoffs	3	?
Bodenreaktion (pH, Redoxpotenzial)	3	?
Speicherkapazität für Stoffe	?	?
Nährstoffgehalt inkl. Salzgehalt	3	?
Schadstoffgehalt	3	3

Bewertungsskala
 Note 0 = „Optimum“ (gemäß Tabelle 2)
 Note 3 = „Maximales Schädigungsmaß“ (gemäß Tabelle 2, massive Veränderung) bekannt und belegbar
 Noten 1 – 2 = Zwischen den Noten 0 und 3 wird interpoliert
 ? Schädigungsmaß nicht bekannt
 * LN Landwirtschaftliche Nutzfläche

Tabelle 5
Bewertung der aktuell bekannten Bodenschädigungen an einzelnen Standorten und Regionen der Schweiz

deutung der aufgeführten Bodenbelastungen ist auch ihre flächenmäßige Ausdehnung. Es gilt abzuschätzen, welcher prozentuale Flächenanteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (gesamthaft in der Schweiz = 1 Mio. ha) effektiv von den oben beschriebenen Bodenbelastungen betroffen ist. Da gesicherte Flächenangaben momentan noch fehlen, muss hier auf eine entsprechende Darstellung verzichtet werden. Es ist aber offensichtlich, dass z. B. die Bedeutung der Wassererosion, welche nur in Lagen mit einer minimalen Hangneigung überhaupt auftreten kann, gegenüber anderen Bodenbelastungen, welche überall auftreten können, zu relativieren ist.

In der Schweiz wurde beschlossen, den agrarpolitischen Handlungsbedarf nicht nur von Nachhaltigkeits- und Öko-Indikatoren abzuleiten, sondern auch von Betriebsanalysen aufgrund von Okobilanzen. Dazu soll ein Netz von etwa 300 Praxisbetrieben dienen, für die eine einzelbetriebliche Okobilanzierung durchgeführt wird [9]. Diese Betriebe werden aus einem bestehenden Netz von Buchhaltungsbetrieben ausgewählt, wodurch eine Verknüpfung von ökonomischen mit ökologischen Daten möglich wird. Eine Bewertung der Bodenfruchtbarkeit in umfassendem Sinn ist im Rahmen dieser Okobilanzierung zur Zeit noch nicht möglich. Die Grundlagen des vorliegenden Konzepts werden u. a. auch dazu verwendet, diesbezügliche Bewertungsmöglichkeiten zu schaffen bzw. zu testen [10].

Schließlich können diese bodenkundlichen Überlegungen des Bodenkonzeptes auch als Grundlage für andere bodenrelevante gesetzliche Festlegungen die-

Umwelt- und Bewirtschaftungseinflüsse (= indirekte Indikatoren)														Bodenbelastungen							
Umwelt	Bauliche Maßnahmen						Melioration				Bewirtschaftung										
	Klimaerwärmung Abgase	Bauplatten	Befahrung	Zwischenlagerung	Versiegelung	Rekultivierung	Aushub	Drainage	Grundwasserabsenkung	Tieflockerung	Terassierung	Bodenbearbeitung	Düngung		Kulturwahl	Pflanzenschutz	Mechanisierung				
4	3	3	4	3	5	4	6	7	2	6	4	4	7	3	4	11	8	2	4	2	Torfsackung
8	2	4	5	4	10	10	8	12	9	7	5	8	11	8	6	9	9	3	8	2	Humusabbau
5	2	9	7	5	5	8	5	4	3	5	8	10	8	5	3	10	8	5	5	4	Erosion
3	2	10	11	9	8	12	10	4	3	10	6	8	11	6	3	9	6	4	12	9	Verdichtung
4	4	2	2	3	2	3	2	3	3	2	2	1	2	10	10	5	5	2	2	2	Überdüngung
4	9	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	4	2	8	9	3	3	2	2	2	Saureintrag
3	11	3	2	4	2	2	2	2	3	2	2	2	2	9	10	3	3	6	2	2	Anorg. Schadstoffe
2	11	4	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	7	3	4	11	2	2	Org. Schadstoffe
2	2	7	1	5	10	3	7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	Überbauung
2	2	5	1	3	2	3	7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Kiesabbau

Bewertung
Die Zahlenwerte entsprechen summierten Bewertungen aufgrund der Bewertungsskala in Tabelle 3 durch 9 Bodenfachleute

Tabelle 6
Beispiel einer Bewertung der Auswirkungen bodenrelevanter menschlicher Tätigkeiten auf bekannte Bodenbelastungen

nen. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise auf die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit im Rahmen der Bodenschutzgesetzgebung hinzuweisen.

4.3 Forschungspolitische Anwendungsmöglichkeiten

Bei der Erarbeitung des vorliegenden Bodenkonzepts haben sich verschiedene Lücken und Mängel gezeigt (vgl. Tabelle 5, Fragezeichen). Daraus lassen sich Forschungsprioritäten ableiten. Der erste Kreis solcher Lücken betrifft das Monitoring, der zweite Kreis die Evaluation.

Ein Monitoring setzt das Festlegen von geeigneten Indikatoren voraus. Gesucht werden Indikatoren für die quantitative Verfügbarkeit von Boden (z. B. für die Sicherung der Fruchtfolgeflächen im Rahmen der Raumplanung) sowie für den qualitativen Bodenzustand. Vorschläge liegen vor, die Auswahl der am besten geeigneten Indikatoren ist aber noch nicht abgeschlossen. Eine zweite Voraussetzung für ein Monitoring ist das Vorhandensein von anerkannten Erhebungsmethoden. Diese fehlen teilweise oder müssen noch verbessert bzw. standardisiert werden. Schließlich geht es beim Monitoring auch um das konkrete Erheben von Daten in relevanten Standort- und Bewirtschaftungssituationen. Im Kapitel 4.1.2 hat sich das weitgehende Fehlen einer systematischen Sammlung und Auswertung von bodenrelevanten Daten gezeigt.

Für die Evaluation werden Informationen benötigt, welche eine Erfolgskontrolle der getroffenen agrarpolitischen Maßnahmen ermöglichen. Die Wirkungen dieser Maßnahmen auf den Boden müssen über Indikatoren messbar sein und Kausalzusammenhänge zwischen Bewirtschaftung und Indikator messbar sein. Auch hier besteht noch ein sehr großer Forschungsbedarf.

5. Folgerungen und Ausblick

Der bodenkundliche Teil des Bodenkonzepts hat die bisher in ihm gesetzten Erwartungen erfüllt. Es konnte ein naturwissenschaftlich abgestütztes, transparentes und entwicklungsfähiges Werkzeug geschaffen werden, das als gemeinsame Basis für Forschung, Monitoring, Beratung, Vollzug und Politik dient.

Das Bodenkonzept soll den politischen Instanzen dazu dienen, Rückwirkungen agrarpolitischer Maßnahmen auf die Entwicklung der Bodenqualität besser beurteilen zu können, indem geeignete Indikatoren für das Monitoring der Bodenqualität und die Evaluation der sie bestimmenden Ursachen ausgewählt werden. Die Forschungsmittel können gezielt in den Bereichen eingesetzt werden, in denen im aktuellen agrarpolitischen Umfeld der größte bodenökologische Handlungsbedarf besteht.

Die Forschung kann diese Herausforderung annehmen und Lösungen für die gestellten Fragen erarbeiten. Sie ist aber auch aufgerufen, die vorgelegten Grundlagen innerhalb eines möglichst breiten Kreises von Interessierten in der Forschungsgemeinschaft wissenschaftlich weiter zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- [1] Oldeman L.R., 1994 World Map of the Status of Human-induced Soil degradation. GLASOD, Wageningen, Netherlands
- [2] Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo). Systematische Sammlung des Bundesrechts der Schweiz SR 814.12
- [3] Verordnung über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft vom 7. Dezember 1998. Systematische Sammlung des Bundesrechts der Schweiz SR 919.118
- [4] Bundesgesetz über die Landwirtschaft (LWG) vom 29. April 1998. Systematische Sammlung des Bundesrechts der Schweiz SR 910.1
- [5] Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (DZV) vom 7. Dezember 1998. Systematische Sammlung des Bundesrechts der Schweiz SR 910.13
- [6] Oberholzer H.-R., Rek J., Weisskopf P. and Walther U., 1999 Evaluation of soil quality by means of microbiological parameters related to the characteristics of individual arable sites. Agrobiological Research Vol. 52(2), 113-125
- [7] Neyroud J.-A., 1997 La part du sol dans la production intégrée 1. Gestion de la matière organique et bilan humique. Revue suisse d'agriculture Vol. 29(1), 45-51
- [8] Desaulles, A., 1998 Vorbeugen ist billiger als sanieren. Umweltschutz 2/98, Sonderdruck, Schwerpunkt Boden, 4-6. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, CH-3003 Bern
- [9] Pfefferli S., Graf M., Nemecek Th., Gaillard G., 2000 Monitoring und Management der potenziellen Umweltwirkungen der Landwirtschaft. Machbarkeitsstudie zur zentralen Auswertung einzelbetrieblicher Okobilanzen. FAT, FAL und LBL, 88 S. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8355 Tanikon
- [10] Oberholzer H.-R., Weisskopf P., Gaillard G., 2001 Bewertung der Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenfruchtbarkeit. Schriftenreihe der FAL 38, 19-21

Anschriften der Verfasser:

- Dipl. Ing.-Agr. ETH Tomi Candinas
Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Direktionsstab,
Stabsstelle Ökologie, Mattenhofstrasse 5, CH-3003 Bern
Tel. direkt ++41 (0)31 322 70 64
e-mail: anton.candinas@blw.admin.ch
- Dr. sc. nat. Hansrudolf Oberholzer
Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL)
Zürich-Reckenholz, CH-8046 Zürich
Tel. direkt ++41 (0)1 377 72 97
e-mail: hansrudolf.oberholzer@fal.admin.ch
- Dr. sc. techn. Peter Weisskopf, dipl. Ing. Agr. ETH
Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL)
Zürich-Reckenholz, CH-8046 Zürich
Tel. direkt ++41 (0)1 377 73 27
e-mail: peter.weisskopf@fal.admin.ch
- Dr. sc. techn. Jean-Auguste Neyroud, dipl. Ing.-Agr. ETH
Station fédérale de recherches en production végétale de Changins (RAC), CH-1260 NYON
Tel. direct ++41 (0)22 363 43 18
e-mail: jean-auguste.neyroud@rac.admin.ch