

# Bedürfnisse der Kantone und des Bundes rund um ein Monitoring der Ressource Boden

Erfassung und Beurteilung von Risiko, Zustand und zeitlicher Entwicklung durch flächenhafte Erhebungen (Kartierung) und langfristige Beobachtung



nationale bodenbeobachtung  
observatoire national des sols  
osservatorio nazionale dei suoli  
swiss soil monitoring network

## Dank

Die Autoren und die Projektleitung der NABO, bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und des Bundesamts Landwirtschaft (BLW), bedanken sich herzlich bei allen, die zur Erarbeitung dieses Berichts in der einen oder andern Form beigetragen haben, insbesondere bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der kantonalen Bodenschutzfachstellen, dem Cercle Sol und den Fachleuten aus der Wissenschaft.

Die Autoren hoffen, mit diesem Bericht einen Beitrag zu leisten, das Monitoring der Ressource Boden zu verbessern und somit den Boden nachhaltiger zu nutzen.

## Impressum

<b>Auftraggeber</b>	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Boden und Biotechnologie, CH-3003 Bern. Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
<b>Auftragnehmer</b>	Forschungsgruppe Nationale Bodenbeobachtung, Agroscope, CH-8046 Zürich-Reckenholz
<b>Autoren</b>	Andreas Gubler, FG Nationale Bodenbeobachtung, Agroscope Reto Meuli, FG Nationale Bodenbeobachtung, Agroscope Armin Keller, Kompetenzzentrum Boden, BFH-HAFL
<b>Redaktion</b>	Urs Steiger, steiger texte konzepte beratung
<b>Begleitung BAFU</b>	Gudrun Schwilch und Corsin Lang, Sektion Boden
<b>Begleitung BLW</b>	Michael Zimmermann, Fachbereich Agrarumweltsysteme und Nährstoffe
<b>Hinweis</b>	Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.
<b>Download</b>	<a href="http://www.nabo.ch">www.nabo.ch</a> Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.
<b>Titelbild</b>	Gabriela Brändle, Agroscope

## Inhalt

Abkürzungen.....	4
Zum Aufbau dieses Berichts .....	5
1 Ausgangslage und Zielsetzung.....	5
1.1 Ziele und Adressaten dieses Berichts .....	5
1.2 Themenraster basierend auf Bodenfunktionen und Bodengefährdungen .....	6
1.3 Monitoringinstrumente .....	7
2 Vorgehen und Methodik .....	9
2.1 Umfrage bei den kantonalen Bodenschutzfachstellen 2018 .....	9
2.2 BAFU-Bodenschutztagung .....	10
2.3 Cercle-Sol-Plenumsveranstaltung .....	11
2.4 Konsultation ausgewählter Expertinnen und Experten.....	12
3 Resultate der Workshops (Diskussion).....	13
3.1 Einordnung der Resultate der Bodenschutztagung.....	13
3.2 Monitoringelemente .....	19
3.3 Priorisierung der Themen.....	24
3.4 Organisation .....	32
4 Synthese und Handlungsempfehlungen.....	40
5 Referenzen.....	44
6 Anhang.....	47
6.1 Synthese der Rückmeldungen aus der Umfrage bei den Kantonen zum Bodenmonitoring.....	47
6.2 Resultate Bodenschutztagung .....	49
6.3 Resultate Tagung Cercle Sol .....	66
6.4 Synthese Hilfsmittel für den Vollzug (Cercle-Sol-Tagung) .....	71
6.5 Ziele und strategische Stossrichtungen der Bodenstrategie .....	72

## Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
ERK	Erosionsrisikokarte
KABO	Kantonale Bodenbeobachtung/Bodenüberwachung
KLABS	Klassifikation der Böden der Schweiz
KOBO	Kompetenzzentrum Boden
NABO	Nationale Bodenbeobachtung
NABODAT	Nationales Bodeninformationssystem
VBBo	Verordnung über Belastungen des Bodens
WSL	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

## Zum Aufbau dieses Berichts

Kapitel 1 gibt eine Übersicht über die Ausgangslage und die Ziele dieses Berichts. Die Methodik und das Vorgehen für die Erarbeitung dieses Berichts stellt Kapitel 2 vor. Kapitel 3 diskutiert die Resultate aus den Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern der Kantone und weiteren Fachleuten aus Wissenschaft und Praxis. Die Ergebnisse der Workshops sind im Anhang dokumentiert (Protokolle). Die Synthese in Kapitel 4 enthält die daraus abgeleiteten Empfehlungen.

## 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Bodenschutz hat zum Ziel, Böden in ihrer Qualität und in ihrer Quantität (Fläche) möglichst zu erhalten. Nebst zweckmässigen Massnahmen im Vollzug ist dazu ein geeignetes Monitoring erforderlich. Der Begriff «Monitoring» wird dabei in seinem erweiterten Sinne verstanden: Monitoring umfasst sämtliche Elemente zur Erfassung von **Risiko**, **Ausmass** und **zeitlicher Entwicklung** von Bodengefährdungen sowie deren **Beurteilung**. Monitoring ist somit zum einen ein Instrument der Früherkennung und damit der Vorsorge, zum andern eine Erfolgskontrolle für getroffene Massnahmen.

Schon ab den 1960er-Jahren führten die Kantone Bodenkartierungen durch, um Umfang, Lage und Qualität der Böden zu erheben und auf dieser Basis Risiken und das Ausmass von Bodengefährdungen zu erfassen. Aus verschiedenen Gründen ist der Stand der Bodenkartierung in den Kantonen sehr heterogen. Der aktuelle Stand der Bodenkartierung in der Schweiz ist in BGS (2014) und Rehbein et al. (2019) zusammengefasst.

Erste Elemente der Bodenbeobachtung wurden in der Schweiz in den 1980er-Jahren etabliert – auf nationaler Ebene mit der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO), auf kantonaler Ebene mit eigenen Beobachtungsnetzen (KABO). Lag der Fokus zu Beginn auf Schadstoffen wie den Schwermetallen, erweiterte sich das Themenspektrum in den folgenden Jahrzehnten. Die kantonalen Fachstellen und der Bund griffen nach und nach neue Themen wie «Bodenbiologie» und «Bodenphysik» auf. Nach über dreissig Jahren und zwei nationalen Forschungsprogrammen (NFP 22, NFP 68) ist es an der Zeit, eine Zwischenbilanz zu ziehen und in die Zukunft zu blicken. Wie soll das Bodenmonitoring in Zukunft gestaltet sein? Welche Themen sind bereits ausreichend erfasst, wo bestehen Lücken? Welche Monitoringelemente beziehungsweise welche Informationen sind notwendig, um die Ressource Boden möglichst gut zu schützen beziehungsweise nachhaltig zu nutzen? Welche Optimierungen braucht es bei laufenden Monitoringaktivitäten? Wie arbeiten Bund und Kantone zusammen, um diese Ziele zu erreichen?

### 1.1 Ziele und Adressaten dieses Berichts

Der vorliegende Bericht befasst sich mit dem Monitoring der Ressource Boden, insbesondere den Bedürfnissen rund um ein solches Monitoring und dessen zukünftiger Ausgestaltung. Im Sinne des breiten Verständnisses von Monitoring geht es explizit nicht nur darum, wie bisherige und künftige Bodenkartierungen sowie die NABO und die KABO ausgestaltet sind beziehungsweise sein sollten. Vielmehr stellt sich die Frage, welche Daten und welche Instrumente notwendig sind, um die Ressource Boden nachhaltig zu nutzen und ausreichend zu schützen.

Die Forschungsgruppe NABO erstellt den Bericht im Auftrag der Projektoberleitung der NABO, des Steuerungsgremiums der NABO. Dieses setzt sich aus Vertreterinnen und Vertretern des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW) zusammen. Die Erarbeitung erfolgt in Zusammenarbeit mit den beiden Bundesämtern und dem Cercle Sol. Die kantonalen Bodenschutzfachstellen wurden zu verschiedenen Zeitpunkten einbezogen (vgl. Abbildung 2 in Kapitel 2, «Vorgehen und Methodik»).

Der Bericht richtet sich in erster Linie an die Bundesämter sowie den Cercle Sol und damit an die kantonalen Bodenschutzfachstellen. Er dient als Grundlage für die künftige Gestaltung des Bodenmonitorings auf nationaler und kantonaler Ebene. Basierend auf dem vorliegenden Synthesebericht wird ein Konzept für das Monitoring der Ressource Boden in der Schweiz ausgearbeitet werden.

Mit dem Bericht werden folgende **Ziele** verfolgt:

- Bedarf und Ansprüche an ein nationales Monitoring der Ressource Boden darstellen und Lücken identifizieren;
- Grundlagen erarbeiten und gemeinsames Verständnis schaffen für den Aufbau eines nationalen Monitorings der Ressource Boden in der Schweiz;
- Empfehlungen formulieren für Themen, die mit hoher Priorität angegangen werden müssen, und dafür, wie diese bearbeitet werden könnten.

## 1.2 Themenraster basierend auf Bodenfunktionen und Bodengefährdungen

Der Boden ist eine unserer Lebensgrundlagen. Er erfüllt viele wichtige Funktionen für die Gesellschaft und die Ökosysteme, deren monetärer Gegenwert schwer zu beziffern, aber unbestritten sehr hoch ist. Das Konzept der Bodenfunktionen fokussiert darauf, welche Leistungen Böden erbringen – oder wie viel Leistung wegfällt, wenn Böden beeinträchtigt oder komplett zerstört werden. Es werden verschiedene Teilfunktionen unterschieden, die wiederum gruppiert werden. Im Nationalen Forschungsprogramm Boden (NFP 68) wurde folgende Klassifikation für die Bodenfunktionen vorgeschlagen (Greiner et al. 2018, Keller et al. 2018):

- Produktionsfunktion
  - o Landwirtschaft
  - o Forstwirtschaft
- Regulierungsfunktion
  - o Wasserhaushalt
  - o Nährstoffhaushalt
  - o Filter für anorganische Stoffe
  - o Filter für organische Stoffe
  - o Säurepufferung
- Lebensraumfunktion
  - o Pflanzen
  - o Bodenorganismen
  - o Genreservoir und Biodiversität

Zudem lassen sich weitere Funktionen ableiten, beispielsweise der Wert des Bodens – und der Landschaft – für die Erholung oder die Nutzung des Bodens als Baugrund oder zum Abbau von Rohstoffen. Gesellschaft und Wirtschaft stellen vielfältige Ansprüche an die Ressource Boden. Gerade in der dichtbesiedelten Schweiz führt dies zwangsläufig zu Zielkonflikten. Als begrenzte Ressource erfüllt der Boden seine Funktionen langfristig nur, wenn er nachhaltig genutzt und Beeinträchtigungen vermieden werden, sprich wenn seine Qualität erhalten bleibt. Zerstörte und überbaute Böden tragen nicht mehr zu den ökologischen Bodenfunktionen bei. Wie viel Boden verbraucht werden kann beziehungsweise wie viel Boden(qualität) erhalten werden muss, ist sowohl eine wissenschaftliche wie auch eine gesellschaftliche Frage.



Bodengefährdungen beeinträchtigen die Bodenfunktionen. Für Europa wurden acht zentrale Bodengefährdungen identifiziert, wobei für die Schweiz nicht alle im selben Ausmass relevant sind (Commission of the European Communities 2002, Krebs et al. 2017):

- Erosion
- Verlust an organischer Substanz
- Kontamination
- Bodenversiegelung
- Bodenverdichtung
- Verlust an Biodiversität
- Versalzung
- Erdrutsche und Überflutung

Basierend auf den Bodengefährdungen und dem Konzept der Bodenfunktionen wurden sieben Themengebiete abgeleitet, nach denen die Ergebnisse der Workshops und der vorliegende Bericht strukturiert sind:

1. Bodenstruktur und deren Beeinträchtigung (inkl. Verdichtung)
2. Erosion
3. Humus
4. Schad- und Fremdstoffe
5. Stickstoff/Versauerung
6. Bodenbiologie/Biodiversität
7. Bodenquantität und -qualität (inkl. Bodenfunktionen)

### 1.3 Monitoringinstrumente

Ein umfassendes Monitoring erfordert verschiedene Instrumente, die jeweils unterschiedliche Aspekte desselben Themas betrachten. Im Wesentlichen lassen sich vier Arten von Instrumenten unterscheiden:

---

<b>R</b>	- Instrumente zur Erfassung des <b>Risikos</b> /des Gefährdungspotenzials
<b>A</b>	- Instrumente zur Erfassung des <b>Ausmasses</b> der Gefährdung, des aktuellen Zustandes
<b>Z</b>	- Instrumente zur Erfassung der <b>zeitlichen Entwicklung</b>
<b>B</b>	- Instrumente zur <b>Beurteilung</b> von R, A, Z

---

Für fast jedes betrachtete Thema werden Instrumente aller vier Kategorien benötigt. Die Monitoringinstrumente lassen sich weiter gliedern (Abbildung 1). So zielen gewisse Instrumente eher auf den aktuellen Zustand, andere auf die zeitliche Entwicklung – allerdings gibt es Ausnahmen, die beides abdecken. Ein wichtiges Merkmal ist die Datenerzeugung. Proxy-Indikatoren und Modelle dienen vorwiegend zur Abschätzung von Risiken und zur Berechnung von Szenarien, während sich Ausmass und Relevanz einer Gefährdung meist nur mit Erhebung von Bodendaten erfassen lassen.

- **Proxy-Indikatoren** sind Kenngrößen, die sich von relativ leicht verfügbaren (meist statistischen) Zahlen ableiten lassen, beispielsweise Landnutzungsänderungen gemäss Arealstatistik oder Verkaufszahlen von Pestiziden. Proxy-Indikatoren erlauben bloss eine grobe Abschätzung.
- **Modelle/Modellierungen** versuchen die Prozesse detaillierter abzubilden und erlauben dadurch genauere und differenziertere Aussagen. Allerdings benötigen sie bessere und genauere Datengrundlagen. Dabei kommen oft auch Methoden der Fernerkundung zum Einsatz.
- **Gemessene Bodendaten:** Die Erhebung von Daten direkt im Feld oder anhand von Bodenproben erlaubt es, Zustand und/oder zeitliche Entwicklung von Böden zu erfassen. Beispiele für Erhebungen sind Bodenkartierungen, aber auch langfristig ausgerichtete Monitoringprogramme wie KABO und NABO.

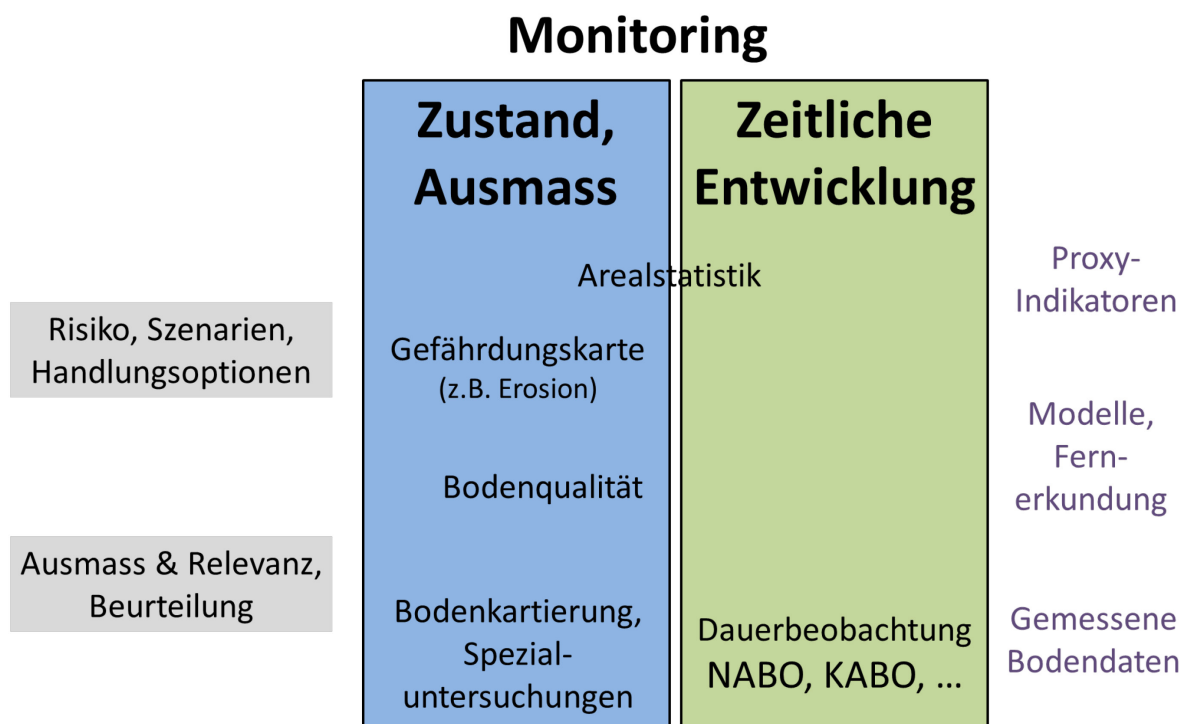


Abbildung 1: Gliederung von Monitoringinstrumenten anhand der jeweiligen Datenquelle und des Zwecks.



## 2 Vorgehen und Methodik

Der vorliegende Bericht wurde in einem iterativen Verfahren erarbeitet (vgl. Abbildung 2). Der Workshop im Rahmen der Bodenschutztagung im Juni 2019 diente dazu, einen systematischen Fragenraster für verschiedene Themenbereiche zu bearbeiten. Beim folgenden Workshop im Rahmen der Cercle-Sol-Plenumsveranstaltung rund drei Monate später standen Fragen zur Priorisierung der Themen und die Organisation des Bodenmonitorings im Vordergrund. Der Berichtsentwurf, erstellt auf Basis der Ergebnisse der Workshops, wurde Mitte Januar 2020 mit ausgewählten Vertreterinnen und Vertretern der kantonalen Fachstellen diskutiert und aufgrund deren Rückmeldungen überarbeitet. Anschliessend erfolgte in den Monaten März und April die Konsultation bei den kantonalen Fachstellen. Detaillierte Informationen bezüglich der Methodik der einzelnen Arbeitsschritte und des Vorgehens liefern die folgenden Abschnitte.

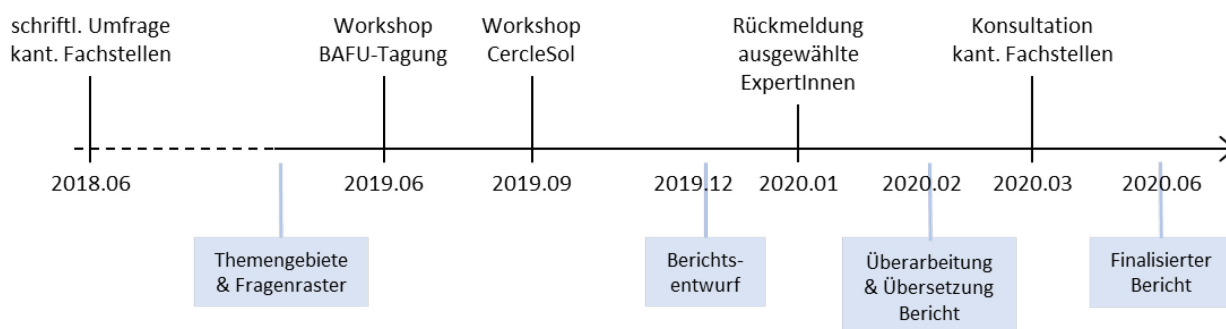


Abbildung 2: Vorgehen zur Erarbeitung des vorliegenden Berichts.

### 2.1 Umfrage bei den kantonalen Bodenschutzfachstellen 2018

Von April bis Juni 2018 befragte die Projektleitung der NABO die kantonalen Fachstellen schriftlich zu den Bedürfnissen und Wünschen der Kantone an ein Bodenmonitoring. Eine statistische Auswertung dieser Umfrage erwies sich aufgrund der offenen und sehr allgemein formulierten Fragen als schwierig. Allerdings war ein offenes Feedback möglich, auch zu nicht direkt angesprochenen Aspekten. Mit nur rund 70 Prozent fiel der Rücklauf mässig aus; zudem stammten die Rückmeldungen praktisch ausschliesslich aus der Deutschschweiz. Die teilweise sehr umfangreichen Rückmeldungen der Kantone lassen dennoch erkennen, wo Optimierungsbedarf besteht.

Mit der Umfrage wurde versucht, die zentralen Themen für das Bodenmonitoring zu ermitteln. Die Kantone mussten die nachfolgend aufgelisteten Themen (bzw. Bodengefährdungen) nach deren Relevanz für ein Bodenmonitoring beurteilen und eine Aussage zu deren Vollständigkeit machen:

1. Verdichtung
2. Erosion
3. Humusverlust
4. Schadstoffe, PSM
5. Stickstoff, Nährstoffe, Versauerung
6. Bodenbiodiversität
7. Terrainveränderung, Bodenverbrauch

Die Rückmeldungen zeigten, dass alle sieben Themen wichtig sind. Zudem wurden verschiedene weitere Themen als relevant eingeschätzt. Sie können allerdings als Teilaspekte der vorhandenen Themen betrachtet werden, beispielsweise das Thema «Mikroplastik», das unter das Thema «Schadstoffe» fällt.

Hinsichtlich der Organisation wurde den Kantonen die Frage gestellt, ob ein Monitoringverbund zwischen Bund und Kantonen aufgebaut werden soll, ohne aber zu konkretisieren, wie ein solcher Verbund aussehen und von wem er getragen würde. Die Mehrheit der teilnehmenden Kantone bejahte die Frage, es gab aber auch ablehnende und unentschlossene Rückmeldungen. Es wurden Befürchtungen geäußert, ein Verbund könnte zu zusätzlichen finanziellen Belastungen der Kantone führen und laufende Arbeiten in den Kantonen konkurrieren oder «kannibalisieren». Die Zustimmung der Mehrheit und verschiedene Kommentare zeigen den klaren Wunsch der kantonalen Fachstellen nach einer verstärkten Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen auf Augenhöhe sowie mehr Unterstützung seitens des Bundes durch die Bereitstellung von Grundlagen.

Eine Synthese der eingegangenen Rückmeldungen aus der Umfrage zu den Bodengefährdungen und zur Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen findet sich in Anhang 6.1.

## 2.2 BAFU-Bodenschutztagung

Die Bodenschutztagung fand am 6. Juni 2019 in Bern statt mit 95 Teilnehmenden von kantonalen Fachstellen, aus der Wissenschaft und von Interessen- und Fachverbänden. Nach Inputreferaten bearbeiteten acht thematisch gegliederte Gruppen einen Frageraster (anhand der Resultate wurde diese Strukturierung in acht Themen überarbeitet, sodass sich der Synthesebericht auf sieben Themengebiete stützt). Geleitet wurden die Gruppen, bestehend aus zehn bis fünfzehn Personen, von je bis zu drei Expertinnen und Experten (Wissenschaftler und Kantonsvertreter).

---

### 1. Verdichtung

Peter Weisskopf, Thomas Keller, Wolfgang Sturny

### 2. Erosion

Volker Prasuhn, Harry Ilg, Stéphan Burgos

### 3. Humusverlust

Jens Leifeld, Res Chervet, Pascal Boivin

### 4. Anorganische und organische Schadstoffe

Moritz Bigalke, Daniel Schmutz, Stéphane Westermann

### 5. Stickstoff, Versauerung

Stephan Zimmermann, Gaby von Rohr

### 6. Bodenbiodiversität

Sophie Campiche, Claudia Maurer-Troxler

### 7. Quantitativer Bodenverlust

Silvia Tobias, Sébastien Gassmann

### 8. Terrainveränderungen

Guido Schmid, Markus Steger, Dominique Gärtner

---

Die Expertinnen und Experten erhielten vorab einführende Informationen in Form eines Readers. Die Aufgabe der Gruppen bestand darin, in einem Zeitrahmen von zwei Stunden die Fragen des folgenden Rasters für ihr Themengebiet zu beantworten:

<b><i>I. Erhebungsmethode</i></b>	<b><i>II Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)</i></b>	<b><i>III. Vollzug</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?</li> <li>• Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?</li> <li>• Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?</li> <li>• Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?</li> <li>• Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug?</li> <li>• Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?</li> <li>• Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?</li> </ul>

Der Zeitblock am Nachmittag (70 Minuten) war dem Thema «Indikatoren» gewidmet. In denselben Gruppen wie vormittags wurden die Teilnehmenden aufgefordert, für ihr Thema die jeweils fünf relevantesten Indikatoren zu nennen. Dazu stand der folgende Raster zur Verfügung:

<b><i>Top-Indikator</i></b>	<b><i>Beurteilungs- und Bewertungs- methode</i></b>	<b><i>Argumente für Auswahl</i></b>
Indikator 1		
Indikator 2		
...		

Die Gruppen hielten ihre Diskussionen auf Flipcharts fest. Diese wurden fotografiert und sind in Kapitel 6.2 protokolliert.

## 2.3 Cercle-Sol-Plenumsveranstaltung

Zur Cercle-Sol-Tagung vom 12. September 2019 in Zürich waren ausschliesslich die Vertreterinnen und Vertreter der kantonalen Fachstellen sowie Mitarbeitende des BAFU eingeladen. In drei separaten Workshop-Blöcken wurden drei Fragen bearbeitet, jeweils parallel durch vier Gruppen, die spontan gebildet wurden:

- «Wo sind die thematischen Schwerpunkte für das Bodenmonitoring zu setzen?» Für die Beantwortung dieser Frage musste in den Gruppen eine Rangfolge für die acht Themengebiete erstellt werden.
- «Welche Hilfsmittel brauchen wir für den Vollzug?»
- «Wie organisieren wir uns?» (Welche Akteure erfüllen welche Aufgaben?)

Im Anschluss an die Gruppenarbeiten stellte jeweils eine Vertreterin oder ein Vertreter jeder Gruppe die Ergebnisse vor. Die erstellten Flipcharts wurden fotografiert und sind in Kapitel 6.3 protokolliert.

## 2.4 Konsultation ausgewählter Expertinnen und Experten

Mitte Januar 2020 diskutierten ausgewählte Expertinnen und Experten kantonaler Bodenschutzfachstellen sowie des Bundes<sup>1</sup> einen ersten Berichtsentwurf. Aufgrund ihrer Rückmeldungen erfolgte eine Überarbeitung. Die wichtigsten Diskussionspunkte waren:

- *Strukturierung des Berichts in Themengebiete:* Es zeigte sich, dass der Themenbereich «Terrainveränderung» in erster Linie den Vollzug betrifft und bezüglich des Monitorings wenig relevant ist. Daher wurde beschlossen, die Ergebnisse aus dem Workshop der Bodenschutztagung für die weiteren Auswertungen in diesem Bericht im Thema «Bodenqualität und -quantität» zusammen mit der Bodengefährdung «Quantitativer Bodenverlust» aufzuführen.
- *Gefährdungspotenziale:* Die Tabelle zur Abschätzung der Gefährdungspotenziale (Kap. 3.3.2) wurde besprochen und überarbeitet. Die Bewertung der Gefährdungspotenziale (tief, mittel, hoch) basiert auf der Einschätzung der Expertinnen und Experten.
- *Wissenslücken:* Die Tabelle bezüglich Wissensstands beziehungsweise Wissenslücken (Kap. 3.3.3) wurde auf Basis der Resultate der Bodenschutztagung erstellt. Die Abschätzung der Wissenslücken wurde mit den Expertinnen und Experten besprochen und aufgrund ihrer Rückmeldungen justiert.

---

<sup>1</sup> Folgende Experten nahmen an der Besprechung teil: François Fulleman (VD), Sébastien Gassmann (GE), Harry Ilg (UR), Corsin Lang (BAFU), Gerald Richner (KVU), Daniel Schaub (AG), Guido Schmid (SG), Wolfgang Sturny (BE), Gudrun Schwilch (BAFU), Gaby von Rohr (SO), Cécile Wanner (ZH), Fabio Wegmann (BAFU), Michael Zimmermann (BLW) sowie die Autoren dieses Berichts. Die Sitzung wurde von Urs Steiger geleitet.

## 3 Resultate der Workshops (Diskussion)

### 3.1 Einordnung der Resultate der Bodenschutztagung

An der Bodenschutztagung wurden für die einzelnen Themen jeweils mehrere Elemente für ein Monitoring vorgeschlagen. Im Sinne einer Interpretation der Ergebnisse der Gruppenarbeiten sind diese Elemente im folgenden Kapitel zusammengefasst und im Kontext eingeordnet. In Kapitel 6.2 sind die Gruppenarbeiten möglichst unverfälscht protokolliert.

Eilige können direkt zu Kapitel 3.2 springen, das die folgenden Unterkapitel tabellarisch zusammenfasst.

#### 3.1.1 Bodenverdichtung und Bodenstruktur

Das Thema «Bodenverdichtung» beziehungsweise «Bodenstruktur» ist hinsichtlich einer nachhaltigen Nutzung der Ressource Boden von hoher Relevanz. Aufgrund der grossen Maschinengewichte sind durch die land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftung zunehmend auch tiefere Bodenschichten beeinträchtigt. Neben den direkten Auswirkungen von Bodenverdichtung – Beeinträchtigung von Luft- und Wasserdurchlässigkeit sowie Wasserspeichervermögen – ergeben sich auch indirekte Effekte wie erhöhte Bodenerosion und verminderter Hochwasserschutz.

Bisher macht die Verordnung über die Belastungen des Bodens (VBBo) keine konkreten Angaben zu Erhebungsmethoden oder Grenzwerten der Bodenverdichtung. Auch die Landwirtschaftsgesetzgebung erfasst das Problem im ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) nur ungenügend. Seitens der Kantone und der Forschung wurden im Rahmen des Workshops daher griffigere Bestimmungen in der Umweltschutzgesetzgebung gefordert. Als notwendig erachtet werden absolute Grenzwerte, die für verschiedene Böden und Tiefen unterschiedlich sind. Die dazu erforderliche Datenbasis fehlt jedoch grösstenteils. Erste Vorschläge wurden im Dokument 13 der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS 2004) und im Rahmen des Forschungsprojekts STRUDEL (Johannes 2016) gemacht. Eine Arbeitshilfe der Kantone (Buchter und Häusler 2009) enthält zudem Richt- und Massnahmenwerte für verschiedene bodenphysikalische Messgrössen, die jedoch nicht gesetzlich verankert sind.

Gebiete, in denen die Bodenstruktur bereits beeinträchtigt ist, sollen räumlich bezeichnet werden. Dazu müssen bodenphysikalische Grössen wie Lagerungsdichte, Grobporenvolumen, Wasserleitfähigkeit, Festigkeit, allenfalls auch die Diversität der Bodenorganismen (DNA-Analysen) erhoben oder abgeschätzt werden. Ergänzend dazu können Feldmethoden wie die Messung des Eindringwiderstandes mit einem Penetrometer (beispielsweise Panda-Sonde) eingesetzt werden. Bezüglich Interpretation und Beurteilung des Eindringwiderstands besteht noch Forschungsbedarf. In der Konsultation dieses Berichts durch die Kantone wurde zudem die Spatenprobe als Alternative zu Penetrometer-Messungen eingebracht.

Im Weiteren soll eine Verdichtungsrisikokarte erstellt werden, die durch Verdichtung gefährdete Gebiete aufzeigt. Zur Abschätzung des Verdichtungsrisikos sind Informationen zu Bodeneigenschaften wie Körnung und Humusgehalt erforderlich. Eine lokale Abschätzung ist mit Terranimo ([www.terranimo.ch](http://www.terranimo.ch)) bereits möglich. Für eine Risikokarte müssen die Bodeneigenschaften jedoch flächenhaft vorliegen. Auf regionaler Ebene existieren teilweise solche Karten, beispielsweise im Kanton Aargau für den Wald (Morrier 2012). Auf nationaler Ebene bedarf es einer Bodenkartierung, um diese Datengrundlage landesweit zu liefern. Da sich die erwähnten Bodeneigenschaften nur langsam verändern, resultiert eine statische Risikokarte für Verdichtung. Das effektive Verdichtungsrisiko variiert jedoch stark in Abhängigkeit des Wassergehaltes. Als Fernziel ist deshalb eine dynamische Risikokarte anzustreben, indem das statische Risiko mit Echtzeitdaten zur Bodenfeuchte verknüpft wird. Die Daten aus den bestehenden Bodenfeuchte-Messnetzen sind für diesen Verwendungszweck sehr wertvoll.

Ein langfristiges Monitoring im eigentlichen Sinne kann sich auf Vorrangregionen (räumliche Hotspots) konzentrieren, das heisst auf Gebiete mit erhöhtem Risiko oder/und bestehenden Strukturbeeinträchtigungen. Dabei soll die Veränderung der Bodenstruktur über die Zeit beobachtet werden. Wie erwähnt sind dazu noch einheitliche Methoden und Grenzwerte zu erarbeiten.

Es ist naheliegend, dass der Bund für die benötigten Grundlagen (Methoden und Grenzwerte) und die Datenbasis (Risikokarten) sorgt. Für die Überwachung von Gebieten mit Verdichtungsrisiko und den Vollzug sind gemäss VBBo die Kantone zuständig. Für den Vollzug wurde insbesondere angeregt, für bewirtschaftungsbedingte Verdichtungen ein schweizweit einheitliches Vorgehen sicherzustellen in Koordination mit den landwirtschaftlichen Gesetzgebungen.

### 3.1.2 Erosion

Erosion auf Ackerflächen wurde bereits relativ früh als Problem erkannt, unter anderem durch die Untersuchungen im Rahmen des NFP 22 (Mosimann et al. 1990). Wiederholt wurde das Ausmass von Bodenerosion beziehungsweise das Risiko dazu abgeschätzt (Prasuhn und Schaub 1996, Prasuhn et al. 2007). Die aktuelle Erosionsrisikokarte (ERK2; Gisler et al. 2010, 2011) erlaubt mit einer Auflösung von  $2 \times 2 \text{ m}^2$  eine Erosionsmodellierung auf Parzellenebene. Für Ackerflächen definiert die VBBo als Richtwert einen langjährigen Mittelwert für den Bodenabtrag von 2–4 t/ha/y in Abhängigkeit von der durchwurzelbaren Bodenmächtigkeit. Die Direktzahlungsverordnung (DZV) definiert ein Einzelereignis mit mehr als > 2–4 t/ha als relevantes Erosionsereignis. Im Gegensatz zu den Ackerflächen erfolgten intensivere Untersuchungen zur Erosion im Grasland erst in den letzten Jahren. Seit Dezember 2019 sind monatliche Erosionsrisikokarten für das Schweizer Dauergrünland online verfügbar ([map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch)). Grenzwerte existieren bisher jedoch keine.

Die ERK2 bildet eine gute Grundlage zur Risikoabschätzung. Ihre Verlässlichkeit variiert jedoch von Region zu Region, je nachdem, ob und in welchem Massstab (kantonale) Bodenkarten verfügbar sind. Eine nationale Bodenkartierung könnte die Grundlage für eine deutliche Verbesserung der Modellierung liefern.

Während der Kenntnisstand bezüglich des Erosionsrisikos bereits relativ gut ist, beschränkt sich die Erfassung der effektiven Erosion auf einige wenige Pilotflächen und auf Einzelereignisse im Vollzug. Einige Bodenschutzfachstellen sind aufgrund der Erosionsmeldungen, die bei ihnen eingehen, in der Lage, das Ausmass für ihr Gebiet relativ gut einzuschätzen. Neue technische Möglichkeiten, insbesondere in der Fernerkundung, dürften künftig die Überwachung grösserer Gebiete erlauben. Als langfristige Vision soll eine flächendeckende Erfassung der Erosion angestrebt werden. Durch hochaufgelöste Erfassung der Terrainoberfläche und ihrer zeitlichen Veränderung lässt sich der Bodenabtrag über die Zeit verfolgen.

Neben diesen Monitoringelementen wurden in der Gruppenarbeit weitere Massnahmen vorgeschlagen, um den Vollzug zu stärken: Die Zuständigkeiten innerhalb der Verwaltung variieren von Kanton zu Kanton, was die Zusammenarbeit erschwert. Die bundesweite Koordination soll verbessert werden. Verbesserungspotenziale bestehen auch bei den Absprachen zwischen Boden- und Gewässerschutz sowie Tier- und Bodenschutz. Auch sollte das Thema «Erosion» in der Ausbildung der Landwirte stärker verankert werden.

### 3.1.3 Humus

Humus hat in zweierlei Hinsicht eine grosse Relevanz: Einerseits haben Menge und Qualität der organischen Substanz grossen Einfluss auf die Eigenschaften eines Bodens und die Funktionen, die er erfüllen kann. Struktur und Stabilität eines Bodens, aber auch Nährstoff- und Wasserhaushalt und somit auch die landwirtschaftliche Eignung werden stark vom Humus geprägt. Andererseits sind Böden ein bedeutendes Reservoir für Kohlenstoff (C) im globalen Kreislauf. Im Kontext des Klimawandels interessiert hauptsächlich, ob Böden insgesamt C-Quellen oder -Senken sind.



Aus den Diskussionen der Bodenschutztagung ging hervor, dass die Veränderung des (org.) C-Vorrats über die Zeit erfasst werden soll, wobei zwischen mineralischen und organischen Böden unterschieden werden muss. Erfasst werden soll die räumliche Ausdehnung (aktueller Zustand und zeitliche Entwicklung) der organischen Böden und deren Sackung (Senkung der Oberfläche als Folge des Humusabbaus). Die räumliche Ausdehnung organischer Böden wurde in einem NFP-68-Projekt abgeschätzt (Wüst et al. 2015). Die Verlässlichkeit dieser Karten ist allerdings regional sehr unterschiedlich, je nach Verfügbarkeit der Basisdaten.

Für mineralische Böden kann auf Arbeiten der KABO und der NABO (Gubler et al. 2019) aufgebaut werden, wobei die Zusammenarbeit zwischen diesen Messnetzen verstärkt werden soll. Zusätzlich sollen weitere Datenquellen wie die Daten des ÖLN erschlossen werden. Damit liesse sich die Anzahl der Datensätze mit gemessenen zeitlichen Veränderungen ohne zusätzliche Feldarbeit massiv steigern. In Ergänzung zu den direkten Monitoringansätzen können Modelle helfen, die Beobachtungen an einzelnen Punkten auf die gesamte Schweiz hochzuskalieren. Grundlage dazu sind insbesondere Informationen zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftung wie Bodenbearbeitung, Düngung und Fruchtfolgen, aber auch meteorologische Daten wie Temperatur und Niederschlag.

Ein Referenz- oder Orientierungswert für organischen Kohlenstoff beziehungsweise Humus ist nicht vorhanden. Für die Feststellung, ob Böden insgesamt C-Quellen oder -Senken sind, ist ein solcher nicht notwendig, um den aktuellen Zustand einzelner (insbesondere landwirtschaftlich genutzter) Flächen zu beurteilen, hingegen schon. Ein Referenzwert oder ein anderes geeignetes Beurteilungssystem bezüglich Humus ist unbedingt anzustreben, nicht zuletzt auch im Hinblick auf Leistungsanreize in der Landwirtschaftspolitik (aktuell enthält die Botschaft AP22+ den Vorschlag, die Humusbilanzierung in die SUISSE-Bilanz zu integrieren). Für das Beurteilungssystem existieren verschiedene Vorschläge wie der Vergleich mit Referenzstandorten oder die Beurteilung anhand des Verhältnisses Kohlenstoff- zu Tongehalt (VBBio, *in Vorbereitung*). Dazu besteht folglich noch Forschungsbedarf, wobei auch internationale Ansätze zu verfolgen sind.

#### 3.1.4 Schad- und Fremdstoffe

Schad- und Fremdstoffe im Boden beeinträchtigen die Bodenfunktionen und können die Gesundheit von Mensch und Tier gefährden. Darin dürfte auch der Grund liegen, dass diese Problematik die erste Bodenbelastung war, die die Umweltschutzgesetzgebung regelte (Verordnung über Schadstoffe im Boden/VSBo von 1986). Die daraufhin etablierten nationalen (NABO) und kantonalen Messnetze (KABO, interkantonale Waldbeobachtung) fokussierten sich zunächst auf die in der VSBo genannten Schwermetalle und einige organische Schadstoffe wie PAK und PCB. Daneben wurden auch regional oder für bestimmte Landnutzungen verschiedene Stutzerhebungen durchgeführt.

Aus dem Workshop ging deutlich hervor: Schad- und Fremdstoffe sind nach wie vor ein zentrales Thema im Bodenschutz und werden es auch in Zukunft bleiben. Die Bodenbeobachtung ist dabei laufend den aktuellen Entwicklungen anzupassen, sprich auf neue Substanzen/Substanzgruppen auszuweiten. Nachholbedarf besteht in der Schweiz vor allem – aber nicht nur – bei den organischen Schadstoffen. Konkrete Empfehlungen dazu formuliert das Faktenblatt «organische Schadstoffe» (Gubler et al. 2016). Nach Auffassung der Workshop-Teilnehmenden sollten in den kommenden Jahren zusätzlich Pflanzenschutzmittel (PSM), Mikroplastik, Antibiotikarückstände und Spurenelemente untersucht werden. Relevant sind dabei sowohl die aktuelle Situation als auch die zeitliche Entwicklung. Folglich sind Statusuntersuchungen (einmalige Erhebungen) und – bei entsprechenden Befunden – ein langfristiges Monitoring (wiederholte Erhebungen fixer Standorte) notwendig. Je nach Fragestellung erfolgt dies an bestehenden nationalen oder kantonalen Messpunkten (z. B. NABO, KABO, interkantonale Waldbeobachtung) oder neuen Standorten. Für die meisten neuen Schadstoffe fehlen verlässliche Daten zur Ökotoxikologie. Diese sind durch die Wissenschaft zu erarbeiten, damit sich Resultate aus Statusuntersuchungen und Monitoringprogrammen beurteilen lassen. Gleichzeitig sind gemäss Auftrag der VBBio die begonnenen Zeitreihen für Schwermetallgehalte in Böden weiterzuführen, und die Beurteilung der entsprechenden Richt-, Prüf- und Sanierungswerte ist umzusetzen.

Modellierungsansätze bilden eine wichtige Ergänzung zum klassischen Monitoring. Sie helfen einerseits, Gefährdungen durch neue Stoffe abzuschätzen. Andererseits lässt sich damit für mögliche sozioökonomische Entwicklungen und Szenarien (Veränderung der landwirtschaftlichen Praxis, neue gesetzliche Anforderungen usw.) abschätzen, wie sich die Belastung durch bekannte Schadstoffe in Zukunft verändern wird. Auf diese Weise können die in der Regel begrenzten Ressourcen für die Bodenbeobachtung möglichst effizient eingesetzt werden. Beispiele für Modellierungsansätze sind Stoffflussbetrachtungen auf Parzellenebene (Parzellenbilanzen für Monitoringstandorte), Betriebsebene (Agrarumweltindikatoren) und regionaler Ebene (z. B. Della Peruta und Keller 2016). Für eine noch generellere Risikoabschätzung kann der Gesamtinput bestimmter Stoffe/Stoffklassen dienen (Proxy-Indikator, vgl. Kap. 1.3). Als für die breite Öffentlichkeit anschaulicher Indikator wird die Schadstoffbelastung eines durchschnittlichen Warenkorbs (bzw. dessen Toxizität) vorgeschlagen.

Bis heute ist der Bund für Grundlagen und die Erfassung der Hintergrundbelastungen zuständig, den Kantonen obliegen der Vollzug und die belasteten Standorte. Allerdings war/ist die Abgrenzung nicht immer klar: Verschiedene Kantone betreiben Beobachtungsprogramme (KABO, interkantonale Waldbeobachtung), die teilweise auch auf Hintergrundbelastungen zielen. Auch künftig soll der Bund für die Grundlagen verantwortlich sein, insbesondere für die Festlegung von Referenzwerten. Diese sind für neue Stoffe/Klassen nicht verfügbar beziehungsweise noch zu erarbeiten. Auch die Bereitstellung nationaler Grundlagen bezüglich Belastungsausmass und die Erfassung der Hintergrundbelastung gehören in die Kompetenz des Bundes, ergänzt durch kantonale/regionale Untersuchungen der Kantone für relevante Fragestellungen. Durch verstärkte Koordination und Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen können hier Synergien genutzt werden. Insbesondere gilt es, für neue Schadstoffgruppen wie Pflanzenschutzmittel, Mikroplastik, Antibiotikarückstände und Spurenelemente standardisierte Beprobungs- und Analysemethoden zu entwickeln. Die Überwachung belasteter Böden und der Bodenschutzvollzug sollen Sache der kantonalen Behörden bleiben.

### 3.1.5 Stickstoff und Versauerung

Böden versauern allmählich aufgrund des Eintrags von Säure durch Niederschläge. Dabei handelt es sich um einen natürlichen Prozess, der durch die Freisetzung anthropogener Luftschadstoffe wie Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) und Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) stark beschleunigt wird. In Böden mit tiefen pH-Werten, insbesondere Waldböden, führt dies zu einer beschleunigten Versauerung. Als Folge der Versauerung und der erhöhten Verfügbarkeit von Stickstoff (N) werden Wälder anfälliger für Schädigungen. Für Schweizer Wälder werden solche Veränderungen beispielsweise durch die interkantonale Waldbeobachtung (Braun et al. 2018) Sanasilva-Inventuren und die Langfristige Waldökosystemforschung (LWF) der WSL dokumentiert (BAFU 2019c). Der N-Eintrag aus der Luft verändert zudem die Artenzusammensetzung nährstoffarmer Ökosysteme wie Magerwiesen und Moore. Eine wichtige Rolle spielt zudem die Landwirtschaft durch Emissionen von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) in die Luft und den (übermässigen) Einsatz von Düngern (mineralische Dünger wie auch Hofdünger). N-Überschüsse gelangen vom Boden ins Oberflächen- und Grundwasser.

Säure- und N-Einträge in Böden sind ein vielschichtiges Problem, das verschiedene Sphären (Atmosphäre, Gewässer, Böden, Anthroposphäre) einschliesst und mehrere Disziplinen betrifft. Das Problem wurde vergleichsweise früh erkannt und untersucht. Atmosphärische Säure- und N-Einträge werden seit längerem indirekt beobachtet mittels Luftqualitätsmessungen durch das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL, BAFU 2019a) und kantonale Messnetze. Darauf basierend werden die Azidität des Niederschlags und die N-Deposition modelliert (Seitler et al. 2016). So genannte Critical Loads (maximal tolerierbare N-Einträge; Rihm und Achermann 2016) erlauben die Beurteilung der erwarteten N-Deposition. Dieses Vorgehen ist international etabliert, kann aber gemäss den involvierten Fachleuten für die Schweiz noch optimiert werden.

Die Auswirkungen von Säure- und N-Einträgen lassen sich an Monitoringstandorten direkt beobachten, indem der pH-Wert und die Kationen in der Bodenlösung sowie – wo möglich – die Verschiebung der Kalkgrenze im Bodenprofil verfolgt werden. Indirekt geben auch Veränderungen der Pflanzengesellschaften Hinweise zu Azidität und Nährstoffzustand. Diese relativ aufwendigen Methoden beschränken sich sinnvollerweise auf Gebiete/Böden mit erhöhter Gefährdung durch Säure- und N-Einträge, was insbesondere bei Waldböden mit tiefen pH-Werten der Fall ist.

Bei landwirtschaftlich genutzten Böden ist weniger die Versauerung problematisch als vielmehr der zu hohe Nährstoffeintrag, der hauptsächlich auf die Düngung zurückgeht. Das Auswaschungsrisiko für Nährstoffe hängt dabei massgeblich von den Bodeneigenschaften ab. Die Risiken für N-Auswaschung in aquatische Systeme lassen sich durch Abschätzung der Nährstoffflüsse anhand von Bilanzen und Modellierungen auf Ebene Parzelle, Hof und/oder Region erfassen, wobei nebst Stickstoff auch Phosphor von Interesse ist. Das Agrarumweltmonitoring (AUI; BLW 2018) liefert entsprechende Daten. Die Überdüngung von Böden lässt sich zudem mittels Messung von Nitrat im Sicker- und Grundwasser indirekt beobachten, etwa anhand der Resultate der Nationalen Grundwasserbeobachtung (NAQUA; BAFU 2019b) und anderer Messnetze. In beschränktem Ausmass regulieren die landwirtschaftlichen Verordnungen die Nährstoffeinträge, beispielsweise durch die Vorgaben im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN). Eine Begrenzung auf der Basis von maximal zulässigen Grenzfrachten analog zu Deutschland existiert jedoch nicht.

### 3.1.6 Bodenbiologie und Biodiversität

Bodenorganismen spielen für viele Prozesse im Ökosystem Boden eine zentrale Rolle. Umgekehrt wird die Bodenbiologie stark von den Eigenschaften des Bodens und seinem aktuellen Zustand beeinflusst. Die Lebensgemeinschaften der Bodenorganismen sind standortspezifisch und nutzungsabhängig – Stressoren wie Verdichtung, Vernässung, Schadstoffe und Überdüngung können Menge und Aktivität, aber auch die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft verändern. Daher bilden bodenbiologische Messgrössen den Bodenzustand ab.

Faunistische Untersuchungen (Bestimmung der Regenwurmpopulationen, Collembolen, Nematoden usw.) sowie mikrobiologische Summenparameter (mikrobielle Biomasse und Basalatmung) sind bereits seit längerem bei Zustandserhebungen und in einigen kantonalen Messnetzen (KABO) im Einsatz (vgl. Jahresberichte der Cercle-Sol-Arbeitsgruppe VBBio). Die NABO erfasst seit 2012 jährlich mikrobiologische Summenparameter (NABObio; Hug et al. 2018). Zudem erlauben seit einigen Jahren molekulargenetische Methoden, die Zusammensetzung des Bodenbioms – z.B. Bakterien, Pilze, Nematoden – basierend auf der extrahierten DNA zu bestimmen. Für NABObio werden neben der DNA-Menge auch die bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften bestimmt. Diese wurden auch bereits im Rahmen von Zustandserhebungen (MIDIPO, Rasterbeprobung in Zusammenarbeit mit dem Biodiversitätsmonitoring) erhoben.

Aus den Diskussionen anlässlich der Bodenschutztagung ging hervor, dass die Lebensgemeinschaften im Boden und insbesondere deren Veränderung über die Zeit beobachtet werden müssen. Ein derartiges Monitoring schliesst idealerweise verschiedene Stufen von Makro- und Mesofauna bis hin zur Mikrobiologie ein und kombiniert klassische Methoden (faunistische bzw. morphologische Untersuchungen und mikrobiologische Summenparameter) mit neueren molekulargenetischen Techniken.

Für ein Monitoring ist es notwendig, den aktuellen (gemessenen) Zustand einzelner Standorte anhand von Vergleichs- und Referenzwerten zu beurteilen. Für die mikrobiologischen Summenparameter existieren standortspezifische Beurteilungsgrundlagen für landwirtschaftliche Böden (Oberholzer und Scheid 2007, VBB 2009). Für andere Nutzungen (z. B. Waldböden, Siedlungsböden) sind diese Grundlagen noch zu erarbeiten. Mit molekulargenetischen Ansätzen lassen sich zwar standorttypische Lebensgemeinschaften bestimmen, Grundlagen zu deren Beurteilung fehlen jedoch noch gänzlich – sowohl für den Zustand als auch für die zeitliche Veränderung. Das Verständnis von Ursache und Wirkung muss erarbeitet, Zusammenhänge zwischen

Veränderungen innerhalb der Lebensgemeinschaften und Stressoren müssen untersucht werden. Hierzu bieten sich experimentelle Ansätze an. Fernziel ist ein Indikator, der die Einzelergebnisse der verschiedenen bodenbiologischen Erhebungen zu einer Grösse aggregiert. Dieser soll möglichst einfach vermittelbar sein und ermöglichen, Veränderungen über die Zeit aufzuzeigen.

### 3.1.7 Bodenquantität und -qualität

Versiegelte Böden können keine Bodenfunktionen mehr wahrnehmen. Gemäss Arealstatistik (BFS 2019) ging zwischen 1985 und 2009 pro Sekunde  $1,1 \text{ m}^2$  Landwirtschaftsfläche verloren, während die Siedlungsfläche um  $0,8 \text{ m}^2/\text{s}$  zunahm. Die Arealstatistik zeigt zwar eindrücklich den Flächenverlust von Böden, sie gibt jedoch keine Auskunft über die Qualität der verlorenen Böden. Bemühungen, mit der Raumplanung den Flächenverbrauch zu reduzieren, blieben bis in die jüngste Vergangenheit zaghaf, die Wirkung der getroffenen Massnahmen ist bisher fraglich. Die unterschiedlichen Qualitäten von Böden werden nur ansatzweise berücksichtigt, indem Mindestkontingente für Fruchtfolgeflächen festgelegt sind.

Der quantitative Flächenverlust, wie ihn die Arealstatistik erfasst, ist ein wichtiger Proxy-Indikator. Die räumliche und zeitliche Auflösung soll jedoch deutlich verbessert werden, indem die bisherige Methodik mit modernen Techniken der Fernerkundung (LandSat, Sentinel) kombiniert wird. Derzeit liegen vier Erhebungen über rund 40 Jahre vor mit einer Auflösung von  $100 \times 100 \text{ m}^2$ . Satelliten erreichen schon heute Auflösungen von  $10 \times 10 \text{ m}^2$  mit mehreren Bildern pro Jahr.

Sehr wichtig ist, dass künftig nicht nur der rein quantitative Flächenverlust betrachtet wird, sondern auch die Qualität der verlorenen Flächen. Die dafür benötigten Basisdaten fehlen für weite Gebiete der Schweiz und müssen im Rahmen einer Bodenkartierung erhoben werden. Dabei sollen neben Landwirtschafts- und Waldflächen insbesondere auch die Böden in den Siedlungsgebieten erfasst werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass quantitative Flächenverluste über die Umsetzung der Verwertungspflicht (Art. 18 VVEA) teilkompensiert werden können, beispielsweise durch Bodenaufwertungen auf anthropogen degradierten Böden. Deshalb ist die Bodenquantität und -qualität auch im Zusammenhang von Rekultivierungen und Bodenaufwertungen bzw. Terrainveränderungen zu sehen (siehe Kapitel 3.1.8).

Bislang fehlt ein akzeptierter Indikator für die Bodenqualität beziehungsweise deren Verlust. Dieser soll einfach anzuwenden und zu kommunizieren sein. Am Workshop wurde ein Bodenindex (Bodenindexpunkte als Indikator für Bodenqualität und -quantität) für die Anwendung in der kantonalen Richtplanung und in den Gemeinden diskutiert. Der Verlust von Bodenindexpunkten kann als Steuerungsinstrument dienen. Er soll minimiert beziehungsweise pro Zeiteinheit limitiert werden. Dieses Modell wird im Ausland bereits praktiziert (Stuttgart) und wurde im NFP 68 auf Pilotebene in die Praxis umgesetzt (Keller et al. 2018, Steiger et al. 2018). Bezüglich Auswahl der Bodenfunktionen und deren Gewichtung für einen Index muss noch ein Konsens erarbeitet werden. Bodenindexpunkte lassen sich in der Planung auch zur Ermittlung von Mehr- und Minderwerten und damit im Zusammenhang mit der Mehrwertabschöpfung einsetzen.

Ein zeitlich nachgeführtes Inventar der Fruchtfolgeflächen soll zudem deren Bodenqualität aufzeigen, sowohl den aktuellen Zustand als auch deren Veränderung. Dieses Monitoringinstrument soll insbesondere eine allfällige Degradation der Fruchtfolgeflächen sichtbar machen. Als weitere Massnahme wurde die Erfassung des Anteils Grünflächen in urbanen Gebieten genannt, da diese für das Mikroklima und die Biodiversität bedeutend sind. Im Kontext des Bodenmonitorings erscheint dieses Instrument wenig relevant, dessen Nennung zeigt jedoch, dass urbane Böden nicht vergessen werden sollten. Schliesslich wurde auch ein Inventar von Industriebrachen (kombiniert mit den Bodenindexpunkten) vorgeschlagen, um Verluste von qualitativ guten Böden zu verlangsamen.

### 3.1.8 Terrainveränderung

Die Resultate der Bodenschutztagung wie auch die Diskussion des Berichtsentwurfs mit den Expertinnen und Experten zeigten, dass das Thema «Terrainveränderung» für das Bodenmonitoring wenig relevant ist. Die erarbeiteten Vorschläge und Massnahmen betreffen hauptsächlich den Vollzug. Für die weitere Bearbeitung des Berichts wurde das Thema daher nicht mehr berücksichtigt. Nichtsdestotrotz werden die Ergebnisse der Bodenschutztagung an dieser Stelle zusammengefasst.

Bei Terrainveränderungen (inkl. Rekultivierungen) besteht die Gefahr, dass die Bodenqualität kurz- oder langfristig vermindert wird, beispielsweise durch unsachgemässe Behandlung, Verdichtung, falschen Bodenaufbau, Verschleppung von Kontaminationen. Terrainveränderungen bedürfen daher einer Bewilligung. Allerdings werden Terrainveränderungen teilweise illegal (ohne Bewilligung) durchgeführt. Einige Kantone haben ihre Vollzugserfahrungen in Wegleitungen dokumentiert. Um den Vollzug zu harmonisieren, sollten die Kantone den Austausch stärken. Terrainveränderungen sollen ein qualifiziertes Bewilligungsverfahren mit klaren Vorgaben für die Bewilligungsfähigkeit eines Gesuchs durchlaufen. Illegale Terrainveränderungen müssen eingedämmt werden. Weiter braucht es Erfolgskontrollen hinsichtlich der realisierten Terrainveränderungen über die Zeit und konsequente Verfolgung und Bestrafung bei Widerhandlungen gegen die Bewilligungspflicht.

Für ein Monitoring relevant sind allenfalls Anzahl und Umfang der bewilligten Terrainveränderungen in den Kantonen. In der Konsultation dieses Berichts durch die kantonalen Fachstellen wurde denn auch angeregt, Rekultivierungen bzw. deren Qualität in ein nationales Bodenmonitoring zu integrieren.

## 3.2 Monitoringelemente

Für jedes der sieben weiterbearbeiteten Themengebiete braucht es Instrumente, um das Risiko zu erfassen. Andere Instrumente zeigen das Ausmass, weitere zielen auf die zeitliche Entwicklung. Schliesslich braucht es Beurteilungsgrundlagen auf wissenschaftlicher und/oder gesetzlicher Basis. In den untenstehenden Tabellen sind die genannten Monitoringinstrumente für die sieben Themenfelder zusammengefasst.

Im Folgenden werden R, A, Z und B als Abkürzung für Risiko, Ausmass, zeitliche Entwicklung und Beurteilung verwendet.

Thema	
<b>R</b>	- Instrumente zur Erfassung des <b>Risikos</b> /des Gefährdungspotenzials
<b>A</b>	- Instrumente zur Erfassung des <b>Ausmasses</b> der Gefährdung, des aktuellen Zustandes
<b>Z</b>	- Instrumente zur Erfassung der <b>zeitlichen Entwicklung</b>
<b>B</b>	- Instrumente zur <b>Beurteilung</b> von R, A, Z

<b>Bodenverdichtung/Bodenstruktur</b>		
<b>R</b>	- Verdichtungsrisikokarte (zunächst statisch, später dynamisch)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Punktweise berechenbar.</li> <li>- Für Karte sind flächenhafte Bodendaten notwendig: Regional teilweise vorhanden, für schweizweite Karte ist nationale Bodenkartierung erforderlich.</li> <li>- Für dynamische Karte müssen Echtzeitinformationen zur Bodenfeuchte bzw. Modellierungen davon verfügbar sein. Dazu können bestehende Bodenfeuchtemessnetze beigezogen werden.</li> </ul>
<b>A</b>	- Ausscheidung von Gebieten mit beeinträchtigter Bodenstruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A bisher unbekannt; notwendig sind Erhebung bodenphysikalischer Größen wie Lagerungsdichte, Grobporenvolumen, Wasserleitfähigkeit, Festigkeit.</li> <li>- Ergänzend soll die Messung des Eindringwiderstands (Penetrometer) weiterentwickelt und etabliert werden, um Verdichtungen direkt im Feld zu beurteilen.</li> </ul>
<b>Z</b>	- Monitoring Bodenstruktur für ausgewählte Gebiete	- Basierend auf R und A.
<b>B</b>	- Standort- und horizontspezifische Grenzwerte - Einheitliche Methodik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorschläge für Grenzwerte existieren (Arbeitshilfe der Kantone), gesetzlich nicht verankert.</li> <li>- Grenzwerte sollen weiter differenziert werden (standort-/horizontspezifisch).</li> </ul>
<b>Erosion</b>		
<b>R</b>	- Erosionsrisikokarte	- Vorhanden (ERK2), verbesserungsfähig, beispielsweise durch schweizweite Bodenkarte.
<b>A</b>	- Erosionskarte (Erfassung der effektiven Erosion)	- Bisher wurden v.a. einzelne Pilotflächen erfasst, räumliche Ausweitung dank neuer Techniken wie Drohnen.
<b>Z</b>	- Erfassung der Erosion über die Zeit durch hochaufgelöste Beobachtung der Terrainoberfläche	- Aufgrund technischer Weiterentwicklung in der Fernerkundung dereinst wohl realistisch.
<b>B</b>	- Grenzwerte für maximal zulässige Massenverluste pro Zeit/Ereignis	- Für Ackerflächen existieren Grenzwerte, für Grünland noch zu erarbeiten.



<b>Humus</b>		
<b>R</b>	- Lässt sich aus Bodendaten und Bewirtschaftung ableiten	- Kenntnisstand regional sehr unterschiedlich, nationale Bodenkartierung würde grosse Lücken schliessen.
<b>A</b>	- Humuskarte für die Schweiz	- Kenntnisstand regional sehr unterschiedlich, Humuskarte für Waldböden auf Basis geostatistischer Modellierung vorhanden, Nutzung von ÖLN-Daten und/oder nationale Bodenkartierung könnten Datenlage markant verbessern.
	- Inventar organischer Böden	- Inventar organischer Böden erstellt in NFP 68, Qualität regional sehr variabel.
<b>Z</b>	- Veränderung Kohlenstoffvorrat insgesamt - Flächenverlust organischer Böden - Sackung Terrainoberfläche organischer Böden - Veränderung Kohlenstoffgehalte mineralischer Böden	Diese Monitoringelemente können auf bestehenden Programmen (NABO, KABO, WSL) aufbauen und zusätzlich neue Datenquellen wie ÖLN-Daten erschliessen. Für die Erfassung der Sackung wird die technische Weiterentwicklung in der Fernerkundung entscheidend sein.
<b>B</b>	- Standortspezifisches Beurteilungsschema/Referenzwerte	- Beurteilung v.a. für landwirtschaftliche Böden gefordert, verschiedene Vorschläge, aber noch Forschungsbedarf.
	- Maximal tolerierbarer Verlust an Bodenkohlenstoff (Klimaziel)	- Aus wissenschaftlicher Sicht sollte Verlust möglichst klein gehalten werden bzw. bei tiefen Gehalten ein Aufbau des Kohlenstoffs im Boden angestrebt werden; Obergrenze auch eine politische Frage.
<b>Schad- und Fremdstoffe</b>		
<b>R</b>	- Verkaufs-/Verbrauchszahlen	- Sehr generell, Proxy-Indikator
	- Bilanzen/Modellierung auf Parzelle, Hof und/oder regionaler Ebene	- Abschätzung des aktuellen Risikos bzw. dessen Veränderung für Szenarien
	- Kataster belasteter Standorte, Prüfperimeter Bodenverschiebungen	- Hinweise auf Risiken
<b>A</b>	- Generell: Statuserhebung für neue Stoffe/Stoffklassen	- Basierend auf R
	- Mikroplastik	- Gegenstand von Forschungsarbeiten
	- Pflanzenschutzmittel (PSM)	- Erfassung des A im Rahmen des Aktionsplans PSM (AP PSM). Zu beachten ist, dass sich der AP PSM auf die Land-

		wirtschaft fokussiert, nichtwirtschaftliche Anwendungen können teilweise fehlen.
	- Antibiotika und Resistenzen	- Ausstehend
	- Spurenelemente	- (Zumindest teilweise) durch Proben aus BDM-Rasternetz und kantonale Untersuchungen abgedeckt.
<b>Z</b>	- Langfristiges Monitoring (NABO, KABO, interkantonale Waldbeobachtung) für relevante Stoffe/Stoffgruppen	- Auswahl der Stoffe für ein langfristiges Monitoring basierend auf R und A, muss laufend überarbeitet werden.
<b>B</b>	- Referenzwerte, ggf. nutzungsabhängig	- Für «alte» Schadstoffe zumeist vorhanden, teilweise Überarbeitung und Harmonisierung der VBBo mit anderen Gesetzesbereichen nötig. - Für neue Stoffklassen zu erarbeiten, u.a. basierend auf deren Ökotoxikologie.

#### Stickstoff/Versauerung

<b>R</b>	- Säure- und N-Deposition basierend auf Luftqualitätsmessungen	- Etabliert und anerkannt
	- Stickstoff-(und Phosphor-)Flüsse	- Durch Umweltaqramonitoring (AUI) abgedeckt, optimierbar
<b>A</b>	- Erfassung Bodenprozesse (Kationen in Bodenlösung, Kalkgrenze) für Risikogebiete	- Basierend auf R, Modellierung als Ergänzung
<b>Z</b>	- Monitoring der Versauerung gefährdeter Gebiete	- Basierend auf R und A, regionale Hotspots
	- N- und P-Auswaschung in aquatische Systeme	- In Zusammenarbeit mit anderen Messnetzen (NAQUA, NADUF, kantonale Programme)
<b>B</b>	- Critical Loads N bzw. Säure	- International etabliert, für CH optimierbar
	- Vorsorgeorientierte Grenzfrachten für Nährstoffe	- Analog zu Deutschland implementierbar

#### Bodenbiologie/Biodiversität

<b>R</b>	- Beeinflusst durch diverse Stressoren (Struktur, Nährstoffe, Schadstoffe, pH, Klima)	- Kausalitäten weitgehend noch Gegenstand der Forschung
<b>A</b>	- Breite Datenbasis zur Ableitung standort- und nutzungsspezifischer Vergleichswerte nötig	- Für mikrobiologische Summenparameter teilweise vorhanden (Acker, Grasland).

		- Punktuelle molekulargenetische Resultate vorhanden (Agroscope, WSL), Etablierung von Referenzmethoden und Erarbeitung der Datenbasis.
<b>Z</b>	- Langfristige Beobachtung der Lebensgemeinschaften (Menge, Aktivität, Zusammensetzung) an fixen Standorten	- Kombination verschiedener klassischer und neuerer Methoden (faunistisch, Summenparameter, molekulargenetisch)
<b>B</b>	- Standortspezifische Vergleichswerte für aktuellen Zustand - Rückschluss von Veränderungen auf Stressoren (zeitliche Veränderungen) - Bodenbiologischer Indikator, der Ergebnisse der einzelnen Methoden aggregiert	Grosser Forschungsbedarf sowohl bezüglich standortspezifischer Referenzen als auch zum Ursache-Wirkungs-Verständnis der Bodenbiologie

#### Bodenquantität und -qualität

<b>R</b>	- Bodenfunktionskarten	- Liefern flächenhafte Informationen bezüglich Bodenqualität und Grundlage zur Ausscheidung besonders schützenswerter oder gefährdeter Böden
	- Abschätzung künftiger Verluste an Fläche und Bodenqualität infolge der Zonierung in der Nutzungsplanung	- Für reinen Flächenverlust umsetzbar, für Verlust an Bodenqualität fehlen Basisdaten.
<b>A</b>	Grundsätzlich dieselben Instrumente wie für Z	
<b>Z</b>	- Durch Arealstatistik erfasster Flächenverlust, ergänzt durch Fernerkundung - Verlust an Fruchtfolgeflächen - Verlust an Bodenqualität, repräsentiert als Bodenindexpunkte	- Räumliche und zeitliche Auflösung massiv verbesserungsfähig, technisch umsetzbar. - Bei einheitlicher Erfassung Fruchtfolgeflächen realisierbar. - Im Ausland bereits praktiziert (Modell Stuttgart) und im NFP 68 für die Praxis in der Schweiz getestet. Bezüglich Auswahl der Bodenfunktionen und deren Gewichtung zu einem Index muss ein Konsens erarbeitet werden. Datenbasis im Rahmen einer nationalen Bodenkartierung zu erarbeiten, bisher nur regional vorhanden.
<b>B</b>	- Begrenzung des Flächenverlusts - Minimierung bzw. Begrenzung des Verbrauchs an Bodenindexpunkten (Qualitätsverlust)	Solche Grenzwerte können auf regionaler, kantonaler und/oder nationaler Ebene festgelegt werden. Festlegung dieser Obergrenzen ist eine gesellschaftliche und politische Frage!

### 3.3 Priorisierung der Themen

Zur Priorisierung der verschiedenen Themen stützt sich der vorliegende Bericht auf drei Grundlagen: zum einen auf die Rückmeldung der kantonalen Fachstellen im Rahmen der Cercle-Sol-Tagung, zum andern auf die Abschätzung des Gefährdungspotenzials (für den Fall, dass das jeweilige Thema vernachlässigt wird) und auf die Abschätzung der Wissenslücken. Abschliessend wird gezeigt, welche Wissenslücken eine nationale Bodenkartierung schliessen könnte. Zudem werden die Ziele und strategischen Stossrichtungen der Bodenstrategie mit dem Themenraster dieses Berichts verglichen.

#### 3.3.1 Thematische Prioritäten der kantonalen Fachstellen (Workshop Cercle Sol)

Die Themenpriorisierung für das Monitoring wurde am Workshop im Rahmen der Cercle-Sol-Plenumsversammlung diskutiert. Die Ergebnisse der Gruppenarbeiten sind in Kapitel 6.3.1 dokumentiert und werden hier aufgearbeitet und diskutiert. Hierzu werden die Priorisierungen der Gruppen verglichen und zu einem Gesamtbild aggregiert. Der Themenraster des Workshops enthielt noch die ursprünglichen acht Themen. Das Thema «Terrainveränderungen» erscheint daher auch in den Resultaten.

Abbildung 3 gibt eine Übersicht über die Prioritäten, wie sie von den Gruppen gesetzt wurden. Gruppe A unterschied zwischen tiefer, mittlerer und hoher Priorität. Für die Gruppen C und D sind die Rangnummern pro Thema angegeben, wobei 1 die höchste Priorität darstellt. Gruppe B wollte sich auf keine Prioritäten festlegen und kann im Folgenden nicht berücksichtigt werden. Diese Gruppe betonte, dass die Priorisierung nach Gefährdungspotenzial und Wissenslücken erfolgen sollte.

Gruppe	A	C	D
Verdichtung	mittel	5	2
Erosion	mittel	5	2
Humus	mittel	1	1
Schadstoffe	hoch	organische: 4 anorganische: 8	1
Stickstoff/Versauerung	tief	3	7
Bodenbiologie/Biodiversität	tief	6	1
Quant. Bodenverlust	hoch	2	8*
Terrainveränderungen	tief	7	3

\* Gruppe D erachtete dieses Thema als «sehr wichtig», setzte es aber auf den letzten Rang, da es ausserhalb der Zuständigkeiten der VBBo bzw. der Fachstellen liegt.

*Abbildung 3: Prioritäten für die acht Themenbereiche: Ergebnisse der Gruppenarbeiten im Rahmen des Cercle-Sol-Workshops.*

Um die Ergebnisse aller drei Gruppen vergleichbar zu machen, wurde auch für die Gruppen C und D nur zwischen tiefer, mittlerer und hoher Priorität differenziert. Die drei Prioritätsstufen wurden gemäss den Rangierungen vergeben. Da die beiden Gruppen die Skala von 1 bis 8 sehr unterschiedlich einsetzten (Gruppe D vergab dreimal Rang 1, zweimal Rang 2, Rang 4 bis 6 hingegen gar nicht), erschien eine absolute Umrechnung nicht sinnvoll. Daher musste die Abstufung relativ vorgenommen werden. Die zwei bis drei wichtigsten Themen pro Gruppe wurden «hoch» priorisiert, die Aussage der Gruppen bezüglich der relativen Priorisierung sollte möglichst unverzerrt wiedergegeben werden.

Gruppe D setzte das Thema «quantitativer Bodenverlust» auf den letzten Rang, ergänzte jedoch, dass es «sehr wichtig» sei. Der Einwand, dieses Thema liege ausserhalb der Zuständigkeit der VBBo beziehungsweise der Fachstellen Bodenschutz, wird an dieser Stelle ignoriert, da der vorliegende Bericht das Bodenmonitoring möglichst ohne Einschränkungen betrachten soll und sich die Rahmenbedingungen in Zukunft infolge der VBBo-Revision ändern können. Auf Basis des eindeutigen Kommentars wurde die Priorität des Themas für Gruppe D als «hoch» eingestuft. Gruppe C differenzierte bei den Schadstoffen zwischen anorganischen und organischen Schadstoffen. Gruppe A bezog die hohe Priorität für das Thema «Schadstoffe» explizit auf neue Substanzen, neue Quellen und Eintragspfade. Daher wurde für die Aggregation zwischen etablierten und neuen Schadstoffen unterschieden.

Die Homogenisierung und Aggregation der Prioritäten führt zu folgender Übersicht (Abbildung 4):

Gruppe	A	C	D	aggregiert
Verdichtung	mittel	mittel	mittel	mittel
Erosion	mittel	mittel	mittel	mittel
Humus	mittel	hoch	hoch	hoch
Schadstoffe, etablierte		tief		tief
Schadstoffe, neue	hoch	mittel	hoch	hoch
Stickstoff/Versauerung	tief	hoch	tief	tief
Bodenbiologie/Biodiversität	tief	mittel	hoch	mittel
Quant. Bodenverlust	hoch	hoch	hoch	hoch
Terrainveränderungen	tief	tief	mittel	tief

Abbildung 4: Prioritäten für die acht Themenbereiche: Aggregierte Ergebnisse.

Die Rückmeldungen der Gruppen ergeben ein erstaunlich konsistentes Bild. Demnach haben die Themen «**Humus**», «**Schadstoffe**» und «**quantitativer Bodenverlust**» **hohe Priorität** für das Monitoring. Aus den detaillierten Rückmeldungen im Rahmen des Workshops geht explizit hervor, dass beim Bodenverlust insbesondere der flächenmässige Verlust an Böden mit hoher Qualität gemeint ist. Bei den Schadstoffen wurde darauf hingewiesen, dass neue Schadstoffe/Schadstoffgruppen sowie neue Quellen und Eintragspfade prioritär bearbeitet werden sollen. Insbesondere müssen für neue Schadstoffe möglichst schnell standardisierte Methoden (sowohl für Beprobung als auch Analytik) entwickelt werden, um ein Monitoring zu ermöglichen. Im Monitoring etablierte Schadstoffe wie Schwermetalle werden als wenig prioritär erachtet. Eine Weiterführung bestehender Zeitreihen ist jedoch wichtig und sollte weiterhin berücksichtigt werden.

Die Themen «**Verdichtung**», «**Erosion**» und «**Bodenbiologie/Biodiversität**» sollen mit **mittlerer Priorität** angegangen werden. Während die beiden ersten Themen sehr einheitlich bewertet wurden, variierte die Einschätzung für «**Bodenbiologie/Biodiversität**» von tief bis hoch. Diese Differenzen sind möglicherweise darauf zurückzuführen, dass unterschiedliche Vorstellungen darüber herrschen, wie bodenbiologische Methoden eingesetzt werden können und welchen Nutzen sie liefern.

Eine **tiefe Priorität** resultierte für die Themen «**Stickstoff/Versauerung**», «**Terrainveränderungen**» und, wie erwähnt, «**etablierte Schadstoffe**». Für das Thema «**Stickstoff/Versauerung**» dürfte ausschlaggebend gewesen sein, dass es schon seit längerem und insbesondere in angrenzenden Fachgebieten (Luftthygiene, Wasserqualität) bearbeitet wird. Eine Gruppe attestierte dem Thema jedoch eine hohe Priorität. Dies deutet darauf hin, dass seine Priorität regional unterschiedlich ist und wahrscheinlich Kantone, die besonders gefährdet sind, das Thema priorisieren. Für die tiefe Priorität des Themas «**Terrainveränderungen**» dürfte ein wichtiges Argument gewesen sein, dass es sich um kein klassisches Monitoringthema handelt.

Wie von einigen Teilnehmenden des Workshops angemerkt, kann die Priorisierung von Region zu Region beziehungsweise von Kanton zu Kanton stark variieren. Eine Priorisierung auf nationaler Ebene bedarf einer gewissen Abstrahierung.

### 3.3.2 Gefährdungspotenzial

Das Gefährdungspotenzial wurde bezüglich der räumlichen Ausdehnung abgeschätzt sowie insgesamt für den Fall, dass das jeweilige Thema vernachlässigt würde. Die Abschätzung in Abbildung 5 beruht auf der Einschätzung ausgewählter Expertinnen und Experten der kantonalen Bodenschutzfachstellen.

Auf Basis des Gefährdungspotenzials resultiert das Thema «Bodenquantität und -qualität» als dringlichstes Thema für das Bodenmonitoring. Die konsultierten Expertinnen und Experten waren sich einig, dass ein hohes Gefährdungspotenzial besteht und zudem die ganze Schweiz betroffen ist. Das Gefährdungspotenzial der Themen «Bodenstruktur», «Erosion», «Humus» und «Schad-/Fremdstoffe» wurde auf «mittel–hoch» geschätzt. Eine weitere Differenzierung zwischen diesen vier Themen erweist sich als schwierig, dazu sind detailliertere Untersuchungen nötig. Bei den Schadstoffen ist zu bedenken, dass diese direkte Effekte auf die Gesundheit von Mensch und Tier haben können. Dies ist ein Argument für eine hohe Priorität. Wie die Medienpräsenz einiger Pestizide gezeigt hat, reagiert die Gesellschaft sehr sensibel auf dieses Thema. Die Themen «Bodenbiologie/Biodiversität» und «Stickstoff/Versauerung» zeigen gemäss obiger Einschätzung die tiefsten Gefährdungspotenziale. Allerdings wurden auch diese als «mittel» eingeordnet.

### 3.3.3 Wissenslücken und Nutzen einer landesweiten Bodenkartierung

Die Diskussionen im Rahmen der Bodenschutztagung lieferten auch die Grundlage, um die Wissenslücken (und auch Umsetzungslücken) für die sieben Themen abzuschätzen, gegliedert nach Risiko, Ausmass, zeitlicher Entwicklung und Beurteilung (Abbildung 6). Zudem wird nachfolgend erläutert, welche Wissenslücken durch eine nationale Bodenkartierung verkleinert werden können.

Insgesamt bestehen beim Thema «Bodenquantität und -qualität» die grössten Wissenslücken. Es fehlt sowohl die Datenbasis, um die Bodenfunktionen abschätzen zu können, als auch ein Beurteilungsinstrument wie ein Bodenindex. Grosse Wissenslücken bestehen bei den Schad- und Fremdstoffen: Für neue Stoffe/Stoffgruppen ist grösstenteils wenig Wissen bezüglich aktuellen Ausmasses, zeitlicher Entwicklung und deren Beurteilung verfügbar. Viel Forschungsbedarf besteht zudem hinsichtlich bodenbiologischer Messgrössen, insbesondere molekulargenetischer Methoden. Diese haben das Potenzial, Aussagen zur Gesamtbelastung des Bodens zu treffen – Messungen einzelner Schadstoffe betrachten hingegen immer nur eine Teilbelastung. Notwendig sind Beurteilungsinstrumente wie standortspezifische Referenzwerte (d.h. unter Berücksichtigung von Standorteigenschaften wie beispielsweise Nutzung, Klima und Bodeneigenschaften), die es noch zu erarbeiten gilt. Über das effektive Ausmass von Verdichtung und Erosion und deren zeitliche Entwicklung ist ebenfalls wenig bekannt; ebenso bezüglich Humus, wo Wissenslücken insbesondere bei den Beurteilungsinstrumenten bestehen.



	Gefährdung	Räumliche Ausdehnung	Einschätzung Gefährdungspotenzial
<b>Bodenverdichtung/Bodenstruktur</b>	Beeinträchtigung der Bodenstruktur, insbesondere durch Verdichtung, dadurch Verlust an Bodenqualität	Risikogebiete über ganze CH verteilt	mittel–gross
<b>Erosion</b>	Verlust an Bodenqualität durch Erosion	Risikogebiete über ganze CH verteilt	mittel–gross
<b>Humus</b>	Verlust von Humus/organischem Kohlenstoff, dadurch Verlust an Bodenqualität und CO <sub>2</sub> -Emissionen	Ganze CH, Hotspot-Regionen mit grösseren Verlustpotenzialen, insbesondere organische Böden und Böden mit intensivem Ackerbau	mittel–gross
<b>Schad- und Fremdstoffe</b>	Kontamination (diffus oder lokal begrenzt), dadurch Beeinträchtigung der Bodenqualität (insbesondere Bodenlebewesen) und/oder Beeinträchtigung der Lebensmittelsicherheit und/oder Gefährdung für Mensch/Tier (Toxizität)	Potenziell gesamte Fläche CH, erhöhte Risiken lokal bis regional aufgrund der jeweiligen Landnutzung sowie geogener und anthropogener Einflüsse (Emissionen)	mittel–gross
<b>Stickstoff/Versauerung</b>	Versauerung, Eutrophierung, Effekte auf Fauna und Flora, Beeinträchtigung Oberflächen- und Grundwasser/Trinkwasser	Ganze CH, Gebiete mit erhöhtem Risiko (Waldböden mit tiefem pH, Gebiete mit intensiver Tiermast)	mittel
<b>Bodenbiologie/Biodiversität</b>	Veränderung der Lebensgemeinschaften, Beeinträchtigung von Bodenfunktionen	Ganze CH, Regionen von besonderem Interesse wie besonders empfindliche Ökosysteme oder seltene Lebensräume	mittel
<b>Bodenquantität und -qualität</b>	Verlust an Fläche (Boden irreversibel zerstört bei Überbauung), Verlust an Bodenqualität durch Flächenverlust	Ganze CH, flächendeckend	gross

Abbildung 5: Grobe Abschätzung des Gefährdungspotenzials für die sieben Themenbereiche. Die Einschätzung des Gefährdungspotenzials beruht auf der Befragung ausgewählter Expertinnen und Experten der kantonalen Fachstellen.

	Risiko		Ausmass/Status		Zeitliche Entwicklung		Beurteilungsinstrumente
<b>Bodenver- dichtung/ Bodenstruktur</b>		Methodik für Erarbeitung einer Verdichtungsrisikokarte grundsätzlich bekannt, <b>Datenbasis dazu fehlt vielerorts</b>		Grob abschätzbar, allenfalls kleinräumig bekannt, <b>effektives Ausmass unbekannt</b>		Grob abschätzbar, allenfalls kleinräumig bekannt, <b>effektives Ausmass unbekannt</b>	Vorschläge für generelle Grenzwerte vorhanden, <b>Standort- und horizontspezifische Grenzwerte zu erarbeiten</b>
<b>Erosion</b>		Risikokarte vorhanden (ERK2), <b>kann mit besserer Datengrundlage optimiert werden</b>		Erosion für einzelne Pilotflächen erfasst, <b>grossflächige Erfassung fehlt</b>		Erosion für einzelne Pilotflächen erfasst, <b>grossflächige Erfassung fehlt</b>	Grenzwerte für Ackerland vorhanden, <b>Grenzwerte für Grasland zu erarbeiten</b>
<b>Humus</b>		Methodik zur Risikoabschätzung grundsätzlich bekannt, <b>benötigte Datenbasis lückenhaft</b>		Flächendeckende Informationen für einzelne Regionen/Kantone vorhanden, <b>für die übrigen nicht</b>		Mineralische Böden durch NABO/KABO einigermaßen abgedeckt, <b>Wissensstand zu organischen Böden ungenügend</b>	Beurteilung bezüglich Klimaveränderung möglich (Veränderung C-Speicher), <b>für Beurteilung bezüglich Bodenqualität existieren Vorschläge, Instrumente wie Humus-Referenzwert sind zu erarbeiten</b>
<b>Schad- und Fremdstoffe</b>		Grundlagen/Kennntnisstand je nach Stoff/Stoffgruppe unterschiedlich, <b>für neue Stoffe/Stoffgruppen zu wenig bekannt</b>		Für in VBBo geregelte Substanzen relativ gut untersucht, <b>für neue Stoffe/Stoffgruppen unbekannt (teilweise in Erarbeitung)</b>		Für in VBBo geregelte Substanzen relativ gut untersucht, <b>für neue Stoffe/Stoffgruppen unbekannt (teilweise in Erarbeitung)</b>	Für etablierte Schadstoffe in VBBo geregelt, <b>für neue Stoffe/Stoffgruppen zu erarbeiten</b>

<b>Stickstoff/ Versauerung</b>		Säure- und N-Deposition basierend auf Luftqualitätsmessungen abschätzbar, Nährstoffflüsse und damit verbundene Risiken durch Agrarumweltmonitoring erfasst, <b>optimierbar</b>		Flächendeckende Informationen für einzelne Regionen/Kantone vorhanden, <b>für die übrigen nicht</b>		Informationen für einzelne Regionen/Kantone vorhanden, <b>für die übrigen nicht</b>		Beurteilungsinstrumente etabliert (Critical Loads N bzw. Säure) oder implementierbar (vorsorgeorientierte Grenzfrachten für Nährstoffe), <b>beide für CH optimierbar</b>
<b>Bodenbio- logie/Bio- diversität</b>		Allgemeine Effekte auf Biomasse und Aktivität teilweise bekannt, <b>Effekte von Stressoren auf Lebensgemeinschaft grösstenteils unbekannt</b>		Einige Methoden in NABO/KABO integriert, <b>molekulargenetische Methoden im Aufbau, generell aber relativ wenig Datenpunkte (räumlich)</b>		Einige Methoden in NABO/KABO integriert, <b>molekulargenetische Methoden im Aufbau, generell aber relativ wenig Datenpunkte (räumlich/zeitlich)</b>		Referenzwerte teilweise vorhanden (für mikrobielle Summenparameter und Regenwürmer), <b>ansonsten viel Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich molekulargenetischer Methoden und Indikatoren</b>
<b>Boden quanti- tät und -qualität</b>		Prognose künftiger Flächenverluste möglich, <b>Verlust an Bodenqualität nicht abschätzbar, da flächenhafte Informationen zu Bodenqualität fehlen</b>		Arealstatistik liefert Informationen zu Quantität (Fläche), <b>Ist-Zustand bezüglich Bodenqualität weitgehend unbekannt</b>		Arealstatistik liefert Informationen zu Quantität (Fläche), <b>zeitliche Entwicklung bezüglich Bodenqualität unbekannt</b>		Beurteilung quantitativer Verluste möglich. <b>Für die Beurteilung der Bodenqualität (und deren Verlust) fehlt Datenbasis. Zudem muss ein (wissenschaftlicher/politischer) Konsens erarbeitet werden hinsichtlich der Instrumente und der Methodik (z.B. zur Aggregation zu Bodenindex).</b>

**Farbskala: Einschätzung der Wissenslücken**    gross    mittel    klein

Abbildung 6: Grobe Abschätzung des Wissensstandes (*grün*) und der Wissenslücken (*rot*) bezüglich Erfassung des Risikos, des Ausmasses/Status und der zeitlichen Entwicklung sowie deren Beurteilung für die sieben Themengebiete. Die Tabelle orientiert sich an den in Kapitel 3.2 beschriebenen Monitoringelementen und soll die Wissenslücken zu deren Umsetzung darstellen.

Die Übersicht in Kapitel 3.2 zeigt, dass viele der beschriebenen Monitoringelemente auf flächenhafte Bodendaten angewiesen sind. Daher sind weitere Anstrengungen von Bund und Kantonen erforderlich, um Bodenkartierungen voranzutreiben. Den grossen Nachholbedarf der Schweiz bezüglich Bodeninformationen zeigte das NFP 68 eindrücklich auf. Die Notwendigkeit einer flächendeckenden Bodenkartierung unter Beizug innovativer digitaler Erhebungsmethoden ist denn auch eine der Hauptbotschaften des NFP 68 (Steiger et al. 2018). Weiter soll eine Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH) künftig als Drehscheibe für Bodendaten dienen. Sie soll auch dazu dienen, Bodengefährdungen und Bodenfunktionen zu bewerten.

Abbildung 7 zeigt den Nutzen einer landesweiten Bodenkartierung für die oben beschriebenen Monitoringelemente. Eine Bodenkartierung mit einem erweiterten und angepassten Umfang an gemessenen Bodeneigenschaften dient allen sieben Themenbereichen, insbesondere der Abschätzung des jeweiligen Risikos, aber auch der Erfassung von Ausmass und zeitlicher Entwicklung. Flächendeckende Bodendaten sind unerlässlich, wenn neben dem reinen Flächenverlust auch der Verlust an Bodenqualität beziehungsweise Bodenfunktionen erfasst werden soll. Eine Kartierung liefert die Grundlage zur Abschätzung der Bodenfunktionen. Diese Informationen, verknüpft mit Informationen aus der Raumplanung, beispielsweise der kommunalen Nutzungsplanung, erlauben die Darstellung des aktuellen Zustands (Status) und des Risikos für künftige Verluste. Verknüpft mit Daten der (optimierten) Arealstatistik, lässt sich die zeitliche Entwicklung verfolgen.

Eine nationale Bodenkartierung ist zudem von grossem Nutzen, um das Risiko über alle sieben Themenbereiche zu ermitteln. Wo bereits gute Instrumente zur Risikoabschätzung wie die Erosionsrisikokarte (ERK2) existieren, können diese weiter verbessert werden. In anderen Themenbereichen machen flächenhafte Bodendaten die Risikoabschätzung erst möglich. Bei den Schadstoffen hängt das Risiko im Wesentlichen von den jeweiligen Eintragspfaden und -mengen sowie dem Umweltverhalten der Substanzen, aber auch von den jeweiligen Bodeneigenschaften ab.

Das Ausmass beziehungsweise der aktuelle Zustand bezüglich der Themen «Bodenstruktur», «Humus» und «Stickstoff/Versauerung» liessen sich aus einer Bodenkartierung ableiten, ihr diesbezüglicher Nutzen wäre folglich gross. Für das Monitoring der übrigen Themen wirken Bodenkarten unterstützend. So lässt sich von ihnen ableiten, welche Gebiete prioritär erfasst werden müssen. Flächenhafte Bodeninformationen erlauben es aber auch, besser einzugrenzen, wo die zeitliche Entwicklung am effizientesten erfasst werden kann.

Nebst den Daten aus einer nationalen Bodenkartierung können und sollen für das Bodenmonitoring weitere Datenquellen, beispielsweise die im Rahmen des ÖLN erhobenen Bodendaten, genutzt werden.

	Risiko	Ausmass, Status	Zeitliche Entwicklung	Beurteilung
Bodenstruktur				Grosser Nutzen, Bodenkarte notwendig
Erosion				Bodenkarte unterstützt
Humus				Erfüllung der Aufgaben
Schad- und Fremdstoffe				
Stickstoff/Versauerung				
Bodenbiologie/Biodiversität				
Bodenquantität und -qualität				

Abbildung 7: Nutzen beziehungsweise Bedarf einer nationalen Bodenkartierung für die Monitoringelemente.

### 3.3.4 Quervergleich mit den Schwerpunkten der Bodenstrategie

Das BAFU erarbeitete in Zusammenarbeit mit anderen interessierten Bundesämtern (ARE, ASTRA, BFE, BLW, Swisstopo) und den Kantonen eine nationale Bodenstrategie, die 2020 verabschiedet wurde (Schweizerischer Bundesrat 2020). In deren Zentrum steht die Vision, die Bodenfunktionen langfristig zu erhalten, damit auch zukünftige Generationen davon profitieren können.

Die Strategie definiert Ziele für verschiedene Themen und leitet daraus strategische Stossrichtungen ab. Der Themenraster orientiert sich an der Nutzung der Böden (Landwirtschaft, Wald usw.). Der Bericht vergleicht die Ziele und strategischen Stossrichtungen der Bodenstrategie mit dem im Bericht verwendeten Themenraster (vgl. Anhang 6.5). Während die Ziele der Bodenstrategie allgemein formuliert sind und sich nur generell den sieben Themen zuordnen lassen, sind die strategischen Stossrichtungen konkreter und können innerhalb der Themen den einzelnen Monitoringelementen zugeordnet werden.

Jedem der sieben Themen dieses Berichts lassen sich eines oder mehrere Ziele der Bodenstrategie zuordnen. Folglich sind gemäss Bodenstrategie alle diese Themen relevant. Die Analyse der strategischen Stossrichtungen zeigt ein differenzierteres Bild (Abbildung 8): Die Strategie setzt einen Schwerpunkt beim quantitativen Bodenverlust. Gefordert wird, die Bodenfunktionen zu berücksichtigen, insbesondere Instrumente zu schaffen, um den Verlust von Bodenqualität in Vollzug und Raumplanung berücksichtigen zu können. Ein weiterer Schwerpunkt der Strategie gilt Instrumenten, die helfen, das Risiko beziehungsweise die Gefährdung zu erkennen, namentlich für Verdichtung, Erosion sowie Schad- und Fremdstoffe. Weiter soll gemäss der Strategie für alle Bodenbeeinträchtigungen die zeitliche Entwicklung verfolgt werden. Dazu muss zunächst das Ausmass (der aktuelle Zustand) bekannt sein, auch wenn dies in der Strategie nicht immer explizit genannt wird. Als letzten wichtigen Punkt fordert die Bodenstrategie Beurteilungsinstrumente, namentlich für Verdichtung, Humus und die Bodenbiologie.

	Risiko	Ausmass, Status	Zeitliche Entwicklung	Beurteilung
Bodenstruktur				
Erosion				
Humus				
Schad- und Fremdstoffe				
Stickstoff/Versauerung				
Bodenbiologie/Biodiversität				
Bodenquantität und -qualität				

Abbildung 8: Vergleich der strategischen Stossrichtungen gemäss Bodenstrategie mit dem Raster der Monitoringelemente dieses Berichts (vgl. Anhang Kapitel 6.5 für Details). Eingefärbt sind Bereiche, für die die Bodenstrategie strategische Stossrichtungen definiert.

### 3.3.5 Fazit

Über alle besprochenen Aspekte betrachtet muss dem Thema «Bodenquantität und -qualität» eine sehr hohe Priorität zugestanden werden. Es besteht grosser Nachholbedarf hinsichtlich der Datenbasis und der Beurteilungsinstrumente, damit künftig neben dem reinen Flächenverlust auch die damit verbundenen Bodenqualitätsverluste erfasst werden. Dieses Thema reicht weit über den Einflussbereich der VBBo hinaus und bezieht viele Akteure mit ein.

Bei vier Monitoringthemen wurde das Gefährdungspotenzial von den befragten Expertinnen und Experten der kantonalen Fachstellen als «mittel–hoch» eingeschätzt, namentlich für «Schad- und Fremdstoffe», «Hu-

mus», «Erosion» und «Bodenstruktur». Bei Betrachtung der Wissenslücken offenbart sich der Handlungsbedarf: Bei den Schad- und Fremdstoffen fehlen Informationen zu neuen Stoffen/Stoffklassen bezüglich deren Risiken, Ausmass und zeitlicher Entwicklung, aber auch bezüglich deren Beurteilung. Hinsichtlich Humus ist die Datenlage bei organischen Böden deutlich schlechter als bei mineralischen. Ein grosses Manko besteht zudem darin, dass weder für mineralische noch für organische Böden etablierte Beurteilungsinstrumente verfügbar sind. Bei den Themen «Erosion» und «Bodenstruktur» besteht Handlungsbedarf hauptsächlich punkto Erfassung des effektiven Ausmasses und dessen zeitlicher Entwicklung.

Das Thema «Bodenbiologie/Biodiversität» ist gemäss Einschätzung der Berichtsauteuren und einiger der beigezogenen Expertinnen und Experten ebenso dringlich wie die vier eben genannten. Zwar wurde das Gefährdungspotenzial von den Expertinnen und Experten tiefer eingeschätzt («mittel»), doch bestehen grosse Wissenslücken und grosser Forschungsbedarf in allen Bereichen (Risiko, Ausmass, zeitliche Entwicklung, Beurteilung). Basierend auf Gefährdungspotenzial und Wissenslücken erscheint das Thema «Stickstoff und Versauerung» am wenigsten dringend. Dies bedeutet jedoch nicht, dass das Thema vernachlässigt werden darf. Verbesserungspotenzial besteht insbesondere – und vor allem regionsspezifisch – im Kontext landwirtschaftlich genutzter Böden und deren Nährstoffhaushalts.

### 3.4 Organisation

Ein Monitoring der Ressource Boden mithilfe von Bodenkartierungen, Statusuntersuchungen und langfristigen Bodenbeobachtungen an ausgewählten Standorten involviert verschiedenste Akteure auf nationaler und kantonaler Ebene sowie in Verwaltung und Wissenschaft. Es ist daher essenziell, die Aufgaben und Zuständigkeiten der einzelnen Akteure klar zu definieren und festzulegen, wie die Akteure zusammenarbeiten sollen. Die Organisation der unterschiedlichen Tätigkeiten wurde beim Workshop im Rahmen der Cercle-Sol-Plenumsveranstaltung diskutiert. Es zeigte sich, dass viele Fragen noch offen sind und ein weiterführender Diskurs erforderlich ist. Insbesondere sollten Bund und Kantone die Arbeitsteilung und Zusammenarbeit in einem direkten Dialog diskutieren und letztlich verbindlich festlegen. Aufgrund sich laufend verändernder Rahmenbedingungen drängt die Zeit, etwa hinsichtlich einer Neuorganisation des Monitorings auf nationaler Ebene, der Aufbauphase des Kompetenzzentrums Boden (KOBO) als neuen Akteurs oder hinsichtlich der Neuorganisation von kantonalen Fachämtern.

Im Folgenden werden die zu berücksichtigenden Akteure und ihre wichtigsten Aktivitäten vorgestellt (Kap. 3.4.1), gefolgt von einem Porträt des neu geschaffenen KOBO und dessen Aufgaben (Kap. 3.4.2) und einem Vorschlag für die Aufgabenteilung und Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure (Kap. 3.4.3). Am Workshop wurden die Vertreterinnen und Vertreter der kantonalen Fachstellen gefragt, wie sich Bund und Kantone organisieren sollen und welche Hilfsmittel sie für den Vollzug benötigen. Neben vielen Anregungen für den Vollzug gaben sie auch Hinweise bezüglich der Organisation. Die Ergebnisse der Cercle-Sol-Tagung sind in Anhang 6.3 protokolliert. Eine Synthese bezüglich der benötigten Hilfsmittel für den Vollzug findet sich in Anhang 6.4.

Der Vorschlag bezüglich Arbeitsteilung und Zusammenarbeit zwischen Bund, Kantonen und weiteren Akteuren am Ende dieses Kapitels fasst die Erkenntnisse aus den Workshops und den anschliessenden Diskussionen zusammen. Er ist nicht abschliessend, sondern bildet die Grundlage für einen weiteren Dialog.

#### 3.4.1 Akteure und Aktivitäten

Für das Monitoring der Ressource Boden – die Bodenkartierung, den Vollzug und die Bodenbeobachtung umfassend – leisten verschiedene Akteure einen wichtigen Beitrag auf unterschiedlichen Ebenen. Die folgende Liste gibt eine – nicht abschliessende – Übersicht:



<b>Ebene</b>	<b>Akteur/Aktivität</b>	<b>Beschreibung/Bemerkungen</b>
<b>Kantone</b>		
	Kantonale Fachstellen und Vollzug	Personelle/finanzielle Ressourcen sehr unterschiedlich Praxistools für den Vollzug wurden auf kantonaler Ebene entwickelt (z.B. Hinweiskarten «anthropogene Böden», Prüferimeter Boden u.a.)
	Kantonale Bodenbeobachtung/-überwachung (KABO)	Einige Kantone betreiben (teilweise im Verbund mit anderen Kantonen) ein eigenes Bodenmonitoring, wobei Umfang und Ausrichtung entsprechend den sich stellenden Bodenschutzproblemen sehr unterschiedlich sind.
	Interkantonale Waldbeobachtung	Im Auftrag mehrerer Kantone betreibt das Institut für angewandte Pflanzenbiologie (IAP) ein Waldmonitoring, das auch Bodenparameter einschliesst.
	Bodenfeuchtemessnetze	Verschiedene Kantone betreiben Feuchtemessnetze (z.B. <a href="https://centibar.ch">https://centibar.ch</a> )
<b>Bund</b>		
	Bundesamt für Umwelt (BAFU)	Art. 3 Abs. 1 VBBo: Das BAFU betreibt in Zusammenarbeit mit dem BLW ein nationales Referenznetz zur Beobachtung der Belastungen des Bodens (NABO).
	Bundesamt für Landwirtschaft (BLW)	Art. 3 Abs. 1 VBBo: Das BAFU betreibt in Zusammenarbeit mit dem BLW ein nationales Referenznetz zur Beobachtung der Belastungen des Bodens (NABO).
	Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)	Grundlagen und Strategien für die Raum- und Verkehrsentwicklung; Bauzonenstatistik, Inventar Fruchtfolgeflächen
	Weitere interessierte Bundesämter	Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Statistik (BfS; u.a. Arealstatistik), Swisstopo, Bundesamt für Strassen (ASTRA), ...
	Nationale Bodenbeobachtung (NABO)	Gemeinsam betrieben durch BAFU und BLW, aktuell bei Agroscope Reckenholz angesiedelt
	LWF-Programm der WSL	Langfristige Beobachtung ausgewählter Waldböden
	Weitere nationale Monitoringprogramme wie NAQUA, NADUF, NABEL, Moosmonitoring, Biodiversitätsmonitoring (BDM)	
	Weitere kantonale/regionale Monitoringprogramme	
	NABODAT/Servicestelle NABODAT	Nationales Bodeninformationssystem
	Kompetenzzentrum Boden (KOBO)	Derzeit im Aufbau bis Ende 2020, gemeinsam getragen von ARE, BAFU und BLW, angesiedelt an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) in Zollikofen (vgl. Kap. 3.4.2)

VBBo-Ringanalyse/Laborliste	Qualitätssicherung für die in der VBBo genannten Methoden
<b>Schnittstelle Kantone/Bund</b>	
<b>Cercle Sol</b> und dessen Arbeitsgruppen:	Vereinigung der Bodenschutz-Fachleute der Kantone, des Bundes und des Fürstentums Liechtenstein, Koordinations- und Anlaufstelle für Fragen des Bodenschutzvollzugs
- 4 Regionalgruppen	Cercle Sol NWCH, Cercle Sol Ost, Cercle Sol ROSOL, Cercle Sol ZCH
- AGIR	Arbeitsgruppe «Interventionswerte und Risikobeurteilung»
- VBBio	Fachgruppe «Vollzug Bodenbiologie»
- VBPhy	Fachgruppe «Vollzug Bodenphysik»
- Fachgruppe Bodenfeuchte	Austausch/Zusammenarbeit bezüglich Bodenfeuchte
- Arbeitsgruppe KABO	Austausch bezüglich Bodenbeobachtung
<b>Wissenschaft</b>	
ETH und deren Institute (EAWAG, EMPA, WSL, ...)	
Universitäten	Basel, Zürich, Bern, Lausanne, Neuchâtel u.a.
Fachhochschulen	verschiedene Verbünde in den Regionen
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Agroscope	landwirtschaftliche Forschungsanstalt des Bundes
IAP	Institut für angewandte Pflanzenbiologie
<b>Beratung</b>	
Kantonale Fachstellen/Ausbildungszentren	z.B. Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Strickhof und weitere
AGRIDEA	landwirtschaftliche Beratungszentrale der kantonalen Fachstellen
Fachverbände	z.B. Gemüsebauverband
<b>Stakeholder (nicht abschliessend)</b>	
Politik	
Landwirtschaft	
Raumplanung	
Forstwirtschaft	
Gewässerschutz	
Umweltverbände	
Zivilgesellschaft	Bodennutzende wie auch interessierte Personen

### 3.4.2 Kompetenzzentrum Boden (KOBO)

Das KOBO ist die 2019 neu geschaffene nationale Fachstelle von Bund und Kantonen für Boden und befindet sich derzeit in der Aufbauphase. Das KOBO soll die Grundlagen für den Vollzug der Massnahmen für eine nachhaltige Nutzung und für einen wirksamen Schutz der Ressource Boden verbessern. Das Kompetenzzentrum koordiniert und standardisiert zu diesem Zweck Methoden und Instrumente für die Erhebung, Bewertung und Bereitstellung von Bodeninformationen in der Schweiz. Zentrale Ziele des Kompetenzzentrums Boden sind:

- die Vereinheitlichung und Weiterentwicklung von Erhebungs- und Analysemethoden von Bodeneigenschaften,
- das Festlegen technischer Standards für die Bodenkartierung,
- der Aufbau und Betrieb einer nationalen Informations- und Serviceplattform für Bund, Kantone und private Organisationen,
- die Bereitstellung von Methoden für kundenorientierte Auswertungen von Bodeninformationen und von Entscheidungsgrundlagen für unterschiedliche Fachdisziplinen, Bedarfsgruppen und Vollzugsbereiche.

Das KOBO fördert den interdisziplinären Dialog unter Fachämtern des Bundes und der Kantone ebenso wie unter Fachleuten aus dem Umwelt-, Landwirtschafts- und Raumplanungssektor. Es positioniert sich als Brückenbauer und Bindeglied zwischen Forschung, Vollzug und Praxis und soll primär einen Service für die genannten Akteure leisten. In erster Linie bedeutet dies, Vollzugsgrundlagen für die Kantone zur Verfügung zu stellen und nach aktuellem Stand der Technik regelmässig zu aktualisieren. Das KOBO ist keine Forschungsinstitution; es arbeitet aber für die Weiterentwicklung von Methoden eng mit solchen zusammen. Damit besteht eine klare Arbeitsteilung zwischen dem KOBO und bestehenden Forschungsinstitutionen im Bereich «Boden» (siehe Tabelle oben). Im Gegensatz zur Privatwirtschaft führt das KOBO keine Standardfeldarbeiten für eine Bodenkartierung durch, koordiniert aber entsprechende Arbeiten privater Ingenieurbüros, die im Auftrag der Kantone kartieren, und sorgt für die Qualitätssicherung.

Das KOBO wird von den drei Bundesämtern ARE, BAFU und BLW an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) in Zollikofen betrieben. Die Kantone sind über die Amtsleitungskonferenzen aus den Bereichen Landwirtschaft (KOLAS) und Umwelt (KVU) an dessen Steuerung beteiligt. ARE, BAFU und BLW finanzieren seit 2019 eine zweijährige Aufbauphase, 2021 soll die Betriebsphase starten.

### 3.4.3 Aufgabenteilung und Zusammenarbeit

An der Cercle-Sol-Tagung wurde in der Diskussion zum Thema «Arbeitsteilung zwischen Bund und Kantonen» mehrfach auf die VBBo und die darin festgelegte Aufgabenteilung verwiesen. Demnach ist der Bund für die Beobachtung der Bodenbelastung zuständig, der Betrieb der NABO wird explizit erwähnt. Die Überwachung von Bodenbelastungen obliegt hingegen den Kantonen. Für die Schaffung der dazu notwendigen Grundlagen ist hingegen wiederum der Bund zuständig. Auch für die Beurteilung von Bodenbelastungen beziehungsweise der Bodenfruchtbarkeit muss das BAFU die Kantone beraten. Der Vollzug ist generell Sache der Kantone.

Diese Aufgabenteilung wird grundsätzlich als sinnvoll erachtet. Die Praxis zeigt allerdings, dass die oben genannte Arbeitsteilung inhaltlich viel Spielraum lässt und erforderliche Arbeiten zu wenig definiert sind, beispielsweise, inwiefern eine Bodenkartierung zu den Grundlagen zählt, die durch das BAFU und das BLW zu erbringen wäre. Auch die Abgrenzung der Bodenbeobachtung zur Bodenüberwachung ist Interpretationssache, wie die inhaltlich unterschiedliche Ausrichtung der KABO zeigt. Zudem sind nicht alle in diesem Bericht diskutierten Themen in eine derart offene Definition der Arbeitsteilung zwischen Bund und Kantonen eingeschlossen. Insbesondere fehlen Aussagen zum Monitoring des quantitativen Bodenverlusts und des damit verbundenen Verlusts an Bodenqualität. Auf Bundesebene sollte daher neben BAFU und BLW auch das ARE in das Monitoring eingebunden werden. Das KOBO wird von diesen drei Bundesämtern gemeinsam getragen

(vgl. Kapitel 3.4.2). Zum Zeitpunkt der beiden Workshops 2019 befand sich das KOBO in der frühen Aufbau-phase, und nur die wenigsten Teilnehmenden waren über den Stand und die Ziele des KOBO informiert, so dass das KOBO an den Workshops kaum Gegenstand der Diskussionen zur Aufgabenteilung war.

Die folgende Tabelle gibt die Diskussionen zur Aufgabenteilung an den Workshops wieder. Die optimale künftige Arbeitsteilung zwischen Bund und Kantonen sollte genauer definiert werden, wozu es weiterer Anstrengungen bedarf.

Bereich	Aufgaben	Verantwortung
<b>Wissenschaftliche Grundlagen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Methodenentwicklung (Daten-erhebung, Analytik, ...)</li> <li>- Relevanz und Gefährdung durch neue Stoffe</li> <li>- Grundlagen für Grenzwerte</li> </ul>	<p>Bund</p> <p>KOBO koordiniert die hierfür nötigen Forschungsarbeiten, die durch wissenschaftliche Institutionen (ETH, WSL, Agroscope, Fachhochschulen, Universitäten u.a.) ausgeführt werden.</p> <p>Ggf. können NABO und KABO notwendige Forschungsprojekte unterstützen.</p>
<b>Gesetzliche Grundlagen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesetzgebung auf Stufe Gesetz und Verordnung</li> <li>- Arbeits- und Vollzugshilfen zur Harmonisierung und Präzisierung</li> </ul>	BAFU, BLW und ARE in Absprache mit den Kantonen
<b>Harmonisierung/Koordination</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umsetzung der erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen</li> </ul>	Fachabteilungen der Bundesämter, Cercle Sol und dessen Arbeitsgruppen, kantonale Fachämter, KOBO (vgl. unten, Schnittstellen Cercle Sol/KOBO)
<b>Datenerhebung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenkartierung</li> </ul>	<p>Organisation und Durchführung: Zusammenarbeit Bund (BAFU, BLW, ARE), Kantone, Privatwirtschaft.</p> <p>Methode: Vorgabe der Methodik nach Stand der Technik erfolgt durch KOBO und Projekt «Revision der Klassifikation der Böden der Schweiz» (RevKLABS-Projekt)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Langfristiges Monitoring</li> </ul>	<p>Auf nationaler Skala durch NABO, regional unterstützt durch KABO.</p> <p>Zusammenarbeit NABO/KABO soll verstärkt werden, z.B. durch gemeinsame Interpretationen und Auswertung, Abstimmung zur inhaltlichen Ausrichtung der Messnetze.</p> <p>NABO berät die Kantone.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenüberwachung, Terrainveränderungen, Rekultivierungen, Bodenschutz beim Bauen</li> </ul>	<p>Kantonale Fachämter</p> <p>Bund sorgt in Kooperation mit Kantonen mit Wegleitungen für erforderliche Vollzugsgrundlagen.</p>

	- Spezialuntersuchungen, Zustandserhebungen	Datenerhebung für aktuelle Fragestellungen/Probleme fallweise durch NABO, Kantone, wissenschaftliche Institutionen, koordiniert durch KOBO. Solche Untersuchungen erfolgen typischerweise im Rahmen von Forschungsprojekten, daher überlappt sich diese Aufgabe mit dem Bereich «wissenschaftliche Grundlagen» (vgl. oben). Verantwortlich ist somit in der Regel der Bund.
<b>Datenmanagement</b>	- Verwaltung, Harmonisierung und Bereitstellung der Daten aus Vollzug, Bodenbeobachtung und Kartierung	<p>Der Bund unterstützt die Kantone beim Datenmanagement durch NABODAT und dessen Servicestelle. Das Datenmanagement stellt ein Modul des KOBO dar.</p> <p>Das KOBO betreibt künftig ein nationales Datenportal mit verschiedenen Katalogen.</p> <p>Die Kantone führen eigene kantonale GIS-Portale.</p>
<b>Beurteilung</b>	- Instrumente zur Beurteilung des aktuellen Zustands und dessen zeitliche Entwicklung	<p>Cercle Sol und dessen Arbeitsgruppen, Wegleitungen und Vollzugshilfen in Kooperation von Bund und Kanton. Beratung und Unterstützung mittels Vollzugsgrundlagen – wo möglich – durch KOBO sowie weitere Akteure (u.a. Agridea, Agroscope).</p> <p>Die Bundesämter sind ggf. verantwortlich für die rechtliche Verankerung dieser Instrumente. Somit sind auch die obigen Punkte «wissenschaftliche Grundlagen» und «gesetzliche Grundlagen» zu beachten.</p>
<b>Kommunikation</b>	- Kommunikation	<p>Ergebnisse auf Ebene Bund durch Bundesämter. Dachkommunikationskonzept BAFU für eine breite Öffentlichkeit. Kommunikation für Zielgruppe «Fachexperten» durch das KOBO; Kommunikationsinstrumente sollen im KOBO ab 2020 aufgebaut werden.</p> <p>Ergebnisse auf Stufe Kanton durch bestehende Kommunikationskanäle (z.B. KVV, KOLAS, KPK). Ergebnisse der gemeinsamen Arbeiten von Bund und Kantonen soweit möglich und sinnvoll gemeinsam via Cercle Sol bzw. dessen Arbeitsgruppen.</p>
	- Information der Öffentlichkeit anhand eines verständlichen Indikatorsystems	<p>Bund</p> <p>Koordination durch KOBO und NABO</p>

**Zusammenarbeit KABO/NABO:** Klärungsbedarf besteht bei den Aufgaben der KABO und deren Abgrenzung zur NABO. Einige Kantone betreiben eine KABO, teilweise mit beträchtlichem Aufwand. Andere verzichten komplett darauf. Sechs Zentralschweizer Kantone haben sich zum Monitoringverbund KABO Z-CH zusammengeschlossen. In der Diskussion anlässlich des Cercle-Sol-Workshops kam die Frage auf, ob die heutige Abgrenzung zwischen Hintergrundbelastung (NABO) und erhöhtem Risiko (KABO) noch adäquat sei. Einigkeit bestand darin, dass die Zusammenarbeit zwischen nationalen und kantonalen Monitoringprogrammen zu verstärken sei. Die Arbeitsgruppe KABO des Cercle Sol könnte dabei vermehrt für gemeinsame Aktivitäten und Auswertungen genutzt werden. Alternativ könnte der Bund Aufgaben kantonalen Beobachtungsnetze übernehmen: einzelne Standorte und/oder Themenbereiche oder gewisse Arbeitsschritte wie die Auswertung.

Erfahrungsgemäss verfügen die Kantone nur über wenige Ressourcen, die erhobenen Daten der kantonalen Bodenbeobachtung auszuwerten. Meist lagern sie solche Arbeiten an privatwirtschaftliche Büros aus. Eine zentrale Auswertung dieser Daten durch den Bund könnte die Kantone entlasten und dazu beitragen, die Daten optimal zu nutzen. Die Inanspruchnahme eines solchen Angebots durch die Kantone kann auch auf freiwilliger Basis geschehen. Dabei würden allerdings Aufträge an die Privatwirtschaft wegfallen. Angeregt wurde auch eine «Vollzugshilfe Bodenmonitoring», in der Aufgabenstellung und Zusammenarbeit KABO/NABO geregelt werden könnten. Einzelne Kantone sehen darin die Chance für eine bessere Rechtfertigung ihrer Monitoringaktivitäten. Die Notwendigkeit einer neuen Vollzugshilfe muss im weiterführenden Dialog Bund/Kantone diskutiert und geregelt werden.

**Zusammenarbeit KOBO/NABO:** Zwischen der NABO und dem neu geschaffenen KOBO gibt es diverse Schnittstellen, da thematisch viele Berührungspunkte bestehen. Inhaltlich sind die Themen der NABO – zeitliche Entwicklung der Bodenqualität an ausgewählten Standorten – gegenüber denjenigen des KOBO – z.B. Fokus Bodenkartierung und Methoden – allerdings gut abgegrenzt. Grundsätzlich soll eine möglichst enge und intensive fachliche Zusammenarbeit zwischen den beiden Institutionen etabliert werden. Einen Schwerpunkt gemeinsamer Aktivitäten stellt der Aufbau eines Referenznetzes für Bodenprofile dar, wie er von verschiedenen Seiten angedacht wurde. Ein solches Referenznetz wird für die Aufgaben im Projekt zur Revision der «Klassifikation der Böden der Schweiz» (RevKLABS) gefordert (z.B. Abgleich und Referenz bodenkundlicher Feldaufnahmen) und zur Entwicklung nationaler Pedotransfer-Funktionen. Ausgewählte Standorte des NABO-Referenznetzes für die zeitliche Veränderung der Bodenqualität sowie Standorte der KABO, aber auch der WSL, können künftige Referenzstandorte für Bodenprofile darstellen. Es soll geprüft werden, welche NABO- und KABO-Standorte und anderen Standorte aus Bodenkartierungen sich dazu eignen. Bezüglich Datenmanagement kann die NABO vom KOBO profitieren. Jene Daten, die weitergegeben oder veröffentlicht werden, sollen über die entsprechenden Werkzeuge (Datenportal) des KOBO archiviert werden. Schliesslich soll die NABO künftig die Kommunikationskanäle des KOBO nutzen können. Durch eine Bündelung von Informationen und durch professionelle Kommunikationsinstrumente wird die Sichtbarkeit verbessert.

**Schnittstellen Cercle Sol/KOBO:** Mit dem KOBO wurde auf nationaler Ebene ein neuer Akteur etabliert, dessen Schnittstellen zum Cercle Sol bis dato nicht geklärt sind. Wie ausgeführt, gehören Austausch, Koordination und Harmonisierung zu den Aufgaben des Cercle Sol und dessen Untergruppen. Koordination und Harmonisierung sind aber ebenso zentrale Pfeiler des KOBO. Für den Cercle Sol sind die Aufgaben primär im Kontext des kantonalen Vollzugs zu sehen, während sich die Aufgaben der Koordination im KOBO vor allem auf die (Weiter-)Entwicklung von Methoden und Grundlagen konzentrieren, die dann durch die kantonalen Fachämter in den Kantonen im Vollzug angewendet werden können. Eine detaillierte Abstimmung der Rollen von Cercle Sol und KOBO steht aber noch aus.

Die Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen, zu denen auch die Beurteilungsinstrumente zählen, ist Aufgabe des Bundes und der Forschungsinstitutionen. In diesem Bereich arbeitet ein breites Feld an Akteuren an Methoden und Instrumenten für eine nachhaltige Bodennutzung. Hinsichtlich der Entwicklung der Methodik der Bodenkartierung und der Analysen von Bodeneigenschaften sollte das KOBO Koordinationsaufgaben übernehmen. Der fachliche Austausch erfolgt – sofern möglich – via Cercle Sol beziehungsweise seine Untergruppen. Um den Informationsaustausch zu gewährleisten, sollte das KOBO in den Arbeitsgruppen des Cercle Sol vertreten sein. Diese nehmen eine wichtige Funktion für den fachlichen Austausch zwischen den Kantonen wahr, beispielsweise bei der Implementierung der Methoden und Instrumente. Weiter ist der Cercle Sol dafür verantwortlich, die – insbesondere politischen – Interessen der Kantone zu vertreten und auf Bundesebene einzubringen. Den Kantonen stehen dafür zwar immer direkte Wege zur Verfügung, durch die Bündelung der Kräfte im Cercle Sol kann jedoch eine grössere Wirkung erzielt werden. Bezüglich Kommunikation nehmen Cercle Sol und KOBO wichtige Rollen ein, indem sie ihre Arbeit und ihre Ergebnisse der Öffentlichkeit zugänglich machen.



## 4 Synthese und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen der Bodenschutztagung wurde in Gruppenarbeiten aufgezeigt, wie für die sieben Themen

1. Bodenstruktur und deren Beeinträchtigung (inkl. Verdichtung),
2. Erosion,
3. Humus,
4. Schad- und Fremdstoffe,
5. Stickstoff/Versauerung,
6. Bodenbiologie/Biodiversität,
7. Bodenquantität und -qualität

jeweils das Risiko, das aktuelle Ausmass und die zeitliche Entwicklung erfasst und anhand welcher Instrumente diese beurteilt werden können. Je nach Thema sind Wissens- und Umsetzungsstand sehr unterschiedlich. Manche der benötigten Instrumente sind schon weit entwickelt und können umgesetzt werden, andere bedürfen weiterer Forschung und Aufbauarbeiten und können daher nur vage umschrieben werden. Die Grösse der Wissenslücken ist ein wichtiger Aspekt bei der Priorisierung der verschiedenen Themen und Massnahmen. Das Gefährdungspotenzial für den Fall, dass das jeweilige Thema vernachlässigt würde, ist der zweite Aspekt zur Priorisierung. Naturgemäss ist es schwierig, sehr unterschiedliche Themen und Massnahmen gegeneinander abzuwägen. Die Prioritäten sind zudem regional unterschiedlich – in Bergkantonen stehen beispielsweise andere Probleme im Fokus als bei Talkantonen, in Ackerbaukantonen andere als in Graslandgebieten.

Auf Basis der Einschätzungen und Überlegungen in Kap. 3.3 ist dem Thema «**Bodenquantität und -qualität**» die **höchste Priorität** einzuräumen. Künftig soll dabei nicht nur der Verlust an Bodenfläche, sondern auch der damit verbundene Verlust an Bodenqualität erfasst werden. Die Umsetzung dieses Ziels wird einige Zeit in Anspruch nehmen und sollte daher möglichst rasch angegangen werden. Neben Bodenfunktionskarten für die Bewertung der Bodenqualität wird auch ein Beurteilungsinstrument zur Steuerung der Bodenqualitätsverluste benötigt. Das Thema geht damit weit über den Zuständigkeitsbereich der VBBo hinaus; insbesondere muss die Raumplanung miteinbezogen werden. Die Integration von qualitativen Bodeninformationen in die Raumplanung war der Fokus mehrerer NFP-68-Projekte und wurde kürzlich in Workshops mit Raumplanern diskutiert, die Lösungswege aufgezeigt haben (Grêt-Regamey et al. 2020).

Bei allen anderen Themen gibt es jeweils Schwerpunkte, die angegangen werden müssen:

- **Bodenstruktur** sowie **Erosion**: Bezüglich des effektiven Ausmasses und dessen zeitlicher Entwicklung bestehen bei beiden Themen grosse Wissenslücken. Diese zu schliessen, ist aufwendig und daher wohl nur langfristig erreichbar. Im Sinne einer effizienten Ressourcennutzung empfiehlt es sich, auf Instrumente zur Risikoabschätzung zu setzen, um Risiken und Schäden zu minimieren.
- **Humus**: Dringend benötigt wird ein Instrument zur Beurteilung (Referenzwert o.Ä.) des Humusgehalts. Weiter muss die flächenhafte Datenlage bezüglich des aktuellen Zustandes der Böden verbessert werden, insbesondere für organische Böden.
- **Schad- und Fremdstoffe**: Für neue Stoffe/Stoffklassen braucht es umfassende Abklärungen bezüglich ihrer Risiken, des Ausmasses der Belastung und der zeitlichen Entwicklung. Darauf basierend müssen Beurteilungsinstrumente (Grenzwerte) abgeleitet und gegebenenfalls gesetzlich verankert werden. Für relevante Stoffe muss zudem möglichst schnell eine standardisierte Analytik für das Monitoring etabliert werden.
- **Bodenbiologie/Biodiversität**: Hier besteht generell grosser Handlungs- und Forschungsbedarf, insbesondere im Bereich neuer molekulargenetischer Methoden. Bestehende bodenbiologische Analysemethoden gilt es möglichst breit in der Praxis anzuwenden. Zu den Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Stressoren und den Lebensgemeinschaften im Boden ist wenig bekannt. Zudem

sind Informationen zum aktuellen Zustand rar und Beurteilungsinstrumente müssen grösstenteils noch erarbeitet werden. Für bodenbiologische Messgrössen benötigt es nationale, standortspezifische Referenzwerte.

- **Stickstoff/Versauerung:** Im Vergleich zu den vorhergehenden Themen ist dieser Themenbereich relativ gut untersucht, grössere Optimierungspotenziale bestehen vor allem beim Nährstoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Flächen.

Arbeitsteilung und Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure für ein Monitoring der Ressource Boden sind zentral. Ein Vorschlag dazu wurde in Kap. 3.4.3 diskutiert. Demnach ist der Bund verantwortlich für die Erarbeitung der notwendigen Grundlagen. Unter Einbezug der Wissenschaft und gegebenenfalls der NABO und den KABO soll der Bund die Methodenentwicklung, aber auch die Herleitung von Beurteilungsinstrumenten, sicherstellen. Das neu geschaffene Kompetenzzentrum Boden (KOB) nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein: Es soll diese Arbeiten koordinieren und kommunizieren. Der Cercle Sol und seine Arbeitsgruppen sollen die Koordination und die Harmonisierung zwischen Bund und Kantonen sowie zwischen den Kantonen sicherstellen. Der Vollzug liegt in den Händen der Kantone. Der hier skizzierte Vorschlag auf «hoher Flughöhe» lässt viele Detailfragen offen, die im Rahmen des vorliegenden Berichts nicht geklärt werden konnten. Entsprechend braucht es zwingend einen weiterführenden Prozess, in dessen Rahmen Bund und Kantone eine konkrete Lösung ausarbeiten.

Basierend auf den Resultaten dieses Berichts empfehlen die Autoren folgende Massnahmen für ein Monitoring der Ressource Boden (gegliedert nach zeitlicher Priorität):

#### **unverzüglich**

- **Dialog Bund/Kantone bezüglich Arbeitsteilung und Zusammenarbeit:** Aufgrund von Neuorganisationen der Monitoringaufgaben auf nationaler wie teilweise kantonaler Ebene sollen die offenen Organisationsfragen schnellstmöglich – in den kommenden Monaten – angegangen und in geeigneter Weise für alle Beteiligten dokumentiert werden. Zu klären ist insbesondere:
  - Stimmen Bund und Kantone den in Kap. 3 diskutierten Vorschlag zur generellen Arbeitsteilung zu?
  - Welche Monitoringaufgaben – insbesondere von den unten genannten – liegen in wessen Verantwortung?
  - Wie kann die Zusammenarbeit Bund/Kantone verstärkt werden? Anzustreben sind beispielsweise gemeinsame Auswertungen und Untersuchungen NABO/KABO, je nach Thema auch unter Einbezug der WSL. Abzuklären ist zudem, wie sich die Standorte kantonaler Messnetze und der NABO bezüglich spezifischer Fragestellungen ergänzen.
  - Welche Rolle spielt künftig die Arbeitsgruppe KABO des Cercle Sol? Diese kann für eine Zusammenarbeit zwischen NABO und KABO genutzt werden; denkbar ist auch ein Verbund in einer anderen Form.
  - Welche Rollen spielen die anderen Arbeitsgruppen des Cercle Sol?
  - Soll der Bund gewisse Monitoringaufgaben – bestimmte Themen oder Arbeitsschritte wie die Auswertung – von den Kantonen übernehmen?
  - Braucht es eine «Vollzugshilfe KABO» zur Klärung und Legitimation der Aufgabengebiete der KABO?
  - Wie arbeiten KOB und Cercle Sol beziehungsweise KOB und kantonale Bodenschutzfachstellen zusammen?

***kurzfristig***

- Start einer **nationalen Bodenkartierung**: Dieses Vorhaben ist mit höchster Priorität voranzutreiben in Absprache und Koordination mit den Kantonen. Die resultierenden Daten liefern die Basis für die Risikoabschätzung für alle Themen. Weiter unterstützen sie die Erfassung des Zustands und der zeitlichen Entwicklung fast aller Themen und sind die Grundlage für **Bodenfunktionskarten** beziehungsweise **flächendeckende Informationen zur Bodenqualität**. **Ohne Bodenkartierung lassen sich die Ziele eines wirksamen Monitorings der Ressource Boden nicht erreichen**, ebenso wenig wie die Ziele der Bodenstrategie. Zur Erreichung dieser Ziele sind neue Standards für eine Bodenkartierung nach dem aktuellen Stand der Technik zu definieren. Die zu erhebenden Bodeneigenschaften sind um weitere Parameter – wie beispielsweise physikalische und bodenbiologische Messgrößen – zu erweitern (Keller et al. 2018). Bei der Bodenkartierung handelt es sich um ein langfristiges Projekt, welches methodische, organisatorische und finanzielle Fragen sowie solche zur Ausbildung von Fachkräften beinhaltet. Umso wichtiger ist es, dieses möglichst bald anzupacken, weshalb es hier unter «kurzfristig» aufgeführt ist.
- **Erschliessung vorhandener Bodendaten**: Da die Resultate einer nationalen Bodenkartierung erst mittel- bis langfristig vorliegen werden, sollen bereits vorhandene, aber bisher nicht verfügbare Daten aus anderen Quellen nutzbar gemacht werden, beispielsweise Daten, die für den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) erhoben werden. Die Bodendaten aus vergangenen Bodenkartierungen wurden durch die NABODAT-Servicestelle nahezu vollständig aufgearbeitet und harmonisiert (Rehbein et al. 2019).
- **Beurteilungsinstrument «Bodenverlust – Bodenindex»**: Erarbeitung eines politischen und gesellschaftlichen Konsenses bezüglich Gewichtung von Bodenfunktionen innerhalb eines Bodenindex und anschließende Implementierung in raumplanerische Prozesse und Verfahren.

***kurz- bis mittelfristig***

- **Neue Schadstoffe/Stoffklassen**: Abklärungen und gegebenenfalls Monitoring für
  - Pestizide/PSM
  - Antibiotika/Resistenzen
  - Mikroplastik
  - Allenfalls weitere; Liste ist regelmässig zu aktualisieren

Grundsätzlich orientiert sich das Vorgehen für die Abklärungen an folgendem Ablauf:

1. Methodische Abklärungen/Pilotstudien
2. Statusuntersuchung (Abklärung des Ausmasses)
3. Implementierung in langfristiges Monitoring (falls durch Schritt 2 angezeigt)

Parallel dazu sind **Beurteilungsgrundlagen/Beurteilungsinstrumente**, gegebenenfalls Grenz- und Referenzwerte zu erarbeiten. Für diese Aufgaben ist der Bund verantwortlich; er muss sie vorantreiben. Das KOBO koordiniert die entsprechenden Arbeiten, gegebenenfalls unterstützt durch die NABO und die KABO. Die Wissenschaft verantwortet methodische Abklärungen. Statusuntersuchungen können durch NABO und KABO und/oder die Wissenschaftsinstitutionen erfolgen. Sofern möglich, ist auf bestehende Standorte zurückzugreifen. Je nach Fragestellung sind neue, zusätzliche Standorte unerlässlich.

- **Beurteilungsinstrument «Bodenkohlenstoff»**: Entwicklung einer standortabhängigen Beurteilung des Bodenkohlenstoffgehaltes und gegebenenfalls dessen gesetzliche Verankerung für die Verwendung im Vollzug.
- **Zeitliche Entwicklung des Kohlenstoffvorrats in Böden**: Erfassung der Entwicklung des Kohlenstoffvorrats in mineralischen und organischen Böden; dazu sollen auch vorhandene Daten wie ÖLN-Daten erschlossen werden.

***mittelfristig***

- **Beurteilungsgrundlagen «Bodenbiologie/Indikator»:** Erarbeitung von Beurteilungsgrundlagen durch die Wissenschaft in Zusammenarbeit mit NABO, KABO und WSL; Aggregation der Teilaspekte (einzelne Methoden) in einem gesamtheitlichen Indikator.
- **Risikokarte «Verdichtung»:** Grundsätzlich möglichst schnell umzusetzen, aufgrund der benötigten Basisdaten wohl nicht kurzfristig umsetzbar.
- **Beurteilungsinstrument «Bodenverdichtung»:** Erarbeitung standort- und horizontspezifischer Grenzwerte beziehungsweise Referenzwerte.
- **Beurteilungsinstrument «Erosion Grasland»:** Erarbeitung standortspezifischer Grenzwerte bzw. Referenzwerte.
- **Nährstoffeinträge:** Monitoring basierend auf den Daten anderer Programme (NABEL, NAQUA, AUI, ...); Prüfen von Grenzwerten analog zu den vorsorgeorientierten Grenzfrachten (Deutschland).
- **Indikatorsystem (Kommunikation):** Aufbau eines verständlichen und informativen Systems aus Indikatoren, das zu verschiedenen Teilaspekten des Bodens (Zustand und Entwicklung) Auskunft gibt.

***langfristig***

- **Verdichtung/Erosion: Erfassung des Ausmasses und der zeitlichen Entwicklung** in Risikogebieten durch Forschungsinstitutionen in Zusammenarbeit mit der NABO. Diese Aufgabe ist aufgrund der grossen Wissenslücken eigentlich als dringlich einzustufen; sie ist allerdings sehr aufwendig. Im Sinne einer möglichst effizienten Nutzung der vorhandenen Ressourcen soll für Erosion und Verdichtung zunächst vor allem auf Instrumente zur Erfassung der jeweiligen Risiken fokussiert werden.

Es wird bewusst darauf verzichtet, die Zeiträume genau zu definieren. Eine der Leitfragen bei der Erarbeitung dieses Berichts war, wie das Monitoring in zehn Jahren aussehen soll. Folglich ist auch für die langfristigen Ziele ein Zeithorizont von zehn bis fünfzehn Jahren anzustreben.

## 5 Referenzen

- BAFU 2019a. Luftqualität 2018. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Umwelt-Zustand Nr. 1916. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- BAFU 2019b. Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Umwelt-Zustand Nr. 1901. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- BAFU 2019c. Jahrbuch Wald und Holz 2019. Umwelt-Zustand Nr. 1914. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Braun S., Hopf S., de Witte L. 2018. Wie geht es unserem Wald? 34 Jahre Walddauerbeobachtung. Interkantonales Walddauerbeobachtungsprogramm im Auftrag der Kantone AG, BE, BL, BS, GR, SO, TG, ZG, ZH und der Zentralschweizer Kantone mit Beteiligung des BAFU. Bericht 2013-2017. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie (IAP), Schönenbuch.
- Buchter B. und Häusler S. 2009. Arbeitshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschadverdichtungen. Arbeitshilfe der Bodenschutzfachstellen der Kantone AG, AI, AR, BE, BL, BS, FR, GE, GR, JU, LU, NE, NW, OW, SG, SH, SO, SZ, TG, TI, VD und ZG sowie des Fürstentums Liechtenstein.
- BFS 2019. Arealstatistik Schweiz. Erhebung der Bodennutzung und der Bodenbedeckung (Ausgabe 2019/2020). Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel.
- BGS 2004. Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (BGS), Dokument 13.
- BGS 2014. Bodenkartierung Schweiz – Entwicklung und Ausblick. Autorenteam F. Borer, M. Knecht, S. Burgos, M. Margreth. Bericht der Bodenkundlichen Gesellschaft Schweiz (BGS), Wädenswil. Verfügbar unter [www.soil.ch](http://www.soil.ch)
- BLW 2018. Agrarbericht 2018. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern. [www.agrarbericht.ch](http://www.agrarbericht.ch)
- Commission of the European Communities 2002. Towards a Thematic Strategy for Soil Protection. COM(2002) 179 final. Brussels, 16.4.2002.
- Della Peruta R. und Keller A. 2016. Assessing the risk of nutrient accumulation in agricultural soils using a regional modelling tool. BGS Bulletin 37, 9–15.
- Gisler S., Liniger H.P., Prasuhn V. 2010. Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz im 2x2-Meter-Raster (ERK2). CDE Universität Bern und ART Zürich-Reckenholz, 113 S.
- Gisler S., Liniger H.P., Prasuhn V. 2011. Erosionsrisikokarte im 2x2-Meter-Raster (ERK2). Agrarforschung Schweiz 2 (4), 142–147.
- Greiner L., Nussbaum M., Papritz A., Fraefel M., Zimmermann S., Schwab P., Grêt-Regamey A., Keller A. 2018. Assessment of soil multi-functionality to support the sustainable use of soil resources on the Swiss Plateau. Geoderma Regional, 14, e00181.
- Grêt-Regamey A., Drobnik T., Zelger I. 2020. Integration von Informationen zur Bodenqualität in die Raumplanung. Planung von Landschaft und urbanen Systemen (PLUS), ETH Zürich. Im Auftrag der Bundesämter für Umwelt (BAFU) und für Raumentwicklung (ARE). Verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/studien.html>
- Gubler A., Keller A., Wächter D., Bucheli T. 2016. Organische Schadstoffe in Böden: Übersicht und Handlungsbedarf. Faktenblatt. Verfügbar unter [www.nabo.ch](http://www.nabo.ch)

- Gubler A., Wächter D., Schwab P., Müller M., Keller A. 2019. Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (277), 1–17.
- Hug A.S., Gubler A., Gschwend F., Widmer F., Oberholzer H., Frey B., Meuli R.G. 2018. NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung, Ergebnisse 2012–2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. Agroscope Science 63. Zürich-Reckenholz.
- Johannes A. 2016. Structural degradation of agricultural soils: assessment and setting threshold values for regulation (PhD thesis). ETH Zürich.
- Keller A., Franzen J., Knüsel P., Papritz A., Zürrer M. 2018. Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH). Thematische Synthese TS4 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68), Bern.
- Krebs R., Egli M., Schulín R., Tobias, S. (Hrsg.) 2017. Bodenschutz in der Praxis.
- Morrier A. 2013. Umsetzung des Bodenschutzes im Wald im Aargau. WSL Berichte 6, Forum für Wissen 2013, 29–30.
- Mosimann T., Crole-Rees A., Maillard A., Neyroud J.A., Thöni M., Musy A., Rohr W. 1990. Bodenerosion im schweizerischen Mittelland: Ausmass und Gegenmassnahmen. NFP-Bericht, Nr. 51, Liebefeld-Bern.
- NABO POL 2018. Protokoll der NABO-POL-Sitzung Nr. 12. 17.12.2018, Bern.
- Oberholzer H.-R., Scheid S. 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Umwelt-Wissen Nr. 0723. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Prasuhn V., Liniger H.P., Hurni H., Friedli S. 2007. Bodenerosions-Gefährdungskarte der Schweiz. *Agrarforschung* 14/3, 120–127.
- Prasuhn V., Schaub D. 1996. Bodenerosionskarte der Schweiz. BGS Dokument Nr. 8, 11–14.
- Rehbein K., Sprecher Ch., Keller A. 2019. Übersicht Stand Bodenkartierung in der Schweiz – Ergänzung des Bodenkartierungskataloges Schweiz um Bodeninformationen aus Meliorationsprojekten. Servicestelle NABODAT, Agroscope, Zürich. Verfügbar unter [www.nabodat.ch](http://www.nabodat.ch)
- Rihm B., Achermann B. 2016. Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). *Environmental studies* no. 1642. Federal Office for the Environment, Bern.
- Schweizerischer Bundesrat. 2020. Bodenstrategie Schweiz für einen nachhaltigen Umgang mit dem Boden. Umwelt-Info. Bern, 01.05.2020. Verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/publikationen/bodenstrategie-schweiz.html>
- Seitler E., Thöni L., Meier M. 2016. Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2000 bis 2014. Forschungsstelle für Umweltbeobachtung (FUB), Rapperswil.
- Steiger U., Knüsel P., Rey L. 2018. Die Ressource Boden nachhaltig nutzen. Gesamtsynthese des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68). Leitungsgruppe des NFP 68, Bern.
- VBB 2009. Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (VBB). Frick.
- VBBio (*in Vorbereitung*). Humus-Referenzwert für Ackerböden. Ein Faktenblatt zur Entwicklung eines Referenzwerts für den Vollzug. Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (VBBio), Cercle Sol.

Wegmann F. 2019. Resultate der Bodenmonitoring-Umfrage bei den kantonalen Bodenschutzfachstellen. Vortrag. BAFU Bodenschutztagung, 6. Juni 2019, Bern.

Wüst-Galley C., Grünig A., Leifeld J. 2015. Locating Organic Soils for the Swiss Greenhouse Gas Inventory. Agroscope Science 26. Zürich-Reckenholz.



## 6 Anhang

### 6.1 Synthese der Rückmeldungen aus der Umfrage bei den Kantonen zum Bodenmonitoring Schweiz

*(Diese Zusammenfassung wurde vom BAFU verfasst und für diesen Bericht zur Verfügung gestellt.)*

Die eingegangenen Rückmeldungen aus der Umfrage bei den kantonalen Bodenschutzfachstellen zu den *Bodengefährdungen* sowie zur *Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen* werden in nachfolgender Synthese zusammengefasst. Das Bestreben, den Informationsaustausch mit der durchgeführten Umfrage anzukurbeln, wird mehrheitlich begrüsst. Einerseits wird erwartet, dass daraus eine konstante Aufgabe für die NABO definiert wird. Andererseits wird jedoch auch argumentiert, dass diese Umfrage im Rahmen der Erarbeitung des neuen «Konzepts» beziehungsweise «Auftrags» an die NABO nicht ausreiche. Dafür wurde vorgeschlagen, einen Workshop mit dem BAFU, dem BLW, den Kantonen und der NABO durchzuführen, in dem die potenziellen Themen genauer erarbeitet werden könnten.

#### 6.1.1 Bodengefährdungen

Zahlreiche Kantone bezeichnen einen Fokus auf die Bodengefährdungen *Verdichtung, Erosion, Humusverlust, Schadstoffe/PSM, Stickstoff/Nährstoffe/Versauerung, Bodenbiodiversität, Terrainveränderung/Bodenverbrauch* als relevant für das Bodenmonitoring Schweiz. Einige Kantone erachten diese Auflistung als vollständig, andere nennen Ergänzungsvorschläge, welche u.a. Aspekte wie die Qualitätssicherung, die Methodentransparenz sowie die Methodenvereinheitlichung betreffen. Die Themen sollen so eng wie möglich am Vollzug orientiert sein. Weiter wird vereinzelt bemerkt, dass Terrainveränderungen und Bodenverbrauch relevante Vollzugsthemen sind, jedoch nur entfernt als Bodenbelastungen gemäss Art. 7 Abs. 4 USG zu verstehen sind. Zudem sei der Verbrauch von Boden eine raumplanerische Fragestellung.

Historisch bedingt liegt heute ein Schwerpunkt des Monitorings auf den Schadstoffen. Dennoch wird in der Mehrheit der Rückmeldungen der Wunsch nach einer Erweiterung des bestehenden Schadstoff-Monitorings um zusätzliche Bodengefährdungen erwähnt. Bei der Behandlung der Bodengefährdungen im nationalen Referenznetz wird ausserdem nicht nur der Zustand des Bodens, sondern auch deren Veränderung über die Zeit sowie die Erfassung verschiedener Einflüsse (Klima, Bewirtschaftung) als wichtig erachtet. Es besteht ein Bewusstsein darüber, dass künftig weitere Bodenbelastungen hinzukommen könnten, was nach Ansicht einiger Kantone ein anpassungsfähiges Monitoringsystem verlangt. Einen dringenden Bedarf gibt es offenbar auch im Bereich der Spezialmesskampagnen. Hier wird erwartet, dass innerhalb eines nationalen Referenznetzes auf neu auftretende respektive in der Vergangenheit vernachlässigte Fragestellungen flexibel reagiert werden kann. Es wurden folgende Beispiele für ein ausbaufähiges Monitoring genannt: geogene Belastungen, Fremdstoffbelastung natürlicher Böden, Uranbelastung aus Phosphordünger, PSM, Medizinalstoffe, Nanopartikel und Mikroplastik(zersetzung), Bodenbiologie im Allgemeinen (anstatt Bodenbiodiversität), regional verstärkte Bodengefährdungen wie (z.B. Erosion im Berggebiet, Untersuchungen des Stickstoff-Kreislaufes und dessen Störung im Boden in extensiven Flächen oder stickstoffempfindlichen Lebensräumen. Gewisse Themen sollten mit anderen Umweltüberwachungsnetzen koordiniert werden (z.B. im Bereich PSM mit dem Gewässermonitoring).

Kontrovers fallen die Antworten zu den Themen «Terrainveränderung» und «Bodenverbrauch» aus. Aus der Sicht einiger Kantone sind Terrainveränderungen ein Vollzugsthema und der Bodenverbrauch ist ein Raumplanungsthema (Arealstatistik) und somit nicht in einem nationalen Referenznetz zu behandeln. Andere hingegen würden das Thema «Terrainveränderungen» zusätzlich ins Referenznetz aufnehmen.

Die Kantone sehen in einem nationalen Referenznetz einen grossen Mehrwert und eine «unverzichtbare» Grundlage im Bodenschutzvollzug. Ausserdem seien die Daten sinnvoll für generelle Einschätzungen, die Beurteilung von Phänomenen sowie die Auswahl von Methoden und Analysen. Die Daten seien eine Ergänzung für die Bereiche, in denen den Kantonen die finanziellen wie auch personellen Ressourcen fehlen. Eine Kritik besteht darin, dass die aktuelle Datenlage (z.B. zu Verdichtung, Erosion, Biodiversität) nicht ausreichend sei. Für die verbesserte Nutzung der Referenzwerte wünschen sich einige Kantone methodische Grundlagen und eine verstärkte Zusammenarbeit auf Augenhöhe.

#### 6.1.2 Zusammenarbeit zwischen Bund/NABO und Kantonen

In der Arbeit der NABO wird grundsätzlich ein Mehrwert gesehen, weshalb die Weiterführung der NABO (mit Bedarf zur Erweiterung um zusätzliche Bodengefährdungen) im Vordergrund stehen soll. Ein Nutzen wird in der Überwachung der Hintergrundbelastung durch Schadstoffe gesehen. Die Daten dienen dabei als wichtige Referenz für den Vollzug und zur Einordnung der kantonalen Messungen in einen nationalen Kontext. Ausserdem wird geschätzt, dass die NABO kantons-, landschafts- und raumübergreifend arbeitet, was die methodische und inhaltliche Vergleichbarkeit der Bodenuntersuchungen in der Schweiz gewährleistet. Die Pflege der VBBo-Ringanalysen und Publikation der öffentlichen Laborliste VBBo sei für einen qualitativ zuverlässigen und reproduzierbaren Vollzug notwendig. Andererseits würden die Kantone auch von den Stoffflussbetrachtungen der NABO und den Modellierungen profitieren. Diese helfen, konkrete Problemfelder frühzeitig zu erkennen und bei Bedarf Abwehrstrategien zu entwickeln. Die Veröffentlichung neuer Erkenntnisse, die Weiterentwicklung der Methoden (z.B. Verdichtung, PSM im Boden etc.), die konzeptionelle Unterstützung sowie die Bereitstellung von Erkenntnissen zu neuen Gefährdungen und Grundlagen werden als weitere Mehrwerte aufgeführt.

Von einigen Kantonen werden jedoch auch Defizite und Vorschläge aufgelistet, welche geprüft werden sollten. Es wird moniert, dass die Zusammenarbeit zurzeit auf einem «unterschwelligem» Niveau stattfinden würde. Im Rahmen einer verstärkten Zusammenarbeit werde von den Kantonen wiederholt versucht, die Ergebnisse und Konzepte der verschiedenen KABO zusammenzutragen. Dazu gebe es jedoch keine umfangreiche und zentrale Dokumentation. Dies führe immer wieder zu Unklarheiten und «Doppelspurigkeiten». Mit der sporadisch aktiven «Arbeitsgruppe KABO» des Cercle Sol werde versucht, dem entgegenzuwirken. Hierzu sprechen sich einige Kantone für einen Ausbau der Zusammenarbeit und für gemeinsam zu realisierende Projekte aus. Dies würde nach Ansicht jener Kantone einen grossen Mehrwert bringen und hätte eine gegenseitige Stärkung zur Folge. Die Zusammenarbeit sollte dazu führen, dass breiter abgestützte Aussagen zur Bodenfruchtbarkeitsentwicklung gemacht werden können.

Die Positionierung zu einem Monitoringverbund fällt kontrovers aus. Einige Kantone stehen einem solchen Verbund grundsätzlich positiv gegenüber und äussern ihr Interesse an einer verstärkten Zusammenarbeit. Andere weisen darauf hin, dass bereits gewisse Netzwerke bestehen, bei welchen Daten ausgetauscht und Synergien genutzt werden. Diese seien jedoch ausbaufähig und könnten optimiert werden. Andere Kantone vertreten die Meinung, dass ein solcher Monitoringverbund keinen zusätzlichen Nutzen bringen würde. Es wird argumentiert, dass die Aufgaben von Bund und Kantonen gemäss VBBo sehr unterschiedlich sind. Die Langzeitbodenbeobachtung sei eine Aufgabe des Bundes. Die Kantone müssten bei konkreten oder vermuteten Bodenbelastungen aktiv werden. Ausserdem wird ein zusätzlicher finanzieller wie auch personeller Aufwand befürchtet, für welchen die Ressourcen bei einigen Kantonen fehlen würden. Eine Umverteilung der Ressourcen von der Bodenkartierung oder dem kantonalen Bodenmessnetz in ein Verbunds-Monitoringprojekt steht für einzelne Kantone ausser Diskussion. Die oben genannte Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen mache weiterhin Sinn. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die bisherigen Arbeiten wertvoll waren und sind, dass aber eine Vielzahl von neuen Herausforderungen anstehen und sich die Vollzugsbehörden von Bund und Kantonen überlegen müssen, wie damit umzugehen ist. Es werden nicht alle

sinnvollen Ideen und Vorschläge sofort umgesetzt werden können. Daher braucht es eine thematisch spezifische Analyse der Ausgangslage und der Handlungsoptionen.

## 6.2 Resultate Bodenschutztagung

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Bodenschutztagung vom Juni 2019 protokolliert. Die Ergebnisse wurden von den Postern transkribiert und mit den jeweiligen Experten besprochen.

### 6.2.1 Bodenstruktur

<b>I. Erhebungsmethode</b>	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	Lagerungsdichte/scheinbare Dichte: naheliegender Parameter, aber: Relevanz unklar. Strukturzustand: zentrale Bodeneigenschaft für verschiedenste Gefährdungen und Bodenfunktionen. Ein Set von sich ergänzenden Parametern wichtig: 1) Dichte, 2) Grobporenvolumen, 3) Leitfähigkeit (Wasser, Luft), 4) Festigkeit 5) allenfalls mikrobiologische Summenparameter (aerobe/anaerobe Schlüsselarten). Generell stellt sich die Frage der Parameter: Struktureigenschaften vs. Funktionen beschreiben. Es stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung: (präziser) Einzelparameter vs. (unscharfer) Summenparameter. Direkte vs. indirekte Indikatoren: direkte Messungen vs. modellierte Abschätzungen. Aufwand und Genauigkeit: Abhängig vom Monitoringzweck! Der Minimumfaktor der Bodenuntersuchung definiert Aussagekraft: Beprobung (Design, Durchführung), Analyse und Interpretation müssen alle sorgfältig und fachkundig durchgeführt werden; schwächstes Glied definiert mögliche (maximale?) Genauigkeit.
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	Im Vordergrund stehen geophysikalische Methoden. Drohnen-Flugbilder, Fernerkundungsdaten ermöglichen Abgrenzung von Bodenzonen, deren Strukturqualität im Feld charakterisiert werden muss; direktes «remote sensing» möglich, dessen praktische Anwendung und Aussagekraft ist allerdings noch offen.
<b>II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)</b>	
Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?	Keine Referenzwerte in der VBBo festgelegt. Nötig sind absolute Referenzwerte für verschiedene Böden und unterschiedliche Bodentiefen – erforderliche Datenbasis fehlt! Erste Vorschläge im BGS-Dokument 13, STRUDEL bzw. in der Literatur.
Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?	Strukturzustand: keine konkreten Angaben zu Methoden und Referenzwerten in der VBBo. Statische vs. dynamische Informationen: Bei Verdichtungsrisiko sehr wichtig (z.B. maximal zulässige Radlast oder maximaler verursachter Stress in bestimmter Tiefe eines Referenzbodens) – das Zusammenwirken von statischen (Körnung, organischer C ...) und dynamischen Bodeneigenschaften (Bodenfeuchte, Strukturzustand ...) sowie Fahrzeugeigenschaften (Radlasten, Kontaktflächendrücke ...) und Bewirtschaftungsgeschichte (Durchwurzelung, Lockerung ...) bedingt ganzheitliche Risikoabschätzung. Genauigkeitsbedarf Referenzwert:

	Gewichtung Genauigkeit vs. Erhebungskosten? Gesundheitseffekte auf Mensch und Tier sind «wertvoller» als Effekte auf Bodenfunktionen.
<b>III. Vollzug</b>	
Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?	Hohe Relevanz und wird weiter an Bedeutung gewinnen: nicht nur bezogen auf den Hohlraumverlust der betroffenen Flächen (Durchlüftung, Wasserinfiltration und -speicherung), sondern auch in Bezug auf weitere Ökosystemleistungen wie Bodenerosion und Hochwasserschutz. Die Landwirtschaftsgesetzgebung erfasst das Problem über den ÖLN nur ungenügend. Es braucht daher in der Umweltschutzgesetzgebung griffigere Bestimmungen (Artikel), über welche die Einsatzgrenzen in Land- und Forstwirtschaft festgelegt werden.
Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?	Insbesondere im Unterboden bearbeiteter Böden ist die Gefährdung hoch, und es sind zunehmend tiefere Bodenschichten davon betroffen, da die stets breitere Bereifung in Kombination mit grösseren Maschinengewichten zwar nicht unbedingt höhere Kontaktflächendrücke, jedoch tiefer reichende Verdichtungszone nach sich ziehen. Das Strassengesetz und strengere Vorlagen der Versicherungen setzen Grenzen.
Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? wo hat es Lücken im Vollzug?	Konkreter Vollzug Verdichtung findet heute nur bei der Bauwirtschaft statt. Wichtig für Vollzug: geeignete, aussagekräftige und einheitliche Untersuchungsmethoden; anwendbare Referenzwerte; rechtliche Grundlagen für Vollzug der Umsetzung der Massnahmen (vgl. Bauwirtschaft vs. Landwirtschaft).
Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?	<p>Eine revidierte VBBo, die Referenzwerte für State-und-Impact-Parameter (Bodenzustandsgrössen) enthält, sowie eine DZV, die Referenzwerte für Pressure-Parameter (mechanische Belastungen) liefert. Vorsorgeaspekt: generell Anpassung der Nutzung an die Standortvoraussetzungen (Chancen und Risiken); spezielle Anforderungen an land-/forstwirtschaftliche Fahrzeuge. Vollzug nur mit genügend Ressourcen möglich: Es braucht mehr Vollzugsfachpersonen im kantonalen Vollzug (auch in der zugehörigen Forschung und Entwicklung, z.B. Verbesserung der Datengrundlagen, vertieftes Prozessverständnis). Systematischer, effektiver Vollzug: braucht nicht nur Ressourcen und rechtliche Grundlagen, sondern auch geklärte Zuständigkeiten!</p> <p>Visionen &gt; 2030:</p> <p>a) «Dynamische Verdichtungsrisikokarte» flächendeckend für die Schweiz</p> <p>b) Strukturzustand mit Satelliten-/Flugbildern nach Niederschlägen erheben</p>
Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?	Bund macht Querschnittstudie über potenziell beeinträchtigte Böden und zeigt Hotspots, Kantone konzentrieren ihren Vollzug auf diese Hotspots.

**Vorschlag 5 Top-Indikatoren**

<b>Top-Indikator</b>	<b>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</b>	<b>Argumente für Auswahl</b>
<i>Direkte Indikatoren:</i>		
1. Lagerungsdichte	Es braucht spezifische Referenzwerte für die unterschiedlichen Böden.	Messung der Bodenverdichtung bedingt Erfassung der Lagerungsdichte.
2. Grobporenvolumen	Diverse Schwellenwerte bereits vorhanden (BGS Dok. 13, STRUDEL), offene Frage: wissenschaftlich belastbare Werte?	Reagiert empfindlich gegenüber Stress; funktionaler Bezug zu Wassertransport und Wurzelwachstum.
3. Leitfähigkeit	Diverse Schwellenwerte vorgeschlagen (BGS Dok. 13), offene Frage: wissenschaftlich belastbare Werte?	Durchgängige Poren wichtig für Wasser- und Gastransport, reagieren sehr sensitiv auf Strukturbeeinträchtigung; gleichzeitig ist ein Netzwerk an Transportbahnen wichtig (vgl. Problem Makropore in dichtem Strukturelement) → Überprüfung: Leitfähigkeit vs. Diffusion
4. Verhältnis aerobe/anaerobe Mikroorganismen	Forschungsthema; Know-how und Datengrundlage müssen für praktische Nutzung vertieft bzw. erweitert werden.	Entscheid für geeignete direkte Indikatoren: Will man bodenphysikalische oder auch indirekte bodenmikrobiologische Parameter nutzen?  Bewertet man die Ökosystemleistungen vor Ort (auf der Parzelle) oder diejenige in angrenzenden Ökosystemen?
<i>Indirekte Indikatoren:</i>		
Regenwurm	Verschiedene Methoden angewendet wie Abundanz, jedoch wenig standardisiert	Geeignetes Indikatoren-Bodenlebewesen
Maschinengewicht	Druck in Referenztiefe eines Standardbodens	Ermöglicht Aussage über das Risiko einer Verdichtung mit Einbezug von Bereifungsaspekten
Anzahl/Schwere von Überschwemmungen bzw. von stehendem Wasser in Feldern	Drohnen, Luft-/Satellitenbilder	Verdichtung vermindert das Infiltrations- und Speichervermögen von Böden; betroffene Bodenzonen können abgegrenzt und gezielt untersucht werden.

## 6.2.2 Erosion

<b>I. Erhebungsmethode</b>	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	Die <b>zeitliche Entwicklung</b> kann mittels Erosionsrisikokarte (ERK2), Agrar-Umweltindikatoren (AUI) inkl. Erosionsrisiko und Bodenbedeckung erhoben werden. Weitere Instrumente: Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, Veränderungen Bodenerodibilität, sowie die Überwachung der Sedimentfrachten kleiner Fliessgewässer. Veränderungen von Parzellengrösse und Anbausystem (Bodenbearbeitung, Fruchtfolge) können Hinweise auf das Erosionsrisiko geben.
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	Für die Aufnahme des aktuellen <b>Zustandes</b> stehen die Erosionsschadenkartierung, das Überfliegen mit Drohnen, Satelliten- und/oder Luftbilder, die Aufnahme mit einem digitalen Terrainmodell (vorher/nachher) und aktuelle Fotos zur Verfügung.
<b>II Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)</b>	
Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?	VBBo-Richtwert für Ackerflächen (langjähriger Mittelwert): 2–4 t/ha/y in Abhängigkeit von der durchwurzelbaren Bodenmächtigkeit. DZV (Einzelereignis): relevante Erosion > 2–4 t/ha/Ereignis. Keine Richtwerte in der VBBo für Grasland.
Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?	Die verschiedenen Kategorien in der Erosionsrisikokarte. Objektive, faktenbasierte Messungen versus finanzielle und personelle Mittel. Die Best Practice als standortspezifische Referenz.  Weiter können für die Beurteilung die Bagatellgrenzen des Moduls «Bodenschutz in der Landwirtschaft» <sup>2</sup> verwendet werden.
<b>III. Vollzug</b>	
Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?	Relevant, da gesetzliche Vorgaben existieren. Vollzug aber kantonal unterschiedlich (Ressourcenfrage).
Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?	Allgemein lässt sich das Gefährdungspotenzial wie folgt umschreiben:  Ackerbau: hoch  Dauergrünland mittel  Dies kann sich bei veränderten Rahmenbedingungen aber relativ rasch ändern.
Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug?	Mangel im Vollzug: Zuständigkeiten innerhalb des Kantons und bundesweite Koordination. Bessere Absprachen zwischen Boden- und Gewässerschutz zum einen und Tierschutz/Bodenschutz zum andern.

<sup>2</sup> BAFU und BLW. 2013. Bodenschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Umwelt-Vollzug Nr. 1313. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?	Kohärenz in der Ausbildung. Schulung betreffend Infrastruktur, Parzellengrösse und Anbausysteme (Bodenbearbeitung, Fruchtfolge etc.). Sensibilisierung für eine gemeinsame Lösungssuche und -findung.
Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?	Stärkung der Koordination auf Ebene Bund und Kanton.

### Vorschlag 5 Top-Indikatoren

<i>Top-Indikator (priorisiert)</i>	<i>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</i>	<i>Argumente für Auswahl</i>
(1) C-P-Faktor der RUSLE	C-P-Faktor-Tool plus digitaler Feldkalender plus georeferenzierte Aufnahme	Bodenbearbeitung und Bodenbewirtschaftung
(2) Erfassung von Erosionsschäden	Ausgewählte Pilotflächen mit Quantifizierung	Ausmass und Verbreitung; Sensibilisierung; Aus-/Weiterbildung
(3) Bodenerodibilität	Körnung; Aggregatsstabilität; Humusgehalt	Bodenzustand und -veränderung
(4) Erosionsrisiko modelliert	Klassierung nach Erosionsrisikokarte	Steuerungsinstrument; Beratung; Aus-/Weiterbildung
(5) VISION: Messung Veränderung Bodenoberfläche	Direkte Messung Oberflächen-Differenz (z.B. Remote Sensing)	Zustandserfassung; effektive Veränderung

### 6.2.3 Humus

<i>I. Erhebungsmethode</i>	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	<p><b>Humus = Corg:</b> Humus wird erfasst, indem der organische Kohlenstoff (Corg) bestimmt wird. Anorganischer Kohlenstoff wird damit nicht erfasst, wäre bezüglich der C-Verluste an die Atmosphäre auch relevant (z.B. bei Abbau von Seekreide).</p> <p><b>Corg-Konzentration</b> kann relativ einfach erhoben werden, vorzugsweise mit CN-Analyser, falls nötig Subtraktion von anorganischem C. Ergänzend dazu Bodenspektroskopie, höherer Durchsatz, tiefere Kosten.</p> <p><b>Corg-Vorrat</b> hingegen oft schwierig zu bestimmen, zusätzlich müssen Lagerungsdichte/Raumgewicht sowie Mächtigkeit der Bodenhorizonte bekannt sein, organische Böden sind oft nicht profilumfassend beprobbar (weil zu tiefgründig).</p> <p><b>Veränderung des Vorrats</b> lässt sich eher über <b>Modelle</b> schätzen, Einfluss der Landnutzung und der Bewirtschaftung (Effekt bestimmter Praktiken, Bilanzen).</p>



	Für die Messung ist wichtig, dass die Probenahme klar definiert ist: Ort (GPS-basiert), Häufigkeit und Zeitpunkt innerhalb des Jahres, Tiefen ...
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	<p>Wichtig ist zu unterscheiden, wofür man Humus messen will:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Klimaschutz: v.a. Vorrat relevant</li> <li>- Moorschutz: Verlust (naturnaher) organischer Böden, für uns eher zweitrangig, wird anderswo abgedeckt</li> <li>- Landwirtschaft, Erhaltung Bodenfruchtbarkeit, für mineralische Böden Corg-Konzentration ausreichend, für organische Böden jedoch nichtssagend</li> <li>- Biodiversität, Corg als wichtiger Einflussfaktor</li> </ul> <p>Klimaschutz und Landwirtschaft als Schwerpunkte für Bodenbeobachtung.</p> <p>Weiter muss unterschieden werden zwischen mineralischen und organischen Böden, zur Unterscheidung der beiden Kategorien wurde als Grenze 30% Humus = <math>1.74 \cdot \text{Corg}</math> vorgeschlagen. (Alternativ wäre Unterscheidung aufgrund der Historie denkbar.)</p>

## **II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)**

Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?	Gibt es bis jetzt nicht, Corg-Ton-Verhältnis als Vorschlag sowie Vergleich mit «optimalen» Referenzstandorten. Bezüglich Klimaschutz ist die Veränderung (Delta) relevant, egal, wie aktuelles Niveau ist.
Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?	<p>Corg-Ton-Verhältnis, Forschung noch im Gange, klar ist, Textur spielt eine Rolle (Böden mit höheren Tongehalten haben grösseres Potenzial, Corg zu speichern).</p> <p>Vergleich mit Referenzstandorten ist eine Möglichkeit, Zuordnung zu passendem Referenzstandort nicht immer klar.</p>

## **III. Vollzug**

Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?	<p>Bezüglich Klimaschutz sehr relevant, v.a. Verlust organischer Böden.</p> <p>Bezüglich Landwirtschaft und Umweltschutz ebenfalls relevant, da Corg Kerngrösse, die fast alle Bodeneigenschaften beeinflusst.</p>
Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?	Gefährdungspotenzial bezüglich Bodenfruchtbarkeit v.a. für organische Böden gross.
Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug?	Siehe nächsten Punkt
Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referenzwert/Beurteilungssystem</li> <li>• Daten von ÖLN sollten genutzt werden können, d.h. obligatorisch Corg-Messung statt Schätzung, Daten verfügbar. Für Kt. GE schon länger umgesetzt.</li> </ul>

Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?	Nicht diskutiert
--	------------------

#### Vorschlag 5 Top-Indikatoren

<i>Top-Indikator</i>	<i>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</i>	<i>Argumente für Auswahl</i>
Veränderung (Delta) Corg kg/ha /Jahr		
Sackung organischer Böden		Zeigt Massenverlust organischen Materials
Räumliche Ausdehnung organischer Böden		Zeigt Verlust organischer Böden
Landnutzung		Proxyindikator zur Abschätzung der Veränderung insgesamt

#### 6.2.4 Schad- und Fremdstoffe

<i>I. Erhebungsmethode</i>	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	<p>Die Art der Probenahme soll der Fragestellung angepasst sein, einmalige Beprobung zur Erhebung des aktuellen Zustandes, zeitlich wiederholt zur Erfassung von Trends.</p> <p>Die Analysemethoden sollen einheitlich sein (in der Praxis auch für langjährig untersuchte Schadstoffe nicht immer der Fall, z.B. Unterschiede VBBo vs. VVEA und AltV). Die Analysemethoden müssen verfügbar/publiziert sein, insbesondere auch für neue Schadstoffe. Die Messungen müssen über die Zeit vergleichbar sein.</p> <p>Angestrebt werden soll (Ziele) die Erfassung der Bioverfügbarkeit der gemessenen Substanzen. Weiter muss die (natürliche) Hintergrundbelastung bekannt sein (inkl. deren räumlicher Variabilität). Derzeit ist der Bund für die Hintergrundbelastung zuständig, die Kantone sind es für lokale Belastungen/Altlasten.</p> <p>Welche neuen Substanzen/Stoffe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikroplastik</li> <li>• Pflanzenschutzmittel</li> <li>• Antibiotika</li> <li>• Zusätzliche Metalle/Spurenelemente</li> </ul> <p>Schwermetalle heute weniger problematisch</p>
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	Das räumliche Ausmass kann durch Messungen am Punkt und von Flächen bestimmt werden. Um Trends zu bestimmen, braucht es wiederholte Beprobungen derselben Flächen (à la NABO/KABO).

---

## II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)

---

Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?	Beurteilung aufgrund der Auswirkungen auf Organismen und den Menschen. <sup>3</sup> Dies gilt grundsätzlich für alle Substanzen, konkret erwähnt wurde das Beispiel Pestizide/PSM: Ökotoxizität wird in der Zulassung untersucht in Laborsituationen und unter Modellannahmen, Effekt im Feld ist dann oft anders. Allerdings besteht noch Forschungsbedarf, um nötige Methoden zu entwickeln. Grenz-/Beurteilungswerte sind häufig nicht vorhanden, insbesondere für neue Substanzen/Substanzgruppen.
---	--

Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?	Für grössere Substanzgruppen (wie PSM, Antibiotika ...) müssen repräsentative Leitsubstanzen ausgewählt werden, anhand deren die Gesamtsituation/-entwicklung beurteilt werden kann.
--	--

Es soll zum einen der aktuelle Zustand beurteilt werden, andererseits die zeitliche Entwicklung (Trends).

Das Monitoring muss laufend den technischen und gesellschaftlichen Entwicklungen angepasst werden (neue Substanzen, neue Anwendungen ...).

---

## III. Vollzug

---

Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?	Datengrundlagen nötig (gemessene Konzentration, Hintergrundbelastung, Grenzwerte), siehe nächster Punkt.
--	--

Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?	Um dies zu beurteilen, braucht es gemessene Konzentration, Kenntnis der Hintergrundbelastung sowie Referenz-/Grenzwerte. Letztere fehlen für neuere Substanzen, folglich kann auch das Gefährdungspotenzial nur schwierig abgeschätzt werden (vgl. oben unter II: Forschungsbedarf).
---	--

Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug?	Um eine gute Vorsorge zu betreiben, braucht es die oben genannten Grundlagen, insbesondere Referenz-/Grenzwerte. <i>Lücken v.a. für neue Substanzen (PSM, Antibiotika, Spurenelemente).</i> <sup>4</sup>
---	--

Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?	Es braucht genügend verfügbare Mittel (Ressourcen), insbesondere wenn neue Substanzen untersucht werden sollen.
--	---

Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?	Derzeit Bund allgemein/Hintergrundbelastung, Kantone für Erhebungen und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden sowie Vollzug Abfall- und Altlastenbereich. Zuständigkeiten Bund und Kantone sollten noch genauer definiert werden (könnte Vollzug stärken).
--	--

---

<sup>3</sup> Anmerkung A. Gubler: Humantoxizität auf Pinnwand nicht explizit genannt, aber mitgemeint, bei den Indikatoren dann wieder explizit genannt

<sup>4</sup> Anmerkung A. Gubler: Nicht explizit hier genannt, geht aus obigen Punkten hervor.

**Vorschlag 5 Top-Indikatoren**

<b>Top-Indikator</b>	<b>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</b>	<b>Argumente für Auswahl</b>
Gesamtinput	Bilanz/Zeit	Einfach, umfassend, Trend
Leitsubstanzen	Trend, Grenzwert	Etabliert
Gentest	Trend	Wirkung auf Organismen
Einkaufskorb	Grenzwert	Wirkung auf Mensch
Toxizität	Summenparameter, Grenzwert	Umfassend, Wirkung
Bilanzen	Flüsse	Umfassend

**6.2.5 Stickstoff und Versauerung**

<b>I. Erhebungsmethode</b>	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messung N-Einträge und Deposition</li> <li>- Erfassung Ausgangszustand und Prozesse im Boden (z.B. Bodenlösung BC/Al-Verhältnis, pH, C/N, S, KAK, Kalkgrenze in Waldböden u.a.)</li> <li>-</li> </ul>
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterscheidung Landwirtschaft und Wald, Moore, extensive Flächen. Für Waldböden Humusformen betrachten.</li> <li>- N-Auswaschung aus Böden</li> <li>- Nutzung und Düngung von Flächen (Suisse-Bilanz); Erfassung der N-Überdüngung landwirtschaftlich genutzter Böden</li> <li>- Link zur Bodenbiodiversität (Potenzial und aktuell; Pflanzengesellschaften)</li> <li>- Räumliche Ausdehnung anhand von Modellen und Modellierung von Risikoböden bezüglich Versauerung</li> <li>- Modelle für kritische N-Einträge für Böden (Critical Loads)</li> <li>- N-Versorgung von Kulturen anhand Fernerkundung (Chlorophyllgehalt)</li> </ul>
<b>II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)</b>	
Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beurteilung muss offen sein in beide Richtungen.</li> <li>- Referenzwerte abgeleitet nach dem Konzept Critical Loads (N und Säuren), müssen für die Schweiz verbessert werden.</li> <li>- Säureklassen-Bewertungssystem WSL für Waldböden</li> </ul>
Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lücken: Was ist die natürliche Referenz? Was ist normal und was ist gestört? Was ist der Anteil natürlicher versus anthropogener Veränderung?</li> <li>- Indikatoren für die Al-Toxizität</li> </ul>

- Indikatoren Verjüngung, Humusabbau/-formen, biologische Aktivität, Zeigerpflanzen, Mineralogie

### III. Vollzug

Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?	Für Boden selber eigentlich kein Problem, aber für die Leistungen, die wir vom Boden erwarten, ist es sehr relevant, vor allem für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Versauerung ist relevant für die Schwermetallauswaschung, Nährstoffspeicherung u.a. In Kombination mit Trockenheit bestehen zudem zusätzliche Risiken.
Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?	
Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug?	Langjährige Erfahrung Luftreinhaltung, Messung von NO <sub>x</sub> , S u.a. Reduktion N-Einträge in der Luftreinhaltung (Verkehr, Feuerungen), N-Emissionen in der Tierhaltung, Schwierigkeit, interdisziplinär zusammenzuarbeiten.
Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?	Lösungsfindung im interdisziplinären Austausch über Bundes- und Kantonsämter und Abteilungen hinweg
Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?	

### Vorschlag 5 Top-Indikatoren

<b>Top-Indikator</b>	<b>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</b>	<b>Argumente für Auswahl</b>
Pflanzenvielfalt natürliche Standorte (Naturschutz, BFF, Wald)	Pflanzenaufnahmen und Vergleich mit potenziellem und aktuellem Pflanzenbestand (Teile ALL-EMA-Projekt könnten verwendet werden)	Anschaulich, Erfahrungswissen vorhanden, es existieren alte Herbare, Pflanzenlisten zum Vergleich.
Nitrat im Sickerwasser (N-Indikator)	Analyse von Quell- und Grundwasser; Analyse von Zeitreihen und Veränderungen	Hinweis auf Störung im Ökosystem; Toxizität von Nitrat ist relevant.
BC/Al-Verhältnis als Versauerungsindikator	Bodenanalysen; Zeitreihen der Veränderungen (Grenzwert BC/Al-Verhältnis = 1)	International anerkannt; beruht auf analytischen Grundlagen.
N-Deposition	Modellierung und/oder punktuelle Messungen; Vergleich mit Critical Loads	International anerkannt; ist etabliert; wird weiterentwickelt.
Azidität	Modellierung und/oder punktuelle Messungen; Vergleich mit Critical Loads	International anerkannt; ist etabliert; wird weiterentwickelt.
N-Versorgung der Pflanzen (zukünftig)	Chlorophyll-Gehalte der Pflanzen können mit Fernerkundung bestimmt werden (es sind aber	Mögliches Kontrollinstrument zur N-Versorgung der Hauptkulturen

	immer Messdaten zur Kalibrierung erforderlich).	
--	---	--

### 6.2.6 Bodenbiologie und Biodiversität

#### **I. Erhebungsmethode**

Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	<p>Es eignen sich dazu Summenparameter wie mikrobielle Biomasse (FEM, SIR, ATP), Basalatmung, Regenwurmpopulation sowie Menge und Arten von Springschwänzen, Nematoden, Milben etc. (klassisch bestimmt und gezählt mit Binokular/Mikroskop). Neue, DNS-basierte Methoden sind in Erarbeitung und werden einen wichtigen Beitrag für die Erforschung der Biodiversität im Boden leisten. Indirekte Möglichkeiten zur Bestimmung der biologischen Aktivität bestehen über die Messung der Degradation der organischen Substanz (Bait-Lamina, Netzbeutel etc.), der Stickstoffmineralisation und verschiedener Enzymmessungen.</p> <p>Biodiversität wird nicht nur wegen Informationen zur Qualität/Zusammensetzung der Biomasse gemessen. Biodiversität ist auch für viele Bodenfunktionen zentral (Nahrungsmittelproduktion, Lebensraumfunktion, Genpool etc.). Es sollen geeignete Indikatoren bzw. Zeigerarten oder -gruppen gesucht/bezeichnet werden, welche auf entsprechende Stressoren (Bodenparameter wie pH etc. oder anthropogene Massnahmen wie Bodenbearbeitung etc.) messbar reagieren. Landnutzungen sind dabei zu unterscheiden (Wald, Wiese, Acker, Garten etc.), da sich deren Bodenbiologie stark unterscheidet und die Stressoren unterschiedlich sein können.</p> <p>Mittels Experimenten sollte die Resistenz und Resilienz der Systeme getestet werden.</p>
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	<p>NABO- und KABO-Messnetze mit nach Kriterien ausgewählten Standorten (inkl. Flächennutzung, geografischer Gebiete, Bodentypen, anthropogener Massnahmen etc.)</p> <p>Rastermessnetze über die gesamte Schweiz analog dem BDM.</p> <p>Neben der räumlichen Dynamik muss auch die zeitliche Entwicklung/Veränderung der Biodiversität berücksichtigt werden.</p> <p>Die Daten sollten mit einer kompatiblen Methodik erhoben werden, was eine gemeinsame, übergreifende Auswertung erleichtert und die Aussagekraft erhöht.</p>

#### **II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)**

Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?	Referenz- bzw. Vergleichswerte bestehen für die mikrobielle Biomasse, Basalatmung, N-Mineralisation und Regenwurmpopulation (Einschränkungen: Wiese bzw. Acker, pH, Corg, Ton- und Sandgehalt, die entsprechenden Beprobungstiefen sind zu berücksichtigen). Sie sind rechtlich nicht bindend. Für die Bodenbiodiversität gibt es keine Referenzwerte. Für den Vollzug und die Wirkungskontrolle von umweltpolitischen Massnahmen sind
---	--

	<p>standorttypische Referenzwerte Voraussetzung. Pro Bodentyp und Nutzung braucht es eine grosse Anzahl von Standorten/Erhebungen, um aussagekräftige Informationen über die systembedingten Streuungen zu erhalten. Um die Streuung beurteilen zu können, ist es wichtig, die standorttypischen Begleitfaktoren zu kennen, das heisst, dass die Boden- und Umweltfaktoren sowie die anthropogenen Einflüsse für die Standorte erfasst werden müssen.</p>
<p>Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?</p>	<p>Zur Beurteilung von gemessenen Werten bestehen die oben erwähnten Referenz- und Vergleichswerte mit den beschriebenen Einschränkungen (Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter, VBB 2009). Die Referenzwerte wurden in Abhängigkeit verschiedener Bodenparameter modelliert. Damit können gemessene Werte beurteilt werden. Die Veränderung von Diversitätsparametern über die Zeit kann gemessen, aber noch nicht abschliessend beurteilt werden. Wichtig ist die Erhebung von zusätzlichen Standortinformationen (Nutzung, Klima etc.), um die Veränderungen umfassend interpretieren zu können.</p> <p>Wie die biologische Vielfalt auf verschiedene anthropogene Faktoren/Stressoren reagiert, ist noch wenig bekannt.</p> <p>Die Auswirkungen der Änderungen der biologischen Vielfalt auf die Bodenfunktionen sind noch wenig bekannt.</p> <p>Experimentelle Ansätze mit engem Bezug zu Monitoringstandorten können helfen, die letzten beiden Punkte in einen kausalen Zusammenhang zu stellen.</p>
<b>III. Vollzug</b>	
<p>Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?</p>	<p>Bodenbiologische Vorgänge beeinflussen die meisten Bodenfunktionen und sind deshalb für den Vollzug von grosser Bedeutung. Zudem können biologische Parameter Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit integrativ anzeigen.</p> <p>Studien zeigen, dass Bodenlebewesen (Biomasse, Basalatmung) von der Art der Nutzung beeinflusst werden. Auch die Zusammensetzung der Organismengemeinschaften zeigt deutliche nutzungsabhängige Muster. Wie schon erwähnt, sind für den Vollzug und die Wirkungskontrolle von umweltpolitischen Massnahmen standorttypische Referenzwerte Voraussetzung.</p>
<p>Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?</p>	<p>Die Gefährdung der Bodenlebewesen wurde als gross eingestuft. Diese kann lokal sein, widerspiegelt aber die grosse lokale Gefährdung der Bodenqualität.</p>
<p>Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug?</p>	<p>Die neuen molekularbiologischen Methoden sind noch wenig standardisiert, es gibt noch keine Referenzwerte, Zeigerorganismen für die (meisten) entsprechenden Stressoren müssen erarbeitet werden. Es ist sehr wichtig, dass schweizweit dieselben (standardisierten) Methoden angewendet werden. Insbesondere für die Dauerbeobachtung ist eine Standardisierung zentral. Für die Analytik sind das langfristige Bestehen und die Kontinuität innerhalb des Labors wichtig. Untersuchungen haben gezeigt,</p>



	<p>dass bodenbiologische Erhebungen sehr sensibel auf methodenbedingte Änderungen reagieren.</p> <p>Neben landwirtschaftlichen Böden sind auch forstwirtschaftliche Böden, Gartenböden, urbane Böden und alpine Böden in Forschungsprojekte zur Grundlagenerarbeitung miteinzubeziehen.</p> <p>Es ist klar zu definieren, wofür das Monitoring ausgelegt ist, und deutlich zwischen mindestens zwei Typen zu unterscheiden: zum einen dem generellen Monitoring, welches als Warnsystem auf jegliche Veränderungen (auch von unbekannten Stressoren) ansprechen soll, und zum anderen dem spezifischen Monitoring, welches auf Veränderungen durch bekannte Stressoren abzielt.</p> <p>Die Öffentlichkeitsarbeit ist auszubauen, um die Notwendigkeit eines Monitorings aufzuzeigen und die Akzeptanz dafür zu erhöhen.</p>
Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?	<p>Es fehlen standorttypische Referenzwerte/Gemeinschaften: Ein Set von Indikatoren ist dafür zu entwickeln.</p> <p>Es stellen sich Fragen wie:          Welche Arten/Gruppen haben welche Funktionen?          Welche Faktoren (Stressoren) wirken sich negativ auf Gemeinschaften aus; welche Massnahmen wirken sich positiv auf die Bodenbiodiversität aus?          Welche Beziehungen bestehen zwischen der ober- und der unterirdischen Diversität?          Wie steht es mit der Resistenz und der Resilienz von Systemen?</p> <p>Bodenbiologie/Bodenlebewesen sollten explizit in der VBBo erwähnt sein, sowohl als Organismen als auch in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften (Diversität).</p> <p>Bodenbiologie/Bodenbiodiversität (z.B. Erosion oder Verdichtung) muss mehr Beachtung und Bedeutung im Vollzug erhalten und damit auch mehr finanzielle und personelle Ressourcen.</p>
Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?	<p>Methodenerarbeitung, Grundlagenerarbeitung und Handlungsempfehlungen erfolgen in Zusammenarbeit von Bund und Kantonen. Betont wurde allgemein ein enger Austausch zwischen Bund und Kantonen: Welche Fragestellungen (Stressoren) stehen bei den Kantonen im Vordergrund? Anhand welcher Organismen und mit welchen Methoden kann das Gefährdungspotenzial abgeschätzt werden?</p>

### Vorschlag 5 Top-Indikatoren

Es ist wichtig, Indikatoren auf verschiedenen trophischen Ebenen zu haben.

Bei jedem Indikator wurde die Kriterien Machbarkeit und Wirksamkeit der gewählten Methode beurteilt (je 1–3, 1 = schwach, 2 = mittel, 3 = gut)

Die 5 besten Indikatoren mit der höchsten Punktzahl sind in der Tabelle aufgeführt.

Die beiden letzten Indikatoren sind futuristischer Art (Zeithorizont 2040), derzeit wenig oder nicht praktikabel und würden einen grossen Forschungs- und Entwicklungsaufwand bedeuten.

<b>Top-Indikator</b>	<b>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</b>	<b>Argumente für Auswahl</b>
DNA, RNA	Mikro-, Meso-, Makrofauna	Machbarkeit 2 Wirksamkeit 3
Population/Gemeinschaft Makrofauna	Regenwürmer	Machbarkeit 2 Wirksamkeit 3
Funktioneller, globaler Indikator	Abbaufähigkeit	Machbarkeit 3 Wirksamkeit 2
Gesunder Boden	Modellierung	Machbarkeit 3 Wirksamkeit 3
Vielfalt und Funktion	Biologischer Index der Bodenqualität IBQS und Diversität der Mikroorganismen	Machbarkeit 3 Wirksamkeit 3

#### 6.2.7 Bodenquantität und -qualität

<b>I. Erhebungsmethode</b>	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	<p>Grundsätzlich bestehen verschiedene Erhebungsmethoden: 1) Arealstatistik und 2) Fernerkundungsmethoden.</p> <p>Beide Ansätze haben vor und Nachteile, können sich aber sehr gut ergänzen. Die Arealstatistik mit einer Auflösung von 100 x 100 m hat nun vier Erhebungen über rund 40 Jahre, mit LandSat (30 x 30 m) bestehen Datensätze für die letzten 30 Jahre (monatlich/jährlich, je nach Wolkenbedeckung) und mit Sentinel (ab 2016 verfügbar, Auflösung 10 x 10 m) zukünftig weitere Techniken, die quantitativen Verluste zeitnah zu erheben. Für die Fernerkundungsmethoden benötigt es immer Testdatensätze zur Kalibrierung, die Punkte in der Arealstatistik werden manuell überprüft.</p>
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	<p>Quantität: siehe oben</p> <p>Qualität: landesweite Bodenkartierung, nicht nur für Landwirtschaft und Wald, sondern auch im Siedlungsgebiet</p>

Zudem wurden weitere Planungsgrundlagen genannt, die hilfreich sind: Katasterdaten, amtliche Vermessung, Nachführung Naturschutzmassnahmen, Karten Gewässerrevitalisierung,

Untergrund: auch die unterirdische Versiegelung (Leitungen, Kanäle, Tiefbau usw.) sollte Beachtung finden.

## **II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)**

Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität? Bodenqualität wird bisher in der Planung kaum berücksichtigt. Es soll ein solcher Indikator entwickelt und umgesetzt werden.

Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen? Qualität:  
Mit einer Bodenkartierung werden die Basisdaten für die Beurteilung der Bodenqualität erhoben. Es fehlt bislang ein akzeptierter Indikator für die Bodenqualität. Diskutiert wurde ein Bodenindex (Bodenindexpunkte als Indikator für Bodenqualität und -quantität) für die Anwendung in der kantonalen Richtplanung und in den Gemeinden. Es sollte ein einfacher Indikator sein zur Kommunikation und Anwendung. Ein Bodenindex sollte mit der Planung einer Mehrwertabschöpfung verbunden werden.

Quantität:  
Das Monitoring von Bodenveränderungen sollte weiter ausgebaut werden, wobei nicht nur die Quantität wie in der Arealstatistik, sondern auch die Qualität berücksichtigt wird).

## **III. Vollzug**

Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)? Insgesamt sehr gross, wobei es zwischen den Kantonen grosse Unterschiede gibt.

Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial? Siehe Berichte zur Flächenversiegelung des BFS

Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug? Zielführend wäre ein «Reallabor» mit Testgemeinden, wo die Idee eines Bodenindex einmal in der Praxis durchgespielt wird. (Anmerkung: SANU Durabilitas plant ein solches Projekt.)

Die Bodenqualität und die Funktionen des Bodens sollten transparent und verständlich kommuniziert werden.

Im Rahmen von städtebaulichen Wettbewerben könnten auch die Bodenfunktionen von Stadtböden mitberücksichtigt werden.

Was braucht es, um den Vollzug zu stärken? Stärkere Koordination zwischen Bodenschutz und Raumplanung auf allen Stufen (Bund, Kantone, Gemeinden). Mehr und bessere Lobbyarbeit für den Bodenschutz. «Einfallspforten» nutzen für die Sensibilisierung auf das Thema «Bodenschutz». «Einfallspforten» könnten z.B. sein: Klima, Biodiversität, Trockenheit.

Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?

**Vorschlag 5 Top-Indikatoren**

<b>Top-Indikator</b>	<b>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</b>	<b>Argumente für Auswahl</b>
Quantitativer Bodenverlust in m <sup>2</sup> /s und ha/Jahr	Nur quantitativer Indikator, nicht qualitativ	Ablauf und Kommunikation wird bereits durch BFS gemacht.
Bodenindexpunkte	Qualitativ und quantitativ, erforderliche Basisdaten abgestimmt auf Bodenkartierung, Bodenfunktionen bestimmen	Vorschlag siehe NFP 68, einfach und gut kommunizierbar, es bestehen Methoden zur Bewertung von Bodenfunktionen.
Inventar FFF und Veränderung (Degradation) der Bodenqualität der FFF	Auf Basis bestehender und neuer Bodenkartierungen, Monitoring der Bodenqualität	Die Veränderung von möglichen Degradationen sichtbar machen.
Grünflächen innerhalb urbaner Gebiete	Bewertung Anteil Grünfläche	Klima, Biodiversität in Stadtgebieten
Inventar Industriebrachflächen und Stadtentwicklungsprojekte	Erhebungen in Städten und Kantonen und Bewertung vorhandener Flächen	In Verbindung mit Inventar FFF zeigt der Indikator das Potenzial auf, bestehende ungenutzte Areale zu nutzen.
Anzahl bodenbezogener Interpellationen, Motionen und Postulate		Einfacher zu erheben, zeigt, wie politisch aktuell das Thema ist.

**6.2.8 Terrainveränderungen**

<b>I. Erhebungsmethode</b>	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	Bewilligungsverfahren Terrainveränderungen in den Kantonen
Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?	Terrainveränderungen (TV) sind durch ein qualifiziertes Verfahren zu bewilligen. Auch die Grauzonen von bisher unbewilligten Verfahren sind zu erfassen.  Neben Erhebung durch Bewilligungsverfahren ergänzend Auswertungen mit Fernerkundung (LIDAR, Orthophoto u.a.)
<b>II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)</b>	
Gibt es Referenz-/Interventionswerte zur Bodengefährdung/-qualität?	Langfristige Entwicklung der Bodenqualität von Rekultivierungen/TV ist sehr ungewiss.
Welche Instrumente gibt es zur Beurteilung? Welches sind ihre Möglichkeiten und Grenzen?	– Vergleich der TV mit naturbelassenen Referenzstandorten und Bewertung der Bodenqualität (Funktionen, Fremdstoffe, Neophyten)

- 
- Bewertung der Nutzungseignungsklassen
  - Bewertung der zeitlichen Veränderung der Bodenqualität nach TV
- 

### **III. Vollzug**

---

Wie relevant ist die Bodengefährdung für den Vollzug (z.B. Umwelt- und Landwirtschaftsgesetz)?

---

Wie gross ist das reale Gefährdungspotenzial?

---

Welche Erfahrungen gibt es im Vollzug? Wo hat es Lücken im Vollzug?

In einigen Kantonen sind langjährige Erfahrungen vorhanden und Wegleitungen wurden erstellt. Es sind klare Vorgaben für die Bewilligungsfähigkeit erforderlich.

---

Gefahr von unbewilligten TV sind sehr relevant.

---

Was braucht es, um den Vollzug zu stärken?

---

- Überzeugungsarbeit für Bauunternehmer
  - Einheitliches Vorgehen: Fallbeispiele als Referenzen und interkantonaler Austausch für ein Monitoring
  - Erfolgskontrollen von TV über Zeit hinweg
  - Konsequente Anzeige und Bestrafung von Straftätern
- 

Wie sollte die Aufgabenverteilung zwischen Bund und Kantonen sein?

---

### **Vorschlag 5 Top-Indikatoren**

<b>Top-Indikator</b>	<b>Beurteilungs- und Bewertungsmethode</b>	<b>Argumente für Auswahl</b>
Anzahl bewilligte TV	Möglichst alle (auch bisher unbewilligte TV) erfassen und begleiten	
Räumliches Ausmass TV (Fläche und Kubikmeter Material)	Flächen der TV erhoben mit Verfahren in den Kantonen und ergänzend mit Fernerkundung	
Veränderung der Bodenqualität über die Zeit	Erfolgskontrollen von TV	

### 6.3 Resultate Tagung Cercle Sol

An der Cercle-Sol-Tagung wurden in Workshop-Blöcken drei Fragen bearbeitet, jeweils parallel durch vier Gruppen, die spontan gebildet wurden.

#### 6.3.1 Thematische Prioritäten

«Wo sind die thematischen Schwerpunkte für das Bodenmonitoring zu setzen?» Diese Frage sollten die Gruppen beantworten, indem sie eine Rangfolge für die acht Themengebiete erstellten.

---

Wo sind die **thematischen** Schwerpunkte für das Bodenmonitoring zu setzen?

---

##### **Gruppe A**

---

Priorisierung	Anstelle der Rangfolge unterschied die Gruppe zwischen hoch, mittel und tief:  <b>Hoch</b>  Quantitativer Bodenverlust (nicht nur Fläche, sondern auch Qualität der verlorenen Fläche; Bodenkartierung erforderlich)  Schadstoffe (neue Schadstoffe und Quellen und Eintragspfade)  <b>Mittel</b>  Humusverlust (Humushaushalt)  Verdichtung/Erosion  <b>Tief</b>  Biodiversität  Terrainveränderungen  Stickstoff/Versauerung
---------------	--

---

Bemerkungen	Priorisierung abhängig von Gebiet/Kanton
-------------	--

---

Lücken

---

##### **Gruppe B**

---

Priorisierung	Die Gruppe konnte/wollte sich nicht auf eine Priorisierung festlegen. Eine Priorisierung soll auf Basis des Gefährdungspotenzials und der Wissenslücken vorgenommen werden. Zudem müsse die Priorisierung gebiets- bzw. nutzungsbezogen vorgenommen werden.
---------------	---

---

Bemerkungen	Als Einzelmeinung wurde eingebracht, dass der quantitative Bodenverlust als letzte Priorität gesetzt werden solle oder ganz gestrichen werden solle, da dies nicht Teil der VBBo sei.
-------------	---

Die Relevanz der Versauerung wurde kontrovers diskutiert. Hier wurde angeführt, dass das Problem durch Luftqualitätsmessungen bereits genügend abgedeckt werde. Dem wurde entgegnet, dass die räumlichen Problemzonen bestimmt werden müssen.

Der Link/die Vernetzung mit den Monitoringprogrammen anderer Umweltkompartimente (Wasser, Grundwasser) wurde als wichtig erachtet.

---

Lücken

---

<b>Gruppe C</b>	
Priorisierung	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Humusverlust (Volumenverlust, Klima)</li> <li>2. Quantitativer Bodenverlust (Landwirtschaft; FFF-Qualität, Details Siedlungsraum)</li> <li>3. Stickstoff/Versauerung (Einfluss auf Biodiversität und Klima)</li> <li>4. Organische Schadstoffe (Fremdstoffe via Gärsaft und Kompost, PSM, Antibiotika)</li> <li>5. Verdichtung (Unterboden) und Erosion (Risiko bekannt, Ausmass nicht)</li> <li>6. Biodiversität (unter Einfluss von allem anderen)</li> <li>7. Terrainveränderungen (kleinräumig)</li> <li>8. Anorganische Schadstoffe</li> </ol>
Bemerkungen	Es geht nach Dringlichkeit.
Lücken	Murgänge
<b>Gruppe D</b>	
Priorisierung	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Schadstoffe/Humusverlust<sup>a</sup>/Biodiversität<sup>b</sup>  <i>a: Organische Böden mit Naturschutzpotenzial müssen besser geschützt werden [Seeland, SG-Rheintal]; landwirtschaftliche Bewirtschaftung, Erhalt/Aufbau organischer Substanz -&gt; Bodenschutz</i>  <i>b: Zentral für Bodenfruchtbarkeit, integrale Grösse</i> </li> <li>2. Erosion/Verdichtung  <i>Zentrales Thema auch im Mittelland -&gt; Klimawandel</i> </li> <li>3. Terrainveränderungen            -         </li> <li>7. Stickstoff/Versauerung            wichtig, jedoch nicht für kantonalen Vollzug; zuoberst kontrovers diskutiert, Kalkung?         </li> <li>8. Quantitativer Bodenverlust -&gt; wichtig, aber nicht unsere Aufgabe</li> </ol>
Bemerkungen	Auflistung 1–8 darf nicht als Priorisierung aufgefasst werden. <sup>5</sup>
Lücken	Antibiotika

<sup>5</sup> Witz oder ernst gemeint?



### 6.3.2 Hilfsmittel für den Vollzug

Die Frage nach den Hilfsmitteln wurde wiederum den vier Gruppen parallel gestellt, deren Zusammensetzung war grösstenteils unverändert zum ersten Block.

Welche <b>Hilfsmittel</b> brauchen wir für den Vollzug?	Gute Beispiele und Vorbilder
<b>Gruppe A</b>	
Bodenkarte in geeignetem Massstab (ab 1:5000)	Frankreich
Prüfperimeter Boden	
Zugang ÖLN-Daten, für Humus Labormessung vor-schreiben	
Aktualisieren der Messmethoden in den Labors	
Referenzwerte Verdichtung Humus (standortspezifisch)	für
Fremdstoffe, z.B. Plastik	
Jährliche Luftbilder	Kt. AG
Revision VBBo	
Meldepflicht Bodenverschiebung	
Mehr personelle Ressourcen	
<b>Gruppe B</b>	
Standardisierte/einheitliche Methoden	
Ringversuche	VBBo-Ringversuch
Vollzugshilfen/Anleitungen, die Erstellung einer «Vollzugshilfe Bodenmonito- ring» sollte geprüft werden (hilft den Kantonen u.a. auch bei der Rechtfertigung der eigenen Arbeiten)	
Harmonisierung von bestehenden Verordnungen (z.B. Altlasten, Boden und Abfall; Anhang 8 des Handbuchs Gefährdungsabschätzung)	
Ansprechperson Bodenchemie beim BAFU	
<b>Gruppe C</b>	
Bodeninformation (Karte 1:5000)	Kt. ZH, ZG, SO, SG
Überarbeitung FAL24	
Schweizweit (einheitliche?) Ablage der Daten	
Ergänzung von Kennwerten über die FAL24 hinaus	
Referenzwerte/Massnahmenwerte	

Ergänzungen auf Gesetzes- und Verordnungsstufe, VVEA	
Branchenlösungen	Rübenwascherde BE, TG
Rechtliche Verankerung der BBB	
Vereinheitlichungen (z.B. Bodenfeuchtemessnetz)	
Absprachen übergreifend über (föderalistische) Stufen und Sektoren hinweg	
Stärkung Cercle Sol	
Praxisrelevante/kommunizierbare Auswertungen des Monitorings	
Kantonale interaktive Online-Tools mit Auswertungen Monitoring/NABO	
<b>Gruppe D</b>	
Erosionskarten Ackerflächen und Dauergrünland	
Karten geogene Bodenbelastung (Monitoring?)	
Monitoring der anthropogenen Böden (Kartennachführung; Methodik, Qualitätsbeurteilung Terrainveränderung)	
Kartennachführung jeder baulichen Massnahme im Boden	
Monitoring STRUDEL für Gesamtfläche der Schweiz	

In der allgemeinen Diskussion wurde die gesetzliche Verankerung der bodenkundlichen Baubegleiterinnen und -begleiter angesprochen. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Kantone bereits heute die Möglichkeit haben, dies auf kantonaler Stufe zu tun, eine allfällige Revision der VBBo müssten sie nicht abwarten.

Zudem wurde angesprochen, dass konkretere Kriterien bezüglich der in der VBBo genannten Bodenfruchtbarkeit hilfreich wären.

### 6.3.3 Organisation

Die Frage nach der Organisationsform wurde wieder parallel durch vier Gruppen bearbeitet; deren Zusammensetzung veränderte sich im Vergleich zur vorangehenden Aufgabe.

---

Wie organisieren wir uns?  
(Welche Akteure erfüllen welche Aufgaben?)

---

#### **Gruppe A**

---

Zusammenzug der Diskussionen zum Monitoring:

- Priorisierung der Themen: KOBO oder BAFU
- Vorschläge weiteres Vorgehen: Cercle Sol, evtl. in Unter-Arbeitsgruppe

NABO als Vorbild für Monitoring, zuständig für Gesamtsicht

Konsens finden für KABO:

- Minimal-Setting
- Ergänzungsuntersuchungen
- Methodendefinition, Parameter, Entwicklung usw.

Durch Arbeitsgruppe KABO (+NABO?) und Cercle Sol

Comittment der Führungsebene (auf kantonaler Ebene) nötig

---

#### **Gruppe B**

---

Wichtigste Akteure Ebene Bundesämter: ARE, BLW, BAFU

Harmonisierung sowie Rückmeldung Vollzugstauglichkeit: Cercle Sol

Datenerhebung: Kantone und NABO

Methodenentwicklung (z.B. neue Fremdstoffe wie Plastik): Forschung (Uni, FH, ETH)

Datenmanagement und Analysemethodik, jährliche Luftbilder, Zugang ÖLN-Daten: Bund

---

#### **Gruppe C**

---

«Aufgabe unklar»

Organisation in VBBo geregelt

Zusammenarbeit? Funktioniert

NABODAT evtl. Sammelgefäß

Bodenfeuchtemessnetz Kantone/Bund? Abhängig von Existenz KABO

Abgrenzung BAFU-BLW, Erosion DZV, Strukturverbesserung

---

#### **Gruppe D**

---

Diese Gruppe beschrieb die Aufgabenverteilung als fließend zwischen den verschiedenen Ebenen, mit folgenden Schwerpunkten:

- Methoden/Methodenentwicklung hauptsächlich durch Hochschulen/Forschung und NABO/KOBO
  - Aufarbeitung und Interpretation von Daten: NABO/KOBO und Bund
  - Gesetzliche Grundlagen: Bund
  - Grundlagen erarbeiten, z.B. neue Schadstoffe: Bund und Cercle-Sol-Gruppen
-

- 
- Datenerhebung: mehrheitlich bei den Kantonen, teilweise auch Bund/NABO
  - Datenerhebung für überregionale Fragestellungen: verschiedene Kantone zusammen, mit finanzieller Unterstützung des Bundes
  - Terrainveränderung: Kantone
  - Gewisse Themen wie quantitativer Bodenschutz sowie Biodiversität: bei anderen Fachstellen
  - Kommunikation: zentral für alle Akteure
- 

## 6.4 Synthese Hilfsmittel für den Vollzug (Cercle-Sol-Tagung)

Ein Teil des Workshops im Rahmen der Cercle-Sol-Versammlung beschäftigte sich mit der Frage, welche Hilfsmittel die Kantone brauchen, um ihre Vollzugsaufgaben zu erfüllen (vgl. Protokolle im Anhang, Kapitel 6.3.2). Aufgrund der offen formulierten Frage waren die Rückmeldungen sehr divers. Diese lassen sich wie folgt strukturieren.

**Datengrundlagen/Bodenkarten.** Dieser Punkt hat eine hohe Relevanz, er wurde mehrfach genannt. Explizit erwähnt wurden dabei Bodenkarten (Massstab 1:5000), Karte der geogenen Bodenbelastungen und Erosions(gefährdungs)karten für Grünland. Weiter müssen Karten permanent nachgeführt und jede bauliche Massnahme erfasst werden. Dies schliesst insbesondere anthropogene Böden ein. Luftbilder sind ebenso wichtige Informationsquellen und sollten in (mindestens) jährlicher Auflösung vorliegen. Schliesslich wurde auch gewünscht, dass existierende Datensätze, wie jene der ÖLN-Analysen, verfügbar und nutzbar sind.

**Wissenschaftliche Grundlagen und Beratung.** Die kantonalen Fachstellen sind auf wissenschaftliche und gesetzliche Grundlagen angewiesen. Deren Erarbeitung liegt nicht in der Zuständigkeit der Kantone. Zudem würden es die Ressourcen der kantonalen Fachstellen meist eh nicht zulassen, bei neuen oder sich ändernden Fragestellungen die wissenschaftlichen Grundlagen zu erarbeiten. Nach Ansicht der Kantone muss dies auf Bundesebene geleistet werden. Der Bund berät folglich die Kantone (vgl. Art. 4 Abs. 2 VBBo), eine Ansprechperson Bodenchemie beim BAFU wurde ausdrücklich gewünscht. Weiter wurden Arbeits- und Vollzugshilfen genannt, insbesondere die Erstellung einer «Vollzugshilfe Bodenmonitoring». Darin könnten die Aufgaben der kantonalen Bodenbeobachtung und die Abgrenzung/Zusammenarbeit mit nationalen Beobachtungsprogrammen geregelt werden. Dies würde den kantonalen Fachstellen auch helfen, ihre eigenen Monitoringaufgaben zu rechtfertigen. Schliesslich wurden einheitliche und standardisierte Methoden bzw. die Erneuerung alter Methoden erwähnt. Dazu gehören auch Ringversuche, wie beispielsweise der VBBo-Ringversuch für Schwermetalle und organische Schadstoffe.

**Beurteilungsinstrumente.** Ein sinnvoller und einheitlicher Vollzug funktioniert nur mit einer Beurteilungsgrundlage. Generell wurden Referenz- und Massnahmenwerte gewünscht. Explizit genannt wurden zudem Referenzwerte für Verdichtung sowie Humus.

**Harmonisierung und Koordination.** Auch zu diesem Thema wurden verschiedene Punkte genannt, was dessen Wichtigkeit betont. Gefordert wurde einerseits die Harmonisierung gesetzlicher Grundlagen, auf Gesetzes- und Verordnungsstufe. Bedarf dazu besteht unter anderem zwischen den Verordnungen der Bereiche Altlasten (AltIV), Boden (VBBo), Abfall (VVEA) sowie dem Anhang 8 des Handbuchs Gefährdungsabschätzung. Andererseits wurde ein einheitliches und koordiniertes Vorgehen gewünscht sowohl zwischen den Kantonen als auch zwischen Bund und Kantonen. In diesem Sinne dürfte auch das Votum für eine Stärkung des Cercle Sol verstanden werden. Explizit genannt wurden zudem als Beispiel eine Vereinheitlichung der Bodenfeuchtemessnetze sowie eine schweizweite einheitliche Datenablage. Die oben genannte Beratung und Unterstützung der Kantone seitens des Bundes fördert ebenso ein einheitliches und koordiniertes Vorgehen der Kantone.

Im Workshop wurde auch angesprochen, dass die Zeit reif sei für eine umfassende Revision der VBBo. Eine rechtliche Verankerung der bodenkundlichen Baubegleiter (BBB) wäre dabei ein wichtiges Anliegen einiger Kantone.

## 6.5 Ziele und strategische Stossrichtungen der Bodenstrategie

Das BAFU erarbeitet zusammen mit dem BLW und dem ARE und unterstützt durch weitere Bundesämter eine Bodenstrategie. Diese ist noch nicht verabschiedet; es liegt jedoch ein sehr konkreter Entwurf vor (Schweizerischer Bundesrat 2020). Die Strategie definiert Ziele (Z.) und strategische Stossrichtungen (S.) gegliedert nach Themen, die jedoch nicht dem Themenraster dieses Berichts entsprechen. Im Folgenden werden die Ziele jeweils generell den acht Themen zugeordnet. Die strategischen Stossrichtungen sind konkreter formuliert und können daher direkt einzelnen Monitoringelementen zugewiesen werden.

Abbildung 9a gibt eine Übersicht über die zugeordneten Ziele und strategischen Stossrichtungen. Die verwendeten Abkürzungen entsprechen jenen der Bodenstrategie. Die Strategie enthält teilweise konkrete Stossrichtungen für den Vollzug. Diese wurden hier nicht abgebildet, sie liegen ausserhalb des Rasters.

---

Thema	
<i>Ziele der Bodenstrategie</i>	
<b>R</b>	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur Abschätzung des <b>Risikos</b>
<b>A</b>	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur Erfassung des <b>Ausmasses</b>
<b>Z</b>	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur Erfassung der <b>zeitlichen Entwicklung</b>
<b>B</b>	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur <b>Beurteilung</b>

---

---

**Verdichtung**

*ZL1: Vermeidung dauerhafter Verdichtungen landwirtschaftlicher Böden*

*ZW2: Vermeidung dauerhafter Verdichtungen von Waldböden*

- 
- |          |   |
|----------|---|
| <b>R</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- SL1: Verbesserung der verfügbaren Informationen zur (standortbezogenen und momentanen) Verdichtungsempfindlichkeit der landwirtschaftlich genutzten Böden [...]</li> <li>- SW2: Verbesserung der verfügbaren Informationen zum Verdichtungsrisiko von Waldböden als Grundlage für Programmvereinbarungen zwischen Bund und Kantonen mit dem Ziel, eine bodenschonende Waldbewirtschaftung zu fördern.</li> </ul> |
|----------|---|
- 

<b>A</b>	-
----------	---

---

- |          |   |
|----------|---|
| <b>Z</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- SL1: Verbesserung der verfügbaren Informationen [...] zur Überprüfung von eingeleiteten Massnahmen.</li> </ul> |
|----------|---|
- 

	-
--	---

---

- |          |  |
|----------|--|
| <b>B</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- SL4: Entwicklung von Beurteilungs- und Entscheidungshilfsmitteln für die Bewirtschafter zum bodenschonenden Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen.</li> <li>- SL5: Überprüfung, ob Grenzwerte und Methoden zur Bestimmung des Strukturzustandes definiert und rechtlich festgelegt werden können.</li> <li>- SL6: Überprüfung der Zulassungsbedingungen für landwirtschaftliche Maschinen im Hinblick auf bodenschonende Eigenschaften.</li> </ul> |
|----------|--|
- 

---

**Erosion**

*ZL2: Keine dauerhafte Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Erosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.*

*ZL3: Keine Beeinträchtigung der Gewässer und naturnaher Lebensräume sowie der Infrastruktur durch abgeschwemmtes Bodenmaterial aus landwirtschaftlich genutzten Flächen.*

- 
- |          |  |
|----------|--|
| <b>R</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- SL7: Verbesserung der verfügbaren Informationen zur Berücksichtigung der Erosionsgefährdung der landwirtschaftlich genutzten Böden [...]</li> </ul> |
|----------|--|
- 

<b>A</b>	-
----------	---

---

- |          |   |
|----------|---|
| <b>Z</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- SL7: Verbesserung der verfügbaren Informationen [...] zur Überprüfung von eingeleiteten Massnahmen.</li> </ul> |
|----------|---|
- 

<b>B</b>	-
----------	---

---

---

**Humus**

*ZL4: Kompensation des Verlusts von organischer Bodensubstanz infolge landwirtschaftlicher Nutzung mineralischer Böden.*

*ZL5: Minimierung des Verlusts von organischer Bodensubstanz infolge landwirtschaftlicher Nutzung organischer Böden.*

---

<b>R</b>	-
<b>A</b>	- SL13: Verbesserung der verfügbaren Informationen zum Erfassen des organischen Gehalts landwirtschaftlich genutzter Böden [...]
<b>Z</b>	- SL13: [...] zur Überprüfung von eingeleiteten Massnahmen. [...]
<b>B</b>	- SL11: Entwicklung von Beurteilungs- und Entscheidungshilfen für Bewirtschafter/innen zur Vermeidung von Verlusten von organischer Bodensubstanz infolge landwirtschaftlicher Nutzung. - SL13: [...] Erarbeitung von Ziel- und Referenzwerten für den organischen Gehalt im Boden.

---



---

**Schadstoffe**

*ZL6: Keine dauerhafte Beeinträchtigung der Bodenfunktionen und damit keine Beeinträchtigung der Gewässer und naturnaher Lebensräume durch Schadstoffe aus der Landwirtschaft.*

*ZL7: Substanzielle Reduktion des Risikos für Mensch, Tier, Pflanzen und Gewässer infolge von Schadstoffeinträgen durch PSM und Dünger.*

*ZS2: Keine dauerhafte Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch organische und anorganische Schadstoffe in Siedlungsböden.*

---

<b>R</b>	- SL15: Verbesserung der verfügbaren Informationen zur Früherkennung bzw. Risikoabschätzung von Schadstoffeinträgen im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion.
<b>A</b>	-
<b>Z</b>	- SS1: Kontrolle der Wirkung des Aktionsplans PSM.
<b>B</b>	-

---



---

**Stickstoff und Versauerung**

*ZL9: Minimierung der Stoffausträge aus der Landwirtschaft.*

*ZW1: Keine dauerhafte Beeinträchtigung der Bodenfunktionen von Waldböden durch Stoffeintrag aus der Atmosphäre.*

---

**R** -

---

**A** - SW1: Verbesserung der verfügbaren Informationen über Ausmass [...] der Eutrophierung und Versauerung von Waldböden.

---

**Z** - SW1: Verbesserung der verfügbaren Informationen über [...] Entwicklung der Eutrophierung und Versauerung von Waldböden.

---

**B** -

---



---

**Bodenbiologie und Biodiversität**

*ZL8: Kein dauerhafter Verlust von Bodenbiodiversität und -aktivität aufgrund landwirtschaftlicher Nutzung.*

---

**R** -

---

**A** - SL18: Verbesserung der verfügbaren Informationen zur Bodenbiodiversität und -aktivität von landwirtschaftlich genutzten Böden. [...]  
- SL20: Berücksichtigung der Bodenbiodiversität und -aktivität bei der Planung und Ausscheidung von ökologischen Vernetzungsstrukturen.

---

**Z** -

---

**B** - SL18: [...] Erarbeitung von Ziel- und Referenzwerten für die Biodiversität im Boden.

---

---

**Quantitativer Bodenverlust**

*ZR1: Die Siedlungsfläche sowie die versiegelte Fläche wachsen deutlich geringer als die Bevölkerung.*

*ZR2: Im Rahmen der Siedlungsentwicklung nach innen (z.B. Ausscheidung von Bauzonen und Spezialzonen) werden bei Interessenabwägungen auch Grundlagen und Daten zur Bodenqualität systematisch berücksichtigt, mit dem Ziel, möglichst viele Bodenfunktionen langfristig zu erhalten.*

*ZR4: Bei der Interessenabwägung im Rahmen der Bewilligung von neuen Nutzungen oder Nutzungsänderungen ausserhalb der Bauzonen werden die Bodenfunktionen systematisch berücksichtigt.*

*ZR5: Beim Bauen ausserhalb der Bauzonen ist der Versiegelungsgrad auf ein Minimum zu reduzieren.*

---

**R** -

- 
- A** -
- SR4: Bereitstellung von [...] Bodeninformationen zur besseren Berücksichtigung der Bodenfunktionen bei der Ausscheidung von Bauzonen.
  - SR5: Bereitstellung von [...] Bodeninformationen zur besseren Berücksichtigung der Bodenfunktionen bei der Planung und Bewilligung von neuen Nutzungen oder Nutzungsänderungen ausserhalb der Bauzonen.
- 

- Z** -
- SR1: Monitoring der Entwicklung der Siedlungsfläche und der Bodenversiegelung.
- 

- B** -
- SR4: Bereitstellung von Methoden [...] zur besseren Berücksichtigung der Bodenfunktionen bei der Ausscheidung von Bauzonen.
  - SR5: Bereitstellung von Methoden [...] zur besseren Berücksichtigung der Bodenfunktionen bei der Planung und Bewilligung von neuen Nutzungen oder Nutzungsänderungen ausserhalb der Bauzonen.
-

### Themenübergreifende Ziele

*ZS1: Neue (anthropogene) Böden in der Siedlung werden so angelegt, dass sie die ökologischen Bodenfunktionen erbringen können.*

*ZS3: Wiederherstellung der Bodenfunktionen von physikalisch und durch Schadstoffe belasteten, unversiegelten Böden innerhalb der Siedlung.*

*ZR3: In den Siedlungen sollen die Böden trotz der Überbauung möglichst viele Bodenfunktionen erfüllen können und einen Beitrag für die Lebensqualität und Klimaanpassung leisten. Ein möglichst geringer Versiegelungsgrad ist anzustreben.*

	Ziele Bodenstrategie	Risiko	Ausmass, Status	Zeitliche Entwicklung	Beurteilung
Bodenstruktur	ZL1, ZW2	SL1, SW2		SL1	SL4, SL5, SL6
Erosion	ZL2, ZL3	SL7		SL7	
Humus	ZL4, ZL5		SL13	SL13	SL11, SL3
Schad- und Fremd- stoffe	ZL6, ZL7, ZS2	SL15		SS1	
Stickstoff und Ver- sauerung	ZL9, ZW1		SW1	SW1	
Bodenbiologie und Biodiversität	ZL8		SL18, SL20		SL18
Bodenquantität und -qualität	ZR1, ZR2, ZR4, ZR5		SR4, SR5	SR1	SR4, SR5

*Abbildung 9 Zuordnung der in der Bodenstrategie definierten «Ziele» und «strategischen Stossrichtungen» zu den Monitoringelementen der acht Themenbereiche. Die Abkürzungen sind in den obigen Tabellen definiert und entsprechen jenen der Bodenstrategie. Mehrfachnennungen sind möglich.*