

Besoins des cantons et de la Confédération en matière de monitoring de la ressource sol

Recensement et évaluation du risque, de l'état et de l'évolution dans le temps par le biais de relevés par zone (cartographie) et d'observations à long terme



NABO

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

Remerciements

Les auteurs et la direction du projet NABO [composée de représentantes et représentants des offices fédéraux de l'environnement (OFEV) et de l'agriculture (OFAG)] tiennent à exprimer leurs sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué sous une forme ou une autre à l'élaboration de ce rapport, en particulier le personnel des offices cantonaux de protection des sols, le Cercle Sol et les experts scientifiques.

Avec ce rapport, les auteurs espèrent contribuer à l'amélioration du monitoring de la ressource sol et donc à une utilisation plus durable des sols.

Mentions légales

Mandant	Office fédéral de l'environnement (OFEV), Division Sols et biotechnologie, CH-3003 Berne. L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).
Mandataire	Groupe de recherche Observatoire national des sols, Agroscope, CH-8046 Zürich-Reckenholz
Auteurs	Andreas Gubler, Observatoire national des sols, Agroscope Reto Meuli, Observatoire national des sols, Agroscope Armin Keller, Centre de compétences pour les sols, BFH-HAFL
Rédaction	Urs Steiger, steiger texte konzepte beratung
Traduction	Marie-Pierre Frossard
Accompagnement OFEV	Gudrun Schwilch et Corsin Lang, Section Sols
Accompagnement OFAG	Michael Zimmermann, Secteur Systèmes agro-environnementaux et éléments fertilisants
Remarque	Le présent rapport a été réalisé sur mandat de l'OFEV. Seul le mandataire porte la responsabilité de son contenu.
Téléchargement	www.nabo.ch Cette publication est également disponible en allemand.
Photo de couverture	Gabriela Brändle, Agroscope

Table des matières

Abréviations.....	4
À propos de la structure de ce rapport	5
1 Situation initiale et objectifs.....	5
1.1 Objectifs et destinataires du rapport	5
1.2 Grille thématique basée sur les fonctions du sol et les menaces sur le sol	6
1.3 Instruments de monitoring.....	7
2 Procédure et méthodologie	9
2.1 Enquête auprès des services cantonaux de protection des sols 2018.....	9
2.2 Réunion technique sur la protection des sols de l’OFEV.....	10
2.3 Séance plénière du Cercle Sol	12
2.4 Consultation d’expert-e-s sélectionné-e-s	12
3 Résultats des ateliers (discussion).....	13
3.1 Classification des résultats de la réunion technique sur la protection des sols.....	13
3.2 Eléments de monitoring	19
3.3 Priorisation des thèmes.....	24
3.4 Organisation	32
4 Synthèse et actions recommandées.....	40
5 Références.....	44
6 Annexe (partiellement en allemand).....	47
6.1 Synthèse à partir des réponses de l’enquête auprès des cantons sur le monitoring des sols.....	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

Abréviations

ARE	Office fédéral du développement territorial
CCSols	Centre national de compétences pour les sols
CLASS	Classification des sols de Suisse
CRE	Carte des risques d'érosion
KABO	Surveillance/observation cantonale des sols
NABO	Observatoire national des sols
NABODAT	Système national d'information pédologique
OFAG	Office fédéral de l'agriculture
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFROU	Office fédéral des routes
OFS	Office fédéral de la statistique
OSol	Ordonnance sur les atteintes portées aux sols
WSL	Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage

À propos de la structure de ce rapport

Le chapitre 1 donne un aperçu de la situation initiale et des objectifs du présent rapport. Le chapitre 2 présente la méthodologie et le processus d'élaboration de ce rapport. Le chapitre 3 commente les résultats des ateliers menés avec les représentantes et représentants des cantons et d'autres spécialistes scientifiques ou de la pratique. Les résultats des ateliers sont documentés en annexe (procès-verbaux). La synthèse du chapitre 4 comprend les recommandations qui en découlent.

1 Situation initiale et objectifs

La protection des sols a pour but de préserver au mieux la qualité et la quantité (surface) des sols. Outre des mesures d'exécution adéquates, un monitoring approprié est nécessaire à cet effet. La notion de « monitoring » est comprise ici dans son sens le plus large : le monitoring comprend tous les éléments nécessaires au recensement du **risque**, de l'**ampleur** et de l'**évolution dans le temps** des atteintes portées au sol ainsi que leur **évaluation**. Le monitoring est donc un instrument de détection précoce, et donc de prévention, d'une part, et de contrôle du succès des mesures prises, d'autre part.

Depuis les années 1960, les cantons réalisent une cartographie des sols afin de déterminer l'étendue, la localisation et la qualité des sols et, sur cette base, d'identifier les risques et l'étendue des dangers pour les sols. Pour diverses raisons, l'état de la cartographie des sols dans les cantons est très hétérogène. L'état actuel de la cartographie des sols en Suisse est résumé dans SSP (2014) et Rehbein et al. (2019).

Les premiers éléments d'observation des sols ont été établis en Suisse dans les années 1980 – à l'échelle nationale avec l'Observatoire national des sols (NABO), à l'échelle cantonale avec les réseaux cantonaux d'observation (KABO). Si au début l'accent portait sur les polluants tels que les métaux lourds, l'éventail des thèmes s'est élargi au cours des décennies suivantes. Les services cantonaux et la Confédération se sont emparés progressivement de nouveaux sujets tels que la « biologie du sol » et la « physique du sol ». Après plus de 30 ans et deux programmes nationaux de recherche (PNR 22, PNR 68), le temps est venu de dresser un bilan intermédiaire et de regarder vers l'avenir. Comment le monitoring des sols doit-il être conçu à l'avenir ? Quels thèmes sont déjà suffisamment traités, où y a-t-il des lacunes ? Quels éléments de monitoring ou quelles informations sont nécessaires pour permettre de protéger au mieux la ressource sol et de l'utiliser de manière durable ? Quelles optimisations sont nécessaires pour les activités de monitoring en cours ? Comment la Confédération et les cantons doivent-ils collaborer pour atteindre ces objectifs ?

1.1 Objectifs et destinataires du rapport

Le présent rapport traite du monitoring de la ressource sol, en particulier des besoins en la matière et de sa conception future. Dans l'esprit d'une compréhension large du monitoring, il ne s'agit explicitement pas que de la manière dont les cartographies passées et futures ainsi que le NABO et les KABO, sont ou devraient être conçues. La question est plutôt de savoir quelles données et quels instruments sont nécessaires pour utiliser durablement la ressource sol et la protéger suffisamment.

Le groupe de recherche NABO rédige le rapport au nom de la direction du projet NABO, l'organe de pilotage de NABO. Celui-ci est composé de représentantes et représentants des offices fédéraux de l'environnement (OFEV) et de l'agriculture (OFAG). La préparation a lieu en collaboration entre les deux offices fédéraux et le Cercle Sol. Les services cantonaux de protection des sols ont été impliqués à différents moments (cf. *Illustration 2* au chapitre 2 « Procédure et méthodologie »).

Ce rapport s'adresse en premier lieu aux offices fédéraux et au Cercle Sol, et donc aux services cantonaux de protection des sols. Il sert de base pour la conception future du monitoring du sol sur le plan national et

cantonal. Un concept de monitoring de la ressource sol en Suisse sera élaboré sur la base du présent rapport de synthèse.

Ce rapport vise les **objectifs** suivants :

- présenter les besoins et les exigences en matière de monitoring national du sol et identifier les lacunes ;
- définir une base et créer une compréhension commune pour la mise en place d'un monitoring national de la ressource sol en Suisse ;
- formuler des recommandations sur les thèmes qui doivent être abordés en priorité et sur la manière dont ils pourraient être traités.

1.2 Grille thématique basée sur les fonctions du sol et les menaces sur le sol

Le sol est le fondement de notre vie. Il remplit de nombreuses fonctions importantes pour la société et les écosystèmes, dont la valeur monétaire est difficile à chiffrer, mais sans conteste très élevée. Le concept de fonctions du sol se concentre sur les prestations fournies par le sol – ou sur la quantité de prestation perdue quand les sols sont altérés ou complètement détruits. On distingue diverses sous-fonctions qui sont à leur tour regroupées. Le programme de recherche sur les sols (PNR 68) a proposé la classification des fonctions du sol suivante (Greiner et al. 2018, Keller et al. 2018) :

- Fonction de production
 - Agriculture
 - Sylviculture
- Fonction de régulation
 - Bilan hydrique
 - Bilan nutritif
 - Filtre des substances inorganiques
 - Filtre des substances organiques
 - Pouvoir tampon
- Fonction d'habitat
 - Plantes
 - Organismes du sol
 - Réservoir génétique et biodiversité

De plus, d'autres fonctions peuvent en être déduites, la valeur du sol – et du paysage – pour la récréation ou l'utilisation du sol pour la construction ou pour l'exploitation de matières premières par exemple. La société et l'économie posent des exigences multiples à la ressource sol. Dans la Suisse densément peuplée, cela entraîne obligatoirement des conflits d'objectifs. Le sol, en tant que ressource limitée, ne remplit ses fonctions à long terme que s'il est utilisé de manière durable et que les dégradations sont évitées, c'est-à-dire si sa qualité est préservée. Les sols détruits et construits ne contribuent plus aux fonctions écologiques. La question de savoir quelle quantité de sol peut être utilisée ou quelle quantité de (qualité de) sol doit être conservée est à la fois scientifique et sociale.

Les atteintes au sol altèrent les fonctions du sol. En Europe, huit principales menaces sur le sol ont été identifiées. Elles ne sont pas toutes pertinentes dans la même mesure pour la Suisse (Commission of the European Communities 2002, Krebs et al. 2017) :

- Érosion
- Perte de substance organique
- Contamination
- Imperméabilisation du sol
- Tassement du sol
- Perte de biodiversité
- Salinisation
- Glissement de terrain et inondation

Sur la base des menaces sur le sol et du concept de fonctions du sol, sept domaines thématiques ont été définis, selon lesquels les résultats des ateliers et le présent rapport sont structurés :

1. Structure du sol et sa dégradation (tassement compris)
2. Érosion
3. Humus
4. Polluants et substances étrangères
5. Azote/acidification
6. Biologie du sol/biodiversité
7. Quantité et qualité du sol (y compris fonctions du sol)

1.3 Instruments de monitoring

Un monitoring complet nécessite divers instruments, chacun prenant en compte des aspects différents du même thème. On distingue essentiellement quatre types d'instruments :

R	- Instruments de recensement du risque /du risque potentiel
A	- Instruments de recensement de l' ampleur de la menace, de l'état actuel
T	- Instruments de recensement de l' évolution dans le temps
E	- Instruments d' évaluation de R, A, T

Pour presque tous les thèmes considérés, les quatre catégories d'instruments sont nécessaires. Les instruments de monitoring peuvent être subdivisés (*Illustration 1*). Ainsi, certains instruments sont plutôt axés sur l'état actuel, d'autres sur l'évolution dans le temps – il existe toutefois des exceptions qui couvrent ces deux aspects. La génération de données est une caractéristique importante. Les indicateurs proxy et les modèles servent surtout à évaluer les risques et calculer des scénarios, alors que l'ampleur et la pertinence d'une menace ne peuvent souvent être déterminées que par la collecte de données sur le sol.

- Les **indicateurs proxy** sont des paramètres qui peuvent être dérivés de chiffres (le plus souvent statistiques) relativement faciles à obtenir, tels que les changements d'utilisation des terres selon la statistique de la superficie ou les chiffres de vente de pesticides. Les indicateurs proxy ne permettent qu'une estimation approximative.

- Les **modèles/modélisations** tentent de décrire les processus plus en détail et permettent par conséquent des déclarations plus précises et plus différenciées. Cependant, elles nécessitent de meilleures bases de données, plus détaillées. Les méthodes de télédétection sont souvent utilisées également.
- **Données du sol mesurées.** La collecte de données directement sur le terrain ou à l'aide d'échantillons de sol permet de déterminer l'état et/ou l'évolution dans le temps du sol. La cartographie des sols, mais aussi les programmes de monitoring à long terme tels que KABO et NABO, sont des exemples de collecte.

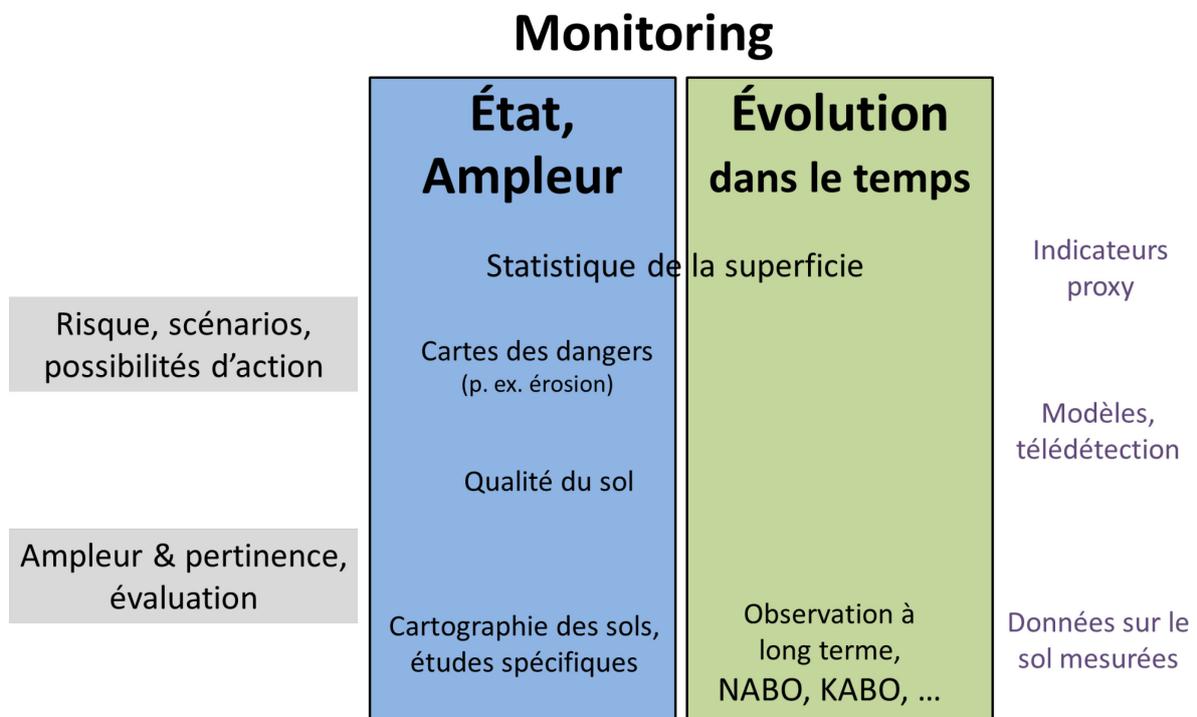


Illustration 1 : Classification des instruments de monitoring selon la source de données et l'objectif

2 Procédure et méthodologie

Le présent rapport a été élaboré selon un processus itératif (cf. *Illustration 2*). L'atelier organisé dans le cadre de la réunion technique sur la protection des sols en juin 2019 a servi à élaborer une grille de questions systématique pour différents thèmes. Lors de l'atelier suivant, dans le cadre de la séance plénière du Cercle Sol quelques trois mois plus tard, les questions de priorisation des thèmes et de l'organisation du monitoring des sols ont occupé le premier plan. Le rapport intermédiaire, rédigé sur la base des résultats des ateliers, a été discuté mi-janvier 2020 avec des représentantes et représentants des services cantonaux sélectionnés et mars révisé en fonction de leurs commentaires. Ensuite, les services cantonaux ont été consultés en mars et avril. Des informations détaillées sur la méthodologie et la procédure des différentes étapes de travail sont présentées dans les chapitres suivants.

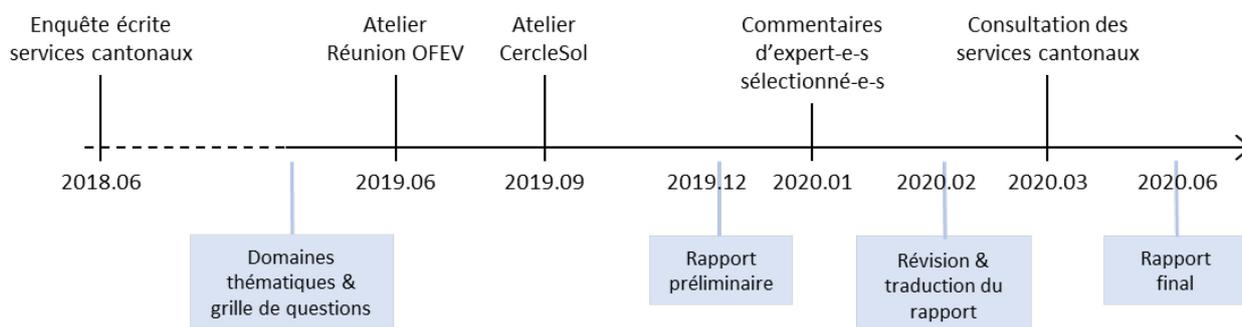


Illustration 2 : : Procédure d'élaboration du présent rapport.

2.1 Enquête auprès des services cantonaux de protection des sols 2018

D'avril à juin 2018, la direction du projet NABO a demandé par écrit aux services cantonaux spécialisés quels étaient les besoins et souhaits des cantons en matière de monitoring du sol. Une analyse statistique de cette enquête s'est révélée difficile en raison de questions ouvertes formulées de manière très générale. Toutefois un retour ouvert a été possible, même sur des aspects non abordés directement. Le taux de retour de seulement 70 % est moyen ; de plus les retours venaient presque exclusivement de Suisse alémanique. Les réponses parfois très complètes des cantons permettent cependant de déterminer où se situent les besoins d'optimisation.

Avec cette l'enquête, on a cherché à identifier les thèmes centraux pour le monitoring du sol. Les cantons ont dû juger les thèmes (ou menaces pour les sols) énumérés ci-dessous selon leur pertinence pour un monitoring du sol et s'exprimer sur leur exhaustivité :

1. Tassement
2. Érosion
3. Perte en humus
4. Polluants, PPS
5. Azote, éléments nutritifs, acidification
6. Biodiversité des sols
7. Changement de terrain, consommation de sol

Les réponses ont montré que les sept thèmes sont importants. De plus, divers autres thèmes ont été jugés pertinents. Ceux-ci peuvent cependant être considérés comme des aspects particuliers des autres thèmes, le thème « microplastique » peut être rattaché au thème « polluants » par exemple.

En ce qui concerne l'organisation, il a été demandé aux cantons si un groupe de monitoring réunissant la Confédération et les cantons devait être mis en place, sans préciser toutefois à quoi il ressemblerait et qui en serait responsable. La majorité des cantons participants ont répondu par l'affirmative, mais il y a eu également des réactions négatives et indécises. La crainte a été exprimée qu'un groupement entraîne des charges financières supplémentaires pour les cantons et concurrence ou cannibalise les travaux en cours dans les cantons. L'accord de la majorité et différents commentaires montrent que les services cantonaux souhaitent clairement un renforcement de la collaboration entre la Confédération et les cantons, d'égal à égal, et un soutien accru de la Confédération par la fourniture d'informations de base.

L'annexe 6.1 fournit une synthèse des réponses reçues à l'enquête sur les menaces sur le sol et sur la collaboration Confédération-cantons.

2.2 Réunion technique sur la protection des sols de l'OFEV

La réunion technique sur la protection des sols a eu lieu le 6 juin 2019 à Berne, avec 95 participants venant de services cantonaux, de la communauté scientifique, de groupes d'intérêt et d'associations professionnelles. Après des exposés introductifs, huit groupes thématiques ont travaillé sur une grille de questions. (Sur la base des résultats, cette structure en huit thèmes a été révisée afin que le rapport de synthèse repose sur sept domaines thématiques). Les groupes, composés de 10 à 15 membres, étaient dirigés chacun par deux à trois expertes ou experts venant de la communauté scientifique ou des cantons :

1. Tassement

Peter Weisskopf, Thomas Keller, Wolfgang Sturny

2. Érosion

Volker Prasuhn, Harry Ilg, Stéphan Burgos

3. Perte en humus

Jens Leifeld, Res Chervet, Pascal Boivin

4. Polluants inorganiques et organiques

Moritz Bigalke, Daniel Schmutz, Stéphane Westermann

5. Azote/acidification

Stephan Zimmermann, Gaby von Rohr

6. Biodiversité des sols

Sophie Campiche, Claudia Maurer-Troxler

7. Perte quantitative de sol

Silvia Tobias, Sébastien Gassmann

8. Changements du terrain

Guido Schmid, Markus Steger, Dominique Gärtner

Les expertes et experts ont reçu au préalable des informations préliminaires sous forme d'un guide (reader). La tâche des groupes était de répondre en deux heures aux questions de la grille suivante pour leur domaine thématique :

<i>I. Méthode de collecte</i>	<i>II Évaluation et instruments (modèles, méthodes)</i>	<i>III Exécution</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Comment la menace/la qualité du sol peut-elle être mesurée/recensée ? • Comment devrait-on recenser l'étendue spatiale de la menace sur le sol/de la qualité du sol ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe-t-il des valeurs de référence/d'intervention pour la menace/qualité du sol ? • Quels instruments d'évaluation existent ? Quelles sont leurs possibilités et leurs limites ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Qu'elle est la pertinence de la menace sur le sol pour l'exécution (p. ex. lois sur l'environnement et l'agriculture) ? • Quel est le véritable risque potentiel ? • Quelles est l'expérience en matière d'exécution ? Où existe-t-il des lacunes dans l'exécution ? • De quoi avons-nous besoin pour renforcer l'exécution ? • Quelle devrait être la répartition des tâches entre la Confédération et les cantons ?

Le bloc horaire de l'après-midi (70 minutes) était consacré au thème des « indicateurs ». Au sein des mêmes groupes que le matin, les participants ont été invités à citer les cinq indicateurs les plus pertinents pour leur thème respectif. Ils disposaient pour cela de la grille suivante :

Indicateur principal	<i>Méthode d'appréciation et d'évaluation</i>	<i>Arguments en faveur de ce choix</i>
Indicateur 1		
Indicateur 2		
...		

Les groupes ont noté leurs discussions sur des chevalets de conférence. Celles-ci ont été photographiées et sont consignées au chapitre 6.2.

2.3 Séance plénière du Cercle Sol

Seuls les représentantes et représentants des services cantonaux et les collaboratrices et collaborateurs de l'OFEV étaient invités à la réunion du Cercle-Sol du 12 septembre 2019 à Zurich. Trois questions ont été traitées dans trois blocs d'ateliers séparés, en parallèle à chaque fois par quatre groupes formés de manière spontanée.

- « Où faut-il fixer les priorités thématiques pour le monitoring des sols ? » Pour répondre à cette question, les groupes devaient établir un classement des 8 thèmes.
- « De quels moyens avons-nous besoin pour l'exécution ? »
- « Comment nous organisons-nous ? » (Quels acteurs remplissent quelles tâches ?)

A l'issue des travaux de groupes, une représentante ou un représentant de chaque groupe a présenté ses résultats. Les tableaux de conférence réalisés ont été photographiés et sont consignés au chapitre 6.3.

2.4 Consultation d'expert-e-s sélectionné-e-s

Mi-janvier 2020, des expertes et experts sélectionné-e-s des services cantonaux de protection des sols et de la Confédération¹ ont discuté d'un premier projet de rapport. Une révision a été effectuée sur la base de leurs commentaires. Les principaux points de discussion étaient :

- *Structuration du rapport en domaines thématiques* : Il s'est avéré que le thème « changement du terrain » concerne en premier lieu l'exécution et n'est donc pas pertinent pour le monitoring. Pour la suite des évaluations dans le présent rapport, il a donc été décidé de présenter les résultats de l'atelier de la réunion technique sur la protection des sols en rassemblant le thème « qualité et quantité du sol » et la menace « perte quantitative de sol ».
- *Risques potentiels* : Le tableau d'estimation des risques potentiels (chap. 3.3.2) a été discuté et révisé. L'évaluation du risque potentiel (faible, moyen, élevé) est basée sur les appréciations des expertes et des experts.
- *Lacunes de connaissances* : Le tableau de l'état des connaissances et de ses lacunes (chap. 3.3.3) a été établi sur la base des résultats de la réunion technique sur la protection des sols. L'évaluation des lacunes de connaissances a été discutée avec les expertes et experts et ajustée en fonction de leurs commentaires.

¹ Les experts suivants ont pris part à la discussion : François Fulleman (VD), Sébastien Gassmann (GE), Harry Ilg (UR), Corsin Lang (OFEV), Gerald Richner (CCE), Daniel Schaub (AG), Guido Schmid (SG), Wolfgang Sturny (BE), Gudrun Schwilch (OFEV), Gaby von Rohr (SO), Cécile Wanner (ZH), Fabio Wegmann (OFEV), Michael Zimmermann (OFAG) ainsi que les auteurs du présent rapport. La réunion était animée par Urs Steiger.

3 Résultats des ateliers (discussion)

3.1 Classification des résultats de la réunion technique sur la protection des sols

Lors de la réunion technique sur la protection des sols, plusieurs éléments de monitoring ont été proposés pour chaque thème. Ces éléments sont résumés et classés dans le chapitre suivant, dans le sens d'une interprétation des résultats des travaux de groupe. Les travaux de groupe sont consignés de manière aussi fidèle que possible dans le chapitre 6.2

Les personnes pressées peuvent passer directement au chapitre 3.2 qui résume les sous-chapitres suivant sous forme de tableau.

3.1.1 Tassement et structure du sol

Le thème « tassement du sol » respectivement « structure du sol » est très pertinent en ce qui concerne l'utilisation durable de la ressource sol. En raison du poids élevé des machines, le sol est de plus en plus dégradé, jusque dans ses couches profondes, par l'exploitation agricole et forestière. Outre l'impact direct du tassement – altération de la perméabilité à l'air et à l'eau et de la capacité de stockage d'eau – il y a aussi des effets indirects tels qu'une érosion accrue et une protection moindre contre les inondations.

Jusqu'à présent, l'Ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol) ne donne aucune indication concrète sur les méthodes de relevé ou les valeurs limites pour le tassement du sol. La législation agricole ne traite pas suffisamment non plus le problème des prestations écologiques requises (PER). Dans le cadre de l'atelier, les cantons et la communauté des chercheurs ont donc demandé des dispositions plus efficaces dans la législation sur la protection de l'environnement. Des valeurs limites absolues, différentes selon les sols et les profondeurs, sont jugées nécessaires. Mais la base de données requise fait largement défaut. Les premières propositions ont été faites dans le document 13 de la Société suisse de pédologie (SSP 2004) et dans le cadre du projet de recherche STRUDEL (Johannes 2016). Une aide de travail cantonale (Buchter & Häusler 2009) comprend aussi des valeurs indicatives et d'action pour divers paramètres physiques du sol, qui ne sont toutefois pas inscrites dans la loi.

Les zones où la structure du sol est déjà altérée doivent être délimitées dans l'espace. À cet effet, des paramètres physiques du sol tels que densité apparente, volume des pores grossiers, conductivité hydraulique, portance, et éventuellement la diversité des organismes du sol (analyses d'ADN), doivent être collectés ou estimés. En complément, des méthodes de terrain, telles que la mesure de la résistance mécanique du sol à l'aide d'un pénétromètre (sonde Panda p. ex.), peuvent être utilisées. Il est nécessaire de mener des recherches sur l'interprétation et l'évaluation de la résistance mécanique du sol. Lors de la consultation de ce rapport par les cantons, le test de la bêche a également été évoqué comme alternative aux mesures au pénétromètre.

En outre, il faut établir une carte du risque de tassement qui montre les zones menacées. Pour l'estimation du risque de tassement, des informations sur des propriétés du sol, telles que granulométrie et teneur en humus, sont nécessaires. Une estimation locale est déjà possible avec Terranimo (www.terranimoch). Pour une carte des risques, cependant, les propriétés du sol doivent être disponibles à grande échelle. Il existe de telles cartes à l'échelle cantonale, par exemple pour le canton d'Argovie en forêt (Morrier 2012). Au niveau national, la cartographie est nécessaire pour fournir cette base de données à l'échelle nationale. Puisque les propriétés du sol mentionnées ne changent que lentement, on obtient une carte statique du risque de tassement. Toutefois, le risque de tassement effectif varie fortement en fonction de la teneur en eau. L'objectif à long terme est donc une carte dynamique des risques liant le risque statique aux données d'humidité du sol en temps réel. Les données des réseaux de mesure de l'humidité du sol existants sont très précieuses à cet effet.

Un monitoring au sens propre à long terme peut se concentrer sur des régions prioritaires (points sensibles dans l'espace), c'est-à-dire sur des zones où le risque est accru ou/et la structure est déjà altérée. Pour cela, il faut observer les changements de la structure du sol au cours du temps. Comme indiqué ci-dessus, des méthodes et des valeurs limites uniformes doivent encore être développées.

Il est probable que la Confédération s'occupe des bases nécessaires (méthodes et valeurs limites) et de la base de données (carte des risques). Selon l'OSol, les cantons sont responsables de la surveillance des zones présentant un risque de tassement et de l'exécution. Pour l'exécution, il a été suggéré notamment d'adopter une approche uniforme dans toute la Suisse pour le compactage lié à l'exploitation, en coordination avec la législation agricole.

3.1.2 Érosion

Le problème de l'érosion des terres cultivées a été reconnu relativement tôt, entre autres grâce aux études effectuées dans le cadre du PNR 22 (Mosimann et al. 1990). L'ampleur de l'érosion du sol et le risque d'érosion ont été évalués à plusieurs reprises (Prasuhn V. & Schaub D. 1996, Prasuhn et al. 2007). La carte des risques d'érosion actuelle (CRE2 ; Gisler et al. 2010, 2011) permet une modélisation de l'érosion à l'échelle de la parcelle avec une résolution de 2 x 2 m². Pour les terres arables, l'OSol définit comme valeur de référence une valeur moyenne à long terme de 2-4 t/ha/a selon l'épaisseur d'enracinement du sol. L'Ordonnance sur les paiements directs (OPD) définit un évènement unique de plus de 2-4 t/ha comme phénomène d'érosion important. Contrairement aux terres arables, des études plus intensives de l'érosion dans les prairies n'ont été effectuées que ces dernières années. Depuis décembre 2019, des cartes mensuelles des risques d'érosion pour les prairies permanentes suisses sont disponibles en ligne (map.geo.admin.ch). Cependant, il n'existe pas encore de valeurs limites.

La CRE2 constitue une bonne base pour l'évaluation des risques. Toutefois, sa fiabilité varie d'une région à l'autre selon qu'il existe ou non une carte des sols et à quelle échelle (cantonale). Une cartographie à l'échelle nationale pourrait servir de base pour améliorer nettement la modélisation.

Alors que le niveau de connaissances en matière de risque d'érosion est déjà relativement bon, le recensement de l'érosion effective se limite à quelques surfaces pilotes et à des évènements isolés dans l'exécution. Certains services de protection des sols sont capables de relativement bien estimer l'ampleur de l'érosion dans leur région sur la base des signalements d'érosion qu'elles reçoivent. De nouvelles possibilités techniques, notamment la télédétection, devraient à l'avenir permettre de surveiller des zones plus étendues. À long terme, il s'agit de viser une étude de l'érosion à grande échelle. À l'aide de relevés à haute résolution de la surface du terrain et de ses changements dans le temps, on peut suivre la perte de sol au cours du temps.

Outre ces éléments de monitoring, d'autres mesures ont été proposées dans le cadre des travaux de groupe pour renforcer l'exécution. Les compétences au sein de l'administration varient d'un canton à l'autre, ce qui complique la collaboration. La coordination à l'échelle fédérale doit être améliorée. Il existe aussi un potentiel d'amélioration de la concordance entre protection des sols et des eaux ainsi qu'entre protection des animaux et des sols. Le thème de l'« érosion » devrait aussi être plus fortement ancré dans la formation des agriculteurs.

3.1.3 Humus

L'humus a une grande importance à deux titres : d'une part, la quantité et la qualité de la substance organique ont une grande influence sur les propriétés d'un sol et sur les fonctions qu'il peut remplir. La structure et la stabilité d'un sol, mais aussi sa teneur en éléments nutritifs et en eau, et par conséquent son aptitude agricole, sont fortement marquées par l'humus. D'autre part, les sols sont un réservoir important de carbone (C) dans le cycle global. Dans le contexte du changement climatique, l'intérêt principal est de savoir si les sols dans leur ensemble sont des sources ou des puits de C.

Il ressort des discussions de la réunion technique sur la protection des sols que les changements au cours du temps des stocks de C (org.) doivent être recensés, en distinguant sols minéraux et sols organiques. Il faut recenser l'étendue spatiale (état actuel et évolution dans le temps) des sols organiques et de leur affaissement (abaissement de la surface dû à la perte d'humus). L'étendue spatiale des sols organiques a été évaluée dans le cadre d'un projet du PNR 68 (Wüst et al. 2015). La fiabilité de ces cartes est toutefois variable d'une région à l'autre en fonction de la disponibilité des données de base.

Pour les sols minéraux, on peut s'appuyer sur les travaux des KABO et du NABO (Gubler et al. 2019), en renforçant la collaboration entre ces réseaux de mesure. De plus, d'autres sources de données telles que celles des PER doivent être exploitées. Cela permettrait d'augmenter massivement le nombre de jeux de données avec mesure des changements temporels sans travail de terrain supplémentaire. En complément des approches de monitoring directes, des modèles peuvent aider à étendre les observations en certains points à l'ensemble de la Suisse. Ces modèles sont basés notamment sur des informations sur l'exploitation agricole telles que le travail du sol, la fertilisation et les assolements, mais aussi sur des données météorologiques comme la température et les précipitations.

Il n'existe pas de valeur de référence ou d'orientation pour le carbone organique et l'humus. Une telle valeur n'est pas nécessaire pour déterminer si les sols sont globalement des sources ou des puits de C, elle l'est en revanche pour évaluer l'état actuel de surfaces données (utilisée pour l'agriculture en particulier). Une valeur de référence, ou un autre système d'évaluation approprié, pour l'humus doit absolument être recherchée, notamment au regard des incitations à la performance dans la politique agricole. Pour le système d'évaluation, diverses propositions existent, telles que la comparaison avec des sites de référence ou l'évaluation à l'aide du rapport entre la teneur en carbone et la teneur en argile (BioSA, *en préparation*). Des recherches sont encore nécessaires en la matière, en suivant les approches internationales.

3.1.4 Polluants et substances étrangères

Les polluants et les substances étrangères présents dans le sol altèrent ses fonctions et peuvent mettre en danger la santé humaine et animale. C'est probablement aussi la raison pour laquelle ce problème a été la première atteinte au sol réglementée par la législation sur la protection de l'environnement (Ordonnance sur les polluants du sol OSol de 1986). Les réseaux de mesure nationaux (NABO) et cantonaux (KABO, observation intercantonale des forêts) établis par la suite se sont d'abord concentrés sur les métaux lourds mentionnés dans l'OSol et sur quelques polluants organiques tels que HAP et PCB. En outre, diverses études d'état ont également été effectuées au niveau régional ou pour certaines utilisations des terres.

Il ressort nettement de l'atelier que les polluants et les substances étrangères sont toujours un thème central de la protection des sols et le restera à l'avenir. L'observation des sols doit être adaptée continuellement à l'évolution actuelle, à savoir être étendue aux nouvelles substances/groupes de substances. En Suisse, il y a un retard à combler surtout, mais pas seulement, en matière de polluants organiques. La fiche technique « polluants organiques » (Gubler et al. 2016) formule des recommandations à ce sujet. De l'avis des participants à l'atelier, les produits phytosanitaires (PPS), le microplastique, les résidus d'antibiotiques et les oligoéléments devraient être étudiés aussi dans les prochaines années. La situation actuelle autant que l'évolution dans le temps sont pertinentes. Par conséquent, des études d'état (relevés uniques) et, en fonction du constat, un monitoring à long terme (relevés répétés sur des sites fixes) sont nécessaires. Selon la question traitée, cela se fait aux points de mesure nationaux ou cantonaux existants (p. ex. NABO, KABO, observation intercantonale des forêts) ou sur de nouveaux sites. Pour la plupart des nouveaux polluants, on manque de données fiables sur l'écotoxicologie. Celles-ci doivent être élaborées par la communauté scientifique afin de pouvoir exploiter les résultats des études d'état et des programmes de monitoring. En même temps, selon le mandat de l'OSol, les séries chronologiques de la teneur en métaux lourds des sols, qui ont déjà commencé, doivent être poursuivies et l'évaluation des valeurs indicatives, de test et d'assainissement correspondantes doit être mise en œuvre.

Les approches de modélisation constituent un important complément au monitoring classique. D'une part, elles aident à évaluer les dangers des nouvelles substances. D'autre part, elles permettent d'estimer comment l'exposition à des polluants connus évoluera à l'avenir en fonction des développements et scénarios socioéconomiques possibles (modification des pratiques agricoles, nouvelles exigences légales etc.). De cette manière, les ressources généralement limitées de l'observation des sols pourront être utilisées efficacement. On peut citer comme exemples d'approches de modélisation l'observation des flux de substances à l'échelle de la parcelle (bilans de parcelles pour les sites de monitoring), de l'exploitation (indicateurs agroenvironnementaux) et de la région (p. ex. Della Peruta & Keller 2016). Pour une évaluation des risques encore plus générale, l'entrée totale de certaines substances/classes de substances peut être utilisée (indicateurs proxy, cf. chap. 1.3). Un indicateur parlant proposé pour le grand public est la charge polluante d'un panier-type moyen (ou sa toxicité).

À ce jour, la Confédération est responsable des bases et du recensement de l'exposition de fond, les cantons sont responsables de l'exécution et des sites pollués. Toutefois, la délimitation n'était/n'est pas toujours claire : certains cantons mettent en œuvre des programmes d'observation (KABO ; observation intercantonale des forêts) qui visent aussi cette exposition de fond. À l'avenir également, la Confédération doit être responsable des bases, en particulier pour la fixation de valeurs de référence. Ces valeurs ne sont pas disponibles pour les nouvelles substances/classes de substances ou sont encore à définir. La préparation de bases nationales sur l'ampleur de la pollution et le recensement de l'exposition de fond, complétés par des études cantonales/régionales des cantons sur des questions pertinentes, est également de la compétence de la Confédération. Un renforcement de la coordination et de la collaboration entre Confédération et cantons peut permettre d'utiliser ici des synergies. En particulier, des méthodes d'échantillonnage et d'analyse standardisées doivent être mises au point pour de nouveaux groupes de polluants tels que les produits phytosanitaires, les microplastiques, les résidus d'antibiotiques et les oligo-éléments. La surveillance des sols pollués et l'exécution de la protection des sols doivent rester l'affaire des autorités cantonales.

3.1.5 Azote et acidification

Les sols s'acidifient progressivement en raison de l'entrée d'acide via les précipitations. Il s'agit là d'un processus naturel qui est fortement accéléré par la libération de polluants atmosphériques anthropogènes tels que les oxydes d'azote (NO_x) et le dioxyde de soufre (SO_2). Dans les sols à faible pH, en particulier les sols forestiers, cela accélère l'acidification. En conséquence de l'acidification et de la disponibilité accrue d'azote (N), les forêts sont plus sensibles aux dégradations. Pour les forêts suisses, ces changements sont documentés, par exemple, par le programme intercantonal d'observation des forêts (Braun et al. 2018), les inventaires Sanasilva et la recherche à long terme sur les écosystèmes forestiers (LWF) du WSL (OFEV 2019c). De plus l'entrée d'azote issu de l'air modifie la composition en espèces des écosystèmes pauvres en éléments nutritifs tels que les prairies maigres et les tourbières. L'agriculture joue un rôle important avec les émissions d'ammoniac (NH_3) dans l'air et l'utilisation (excessive) d'engrais (engrais minéraux comme engrais de ferme). Les excédents d'azote passent du sol aux eaux de surface et souterraines.

Les entrées d'acides et d'azote dans les sols représentent un problème complexe qui englobe diverses sphères (atmosphère, eaux, sols, anthroposphère) et touche plusieurs disciplines. Ce problème a été identifié et étudié relativement tôt. Les entrées atmosphériques d'acides et de N sont observées indirectement depuis longtemps au moyen de mesures de la qualité de l'air par le Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL, OFEV 2019a) et les réseaux cantonaux. L'acidité des précipitations et les dépôts de N sont modélisés sur cette base (Seitler et al. 2016). Les critical loads (charges critiques, entrées tolérables maximales de N ; Rihm & Achermann 2016) permettent d'évaluer les dépôts de N attendus. Cette procédure est établie sur le plan international, mais peut encore être optimisée pour la Suisse selon les experts impliqués.

Les effets des entrées d'acides et de N peuvent être observés directement sur les sites de monitoring en suivant la valeur du pH et les cations dans la solution du sol ainsi que, là où c'est possible, le déplacement du seuil de calcaire dans le profil du sol. Les modifications des associations végétales donnent aussi des indications indirectes sur l'acidité et la teneur en éléments nutritifs. Il est judicieux de limiter ces méthodes relativement coûteuses aux zones/sols à risques accrus du fait d'entrées d'acides et de N, ce qui est notamment le cas des sols forestiers à faible pH.

Dans les sols utilisés pour l'agriculture, l'acidification est moins problématique que l'entrée trop élevée d'éléments nutritifs, due essentiellement à la fertilisation. Le risque de lessivage des éléments nutritifs dépend ici en grande partie des propriétés du sol. Les risques de lessivage d'azote dans les systèmes aquatiques peuvent être recensés par l'estimation des flux d'éléments nutritifs à l'aide de bilans et de modélisations à l'échelle de la parcelle, de la ferme et/ou de la région, le phosphore étant également intéressant. Le monitoring agro-environnemental (MAE ; OFAG 2018) fournit les données correspondantes. La surfertilisation des sols peut être aussi être observée indirectement par la mesure du nitrate dans les eaux d'infiltration et la nappe phréatique, par exemple à l'aide des résultats de l'Observation nationale des eaux souterraines (NAQUA ; OFEV 2019b) et d'autres réseaux de mesure. Dans une mesure limitée, les ordonnances agricoles régulent les apports en éléments nutritifs, par exemple via les directives des prestations écologiques requises (PER). Toutefois, il n'y a pas de limitation basée sur les charges maximales autorisées comme en Allemagne.

3.1.6 Biologie du sol et biodiversité

Les organismes du sol jouent un rôle central pour de nombreux processus dans l'écosystème. Inversement, la biologie du sol est fortement influencée par les propriétés du sol et son état. Les biocénoses des organismes du sol sont spécifiques au site et dépendantes de l'utilisation – les facteurs de stress tels que tassement, remise en eau, polluants et surfertilisation peuvent modifier la quantité et l'activité, mais aussi la composition des biocénoses. Les paramètres biologiques du sol reflètent donc l'état du sol.

Les études faunistiques (détermination des populations de vers de terre, collemboles, nématodes, etc.) et les paramètres microbiologiques globaux (biomasse microbienne et respiration basale) sont déjà utilisés depuis longtemps dans les relevés d'état et dans certains réseaux de mesures cantonaux (KABO) (cf. rapport annuel du groupe de travail BioSA du Cercle Sol). Depuis 2012, le NABO recense chaque année les paramètres globaux microbiologiques (NABObio ; Hug et al. 2018). En outre, des méthodes de génétique moléculaire permettent depuis quelques années de déterminer la composition du biome du sol, p.ex. bactéries, champignons, nématodes, sur la base de l'ADN extrait. Pour NABObio, outre les quantités d'ADN, les communautés bactériennes et fongiques sont également déterminées. Ces dernières ont déjà été recensées dans le cadre des relevés d'état (MIDIBO, échantillonnage par maillage en collaboration avec le monitoring de la biodiversité).

Il est ressorti des discussions de la réunion technique sur la protection des sols que les biocénoses du sol, en particulier leur évolution dans le temps, doivent être observées. Un tel monitoring comporte idéalement différents niveaux, de la macro et mésofaune à la microbiologie, et combine des méthodes classiques (études faunistiques et morphologiques et paramètres microbiologiques globaux) à de nouvelles techniques de génétique moléculaire.

Pour le monitoring, il est nécessaire d'évaluer l'état actuel (mesuré) des différents sites à l'aide de valeurs de comparaison et de référence. Pour les paramètres microbiologiques globaux, des bases d'évaluation spécifiques au site existent pour les sols agricoles (Oberholzer & Scheid 2007, BSA 2009). Pour les autres utilisations (p. ex. sols forestiers, de zones d'habitation), ces bases doivent encore être définies. Avec les approches de génétique moléculaire, on peut déterminer les biocénoses typiques du site, mais les bases de leur évaluation font cependant encore totalement défaut – que ce soit pour l'état ou pour l'évolution dans le temps. La compréhension des causes et des effets doit être développée et les relations entre les changements au sein des biocénoses et les facteurs de stress doivent être étudiées. Des approches expérimentales s'y prêtent.

L'objectif à long terme est un indicateur qui agrège les résultats des relevés pédobiologiques individuels en un paramètre. Celui-ci doit être facile à communiquer et permettre de montrer les changements au cours du temps.

3.1.7 Quantité et qualité du sol

Les sols imperméabilisés ne peuvent plus assurer aucune fonction du sol. Selon la statistique de la superficie (OFS 2019), la surface agricole a diminué de 1,1 m² par seconde entre 1985 et 2009, alors que la surface d'habitation augmentait de 0,8 m²/s. La statistique de la superficie montre de manière impressionnante la perte en surface de sol, mais elle ne donne aucune information sur la qualité des sols perdus. Les efforts visant à réduire la consommation de terres par l'aménagement du territoire sont restés timides jusqu'à un passé récent, et l'impact des mesures prises jusqu'ici est discutable. Les différentes qualités des sols ne sont que partiellement prises en compte, par la fixation de contingents minimaux pour les surfaces d'assolement.

La perte quantitative de surface, tel que recensé par la statistique de la superficie, est un indicateur proxy important. La résolution spatiale et temporelle doit cependant être nettement améliorée en combinant la méthodologie utilisée auparavant aux techniques modernes de télédétection (LandSat, Sentinel). Quatre recensements ont été effectués sur une période d'environ 40 ans avec une résolution de 100 x 100 m². Les satellites atteignent déjà aujourd'hui des résolutions de 10 x 10 m² avec plusieurs images par an.

Il est essentiel de prendre en compte à l'avenir non seulement la perte purement quantitative de surface, mais aussi la qualité des surfaces perdues. Les données nécessaires font défaut pour de nombreuses régions de Suisse et doivent être collectées dans le cadre de la cartographie des sols. Outre les surfaces agricoles et forestières, les sols des zones d'habitation notamment doivent aussi être recensés. En outre, il faut tenir compte du fait que les pertes quantitatives de terres peuvent être partiellement compensées par la mise en œuvre de l'obligation de valorisation (article 18 de l'OLED), par exemple par l'amélioration des sols anthropiques. C'est pourquoi la quantité et la qualité des sols doivent également être considérées dans le contexte de la remise en culture et de l'amélioration des sols ou du remodelage du terrain (voir chapitre 3.1.8).

Jusqu'à présent, il n'existe aucun indicateur accepté pour la qualité du sol ou sa perte. Celui-ci doit être facile à utiliser et à communiquer. L'utilisation d'un indice de qualité pédologique (points d'indice pédologique comme indicateur de la qualité et quantité du sol) dans les plans directeurs cantonaux et communaux a été discutée dans le cadre de l'atelier. La perte de points d'indice pédologique peut servir d'instrument de contrôle. Elle doit être réduite et limitée par unité de temps. Ce modèle est déjà pratiqué à l'étranger (Stuttgart) et a été mis en pratique au stade pilote dans le PNR 68 (Keller et al. 2018, Steiger et al. 2018). En ce qui concerne le choix des fonctions du sol et leur pondération pour un indice, un consensus doit encore être trouvé. Les points d'indice de qualité pédologique peuvent également être utilisés dans la planification pour déterminer les plus et moins-values, en lien avec la création d'une valeur ajoutée.

Un inventaire suivi dans le temps des surfaces d'assolement doit en outre montrer la qualité du sol, tant son état actuel que son évolution. Cet instrument de monitoring doit en particulier mettre en évidence une éventuelle dégradation des surfaces d'assolement. Une autre méthode citée était le recensement de la part d'espaces verts dans les zones urbaines, car ils sont importants pour le microclimat et la biodiversité. Cet instrument semble pertinent dans le contexte du monitoring du sol, le fait qu'il soit mentionné montre cependant que les sols urbains ne doivent pas être oubliés. Enfin, un inventaire des friches industrielles (combiné aux points d'indice de qualité pédologique) a également été proposé afin de ralentir les pertes de sols de bonne qualité.

3.1.8 Changements du terrain

Les résultats de la réunion technique sur la protection des sols et la discussion du projet préliminaire avec les expertes et experts a montré que le thème « changements du terrain » est peu pertinent pour le monitoring du sol. Les propositions et mesures élaborées concernent principalement l'exécution. Ce thème n'a donc plus été pris en compte pour la suite de la réalisation du rapport. Néanmoins, les résultats de la réunion technique sur la protection des sols sont résumés ici.

Lors de changements du terrain (y compris remise en culture), la qualité du sol risque d'être diminuée à court ou long terme, en raison d'un traitement inapproprié, d'un tassement, d'une mauvaise structure du sol ou du déplacement de contaminant par exemple. C'est pourquoi les changements de terrain nécessitent une autorisation. Toutefois, des changements de terrain sont parfois effectués (illégalement) sans autorisation. Quelques cantons ont documenté leur expérience en matière d'exécution dans des lignes directrices. Les cantons devraient renforcer leurs échanges afin d'harmoniser l'exécution. Les changements de terrain doivent suivre une procédure d'autorisation qualifiée avec des directives claires sur l'admissibilité des demandes. Les changements de terrain illégaux doivent être maîtrisés. En outre, des contrôles dans le temps du succès des changements de terrain réalisés ainsi que des poursuites et des sanctions cohérentes en cas de non-respect de l'obligation d'autorisation sont nécessaires.

Le nombre et l'ampleur des changements de terrain autorisés dans les cantons peuvent éventuellement être pertinents pour le monitoring. Lors de la consultation de ce rapport par les autorités cantonales, il a été suggéré que la remise en culture et sa qualité soient intégrées dans le monitoring national des sols.

3.2 Eléments de monitoring

Pour chacun des sept domaines thématiques traités, des éléments sont nécessaires pour recenser le risque. D'autres instruments montrent l'ampleur, d'autres encore visent l'évolution dans le temps. Enfin, il est nécessaire de disposer de critères d'évaluation reposant sur une base scientifique et/ou juridique. Les instruments de monitoring cités sont résumés dans le tableau ci-dessous pour les sept domaines thématiques.

Ci-après, les lettres R, A, T et E sont utilisées comme abréviations de risque, ampleur, évolution dans le temps et évaluation.

Thème	
R	- Instruments de recensement du risque /du risque potentiel
A	- Instruments de recensement de l' ampleur de la menace, de l'état actuel
T	- Instruments de recensement de l' évolution dans le temps
E	- Instruments d'évaluation de R, A, T

Tassement/structure du sol

R	- Carte des risques de tassement (d'abord statique, puis dynamique)	- Calculable point par point - Des données pédologiques à grande échelle sont nécessaires pour la carte : En partie disponible au niveau régional, une cartographie nationale des sols est indispensable pour la carte à l'échelle de la Suisse. - Pour les cartes dynamiques, des informations en temps réel sur l'humidité des sols ou sa modélisation doivent être disponibles. On peut faire appel pour cela aux réseaux de mesure de l'humidité des sols.
A	- Délimitation des zones où la structure du sol est dégradée	- A jusqu'ici inconnue ; une collecte de paramètres physiques du sol tels que densité apparente, volume des pores grossiers, conductivité hydraulique et portance est nécessaire. - En complément, la mesure de la résistance mécanique (pénétrömètre) doit être développée et établie afin de pouvoir évaluer le tassement directement sur le terrain.
T	- Monitoring de la structure du sol pour des zones sélectionnées	- Basé sur R et A
E	- Valeurs limites spécifiques au site et à l'horizon - Méthodologie uniforme	- Il existe des propositions de valeurs limites (aide de travail des cantons), non inscrites dans les lois - Les valeurs limites doivent être plus différenciées (spécifiques au site/à l'horizon)

Érosion

R	- Carte des risques d'érosion	- Disponible (CRE2), peut être améliorée, par exemple avec une carte nationale des sols
A	- Carte de l'érosion (recensement de l'érosion effective)	- Jusqu'ici, surtout relevés de surfaces pilotes individuelles, extension spatiale grâce aux nouvelles technologies telles que les drones
T	- Recensement de l'érosion au cours du temps par observation à haute résolution de la surface du terrain	- Probablement réaliste un jour en raison de l'évolution technique de la télédétection.
E	- Valeurs limites pour des pertes de masse maximales par unité de temps/événement	- Des valeurs limites existent pour les terres arables, encore à définir pour les prairies

Humus		
R	- Peut être déduit des données pédologiques et de l'exploitation	- État des connaissances régionales très variable, une cartographie nationale comblerait de grandes lacunes.
A	- Carte de l'humus pour la Suisse	- État des connaissances très variable au niveau régional, carte de l'humus pour les sols forestiers sur la base d'une modélisation géostatistique disponible, l'utilisation des données PER et/ou une cartographie nationale pourrait améliorer fortement la base de données
	- Inventaire des sols organiques	- Inventaire des sols org. réalisé dans le cadre du PNR 68, qualité très variable selon la région
T	- Variation du stock total de carbone - Perte de surface de sols organiques - Affaissement de la surface des sols organiques - Changement de la teneur en carbone des sols minéraux	Ces éléments de monitoring peuvent se baser sur les programmes existants (NABO, KABO, WSL) et exploiter de nouvelles sources de données telles que les données PER. Pour le recensement de l'affaissement, le développement technique de la télédétection sera déterminant.
E	- Schéma d'évaluation spécifique au site/valeurs de référence	- Évaluation requise avant tout pour les sols agricoles, diverses propositions, mais recherches encore nécessaires
	- Perte de carbone du sol tolérable maximale (objectif climatique)	- Du point de vue scientifique, la perte doit être réduite à un minimum et le but doit être d'accumuler du carbone dans le sol là où les teneurs sont faibles ; la limite supérieure est aussi une question politique
Polluants et substances étrangères		
R	- Chiffres de vente/d'utilisation	- Très général, indicateur proxy
	- Bilans/modélisation à l'échelle de la parcelle, de la ferme et/ou de la région	- Estimation du risque actuel et de son évolution pour des scénarios
	- Cadastre des sites pollués, périmètre de contrôle des déplacements de terrain	- Indications de risque
A	- En général : étude d'état pour les nouvelles substances/classes de substances	- Basé sur R
	- Microplastique	- Objet de travaux de recherche
	- Produits phytosanitaires (PPS)	- Recensement de A dans le cadre des plans d'action PPS (PA PPS). Il convient de noter que le PA PPS se concentre sur l'agriculture ; les applications non

		économiques peuvent parfois manquer.
	- Antibiotiques et résistances	- en cours
	- Oligoéléments	- Couvert (en partie au moins) avec des échantillons du maillage BDM et par des études cantonales.
T	- Monitoring à long terme (NABO, KABO, observation intercantonale des forêts) pour les substances/groupes de substances pertinents	- Choix de substances pour un monitoring à long terme basé sur R et A, doit être révisé en permanence
E	- Valeurs de référence, s'il y a lieu en fonction de l'utilisation	- Disponible la plupart du temps pour les « vieux » polluants, révision partielle et harmonisation de l'OSol avec les autres domaines législatifs - À définir pour les nouvelles classes de substances, sur la base entre autres de leur écotoxicologie

Azote/acidification

R	- Dépôts d'acide et de N sur la base des mesures de qualité de l'air	- Établi et reconnu
	- Flux d'azote (et de phosphore)	- Couvert par le monitoring agroenvironnemental (MAE), peut être optimisé
A	- Recensement des processus du sol (cations dans la solution du sol, seuil de calcaire) pour les zones à risque	- Basé sur R, modélisation en complément
T	- Monitoring des zones menacées d'acidification	- Basé sur R et A, hotspots régionaux
	- Lessivage de N et P dans les systèmes aquatiques	- En collaboration avec autres réseaux de mesure (NAQUA, NADUF, programmes cantonaux)
E	- Charges critiques en N et acides	- Établies au niveau national, peuvent être optimisées pour la Suisse
	- Charges maximales pour les substances, axées sur la prévention	- Applicable comme en Allemagne

Biologie du sol/biodiversité

R	- Influence de différents facteurs de stress (structure, éléments nutritifs, polluants, pH, climat)	- Les causalités font encore largement l'objet de recherches
A	- Une large base de données est nécessaire pour obtenir des valeurs comparatives spécifiques au site et à l'utilisation	- Partiellement disponible pour les paramètres microbiologiques globaux (champ, prairie) - Résultats de génétique moléculaire ponctuellement disponibles (Agroscope, WSL),

		Établissement de méthodes de référence et élaboration d'une base de données
T	- Observation sur le long terme des biocénoses (quantité, activité, composition) sur des sites fixes	- Combinaison de diverses méthodes classiques et nouvelles (faunistiques, paramètres globaux, génétique moléculaire)
E	- Valeurs comparatives spécifiques au site pour l'état actuel - Attribution des changements à des facteurs de stress (évolution dans le temps) - Indicateur pédobiologique agrégant les résultats des différentes méthodes	Grand besoin en termes de recherche, tant en ce qui concerne les références spécifiques au site que la compréhension des causes/effets de la biologie du sol

Quantité et qualité du sol

R	- Cartes des fonctions du sol	- Livrent des informations à grande échelle sur la qualité du sol, base pour la délimitation des sols particulièrement dignes de protection ou menacés
	- Estimation des pertes futures de surface et de qualité du sol résultant du zonage dans les plans d'affectation	- Applicable pour la seule perte de surface, pas de base de données pour la perte de qualité du sol
A	Principalement les mêmes instruments que pour T	
T	- perte de surface recensée avec la statistique de la superficie, complétée par télédétection - Pertes de surfaces d'assolement - Perte de qualité du sol, représentée en tant que points d'indice pédologiques	- Délimitation spatiale et temporelle peut être massivement améliorée, applicable techniquement - Réalisable avec recensement uniforme des surfaces d'assolement - Déjà pratiqué à l'étranger (modèle Stuttgart) et testé pour la pratique en Suisse dans le PNR 68. En ce qui concerne le choix des fonctions du sol et leur pondération pour un index, un consensus doit encore être trouvé. Base de données à élaborer dans le cadre d'une cartographie nationale des sols, disponible jusqu'ici seulement à l'échelle régionale
E	- Limitation de la perte de surface - Réduction ou limitation de la consommation au moyen des points d'indice pédologiques (perte de qualité)	De tels valeurs limites peuvent être fixées au niveau régional, cantonal et/ou national. La fixation de ces valeurs limites est une question sociale et politique !

3.3 Priorisation des thèmes

Pour hiérarchiser les différents thèmes, le présent rapport s'appuie sur trois points : sur les réponses des services cantonaux dans le cadre de la réunion du Cercle Sol d'une part, et sur l'estimation du risque potentiel (dans le cas où le thème concerné serait négligé) et des lacunes de connaissances d'autre part. Enfin, nous montrons quelles lacunes de connaissances pourraient être comblées par une cartographie nationale des sols. En outre, les objectifs et les orientations stratégiques de la stratégie des sols seront comparées avec la grille thématique du présent rapport.

3.3.1 Priorités thématiques des offices cantonaux (Atelier Cercle Sol)

La hiérarchisation des thèmes pour le monitoring a été discutée dans le cadre de l'atelier de la réunion plénière du Cercle Sol. Les résultats des groupes de travail sont documentés au chapitre 6.3.1 et sont traités et discutés ici. À cette fin, les priorités des groupes sont comparées et agrégées en une image globale. La grille thématique de l'atelier comportait encore huit thèmes à l'origine. C'est pourquoi le thème « changements du terrain » apparaît encore dans les résultats.

L'illustration 3 donne un aperçu des priorités telles quelles ont été fixées par les groupes. Le groupe A a fait la distinction entre priorité faible, moyenne et élevée. Pour les groupes C et D, les numéros de classement sont accordés par thème, 1 étant la priorité la plus élevée. Le groupe B pas ne voulait pas fixer de priorité et ne peut pas être pris en compte dans ce qui suit. Ce groupe a souligné que la priorité devait être établie en fonction du risque potentiel et des lacunes de connaissances

	Groupe	A	C	D.
Tassement		moyenne	5	2
Érosion		moyenne	5	2
Humus		moyenne	1	1
Polluants		élevée	organiques : 4 inorganiques : 8	1
Azote/acidification		faible	3	7
Biologie du sol/biodiversité		faible	6	1
Perte quantitative de sol		élevée	2	8*
Changements du terrain		faible	7	3

*Le groupe D a considéré que ce thème était « très important », mais l'a classé au dernier rang, car il ne relève pas de la compétence de l'OSol ou des services spécialisés.

Illustration 3 : Priorités pour les huit domaines thématiques : résultats des groupes de travail dans le cadre de l'atelier du Cercle Sol.

Pour rendre les résultats des trois groupes comparables, une distinction a aussi été faite entre priorité faible, moyenne ou élevée pour les groupes C et D. Les trois niveaux de priorités ont été attribués en fonction du classement. Comme les deux groupes ont utilisé l'échelle de 1 à 8 de manière très différente (le groupe D a attribué trois fois le rang 1, deux fois le rang 2, mais pas du tout les rangs 4 à 6), une conversion absolue n'a pas paru judicieuse. Le classement a donc été effectué de manière relative. Les 2 à 3 thèmes les plus importants de chaque groupe ont reçu la priorité « élevée », les déclarations des groupes au sujet de la priorisation relative devait être restituées aussi fidèlement que possible.

Le groupe D a placé le thème « perte quantitative de sol » au dernier rang, tout en précisant qu'il était « très important ». L'objection selon laquelle ce sujet ne relève pas de la compétence de l'OSol et des services de protection des sols est ignorée ici, parce que le présent rapport doit considérer le monitoring des sols de manière aussi libre que possible et que les conditions cadres peuvent être modifiées à l'avenir avec la révision de l'OSol. Sur la base des commentaires sans équivoque, la priorité de ce thème a été classée « élevée » pour le groupe D. Le groupe a fait la distinction entre polluants organiques et polluants inorganiques. Le groupe A a explicitement lié la priorité élevée du thème « polluants » aux nouvelles substances, nouvelles sources et voies d'entrée. C'est pourquoi la distinction a été faite entre polluants établis et nouveaux polluants lors de l'agrégation.

L'homogénéisation et l'agrégation des priorités donnent la vue d'ensemble suivante (*Illustration 4*) :

Groupe	A	C	D.	agrégé
Tassement	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
Érosion	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
Humus	moyenne	élevée	élevée	élevée
Polluants, établis		faible		faible
Polluants, nouveaux	élevée	moyenne	élevée	élevée
Azote/acidification	faible	élevée	faible	faible
Biologie du sol/biodiversité	faible	moyenne	élevée	moyenne
Perte quantitative de sol	élevée	élevée	élevée	élevée
Changements du terrain	faible	faible	moyenne	faible

Illustration 4: Priorités pour les huit domaines thématiques : résultats agrégés.

Les retours des groupes donnent une image étonnamment cohérente. D'après ceux-ci, les thèmes « **humus** », « **polluants** » et « **perte quantitative de sol** » ont une **priorité élevée** pour le monitoring. Il ressort explicitement des commentaires détaillés dans le cadre de l'atelier que la perte de sol se réfère en particulier à la perte en surface de sol de haute qualité. Pour les polluants, il est indiqué que les nouveaux polluants/groupes de polluants, de même que les nouvelles sources et voies d'entrée, doivent être traités en priorité. En particulier, des méthodes standardisées (tant pour l'échantillonnage que pour l'analyse) doivent être développées le plus rapidement possible pour les nouveaux polluants afin de permettre le monitoring. Les polluants établis tels que les métaux lourds sont considérés comme moins prioritaires pour le monitoring. Toutefois, la poursuite des séries chronologiques existantes est importante et doit continuer à être considérée.

Les thèmes « **tassement** », « **érosion** » et « **biologie du sol/biodiversité** » doivent être abordés avec une priorité moyenne. Alors que les deux premiers thèmes ont été évalué de façon très uniforme, l'évaluation pour « **biologie du sol/biodiversité** » varie de faible à élevée. Ces différences peuvent être dues à des perceptions différentes de la manière dont les méthodes de biologie du sol peuvent être utilisées et des avantages qu'elles procurent.

Une **priorité faible** a été accordée aux thèmes « **azote/acidification** », « **changements du terrain** » et, comme déjà mentionné, « **polluants établis** ». Le facteur déterminant pour le thème « **azote/acidification** » a probablement été le fait qu'il soit traité depuis longtemps et en particulier dans des domaines voisins (hygiène de l'air, qualité de l'eau). Un groupe a cependant accordé une priorité élevée à ce thème. Cela suggère que la priorité varie selon la région et que vraisemblablement les cantons particulièrement menacés donnent la priorité à ce thème. Le fait qu'il ne s'agisse pas d'un thème de monitoring classique a dû être un argument important pour attribuer une priorité faible au thème « **changements du terrain** ».

Comme l'ont fait remarquer quelques participants à l'atelier, la priorisation peut varier fortement d'une région à l'autre ou d'un canton à un autre. L'établissement de priorités au niveau national exige un certain degré d'abstraction.

3.3.2 Risque potentiel

Le risque potentiel a été estimé en termes d'étendue spatiale et de risque global dans le cas où le thème concerné serait négligé. L'évaluation de l'illustration 5 repose sur l'estimation des expertes et experts des services cantonaux de protection des sols.

Sur la base du risque potentiel, le thème « quantité et qualité du sol » apparaît comme le plus urgent pour le monitoring. Les expertes et experts consultés étaient unanimes sur le fait qu'un risque potentiel élevé existe et que toute la Suisse est touchée. Le risque potentiel des thèmes « structure du sol », « érosion », « humus » et « polluants/substances étrangères » est estimé « moyen-élevé ». Une plus grande différenciation entre ces quatre thèmes s'avère difficile, des études plus détaillées sont nécessaires pour cela. Pour les polluants, il faut penser que ceux-ci peuvent avoir des effets directs sur la santé humaine et animale. Ceci est un argument en faveur d'une priorité élevée. Comme la présence médiatique de quelques pesticides l'a montré, la société est très sensible à cette question. Les thèmes "biologie du sol/biodiversité" et "azote/acidification" présentent le plus faible potentiel de risque d'après l'évaluation ci-dessus. Ils ont cependant été classés comme « moyens ».

3.3.3 Lacunes de connaissances et avantages de la cartographie nationale des sols

Les discussions de la réunion technique sur la protection des sols ont également permis d'estimer les lacunes de connaissances (et aussi dans la mise en œuvre) pour les sept thèmes, réparties selon le risque, l'ampleur, l'évolution dans le temps et l'évaluation (Illustration 6). En outre, il est expliqué ci-dessous quelles lacunes de connaissances peuvent être réduites grâce à la cartographie nationale des sols.

Dans l'ensemble, les plus grandes lacunes de connaissances concernent le thème « quantité et qualité du sol ». Il manque aussi bien une base de données permettant d'évaluer les fonctions du sol qu'un instrument d'évaluation tel qu'un indice pédologique. Il existe de grandes lacunes dans les connaissances sur les polluants et les substances étrangères : pour les nouvelles substances/groupes de substances, on dispose pour la plupart de peu de connaissances concernant l'étendue actuelle, l'évolution dans le temps et leur évaluation. Il existe également un grand besoin en matière de recherche sur les paramètres biologiques du sol, notamment les méthodes de génétique moléculaire. Celles-ci ont le potentiel de fournir des informations sur la contamination globale du sol – les mesures de polluants individuels, en revanche, ne prennent toujours en compte qu'une contamination partielle. Il est nécessaire de disposer d'outils d'évaluation, tels que des valeurs de référence spécifiques aux sites (c'est-à-dire tenant compte des caractéristiques des sites telles que l'utilisation, le climat et les propriétés du sol), qui doivent encore être élaborés. On sait également peu de choses sur l'ampleur effective du tassement et de l'érosion et leur évolution dans le temps ; il en est de même pour l'humus, où les connaissances sont lacunaires notamment pour les outils d'évaluation.

La vue d'ensemble du chapitre 3.2 montre que beaucoup des éléments de monitoring décrits ont besoin de données sur le sol à grande échelle. Des efforts supplémentaires sont donc nécessaires de la part de la Confédération et des cantons pour activer la cartographie des sols. Le PNR 68 a montré de manière impressionnante le grand retard de la Suisse en matière d'informations sur les sols. La nécessité d'une cartographie complète des sols à l'aide de méthodes numériques de relevé innovantes est aussi l'un des principaux messages du PNR 68 (Steiger et al. 2018). En outre, une plateforme d'information sur les sols de Suisse (PIS-CH) servira de plaque tournante pour les données sur les sols. Elle doit aussi permettre d'évaluer les menaces sur le sol et sur ses fonctions.

	Risque	Étendue spatiale	Estimation du risque potentiel
Tassement/ structure du sol	Dégradation de la structure du sol, notamment par tassement, provoquant une perte de qualité du sol.	Zones à risque réparties dans toute la Suisse	moyen-élevé
Érosion	Perte de qualité du sol due à l'érosion	Zones à risque réparties dans toute la Suisse	moyen-élevé
Humus	Perte d'humus/de carbone organique, provoquant une perte de qualité du sol et des émissions de CO ₂	Suisse entière, régions sensibles avec gros risque potentiel de perte, sols organiques et sols avec cultures intensives notamment	moyen-élevé
Polluants et substances étrangères	Contamination (diffuse ou limitée localement), portant atteinte à la qualité du sol (particulièrement organismes vivants du sol) et/ou à la sécurité alimentaire et/ou mettant en danger les humains/animaux (toxicité).	Potentiellement toute la Suisse, risques accrus au niveau local ou régional dus à l'utilisation des terres ainsi qu'aux influences géogènes et anthropogènes (émissions)	moyen-élevé
Azote/ acidification	Acidification, eutrophisation, effets sur la faune et la flore, dégradation des eaux de surfaces et souterraines/de l'eau potable.	CH entière, zones à risque accru (sols forestiers à pH bas, zones d'engraisement intensif d'animaux)	moyen
Biologie du sol/ biodiversité	Modification des biocénoses, dégradation des fonctions du sol	CH entière, régions à intérêt particulier tels qu'écosystèmes particulièrement sensibles ou habitats rares	moyen
Quantité et qualité du sol	Perte de surface (sol irréversiblement détruit en cas de construction), perte de qualité de sol par perte de surface.	CH entière, généralisé	élevé

Illustration 5: Estimation approximative du risque potentiel pour les sept domaines thématiques. Cette estimation du risque potentiel repose sur l'enquête auprès d'expertes et experts de services cantonaux sélectionnés.

	Risque	Ampleur/état	Évolution dans le temps	Instruments d'évaluation
Tassement/ structure du sol	Méthodologie d'élaboration d'une carte du risque de tassement connue en principe, pas de base de données dans de nombreux endroits	estimation approximative possible, connu éventuellement à petite échelle, ampleur effective inconnue	estimation approximative possible, connu éventuellement à petite échelle, ampleur effective inconnue	des propositions de valeurs limites générales existent, valeurs limites spécifiques au site et à l'horizon à définir
Érosion	Carte des risques disponible (CRE2), peut être optimisée avec une meilleure base de données	Érosion recensée pour quelques surfaces pilotes, pas de recensement à grande échelle	Érosion recensée pour quelques surfaces pilotes, pas de recensement à grande échelle	Valeurs limites pour les terres cultivées disponibles, valeurs limites pour les prairies à définir
Humus	Méthodologie d'estimation du risque connue en principe, base de données nécessaires lacunaire	informations extensives pour quelques régions/cantons disponibles, pas pour les autres	sols minéraux plus ou moins couverts par NABO/KABO, état des connaissances sur les sols organiques insuffisant	Évaluation du changement climatique possible (modification du stockage de C), pour l'évaluation de la qualité du sol, il existe des propositions, des instruments, tels qu'une valeur de référence pour l'humus, doivent être développés.
Polluants et substances étrangères	Base/état des connaissances variables selon la substance/le groupe de substances, insuffisamment connu pour les nouvelles substances/groupe de substances	relativement bien étudié pour les substances réglementées dans l'OSol, inconnu pour les nouvelles substances/groupe de substances (en partie en cours d'élaboration)	relativement bien étudié pour les substances réglementées dans l'OSol, inconnu pour les nouvelles substances/groupe de substances (en partie en cours d'élaboration)	réglementé pour les polluants établis dans l'OSol, à développer pour les nouvelles substances/groupe de substances

Azote/ acidification		Les dépôts d'acides et de N peuvent être estimés sur la base des mesures de qualité de l'air, les flux d'éléments nutritifs et les risques associés recensés par le monitoring agroenvironnemental, optimisable	informations à grande échelle pour quelques régions/cantons disponibles, pas pour les autres	informations pour quelques régions/cantons disponibles, pas pour les autres	Instruments d'évaluation établis (charges critiques en N ou acides) ou applicables (charges maximales de précaution pour les éléments nutritifs), tous deux optimisables pour la CH
Biologie du sol/ biodiversité		Effets généraux sur la biomasse et l'activité partiellement inconnus, impact des facteurs de stress sur les biocénoses en majeure partie inconnu	certaines méthodes intégrées dans NABO/KABO, méthodes de génétique moléculaire en préparation, mais en général relativement peu de points de données (dans l'espace)	certaines méthodes intégrées dans NABO/KABO, méthodes de génétique moléculaire en préparation, mais en général relativement peu de points de données (dans l'espace/le temps)	Valeurs de référence partiellement disponibles (pour les paramètres microbiens globaux et les vers de terre), sinon grand besoin en matière de recherche, notamment en ce qui concerne les méthodes et indicateurs de génétique moléculaire
Quantité et qualité du sol		Prévisions des pertes de surface futures possibles, la perte de qualité du sol ne peut être estimée par manque d'informations à grande échelle à ce sujet	la statistique de la superficie livre des informations sur la quantité (surface), état actuel en termes de qualité du sol largement inconnu	la statistique de la superficie livre des informations sur la quantité (surface), évolution dans le temps de la qualité du sol inconnue	Évaluation des pertes en quantité possible, pas de base de données pour l'évaluation de la qualité du sol (et de sa perte) . De plus un consensus (scientifique/politique) doit être trouvé en ce qui concerne les instruments et la méthodologie (p. ex. sur l'agrégation en un indice pédologique)

Gamme de couleur : Estimation des lacunes de connaissances grandes moyennes faibles

Illustration 6 : Estimation approximative de l'état des connaissances (vert) et des lacunes de connaissances (rouge) en ce qui concerne le recensement du risque, de l'ampleur/l'état et de l'évolution dans le temps ainsi que l'évaluation pour les sept domaines thématiques. Le tableau est orienté sur les éléments de monitoring décrits au chapitre 3.2 et vise à représenter les lacunes de connaissances relatives à leur application.

L'illustration 7 montre les avantages d'une cartographie des sols à l'échelle nationale pour les éléments de monitoring décrits ci-dessus. Une cartographie des sols avec une gamme étendue et adaptée de propriétés du sol mesurées est utile pour les sept thèmes, en particulier pour estimer le risque respectif, mais aussi pour recenser l'ampleur et l'évolution dans le temps. Des données généralisées sur les sols sont indispensables si, en plus de la perte pure de terres, on veut recenser la perte de qualité et des fonctions du sol. La cartographie fournit les bases pour l'évaluation des fonctions du sol. Ces informations, combinées à des informations issues de l'aménagement du territoire, les plans d'affectation communaux par exemple, permettent de représenter l'état actuel et le risque de perte future. En les combinant avec les données (optimisées) de la statistique de la superficie, on peut suivre l'évolution dans le temps.

La cartographie nationale des sols est également très utile pour déterminer le risque pour les sept thèmes. Lorsque de bons outils d'évaluation des risques, tels que la carte des risques d'érosion (CRE2), existent déjà, ils peuvent être encore améliorés. Dans d'autres domaines thématiques, ce sont les données sur les sols à grande échelle qui rendent l'évaluation des risques possible en premier lieu. Pour les polluants, le risque dépend essentiellement des voies et des quantités d'entrée et du comportement environnemental de ces substances, mais aussi des propriétés du sol.

Pour les thèmes « structure du sol », « humus » et « azote/acidification », l'ampleur et l'état actuel pourraient être déduits d'une cartographie des sols, qui est donc très utile à cet égard. Les cartes des sols sont d'un grand soutien pour le monitoring des autres thèmes. On peut en déduire quelles zones doivent être traitées en priorité. Des informations sur le sol à grande échelle permettent également de mieux délimiter les zones où l'évolution dans le temps peut être recensée le plus efficacement.

Outre les données d'une cartographie nationale des sols, d'autres sources de données, les données du sol recensées dans le cadre des PER par exemple, peuvent et doivent être utilisées.

Grande utilité, carte des sols nécessaire

La carte des sols facilite l'accomplissement des tâches

	Risque	Ampleur, état	Évolution dans le temps	Évaluation
Structure du sol	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité
Érosion	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité
Humus	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité
Polluants et substances étrangères	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité
Azote/acidification	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité
Biologie du sol/biodiversité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité
Quantité et qualité du sol	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité	Grande utilité

Illustration 7: Utilité et besoin d'une cartographie nationale des sols pour les éléments de monitoring.

3.3.4 Comparaison transversale avec les priorités de la Stratégie pour le sol

L'OFEV, en collaboration avec d'autres offices fédéraux intéressés (ARE, OFROU, OFEN, OFAG, Swisstopo) et les cantons, a élaboré une stratégie nationale pour le sol qui doit être adoptée en 2020 (Conseil fédéral suisse 2020). Elle est centrée sur la vision de préserver les fonctions du sol à long terme afin que les générations futures puissent également en bénéficier.

La stratégie définit des objectifs pour différents thèmes et en déduit des orientations stratégiques. La grille thématique est orientée sur l'utilisation des sols (agriculture, forêt, etc.). Le rapport compare les objectifs et les orientations stratégiques de la stratégie pour le sol avec la grille thématique utilisée dans le présent rapport (cf. annexe 6.5). Alors que les objectifs de la stratégie pour le sol sont formulés en termes généraux et ne peuvent être attribués aux sept thèmes que de manière générale, les orientations stratégiques sont plus concrètes et peuvent être rattachées aux différents éléments de monitoring au sein des thèmes.

Un ou plusieurs objectifs de la stratégie pour le sol peuvent être attribués à chacun des sept thèmes du présent rapport. Par conséquent, tous ces thèmes sont pertinents selon la stratégie pour le sol. L'analyse des orientations stratégiques montre une image plus différenciée (Illustration 8) : La stratégie met l'accent sur la perte quantitative de sol. Il est demandé de prendre en compte les fonctions du sol, notamment de créer des instruments permettant de tenir compte de la perte de qualité du sol dans l'exécution et l'aménagement du territoire. La stratégie se concentre également sur les instruments qui aident à identifier le risque ou la menace, notamment en ce qui concerne le tassement, l'érosion, les polluants et les substances étrangères. Selon la stratégie, il faut en outre suivre l'évolution dans le temps pour toutes les atteintes portées au sol. Pour ce faire, on doit d'abord en connaître l'ampleur (état actuel), même si cela n'est pas toujours indiqué explicitement dans la stratégie. Comme dernier point important, la stratégie pour le sol préconise des éléments d'évaluation, notamment du tassement, de l'humus et de la biologie du sol.

	Risque	Ampleur, état	Évolution dans le temps	Évaluation
Structure du sol				
Érosion				
Humus				
Polluants et substances étrangères				
Azote/acidification				
Biologie du sol/biodiversité				
Quantité et qualité du sol				

Illustration 8 : Comparaison des orientations stratégiques de la stratégie pour le sol avec la grille des éléments de monitoring du présent rapport (cf. annexe chapitre 6.5 pour les détails). Sont colorés les domaines pour lesquels la stratégie pour le sol définit des orientations stratégiques.

3.3.5 Conclusion

Compte-tenu de tous les aspects abordés, il faut accorder une priorité très élevée au thème « quantité et qualité du sol ». Il y a beaucoup de retard à combler en ce qui concerne la base de données et les instruments d'évaluation afin de pouvoir recenser à l'avenir, outre la perte pure de terres, également les pertes en qualité du sol associées. Ce thème dépasse largement la sphère d'influence de l'OSol et implique de nombreux acteurs.

Le risque potentiel a été estimé « moyen-élevé » par les expertes et experts des services cantonaux consultés pour quatre thèmes de monitoring, à savoir « polluants et substances étrangères », « humus », « érosion »

et « structure du sol ». La considération des lacunes de connaissances révèle la nécessité d'agir : pour les polluants et substances étrangères, on manque d'informations sur les nouvelles substances/groupes de substances en ce qui concerne le risque, l'ampleur et l'évolution dans le temps, mais aussi leur évaluation. En ce qui concerne l'humus, la base de données est nettement moins bonne pour les sols organiques que pour les sols minéraux. Une autre grande lacune est l'absence d'instruments d'évaluation établis, pour les sols minéraux comme pour les sols organiques. En ce qui concerne les thèmes « érosion » et « structure du sol », il est nécessaire d'agir principalement pour le recensement de l'ampleur effective et de l'évolution dans le temps.

Le thème « biologie du sol/biodiversité » est considéré comme aussi urgent que les quatre thèmes cités ci-dessus par les auteurs du rapport et certains des expertes et experts impliqués. Le risque potentiel a bien été jugé plus faible (« moyen ») par les expertes et experts, mais il existe de grosses lacunes de connaissances et un grand besoin en matière de recherche pour tous les critères (risque, ampleur, évolution dans le temps, évaluation). Au regard du risque potentiel et des lacunes de connaissances, le thème « azote et acidification » semble le moins urgent. Cela ne signifie cependant pas que ce thème puisse être négligé. Il existe un potentiel d'amélioration – et surtout des spécificités régionales – en particulier dans le contexte des sols utilisés pour l'agriculture et leur teneur en éléments nutritifs.

3.4 Organisation

Un monitoring de la ressource sol à l'aide de la cartographie des sols, d'études d'état et d'observations à long terme sur des sites sélectionnés implique divers acteurs administratifs et scientifiques au niveau national et cantonal. Il est donc essentiel de définir clairement les tâches et les compétences des différents acteurs et de spécifier comment ils doivent collaborer. L'organisation des différentes activités a été discutée lors de l'atelier de la séance plénière du Cercle Sol. Il s'est avéré que de nombreuses questions restent ouvertes et qu'il est nécessaire de poursuivre la discussion. En particulier, la Confédération et les cantons devraient discuter directement de la répartition des tâches et de la collaboration et fixer des règles contraignantes. Le temps presse en raison de l'évolution constante des conditions cadres, en ce qui concerne la réorganisation du monitoring au niveau national, la phase de mise en place du Centre national de compétences cantonales pour les sols (CCSols) en tant que nouvel acteur ou la réorganisation des offices cantonaux compétents par exemple.

Les acteurs à prendre en compte et leurs principales activités sont présentés ci-après (chap. 3.4.1), puis un portrait du CCSols récemment créé et de ses tâches est dressé (chap. 3.4.2). Suit une proposition de répartition des tâches et de collaboration entre les différents acteurs (chap. 3.4.3). Lors de l'atelier, on a demandé aux représentantes et représentants des services cantonaux comment la Confédération et les cantons doivent s'organiser et de quels moyens ils ont besoin pour l'exécution. Outre de nombreuses suggestions en matière d'exécution, ils ont aussi donné des indications sur l'organisation. Les résultats de la journée du Cercle Sol sont consignés à l'annexe 6.3. Vous trouverez une synthèse des moyens nécessaires à l'exécution en annexe 6.4.

La proposition de répartition des tâches et de collaboration entre la Confédération, les cantons et les autres acteurs à la fin de ce chapitre résume les conclusions des ateliers et des discussions qui ont suivi. Celle-ci n'est pas définitive, mais constitue la base de la poursuite du dialogue.

3.4.1 Acteurs et activités

Pour le monitoring de la ressource sol – comprenant la cartographie des sols, l'exécution et l'observation des sols – différents acteurs contribuent de manière importante à différents niveaux. La liste ci-dessous en donne un aperçu – non exhaustif.

Niveau	Acteur/activité	Description/remarques
Cantons		
	Offices cantonaux et exécution	Ressources humaines/financières très différentes Les outils pratiques pour l'exécution ont été développés à l'échelle cantonale (p.ex. cartes indicatives « sols anthropogènes », périmètre de contrôle sol entre autres)
	Réseaux cantonaux d'observation/de surveillance des sols (KABO)	Certains cantons pratiquent (parfois regroupés avec d'autres cantons) leur propre monitoring du sol, dont l'étendue et l'orientation varient fortement en fonction des problèmes de protection des sols posés.
	Observation intercantonale de la forêt	L'Institut de biologie végétale appliquée (IBA) effectue un monitoring de la forêt qui comprend aussi des paramètres du sol.
	Réseaux de mesure de l'humidité du sol	Différents cantons exploitent des réseaux de mesure de l'humidité des sols (p. ex. https://centibar.ch)
Confédération		
	Office fédéral de l'environnement (OFEV)	Art. 3 al. 1 OSol : L'OFEV exploite un réseau de référence national pour l'observation des atteintes portées au sol (NABO) en collaboration avec l'OFAG.
	Office fédéral de l'agriculture (OFAG)	Art. 3 al. 1 OSol : L'OFEV exploite un réseau de référence national pour l'observation des atteintes portées au sol (NABO) en collaboration avec l'OFAG.
	Office fédéral du développement territorial (ARE)	Bases et stratégies du développement spatial et des transports, statistiques des zones de construction, inventaire des surfaces d'assolement.
	Autres offices fédéraux intéressés	Office fédéral de l'énergie (OFEN), Office fédéral de la statistique (OFS ; statistique de la superficie entre autres), Swisstopo, Office fédéral des routes (OFROU) ...
	Observatoire national des sols NABO	Exploité conjointement par l'OFEV et l'OFAG, implanté à l'Agroscope Reckenholz.
	Programme LWF du WSL	Observation à long terme de sols forestiers sélectionnés
	Autres programmes nationaux de monitoring tels que NAQUA, NADUF, NABEL, monitoring des mousses, monitoring de la biodiversité (MBD)	
	Autres programmes de monitoring cantonaux/nationaux	
	NABODAT/Centre de services NABODAT	Système national d'information pédologique

Centre national de compétences pour les sols (CCSols)	En construction jusqu'à fin 2020, porté conjointement par l'OFEV, l'ARE et l'OFAG, domicilié à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) à Zollikofen (cf. chap. 3.4.2)
Essai interlaboratoires	Garantie de la qualité pour les méthodes citées dans l'Osol

Interface cantons/Confédération

Cercle Sol et ses groupes de travail	Groupement de spécialistes cantonaux de la protection des sols de la Confédération et de la Principauté du Lichtenstein, centre de contact et de coordination pour les questions d'exécution en matière de protection des sols
- 4 groupes régionaux	Cercle Sol NWCH, Cercle Sol Ost, Cercle Sol ROSOL, Cercle Sol ZCH,
- AGIR	Groupe de travail « valeurs d'intervention et évaluation du risque »
- BioSA	Groupe spécialisé « biologie du sol – application »
- VBPhy	Groupe spécialisé « protection du sol contre les attaques physiques »
-Groupe spécialisé humidité des sols	Échange/collaboration sur l'humidité des sols
- Groupe de travail KABO	Échange sur l'observation des sols

Communauté scientifique

EPF et leurs instituts (EAWAG, EMPA, WSL, ...)	
Universités	Bâle, Zurich, Lausanne, Neuchâtel, entre autres
Hautes écoles spécialisées	Divers regroupements dans les régions
FiBL	Institut de recherche de l'agriculture biologique
Agroscope	Institut de recherche agricole de la Confédération
IBA	Institut de biologie végétale appliquée

Conseil

Offices cantonaux/centres de formation	p. ex. Centre agricole Ebenrain, Strickhof, et autres
AGRIDEA	Centrale de vulgarisation agricole des services cantonaux
Associations professionnelles	p. ex. Union maraîchère suisse

Parties prenantes (non exhaustif)

Monde politique	
Agriculture	
Aménagement du territoire	

Sylviculture	
Protection des eaux	
Associations environnementales	
Société civile	Utilisateurs du sol et personnes intéressées

3.4.2 Centre de compétences pour les sols (CCSols)

Le CCSols est un service national spécialisé de la Confédération et des cantons récemment créé et actuellement au stade de la mise en place. Le CCSols doit améliorer les bases pour l'exécution des mesures d'utilisation durable et de protection efficace des sols. À cet effet, le centre de compétences coordonne et standardise des méthodes et des instruments de collecte, d'évaluation et de préparation d'informations sur le sol en Suisse. Les principaux objectifs du centre de compétences pour les sols sont :

- l'uniformisation et le développement de méthodes de collecte et d'analyse des propriétés du sol
- la fixation de normes techniques pour la cartographie des sols
- la mise en place et l'exploitation d'une plateforme d'informations et de services pour la Confédération, les cantons et les organisations privées
- Mise à disposition de méthodes d'évaluation d'informations sur le sol orientées vers le client et de bases de décision pour différentes disciplines, groupes de besoins et domaines d'exécution

Le CCSols favorise le dialogue interdisciplinaire entre les services spécialisés de la Confédération et des cantons de même qu'entre les spécialistes de l'environnement, de l'agriculture et de l'aménagement du territoire. Il se positionne en bâtisseur de ponts et passerelle entre la recherche, l'exécution et la pratique et doit d'abord fournir un service aux acteurs cités. Cela signifie en premier lieu de fournir aux cantons les bases pour l'exécution et de les mettre à jour régulièrement d'après l'état actuel de la technique. Le CCSols n'est pas un institut de recherche, mais il travaille en étroite collaboration avec la recherche pour le développement de méthodes. La répartition du travail entre le CCSols et les instituts de recherche existants dans le domaine « sol » est donc claire (voir tableau ci-dessus). Contrairement au secteur privé, le CCSols ne réalise pas de travail standard de cartographie sur le terrain, mais coordonne le travail des bureaux d'ingénieurs qui cartographient sur mandat des cantons et veille à garantir la qualité.

Le CCSols est géré par les trois offices fédéraux ARE, OFEV et OFAG à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) à Zollikofen. Les cantons participent à sa direction par l'intermédiaire des conférences des chefs de services de l'agriculture (CDCA) et de l'environnement (CCE). L'ARE, l'OFAG et l'OFEV financent une phase de construction de deux ans depuis 2019, la phase d'exploitation devant commencer en 2021.

3.4.3 Répartition des tâches et collaboration

À la journée du Cercle-Sol, l'OSol et la répartition des tâches définie dans celle-ci ont été maintes fois évoquées dans la discussion au sujet de la « répartition des tâches entre la Confédération et les cantons ». Selon l'ordonnance, la Confédération est responsable de l'observation des atteintes portées au sol, l'exploitation par le NABO est explicitement mentionnée. Le suivi des atteintes portées au sol en revanche incombe aux cantons. Toutefois, la Confédération est chargée de créer les bases nécessaires à cet effet. L'OFEV doit également conseiller les cantons en matière d'évaluation des atteintes portées au sol ou à la fertilité du sol. L'exécution est en général l'affaire des cantons.

Cette répartition des tâches est généralement considérée comme judicieuse. Toutefois, la pratique montre que la répartition des tâches exposée ci-dessus laisse une large marge de manœuvre en termes de contenu et que les travaux nécessaires ne sont pas suffisamment définis. Par exemple dans quelle mesure la cartographie des sols fait-elle partie des bases devant être fournies par l'OFEV et l'OFAG. La démarcation entre l'observation des sols et la surveillance des sols est également une question d'interprétation, comme le montre l'orientation différente du KABO en termes de contenu. De plus, tous les thèmes abordés dans ce rapport ne sont pas non plus inclus dans une définition si ouverte de la répartition des tâches entre la Confédération et les cantons. En particulier, il n'y a pas d'indication sur le monitoring de la perte quantitative de sol et de la perte de qualité associée. Au niveau fédéral, l'ARE devrait aussi être impliqué dans le monitoring à côté de l'OFEV et de l'OFAG. Le CCSols est porté conjointement par ces trois offices fédéraux (cf. chapitre 3.4.2). À l'époque des deux ateliers de 2019, le CCSols en était à la première phase de son développement et seule une minorité des participants était informée de l'état et des buts du CCSols, si bien qu'il a été très peu abordé dans les discussions sur la répartition des tâches.

Le tableau ci-dessous reflète les discussions sur la répartition des tâches pendant les ateliers. La répartition optimale entre Confédération et cantons doit être définie plus précisément, des efforts supplémentaires en la matière sont nécessaires.

Domaine	Tâches	Responsabilité
Bases scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> - Développement de méthodes (collecte de données, analyse, ...) - Pertinence et menace par de nouvelles substances - Bases pour les valeurs limites 	<p>Confédération</p> <p>Le CCSols coordonne les travaux de recherche nécessaires, qui sont effectués par des institutions scientifiques (EPF, WSL, Agroscope, hautes écoles spécialisées, universités entre autres)</p> <p>NABO et KABO peuvent le cas échéant soutenir les projets de recherche nécessaires</p>
Bases juridiques	<ul style="list-style-type: none"> - Législation au niveau de la loi et de l'ordonnance - Aide de travail et à l'exécution pour l'harmonisation et la précision 	OFEV, OFAG et ARE en concertation avec les cantons
Harmonisation/coordination	<ul style="list-style-type: none"> - Application des bases scientifiques développées 	Départements spécialisés des offices fédéraux, Cercle Sol et ses groupes de travail, offices cantonaux, CCSols (cf. ci-après, interface Cercle Sol/CCSols)
Collecte des données	<ul style="list-style-type: none"> - Cartographie des sols 	<p>Organisation et mise en œuvre : coopération avec la Confédération (OFEV, OFAG, ARE), les cantons, le secteur privé.</p> <p>Méthode : spécification de la méthodologie selon l'état de la technique effectuée par le CCSols et projet de révision de la classification des sols de Suisse (projet Rév.CLASS)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring à long terme 	<p>Par NABO à l'échelle nationale, avec le soutien des KABO au niveau régional</p> <p>La collaboration NABO/KABO doit être renforcée, p. ex. par des interprétations et</p>

		<p>évaluations conjointes, concertation sur le contenu de l'orientation des réseaux de mesure</p> <p>Le NABO conseille les cantons</p>
	- Surveillance des sols, changements du terrain, remises en culture, protection des sols lors de la construction	<p>Offices cantonaux</p> <p>En coopération avec les cantons, la Confédération assure les bases nécessaires à l'exécution par le biais de directives</p>
	- Études spécifiques, recensement de l'état	<p>Collecte de données relatives aux questions/problèmes actuels au cas par cas par le NABO, les cantons, les institutions scientifiques, coordonnée par le CCSols. De telles études sont généralement effectuées dans le cadre de projets de recherche, ce qui fait que cette tâche recoupe le domaine « bases scientifiques » (cf. ci-dessus) C'est donc la Confédération qui est compétente en règle générale</p>
Gestion des données	- Gestion, harmonisation et préparation des données d'exécution, d'observation des sols et de cartographie.	<p>La Confédération soutient les cantons dans la gestion des données via NABODAT et son centre de services. La gestion des données constitue un module du CCSols</p> <p>Le CCSols gère à l'avenir un portail de données national avec divers catalogues.</p> <p>Les cantons gèrent leurs propres portails GIS</p>
Évaluation	- Instruments d'évaluation de l'état actuel et de son évolution dans le temps	<p>Le Cercle Sol et ses groupes de travail, directives et aides à l'exécution, en coopération avec la Confédération et le canton. Conseil et soutien au moyen de bases pour l'exécution – là où cela est possible – par CCSols et d'autres acteurs (Agridea, Agroscope entre autres).</p> <p>Les offices fédéraux sont responsables de l'ancrage juridique de ces instruments le cas échéant. Les points « bases scientifiques » et « bases juridiques » ci-dessus doivent donc être aussi pris en compte.</p>
Communication	- Communication	<p>Résultats au niveau fédéral par les offices fédéraux. Concept faitier de communication de l'OFEV pour un large public. Communication pour le groupe cible des « experts » par la CCSols ; les instruments de communication doivent être développés par le CCSols.</p> <p>Résultats au niveau cantonal par les canaux de communication existants (p.ex. CCE,</p>

	CDCA, COSAC). Résultats des travaux communs de la Confédération et des cantons, pour autant que cela soit possible et judicieux, conjointement via les Cercle Sol et ses groupes de travail
- Information du public au moyen d'un système d'indicateurs compréhensible	Confédération Coordination par CCSols et NABO

Collaboration KABO/NABO : une clarification est nécessaire en ce qui concerne les tâches des KABO et leur démarcation par rapport à NABO. Certains cantons gèrent un KABO, parfois à grands frais. D'autres y renoncent totalement. Six cantons de Suisse centrale se sont regroupés pour former le réseau de monitoring KABO Z-CH. Au cours de la discussion de l'atelier du Cercle-Sol, la question s'est posée de savoir si la distinction actuelle entre contamination de fond (NABO) et risque accru (KABO) est toujours adéquate. Il y avait consensus sur le fait que la collaboration entre programmes de monitoring nationaux et cantonaux doit être renforcée. Le groupe de travail KABO du Cercle Sol pourrait être davantage utilisé pour les activités et évaluations communes. Une autre possibilité serait que la Confédération reprenne des tâches des réseaux d'observation cantonaux, sites individuels et/ou thèmes, ou certaines étapes de travail telles que l'évaluation.

L'expérience montre que les cantons disposent de ressources limitées pour l'évaluation des données collectées par l'observatoire cantonal. La plupart du temps, ils délèguent ces travaux à des bureaux privés. Une évaluation centralisée de ces données par la Confédération pourrait décharger les cantons et contribuer à utiliser les données de manière optimale. Le recours des cantons à cette offre peut aussi se faire sur une base volontaire. Cela supprimerait toutefois des mandats au secteur privé. Une « aide à l'exécution pour le monitoring du sol », qui réglerait le cahier des charges et la collaboration KABO/NABO, a aussi été suggérée. Certains cantons y voient la chance d'une meilleure légitimation des activités de monitoring. La nécessité d'une nouvelle aide à l'exécution doit être discutée et réglée en poursuivant le dialogue Confédération/cantons.

Collaboration CCSols/NABO : Il existe diverses interfaces entre le NABO et le CCSols nouvellement créé, car il existe de nombreux points de contact sur le plan thématique. En termes de contenu, les thèmes du NABO – évolution dans le temps de la qualité du sol sur des sites sélectionnés – sont toutefois bien différenciés de ceux du CCSols – accent sur la cartographie des sols et les méthodes par exemple. En principe, une collaboration professionnelle aussi étroite et intensive que possible doit être établie entre ces deux institutions. Un des points forts des activités conjointes est la mise en place d'un réseau de référence pour les profils de sol, comme envisagé de différentes parts. Un tel réseau de référence est nécessaire pour les tâches du projet de révision de la « classification des sols de Suisse » (rév. CLASS) (p. ex. comparaison et référence des relevés pédologiques sur le terrain) et pour le développement de fonctions de pédotransfert sur le plan national. Les sites sélectionnés du réseau de référence NABO pour les variations dans le temps de la qualité du sol et les sites KABO, mais aussi ceux du WSL, peuvent constituer à l'avenir les sites de référence pour les profils de sol. Il faut vérifier quels sites NABO et KABO et autres sites de cartographie des sols sont appropriés. En ce qui concerne la gestion des données, le NABO peut bénéficier du CCSols. Toutes les données qui doivent être transmises ou publiées doivent être archivées à l'aide des outils correspondants (portail de données) du CCSols. Enfin, le NABO doit pouvoir utiliser à l'avenir les canaux de communication du CCSols. La visibilité sera améliorée grâce à la mutualisation des informations et à des instruments de communication professionnels.

Interfaces Cercle Sol/CCSols : avec le CCSols, un nouvel acteur a été créé au niveau national, dont les interfaces avec le Cercle Sol n'ont pas encore été clarifiées. Comme indiqué ci-dessus, l'échange, la coordination et l'harmonisation font partie des tâches du Cercle Sol et de ses sous-groupes. Mais la coordination et l'harmonisation sont aussi des piliers centraux du CCSols. Pour le Cercle Sol, les tâches doivent être considérées d'abord dans le contexte de l'exécution cantonale, alors que les tâches de coordination au sein du CCSols se concentrent essentiellement sur le développement/perfectionnement de méthodes et de principes qui peuvent ensuite être appliqués dans l'exécution par les offices cantonaux. Une articulation détaillée des rôles du Cercle Sol et du CCSols n'existe toujours pas.

L'élaboration de bases scientifiques, qui comprend aussi les instruments d'évaluation, incombe à la Confédération et aux instituts de recherche. Dans ce domaine, un large éventail d'acteurs a travaillé sur des méthodes et instruments pour une utilisation durable du sol. En ce qui concerne le développement de la méthodologie de cartographie des sols et des analyses des propriétés du sol, le CCSols devrait assumer des tâches de coordination. L'échange technique se fait – autant que possible – via le Cercle Sol et ses sous-groupes. Pour assurer l'échange d'informations, le CCSols devrait être représenté dans les groupes de travail du Cercle Sol. Ces derniers exercent une fonction importante dans l'échange technique entre les cantons, par exemple dans la mise en œuvre des méthodes et des instruments. En outre, le Cercle Sol est chargé de représenter les intérêts – notamment politiques – des cantons et de les faire valoir au niveau fédéral. Les cantons disposent certes pour cela de canaux directs, mais l'union des forces dans le Cercle Sol peut avoir un impact plus fort. En ce qui concerne la communication, le Cercle Sol et le CCSols jouent un rôle important en mettant leurs travaux et leurs résultats à la disposition du public.

4 Synthèse et actions recommandées

Dans le cadre de la réunion technique sur la protection des sols, les travaux de groupe ont montré comment pour chacun des sept thèmes

1. structure du sol et sa dégradation (y compris le tassement),
2. érosion,
3. humus,
4. polluants et substances étrangères,
5. azote/acidification,
6. biologie du sol/biodiversité,
7. quantité et qualité du sol

le risque, l'ampleur actuelle et l'évolution dans le temps pouvaient être recensés et au moyen de quels instruments ceux-ci pouvaient être évalués. L'état des connaissances et de la mise en œuvre est très variable d'un thème à l'autre. Certains des instruments nécessaires sont déjà bien développés et peuvent être mis en œuvre, d'autres requièrent des recherches et des travaux de développement supplémentaires et ne peuvent donc être décrits qu'en termes vagues. L'étendue des lacunes de connaissances est un aspect important dans la hiérarchisation des différents thèmes et mesures. Le risque potentiel au cas où le thème en question serait négligé est le deuxième aspect de la priorisation. Il est naturellement difficile de mettre en balance des thèmes et des mesures très différents les uns des autres. De plus, les priorités varient selon la région – par exemple l'accent n'est pas mis sur les mêmes problèmes dans un canton de montagne et un canton du plateau, dans un canton de grandes cultures et une région de prairies.

Sur la base des estimations et des réflexions du chap. 3.3, la **plus haute priorité** doit être accordée au thème « **quantité et qualité du sol** ». À l'avenir, on ne doit pas recenser uniquement la perte de surface de sol, mais aussi la perte de qualité associée. La mise en œuvre de ces objectifs prendra un certain temps et devrait donc être commencée dès que possible. Outre des cartes des fonctions du sol pour l'appréciation de la qualité, un instrument d'évaluation est également nécessaire pour le contrôle des pertes de qualité du sol. Le sujet dépasse donc largement le champ d'application de l'OSol, en particulier l'aménagement du territoire doit être inclus. L'intégration d'informations qualitatives sur les sols dans l'aménagement du territoire a été au centre de plusieurs projets du PNR68 et a récemment été discutée dans le cadre d'ateliers avec des responsables de l'aménagement du territoire et des solutions ont été proposées (Grêt-Regamey et al. 2020).

Pour tous les autres thèmes, il existe des points prioritaires qui doivent être abordés.

- **Structure du sol et érosion** Pour ces deux thèmes, il existe de grandes lacunes de connaissances quant à l'ampleur effective et l'évolution dans le temps. Il est très complexe de les combler et cela ne pourra donc probablement être réalisé qu'à long terme. Dans un souci d'utilisation efficace des ressources, il est recommandé de s'appuyer sur des outils d'évaluation des risques afin de minimiser les risques et les dommages.
- **Humus** Un instrument d'évaluation de la teneur en humus (valeur de référence ou autre) est nécessaire d'urgence. En outre, la base de données à grande échelle sur l'état actuel des sols doit être améliorée, en particulier pour les sols organiques.
- **Polluants et substances étrangères** Pour les nouvelles substances/classes de substances, des analyses détaillées sont nécessaires en ce qui concerne les risques, l'ampleur de la contamination et l'évolution dans le temps. Sur cette base, des instruments d'évaluation (valeurs limites) doivent être déduits et, le cas échéant, inscrits dans la loi. Pour les substances concernées, une analyse standardisée pour le monitoring doit également être établie le plus rapidement possible.
- **Biologie du sol/biodiversité** Il existe un besoin général d'action et de recherche, notamment dans le domaine des méthodes de génétique moléculaire. Les méthodes d'analyse biologique des sols

existantes doivent être appliquées aussi largement que possible dans la pratique. On connaît peu de choses sur les interactions entre les différents facteurs de stress et les biocénoses du sol. De plus, les informations sur l'état actuel sont rares et la majeure partie des instruments d'évaluation doivent encore être développés. Des valeurs de référence nationales, spécifiques à chaque site, sont requises pour les paramètres biologiques du sol.

- **Azote/acidification** Comparé aux thèmes précédents, ce domaine thématique est relativement bien étudié, il existe un plus grand potentiel d'amélioration, surtout pour la teneur en éléments nutritifs des terres agricoles.

La répartition des tâches et la collaboration entre les différents acteurs sont essentielles pour le monitoring de la ressource sol. Une proposition à ce sujet est discutée au chap. 3.4.3. Elle suggère que la Confédération soit responsable de l'élaboration des bases nécessaires. En impliquant la communauté scientifique et éventuellement le NABO et les KABO, la Confédération doit assurer le développement de méthodes, mais aussi en déduire des instruments d'évaluation. Le Centre de compétences sur les sols (CCSols) nouvellement créé joue un rôle clé : Il doit coordonner et communiquer ces travaux. Le Cercle Sol et ses groupes de travail doivent assurer la coordination et l'harmonisation entre Confédération et cantons ainsi qu'entre les cantons. L'exécution est entre les mains des cantons. La proposition esquissée ici sommairement laisse sans réponse de nombreuses questions de détail qui ne pouvaient être clarifiées dans le cadre du présent rapport. Par conséquent, il est impératif d'engager un nouveau processus dans le cadre duquel la Confédération et les cantons élaboreront une solution concrète.

Sur la base des résultats du présent rapport, les auteurs recommandent les mesures suivantes pour le monitoring de la ressource sol (classées selon leur priorité dans le temps).

immédiatement

- **Dialogue Confédération/cantons sur la répartition du travail et la collaboration** : en raison de la réorganisation des tâches de monitoring au niveau national et en partie au niveau cantonal, les questions d'organisation en suspens doivent être abordées le plus tôt possible – dans les prochains mois – et documentées de manière adéquate pour toutes les parties concernées. Il faut notamment clarifier les points suivants :
 - La Confédération et les cantons approuvent-ils la proposition de répartition générale des tâches discutée au chap. 3 ?
 - Quelles tâches de monitoring – en particulier parmi celles citées ci-après – relèvent de quelles compétences ?
 - Comment la collaboration Confédération/cantons peut-elle être renforcée ? Il faut viser par exemple des évaluations et des études conjointes NABO/KABO, avec implication du WSL pour certains thèmes. Il faut aussi clarifier comment les sites des réseaux de mesure cantonaux et du NABO peuvent se compléter sur questions spécifiques.
 - Quel rôle jouera à l'avenir le groupe de travail KABO du Cercle Sol ? Il peut être utilisé pour une collaboration entre NABO et KABO, une association sous une autre forme est aussi envisageable.
 - Quel rôle jouent les autres groupes de travail du Cercle Sol ?
 - La Confédération doit-elle reprendre aux cantons certaines tâches de monitoring – certains thèmes ou étapes de travail telle que l'évaluation ?
 - Une « aide à l'exécution KABO » est-elle nécessaire pour clarifier et légitimer les domaines de responsabilité des KABO ?
 - Comment le CCSols et le Cercle Sol, respectivement le CCSols et les services cantonaux de protection des sols collaborent-ils ?

à court terme

- Lancement de la **cartographie nationale des sols** : la plus haute priorité doit être accordée à ce projet en concertation et en coordination avec les cantons. Les données qui en résulteront fourniront la base d'évaluation des risques pour tous les thèmes. De plus, elles facilitent le recensement de l'état et de l'évolution dans le temps pour presque tous les thèmes et constituent la base de **cartes des fonctions du sol** et d'**informations à grande échelle sur la qualité du sol**. **Sans cartographie des sols, l'objectif d'un monitoring efficace de la ressource sol ne peut être atteint**, pas plus que les objectifs de la Stratégie pour le sol. Pour atteindre ces objectifs, de nouvelles normes de cartographie des sols selon l'état actuel de la technique doivent être définies. Les propriétés du sol à recenser doivent être étendues à d'autres paramètres, physiques et biologiques par exemple (Keller et al.2018). La cartographie des sols est un projet à long terme qui englobe des questions méthodologiques, organisationnelles et financières ainsi que des questions relatives à la formation des spécialistes. Il est d'autant plus important de s'y attaquer le plus tôt possible, d'où son classement « à court terme ».
- **Exploitation des données existantes sur les sols** : puisque les résultats d'une cartographie nationale des sols ne seront disponibles qu'à moyen ou à long terme, les données déjà existantes, mais non disponibles jusqu'ici, venant d'autres sources doivent être rendues utilisables, par exemple les données collectées pour les prestations écologiques requises (PER). Les données sur les sols issues de la cartographie des sols passée ont été presque entièrement traitées et harmonisées par le centre de service NABODAT (Rehbein et al. 2019).
- **Instrument d'évaluation « perte de sol – indice pédologique »** : élaboration d'un consensus politique et social en ce qui concerne la pondération des fonctions du sol dans un indice pédologique et mise en œuvre ultérieure dans les processus et procédures d'aménagement du territoire.

à court et moyen terme

- **Nouvelles substances/classes de substances** : Clarifications et le cas échéant monitoring pour les
 - o pesticides/PPS
 - o antibiotiques et résistances
 - o microplastique
 - o autres éventuellement ; liste à mettre à jour régulièrement

Généralement, la procédure de clarification est basée sur le scénario suivant :

1. Clarifications méthodologiques/études pilotes,
2. Études d'état (clarification de l'étendue),
3. Mise en œuvre dans le cadre d'un monitoring à long terme (si indiqué par l'étape 2).

En parallèle, des **bases/instruments d'évaluation**, et s'il y a lieu des valeurs limites et de référence, doivent être élaborés. La Confédération est responsable de ces tâches et doit les encourager. Le CCSols coordonne les travaux correspondants, soutenu éventuellement par le NABO et les KABO. La communauté scientifique est responsable des clarifications méthodologiques. Les études d'état peuvent être effectuées par NABO et KABO et/ou les institutions scientifiques. Dans la mesure du possible, les sites existants doivent être utilisés. Selon la question posée, de nouveaux sites supplémentaires peuvent être nécessaires.

- **Instrument d'évaluation « carbone du sol »** : développement d'une évaluation spécifique au site de la teneur du sol en carbone et éventuellement ancrage législatif en vue de son utilisation dans l'exécution.
- **Évolution dans le temps des stocks de carbone dans les sols** : recensement de l'évolution des stocks de carbone dans les sols minéraux et organiques, les données existantes telles que les données PER doivent être exploitées.

à moyen terme

- **Bases d'évaluation « biologie du sol/indicateur »** : élaboration de bases d'évaluation par la communauté scientifique en collaboration avec NABO, KABO et WSL ; agrégation des sous-aspects (méthodes individuelles) en un indicateur global.
- **Carte du risque de « tassement »** : en principe, à mettre en œuvre le plus rapidement possible, en raison des données de base requises ne sera probablement pas réalisable plus tôt
- **Instrument d'évaluation « tassement du sol »** : définition de valeurs limites ou de référence spécifiques au site et à l'horizon.
- **Instrument d'évaluation « érosion des prairies »** : définition de valeurs limites et de référence.
- **Entrées d'éléments nutritifs** : monitoring basé sur les données d'autres programmes (NABEL, NAQUA, MAE, ...) ; étude de valeurs limites analogues aux charges maximales conformes au principe de précaution (Allemagne).
- **Système d'indicateurs (communication)** : création d'un système compréhensible et informatif à partir d'indicateurs donnant des informations sur divers sous-aspects du sol (état et évolution).

à long terme

- **Tassement/érosion : recensement de l'ampleur et de l'évolution dans le temps** dans les zones à risque, par des institutions de recherche en collaboration avec le NABO. Cette tâche est en réalité à classer comme urgente en raison de grosses lacunes de connaissances, mais elle très coûteuse. Dans un souci d'utilisation aussi efficace que possible des ressources existantes, il faut d'abord se concentrer surtout sur les instruments de recensement du risque pour l'érosion et le tassement.

Il a été délibérément décidé de ne pas définir précisément les notions temporelles. L'une des questions clés de la préparation de ce rapport était de savoir à quoi devrait ressembler le monitoring dans 10 ans. Par conséquent, un horizon temporel de 10 à 15 ans doit également être envisagé pour les objectifs à long terme.

5 Références

- 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. Disponible sur www.soil.ch
- BLW 2018. Agrarbericht 2018. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern. www.agrarbericht.ch
- Commission of the European Communities 2002. Towards a Thematic Strategy for Soil Protection. COM(2002) 179 final. Brussels, 16.4.2002.
- Conseil fédéral suisse. 2020. Stratégie Sol Suisse pour une gestion durable des sols. Environnement Info. Berne, 01.05.2020. Disponible sur <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sol/publications-etudes/publications/strategie-sol-suisse.html>
- 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). Disponible sur <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. Disponible sur 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., Schulin 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.
- OFEV 2019a. La qualité de l'air en 2018. Résultats du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL). État de l'environnement no 1916. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne
- OFEV 2019b. État et évolution des eaux souterraines en Suisse. Résultats de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA, état 2016. État de l'environnement no 1901. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne.
- OFEV 2019c. Annuaire La forêt et le bois 2019. État de l'environnement n° 1914. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne.
- 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. Disponible sur 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.
- 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 Annexe (*partiellement en allemand*)

6.1 Synthèse à partir des réponses de l'enquête auprès des cantons sur le monitoring des sols en Suisse

(Ce résumé a été rédigé et mis à disposition pour ce rapport par l'OFEV)

Les réponses à l'enquête menée auprès des services cantonaux de protection des sols sur les menaces sur le sol et sur la collaboration entre la Confédération et les cantons sont résumés dans la synthèse ci-dessous. Les efforts déployés pour stimuler l'échange d'informations grâce à l'enquête menée sont salués par la majorité. D'une part, on s'attend à ce que cela permette de définir une tâche permanente pour le NABO. D'autre part cependant, il est également avancé que cette enquête n'est pas suffisante dans le contexte du développement du nouveau « concept » ou « mandat » du NABO. En revanche, il a été suggéré d'organiser un atelier avec l'OFEV, l'OFAG, les cantons et le NABO, au cours duquel les thèmes potentiels pourraient être élaborés plus précisément.

6.1.1 Menaces pour les sols

De nombreux cantons estiment que la focalisation sur les menaces liées *au compactage, à l'érosion, à la perte d'humus, aux polluants et aux PPh, à l'azote, aux nutriments et à l'acidification, à la perte de biodiversité, à la modification de terrains et à la consommation du sol* est pertinente pour le monitoring des sols en Suisse. Certains cantons considèrent cette liste comme complète, tandis que d'autres proposent de la compléter, en y incluant par exemple l'assurance qualité, la transparence des méthodes employées et l'uniformisation de ces dernières. Les thèmes doivent répondre autant que possible aux besoins de l'exécution. En outre, il a parfois été souligné que si la modification des terrains et la consommation du sol soulèvent des questions en matière d'exécution, ils ne constituent pas pour autant des atteintes portées au sol au sens de l'art. 7, al. 4, LPE. La consommation du sol relève par ailleurs de l'aménagement du territoire.

Pour des raisons historiques, le monitoring se concentre aujourd'hui sur les polluants. Néanmoins, la majorité des réponses à l'enquête mentionnent le désir d'étendre ce dernier pour y inclure d'autres menaces pour les sols. En ce qui concerne le suivi des menaces pour les sols dans le cadre du réseau national de référence, il a été souligné qu'il ne faut pas uniquement considérer l'état du sol, mais également son évolution dans le temps, en tenant compte de l'influence de différents facteurs (climat, gestion, etc.). Conscients que de nouvelles atteintes portées au sol pourraient apparaître à l'avenir, certains cantons demandent la mise en place d'un système de monitoring adaptable. Il semble également y avoir un besoin urgent dans le domaine des campagnes de mesures spéciales : les cantons attendent d'un réseau de référence national que ce dernier soit à même de réagir avec souplesse aux problématiques émergentes ou aux questions qui ont été négligées de par le passé. Un tel monitoring devrait ainsi notamment porter sur la contamination géogène, la contamination des sols naturels par des substances étrangères, la contamination à l'uranium provenant d'engrais phosphatés, les PPh, les substances médicinales, les nanoparticules et les microplastiques (et la décomposition de ces derniers), la biologie du sol au sens large (au lieu de la biodiversité du sol), les menaces régionales pour le sol telles que l'érosion en zone de montagne, l'étude du cycle de l'azote et les perturbations que cette molécule cause dans les surfaces extensives et dans les habitats sensibles à l'azote (liste non exhaustive). Certains thèmes devraient être coordonnés avec d'autres réseaux de surveillance 'environnementale (par exemple, en ce qui concerne les PPh, avec le monitoring de l'eau).

Les réponses concernant les modifications de terrain et la consommation du sol sont plus hétérogènes. Du point de vue de certains cantons, les modifications de terrain relèvent des mesures d'exécution, tandis que la consommation du sol concerne l'aménagement du territoire (statistique de la superficie), et ne doivent donc pas être traitées dans le cadre d'un réseau de référence national. D'autres cantons, par contre, ne sont pas opposés à inclure la thématique des modifications de terrain dans le réseau de référence.

Les cantons considèrent l'existence d'un réseau national de référence comme une grande valeur ajoutée et une base « indispensable » pour les mesures d'exécution dans le domaine de la protection des sols. Les données ainsi récoltées permettent également des appréciations générales, l'évaluation de phénomènes et le choix de méthodes et d'analyses. Elles constituent en outre un complément intéressant dans des domaines pour lesquels les cantons manquent de ressources financières et humaines. La relative pauvreté en données actuelles (par exemple sur le compactage, l'érosion, la biodiversité) fait cependant l'objet de critiques. Afin d'améliorer l'utilisation des valeurs de référence, certains cantons souhaitent une base méthodologique et une coopération accrue sur un pied d'égalité.

6.1.2 Coopération entre la Confédération, les cantons et le NABO

Le travail du NABO est généralement considéré comme apportant une réelle valeur ajoutée, raison pour laquelle sa poursuite doit être une priorité, en y incluant au besoin d'autres types de menaces pour le sol. La surveillance de la contamination de fond par les polluants représente un intérêt particulier : les données dans ce domaine servent de référence importante pour l'exécution et pour inscrire les mesures cantonales dans un contexte national. En outre, le travail de NABO à l'échelle supracantonale, en englobant différents types de paysages et d'espaces, est très apprécié, car il permet la comparabilité des méthodes et des résultats des études du sol en Suisse. La poursuite des essais interlaboratoires OSol et la publication de la liste publique des laboratoires OSol est nécessaire pour une exécution qualitativement fiable et reproductible. D'autre part, les cantons déclarent également bénéficier des analyses et de la modélisation des flux de substances réalisées par le NABO. Celles-ci permettent d'identifier des problèmes concrets à un stade précoce et, le cas échéant, d'élaborer des stratégies de défense. La publication de nouveaux résultats, le développement de méthodes (concernant par exemple le compactage, les PPh dans le sol, etc.), le soutien conceptuel et la mise à disposition d'enseignements sur les nouvelles menaces et des connaissances fondamentales sont également cités comme autant de valeurs ajoutées.

Toutefois, certains cantons font aussi état de lacunes ou formulent des propositions qui méritent d'être examinées. Il est ainsi déploré que la coopération se trouve actuellement à un niveau relativement faible. Les cantons se sont efforcés à plusieurs reprises de rassembler les résultats et les concepts des différents observatoires cantonaux des sols dans le cadre d'une collaboration renforcée, mais n'ont pu s'appuyer sur aucune documentation centralisée à ce sujet. Cela engendre des confusions et des doublons. Le groupe « KABO » du Cercle Sol a été mis sur pied pour tenter d'y remédier. Certains cantons se déclarent favorables à l'élargissement de la coopération et à la mise en œuvre conjointe de projets à cette fin. Une importante plus-value pourrait ainsi être dégagée, tout en entraînant un renforcement mutuel. La coopération devrait permettre des analyses plus générales sur l'évolution de la fertilité des sols.

Les positions quant à la mise en place d'un réseau de monitoring sont mitigées. Certains cantons sont favorables à un tel principe et manifestent leur intérêt pour un renforcement de la coopération. D'autres soulignent qu'il existe déjà certains réseaux dans lesquels des données sont échangées et des synergies sont exploitées, qui pourraient être élargis et optimisés. D'autres cantons sont d'avis qu'un tel réseau n'apporterait aucun avantage supplémentaire. Les tâches de la Confédération et des cantons dans le cadre de l'OSol sont très différentes. L'observation à long terme des sols est une tâche fédérale. Les cantons doivent quant à eux prendre des mesures en cas de contamination concrète ou présumée du sol. La mise en place d'un tel réseau risque également d'engendrer des coûts financiers et de personnel supplémentaires, pour lesquels certains cantons ne disposent pas des ressources nécessaires. Une réaffectation des ressources de la cartographie des sols ou du réseau cantonal de surveillance des sols au profit d'un réseau de monitoring est hors de question pour quelques cantons. La répartition des tâches entre la Confédération et les cantons, mentionnée plus haut, reste pertinente. En résumé, on peut dire que les travaux accomplis jusqu'à présent ont été précieux, mais qu'un grand nombre de nouveaux défis restent à relever et que les autorités fédérales et cantonales

chargées de l'exécution des lois doivent réfléchir à la manière de les relever. Toutes les idées et les propositions ne pourront certainement pas être mises en œuvre immédiatement, d'où la nécessité d'une analyse thématique spécifique de la situation de départ et des possibilités d'action. La réunion du jour et la prochaine, prévue pour l'automne, en sont l'occasion.

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

I. Erhebungsmethode	
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.
II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)	
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 Fahrzeugeigen-

	schaften (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.
III. Vollzug	
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?	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! Visionen > 2030: a) «Dynamische Verdichtungsrisikokarte» flächendeckend für die Schweiz b) Strukturzustand mit Satelliten-/Flugbildern nach Niederschlägen erheben
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

Top-Indikator	Beurteilungs- und Bewertungsmethode	Argumente für Auswahl
<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

I. Erhebungsmethode	
Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?	Die zeitliche Entwicklung 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 Zustandes stehen die Erosionsschadenkartierung, das Überfliegen mit Drohnen, Satelliten- und/oder Luftbilder, die Aufnahme mit einem digitalen Terrainmodell (vorher/nachher) und aktuelle Fotos zur Verfügung.
II Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)	
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» ² verwendet werden.
III. Vollzug	
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.

² 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. Erhebungsmethode

Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?

Humus = Corg: 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).

Corg-Konzentration kann relativ einfach erhoben werden, vorzugsweise mit CN-Analyser, falls nötig Subtraktion von anorganischem C. Ergänzend dazu Bodenspektroskopie, höherer Durchsatz, tiefere Kosten.

Corg-Vorrat 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).

Veränderung des Vorrats lässt sich eher über **Modelle** schätzen, Einfluss der Landnutzung und der Bewirtschaftung (Effekt bestimmter Praktiken, Bilanzen).

	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"> - Klimaschutz: v.a. Vorrat relevant - Moorschutz: Verlust (naturnaher) organischer Böden, für uns eher zweitrangig, wird anderswo abgedeckt - Landwirtschaft, Erhaltung Bodenfruchtbarkeit, für mineralische Böden Corg-Konzentration ausreichend, für organische Böden jedoch nichtssagend - Biodiversität, Corg als wichtiger Einflussfaktor <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 = $1.74 * \text{Corg}$ 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"> • Referenzwert/Beurteilungssystem • Daten von ÖLN sollten genutzt werden können, d.h. obligatorisch Corg-Messung statt Schätzung, Daten verfügbar. Für Kt. GE schon länger umgesetzt.

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"> • Mikroplastik • Pflanzenschutzmittel • Antibiotika • Zusätzliche Metalle/Spurenelemente <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.³ 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. *Lücken v.a. für neue Substanzen (PSM, Antibiotika, Spurenelemente).*⁴

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).

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

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

Vorschlag 5 Top-Indikatoren

Top-Indikator	Beurteilungs- und Bewertungsmethode	Argumente für Auswahl
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

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

- 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 _x , 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

Top-Indikator	Beurteilungs- und Bewertungsmethode	Argumente für Auswahl
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>
<p>III. Vollzug</p>	
<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 unbekanntem 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.

Top-Indikator	Beurteilungs- und Bewertungsmethode	Argumente für Auswahl
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

I. Erhebungsmethode

Wie kann die Bodengefährdung/-qualität gemessen/erhoben werden?

Grundsätzlich bestehen verschiedene Erhebungsmethoden: 1) Arealstatistik und 2) Fernerkundungsmethoden.

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.

Wie soll das aktuelle räumliche Ausmass der Bodengefährdung/-qualität erhoben werden?

Quantität: siehe oben

Qualität: landesweite Bodenkartierung, nicht nur für Landwirtschaft und Wald, sondern auch im Siedlungsgebiet

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?	<p>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.</p> <p>Quantität: Das Monitoring von Bodenveränderungen sollte weiter ausgebaut werden, wobei nicht nur die Quantität wie in der Arealstatistik, sondern auch die Qualität berücksichtigt wird).</p>
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?	<p>Zielführend wäre ein «Reallabor» mit Testgemeinden, wo die Idee eines Bodenindex einmal in der Praxis durchgespielt wird. (Anmerkung: SANU Durabilitas plant ein solches Projekt.)</p> <p>Die Bodenqualität und die Funktionen des Bodens sollten transparent und verständlich kommuniziert werden.</p> <p>Im Rahmen von städtebaulichen Wettbewerben könnten auch die Bodenfunktionen von Stadtböden mitberücksichtigt werden.</p>
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

Top-Indikator	Beurteilungs- und Bewertungsmethode	Argumente für Auswahl
Quantitativer Bodenverlust in m ² /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

I. Erhebungsmethode	
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.)
II. Beurteilung und Instrumente (Modelle, Methoden)	
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?	<ul style="list-style-type: none"> – 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

Top-Indikator	Beurteilungs- und Bewertungsmethode	Argumente für Auswahl
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: Hoch Quantitativer Bodenverlust (nicht nur Fläche, sondern auch Qualität der verlorenen Fläche; Bodenkartierung erforderlich) Schadstoffe (neue Schadstoffe und Quellen und Eintragspfade) Mittel Humusverlust (Humushaushalt) Verdichtung/Erosion Tief 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

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

⁵ 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 Hilfsmittel brauchen wir für den Vollzug?	Gute Beispiele und Vorbilder
Gruppe A	
Bodenkarte in geeignetem Massstab (ab 1:5000)	Frankreich
Prüfperimeter Boden	
Zugang ÖLN-Daten, für Humus Labormessung vorschreiben	
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	
Gruppe B	
Standardisierte/einheitliche Methoden	
Ringversuche	VBBo-Ringversuch
Vollzugshilfen/Anleitungen, die Erstellung einer «Vollzugshilfe Bodenmonitoring» 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	
Gruppe C	
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	
Gruppe D	
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/*Illustration 9* 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>	
R	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur Abschätzung des Risikos
A	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur Erfassung des Ausmasses
Z	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur Erfassung der zeitlichen Entwicklung
B	- Strategische Stossrichtungen mit Bezug zur Beurteilung

Verdichtung

ZL1: Vermeidung dauerhafter Verdichtungen landwirtschaftlicher Böden

ZW2: Vermeidung dauerhafter Verdichtungen von Waldböden

-
- | | | |
|----------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R | - | SL1: Verbesserung der verfügbaren Informationen zur (standortbezogenen und momentanen) Verdichtungsempfindlichkeit der landwirtschaftlich genutzten Böden [...] |
| | - | 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. |

A -

-
- | | | |
|----------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Z | - | SL1: Verbesserung der verfügbaren Informationen [...] zur Überprüfung von eingeleiteten Massnahmen. |
|----------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|

-

-
- | | | |
|----------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B | - | SL4: Entwicklung von Beurteilungs- und Entscheidungshilfsmitteln für die Bewirtschafter zum bodenschonenden Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen. |
| | - | SL5: Überprüfung, ob Grenzwerte und Methoden zur Bestimmung des Strukturzustandes definiert und rechtlich festgelegt werden können. |
| | - | SL6: Überprüfung der Zulassungsbedingungen für landwirtschaftliche Maschinen im Hinblick auf bodenschonende Eigenschaften. |
-

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.

-
- | | | |
|----------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R | - | SL7: Verbesserung der verfügbaren Informationen zur Berücksichtigung der Erosionsgefährdung der landwirtschaftlich genutzten Böden [...] |
|----------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

A -

-
- | | | |
|----------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Z | - | SL7: Verbesserung der verfügbaren Informationen [...] zur Überprüfung von eingeleiteten Massnahmen. |
|----------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|

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.

R	-
A	- SL13: Verbesserung der verfügbaren Informationen zum Erfassen des organischen Gehalts landwirtschaftlich genutzter Böden [...]
Z	- SL13: [...] zur Überprüfung von eingeleiteten Massnahmen. [...]
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.

R	- SL15: Verbesserung der verfügbaren Informationen zur Früherkennung bzw. Risikoabschätzung von Schadstoffeinträgen im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion.
A	-
Z	- SS1: Kontrolle der Wirkung des Aktionsplans PSM.
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 Fremdstoffe	ZL6, ZL7, ZS2	SL15		SS1	
Stickstoff und Versauerung	ZL9, ZW1		SW1	SW1	
Bodenbiologie und Biodiversität	ZL8		SL18, SL20		SL18
Bodenquantität und -qualität	ZR1, ZR2, ZR4, ZR5		SR4, SR5	SR1	SR4, SR5

Abbildung/Illustration 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.