



EJP SOIL Stocktake – Beitrag der Schweiz

Tasks 2.1, 2.2 und 2.3

Autorinnen und Autoren

Olivier Heller, Noemi Peter, Gina Garland, Peter Weisskopf



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Olivier Heller, olivier.heller@agroscope.admin.ch
Redaktion	Olivier Heller
Gestaltung	Petra Asare
Titelbild	Gabriela Brändle
Copyright	© Agroscope 2021
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as117g

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	6
Summary	8
1 Einführung	10
1.1 Ziel des Berichts	10
1.2 Beitrag zum EJP SOIL	10
2 Stakeholder Umfrage	11
2.1 Vorgehen	11
2.1.1 Stakeholder Identifikation und Auswahl	11
2.1.2 Fragebögen	11
2.2 Resultate	11
2.2.1 Soil Challenge Identifikation und Forschungsbedarf	12
2.2.2 Wissenssystem und Koordination.....	15
2.2.3 Verbesserung der Wissensbasis	17
2.3 Zusammenfassung und Diskussion	21
3 Stand des Wissens	24
3.1 Vorgehen	24
3.2 Zusammenfassung und Diskussion	24
4 Politikanalyse	25
4.1 Vorgehen	25
4.2 Resultate und Diskussion	25
4.2.1 Grundlagen und Stakeholder.....	25
4.2.2 Ziele	27
4.2.3 Realisierung.....	28
4.2.4 Weitere Instrumente.....	29
4.3 Zusammenfassung	29
5 Gesamtzusammenfassung und Schlussfolgerungen	30
6 Danksagung	32
7 Annexe	32

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht zielt darauf ab, den Beitrag der Schweiz zur EJP SOIL Bestandsaufnahme (Tasks 2.1, 2.2 und 2.3) transparent darzustellen, und richtet sich hauptsächlich an die beitragenden Schweizer Stakeholder und die Mitglieder des Schweizer 'National Hub'. Für den Schweizer Beitrag zur EJP SOIL 'research roadmap' führten wir drei Hauptaktivitäten durch. Erstens eine Stakeholder-Umfrage mit 32 Stakeholdern, die verschiedene Teile des landwirtschaftlichen Wissenssystems der Schweiz repräsentieren. Zweitens eine Reihe von drei Berichten zum aktuellen Wissensstand. Drittens eine Analyse der aktuellen und geplanten Landwirtschafts-, Umwelt- und Raumplanungspolitik sowie deren Ziele und Ambitionen in Bezug auf eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung.

Die Stakeholder waren sich weitgehend einig, dass die Hauptherausforderungen für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung in der Schweiz Bodenverdichtung, Bodenerosion, Humusverlust (im Ackerbaugesamt) und Torfschwund, Verlust von Bodenbiodiversität und Bodenkontamination sind. Ebenfalls wurde der zugehörige Forschungsbedarf als relativ hoch eingeschätzt. Die Bodenversiegelung wurde als eine wichtige Herausforderung für die quantitative Bodenschutzpolitik betrachtet, aber es wurden wenige Wissenslücken in diesem Zusammenhang festgestellt.

Die Stakeholderbefragung ermöglichte die Zusammenstellung einer breiten Palette von Ansätzen und Massnahmen zur Verbesserung der Erarbeitung, Verbreitung und Anwendung von Wissen über nachhaltige Bodenbewirtschaftung. Auf der Grundlage der gesichteten Literatur kamen wir zum Schluss, dass die Wissensbasis in Bezug auf Versiegelung, Erosion, Verdichtung, Kontamination und Nährstoff-Nutzungseffizienz am weitesten fortgeschritten ist. Wissenschaftliche Experten formulierten jedoch Forschungsbedarf für alle 'Soil Challenges'.

In der Landwirtschafts-, Umwelt- und Raumplanungspolitik der Schweiz haben die Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Böden und die Ermöglichung ihrer nachhaltigen Bewirtschaftung hohe Priorität. Viele politische Ziele sind jedoch qualitativer Natur, und ihr aktueller Status bleibt unklar.

Unsere Ergebnisse, die in der untenstehenden Tabelle I zusammengefasst sind, deuten darauf hin, dass es einen breiten Konsens zwischen den Ansichten von Stakeholdern, Forschern und politischen Entscheidungsträgern zu den wichtigsten Herausforderungen für die Sicherung der Qualität und Quantität landwirtschaftlich genutzter Böden in der Schweiz gibt (d.h. Bodenverdichtung, Bodenversiegelung, Bodenerosion, Humusverlust, Verlust von Bodenbiodiversität). Diese 'Soil Challenges' werden durch aktive oder geplante politische Massnahmen angegangen und sind Gegenstand vergangener oder laufender Forschungsaktivitäten. In Bezug auf andere, vermeintlich weniger relevante 'Soil Challenges'¹ sind entweder der Wissensstand, die Integration in politische Massnahmen oder beides weniger weit fortgeschritten.

Im Hinblick auf die künftige Forschung kommen wir zu den Schlüssen, dass (i) zusätzliche Methoden zur Überwachung und Bewertung der Bodenqualität, der Bodenfunktionen und der von den Böden erbrachten Ökosystemleistungen bereitgestellt werden müssen und (ii) die Anwendung partizipativer Multi-Stakeholder-Ansätze für die Bewertung verschiedener Bodenfunktionen sowie für die künftige Ausrichtung der Bodenforschung im Allgemeinen stärker genutzt werden sollte.

¹ Der Sammelbegriff 'Soil Challenge' wird im Rahmen des EJP SOIL verwendet und fasst die verschiedenen Herausforderungen für die Erhaltung und Förderung der Bodenfunktionen und der von Böden erbrachten Ökosystemdienstleistungen zusammen. Der Begriff umfasst mitunter die im Deutschen verwendeten Sammelbegriffe der 'Bodenbedrohungen'. Eine mögliche Liste der 'Soil Challenges' kann der Tabelle I entnommen werden.

Tabelle I DE: Zusammenfassung der Relevanz der 'Soil Challenges', der zugehörigen Wissensbasis und deren Berücksichtigung in politischen Massnahmen.

Soil Challenge	Bedeutung gemäss Umfrage	Qualität der Wissensbasis	Berücksichtigung in Politik
Verdichtung	++	+	(+)
Versiegelung	++	++	(+)
Erosion	++	+	+
Humusverlust	++	-	(+)
Verlust von Bodenbiodiversität	++	-	(+)
Kontaminationen	++	+	+
Torfschwund	+	-	
Geringe Wasserhaltefähigkeit	+		
Lachgas- und Methanemissionen	+	-	
Geringe Nährstoff-Nutzungseffizienz	+/-	+	(+)
Versauerung	+/-		
Versalzung	-		
Schlechter Zustand der Drainagen	+	-	
Qualitativ ungenügende Bodenverbesserungen	+		Nicht berücksichtigt in Recherche
Qualitativ ungenügende Rekultivierungen	+		
Bewässerung von ungeeigneten Flächen	+/-		

Umfrage: ++: von der Mehrheit der Befragten als wichtig oder eher wichtig beurteilt
 +: von vielen Befragten als wichtig oder eher wichtig beurteilt
 +/-: Von den Befragten sehr unterschiedlich beurteilt
 -: von der Mehrheit der Befragten als unwichtig oder eher unwichtig beurteilt

Wissensbasis: ++: weit fortgeschrittene Wissensbasis
 +: fortgeschrittene Wissensbasis
 -: geringe Wissensbasis
 leer: wurde in der Literatur-Recherchen zum aktuellen Wissensstand nicht berücksichtigt

Politik: +: Von aktuellen Massnahmen berücksichtigt
 (+): Von geplanten Massnahmen berücksichtigt
 leer: Es wurden im Rahmen der Recherche keine Massnahmen gefunden

Résumé

Ce rapport vise à montrer de manière transparente le bilan de la contribution de la Suisse aux tâches 2.1, 2.2 et 2.3 de l'EJP SOIL et s'adresse principalement aux stakeholders suisses et aux membres du National Hub. Pour la contribution suisse de la feuille de route de recherche EJP SOIL, nous avons mené trois activités principales. Premièrement, une enquête auprès de 32 stakeholders représentant différentes parties du système suisse des connaissances agricoles. Deuxièmement, une série de rapports sur l'état des connaissances. Troisièmement, une analyse des politiques agricoles, environnementales et d'aménagement du territoire actuelles et prévues, ainsi que leurs objectifs et ambitions liés à la gestion durable des sols agricoles.

Les stakeholders ont largement convenu que les principaux défis de la gestion durable des sols agricoles ('soil challenges'²) et des besoins de recherche connexes en Suisse sont la compaction des sols, l'érosion des sols, la perte de carbone organique et la dégradation des tourbes, la perte de biodiversité des sols et la pollution des sols. L'imperméabilisation des sols est également considérée comme un défi majeur pour les sols, mais cette thématique souffre moins de lacunes dans les connaissances.

Un large éventail d'approches et de mesures visant à améliorer la production, la diffusion et l'application des connaissances sur les pratiques de gestion durable des sols (SSM) a été exprimé par les stakeholders. Sur la base de la littérature scientifique examinée, nous avons conclu que les connaissances sont les plus avancées pour l'imperméabilisation, l'érosion, la compaction, la pollution et l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs. Cependant, les experts scientifiques ont formulé des besoins de recherche pour tous les défis du sol.

Dans les politiques d'agriculture, d'environnement et d'aménagement du territoire de la Suisse, le maintien des fonctions du sol et leur gestion durable sont une priorité absolue. Cependant, de nombreux objectifs politiques sont de nature qualitative et leur statut actuel reste incertain.

Nos résultats, tels que résumés dans le tableau ci-dessous, suggèrent qu'il existe un large consensus parmi les points de vue des stakeholders, des chercheurs et des décideurs politiques sur les principaux défis pour les sols en Suisse (à savoir la compaction des sols, l'imperméabilisation des sols, l'érosion des sols, la perte de carbone organique, la biodiversité des sols, perte et pollution du sol). Ces défis du sol sont abordés par des politiques actives ou planifiées et font l'objet d'activités de recherche passées ou en cours. Pour d'autres défis du sol, supposément moins urgents, soit l'état des connaissances, soit l'intégration dans les politiques ou les deux sont moins avancés.

En ce qui concerne les recherches futures, nous concluons (i) que des méthodes supplémentaires pour surveiller et évaluer la qualité des sols, les fonctions des sols et les services écosystémiques fournis par les sols doivent être établies, et (ii) l'application d'approches participatives multi-acteurs pour l'évaluation des différentes fonctions du sol, ainsi que pour l'orientation future de la recherche en sciences du sol en général, doivent être utilisées plus couramment.

² Le terme collectif 'soil challenge' est utilisé dans le contexte du programme EJP SOIL et résume les différents défis pour la conservation et la promotion des fonctions des sols et des services écosystémiques fournis par les sols. Ce terme englobe parfois les termes collectifs de "menaces pour les sols". Une liste possible de "défis pour les sols" figure dans le tableau I.

Table I FR: Résumé de l'importance du soil challenge importance, de la base de connaissances et de l'intégration dans les politiques

Soil Challenge	Importance selon l'enquête	Qualité de l'état des connaissances	Prise en compte dans les politiques
Compaction du sol	++	+	(+)
Imperméabilisation du sol	++	++	(+)
Erosion du sol	++	+	+
Perte de carbone organique	++	-	(+)
Perte de biodiversité	++	-	(+)
Pollution des sols	++	+	+
Dégradation des tourbes	+	-	
Faible rétention d'eau	+		
Emissions N ₂ O & CH ₄	+	-	
Faible efficacité des éléments nutritifs	+/-	+	(+)
Acidification du sol	+/-		
Salinisation du sol	-		
Drainage sub-optimal	+	-	Pas pris en compte dans l'analyse
Amélioration des sols sub-optimale	+		
Remédiation/remise en culture sub-optimale	+		
Irrigation adéquate sub-optimale	+/-		

Enquête: ++: considéré (plutôt) important par une majorité de stakeholders
 +: considéré (plutôt) important par beaucoup de stakeholders
 +/-: considération contradictoire par les stakeholders
 -: considéré (plutôt) pas important par une majorité de stakeholders

Connaissances: ++: bon état des connaissances
 +: état des connaissances avancé
 -: état des connaissances peu avancés
 vide: pas pris en compte dans le rapport sur l'état des connaissances

Politiques: +: pris en compte par des politiques actives
 (+): prise en considération par des ambitions de politiques futures
 leer: aucune mesure n'a été trouvée dans le cadre de la recherche

Summary

This report aims at transparently showing Switzerland's Stocktake contribution to EJP SOIL Tasks 2.1, 2.2 and 2.3, and is mainly addressed to the contributing Swiss stakeholders and National Hub members. For the Swiss contribution to EJP SOILs research roadmap we conducted three main activities. First, a stakeholder survey with 32 stakeholders representing different parts of the Swiss agricultural knowledge system. Second, a series of state of knowledge reports. Third, an analysis of current and planned agricultural, environmental and spatial planning policies and their targets and ambitions related to sustainable agricultural soil management.

The stakeholders largely agreed that the main challenges to sustainable agricultural soil management and connected research needs in Switzerland are soil compaction, soil erosion, soil organic carbon (SOC) loss and peat degradation, soil biodiversity loss and soil contamination. Soil sealing was considered an important soil challenge but fewer knowledge gaps related with it were identified.

A wide range of approaches and measures to improve the production, dissemination and application of knowledge on sustainable soil management (SSM) practices have been voiced by stakeholders. Based on the reviewed scientific literature, we concluded that for sealing, erosion, compaction, contamination and nutrient use efficiency the knowledge base is most advanced. However, scientific experts formulated research needs for all soil challenges.

In Switzerland's agricultural, environmental and spatial planning policies the maintenance of the functionality of soils and enabling its sustainable management have high priority. However, many policy targets are qualitative in nature and their current status remains unclear.

Our findings, as summarized in Table I, suggest that there is wide consensus among the views of stakeholders, researchers and policy makers on the most important soil challenges in Switzerland (i.e. soil compaction, soil sealing, soil erosion, SOC loss, soil biodiversity loss and soil contamination). These soil challenges are addressed by active or planned policies and are subject to past or ongoing research activities. For other, supposedly less urgent, soil challenges either the state of knowledge, the integration into policies or both are less advanced.

In regard to future research, we conclude (i) that additional methods to monitor and evaluate soil quality, soil functions and ecosystem services provided by soils need to be established, and (ii) the application of participatory multi-stakeholder approaches for the valuation of different soil functions, as well for the future direction of soil science research in general need to be more commonly utilized.

Table I EN: Summary of soil challenge importance, knowledge base and policy integration

Soil Challenge	Importance according to survey	Quality of knowledge base	Taken into account by policy
Soil Compaction	++	+	(+)
Soil Sealing	++	++	(+)
Soil Erosion	++	+	+
SOC loss	++	-	(+)
Soil Biodiversity loss	++	-	(+)
Soil Contamination	++	+	+
Peat degradation	+	-	
Low H ₂ O retention	+		
N ₂ O & CH ₄ emissions	+	-	
Low nutrient use efficiency	+/-	+	(+)
Soil Acidification	+/-		
Soil Salinization	-		
Poor condition of the drainage systems	+	-	
Qualitatively insufficient soil improvements	+		Not considered in the policy analysis
Qualitatively insufficient soil recultivations	+		
Irrigation of unsuitable land	+/-		

Survey: ++: considered (rather) important by a majority of stakeholders
 +: considered (rather) important by many stakeholder
 +/-: consideration contradictory by stakeholder
 -: considered (rather) unimportant by a majority of stakeholders

Knowledge: ++: good knowledge base
 +: advanced knowledge base
 -: non-advanced knowledge base
 empty: Not considered in the State of Knowledge Report

Policy: +: addressed by active policies
 (+): addressed by future policy ambitions
 leer: no measures were found in the policy analysis

1 Einführung

Das EJP SOIL ist ein Europäisches Forschungsprogramm zu nachhaltiger landwirtschaftlicher Bodenbewirtschaftung. Die Ziele des EJP SOIL sind die Entwicklung von Wissen und Werkzeugen sowie die Bildung einer Forschungsgemeinschaft, um eine klimafreundliche, nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung zu fördern, welche eine nachhaltige Nahrungsmittelproduktion ermöglicht, die Bodenbiodiversität unterstützt und die Bodenfunktionen erhält.

Das EJP SOIL Konsortium besteht aus 26 Partnerinstitutionen aus 24 Ländern (Abbildung 1). EJP SOIL dauert von 2020 bis 2025 und verfügt über ein Gesamtbudget von ca. 80 Mio. €, wovon etwa die Hälfte von den beteiligten Institutionen beigetragen wird. Agroscope vertritt die Schweiz im EJP SOIL-Konsortium. Weitere Informationen finden Sie auf der [EJP SOIL Website](#).



Abbildung 1: Europäische Länder, die im EJP SOIL Konsortium vertreten sind

1.1 Ziel des Berichts

Dieser Bericht fasst den Beitrag der Schweiz zu den EJP SOIL Tasks 2.1, 2.2 und 2.3 zusammen. Die Aktivitäten der Bestandsaufnahme bilden die Grundlage für die Entwicklung der Forschungs-Roadmap des EJP SOIL. Die Roadmap wird die wichtigsten Prioritäten der Forschung umreissen sowie die Harmonisierung von Bodendaten, die Politikgestaltung und die Anwendung des erarbeiteten Wissens unterstützen.

Dieser Bericht richtet sich hauptsächlich an die Schweizer Stakeholder und die Mitglieder des National Hub, die zu den verschiedenen Teilen dieses Berichts beigetragen haben. Darüber hinaus zielt der Bericht darauf ab, ein interessiertes Publikum über die Ergebnisse der Schweizer Bestandsaufnahme zu informieren und den Beitrag der Schweiz zu den EJP SOIL Tasks 2.1 bis 2.3 transparent darzustellen.

1.2 Beitrag zum EJP SOIL

Alle Teile dieses Berichts, mit Ausnahme der Gesamtzusammenfassung und der Schlussfolgerungen, sind in verschiedene Task des EJP SOIL eingeflossen. Die Tabelle 1 stellt die Bezüge zwischen der EJP SOIL Tasks und den Abschnitten dieses Berichts dar.

Tabelle 1: Bezüge zwischen der EJP SOIL Tasks und Berichtsabschnitten

Abschnitt	Titel	Autorenschaft	EJP SOIL Task
2.2.1	Soil Challenge Identifikation und Forschungsbedarf	O. Heller, N. Peter	Tasks 2.2.2 und 2.3
2.2.2	Wissenssystem und Koordination	O. Heller	Tasks 2.2.2
2.2.3	Verbesserung der Wissensbasis	O. Heller, N. Peter	Task 2.2.2 und 2.3
3	Stand des Wissens	O. Heller	Task 2.2.1
4	Politikanalyse	N. Peter	Task 2.1

2 Stakeholder Umfrage

2.1 Vorgehen

2.1.1 Stakeholder Identifikation und Auswahl

32 Stakeholder aus dem landwirtschaftlichen Wissenssystem der Schweiz wurden ausgewählt um die relevanten Regierungsebenen (d.h. Bund und Kantone) und Organisationen zu vertreten. Die Stakeholder haben vielfältige Perspektiven auf die nachhaltige Bodenbewirtschaftung (NBB³): Praktiker, LehrerInnen und BeraterInnen, Verwaltungsmitarbeitende, VerbandsvertreterInnen. Die Auswahl der Personen basierte auf deren dokumentierten Interesse an NBB-bezogenen Themen und dem Netzwerk der Forschungsgruppe Bodenqualität und Bodennutzung. Eine Liste der beteiligten Stakeholder findet sich in Annex I.

2.1.2 Fragebögen

Basierend auf den EJP SOIL Vorgaben^{4,5} wurden drei Fragebögen entworfen. Die Themen der Fragebögen waren:

- 1) Wissenssystem
- 2) Forschungsbedarf
- 3) Herausforderungen und Möglichkeiten.

Die Fragen und die Formulierung der Fragen entsprachen weitgehend von den EJP SOIL Vorgaben und wurden lediglich an den Schweizer Kontext angepasst.

Die Umfragen wurden mittels eines Online-Tools durchgeführt. Die Stakeholder erhielten einen oder zwei Fragebögen, je nach ihrer Rolle im Wissenssystem. 17 Stakeholder erhielten Umfrage 1, 13 Umfrage 2 und 16 Umfrage 3. Die Zuordnung der Stakeholder zu den Umfragen findet sich in Annex I.

Insgesamt wurden den Stakeholdern 16 Multiple-Choice- und 21 offene Textfragen gestellt. Die vollständige Liste der Fragen in deutscher Sprache findet sich in Annex II. Die Fragebögen 1 und 2 wurden ins Französische übersetzt.

2.2 Resultate

Im Durchschnitt benötigten die Stakeholder 27 (± 10) Minuten zur Beantwortung von Fragebogen 1, 37 (± 28) Minuten zur Beantwortung von Fragebogen 2 und 57 (± 33) Minuten zur Beantwortung von Fragebogen 3.

In diesem Bericht wurden die Fragen und die Antworten der Stakeholder zur besseren Lesbarkeit synthetisiert.

Alle Aussagen in diesem Abschnitt (2.2 Resultate) geben die Meinungsäußerungen der Stakeholder wieder und entsprechen nicht notwendigerweise der Meinung der Autoren, von Agroscope oder des EJP SOIL.

³ In Englischen Textteilen: SSM = sustainable soil management

⁴ Mulkholm L. J. & Thorsøe M. H., 2020. EJP SOIL Task 2.2: Knowledge availability and use – Guidelines for national analysis.

⁵ Farina R., Di Bene C., Piccini C. & Vanino S., 2020. EJP SOIL Task 2.3: Identification of barriers and opportunities by scenario development.

2.2.1 Soil Challenge Identifikation und Forschungsbedarf

Relevanz der Soil Challenges

In Abbildung 2 sind die Meinungen der Stakeholder zur Bedeutung der Soil Challenges in der Schweiz dargestellt. In Bezug auf den Humusverlust muss erwähnt werden, dass zwei Stakeholder angaben, diese Frage mit dem Fokus auf Dauergrünland beantwortet zu haben.

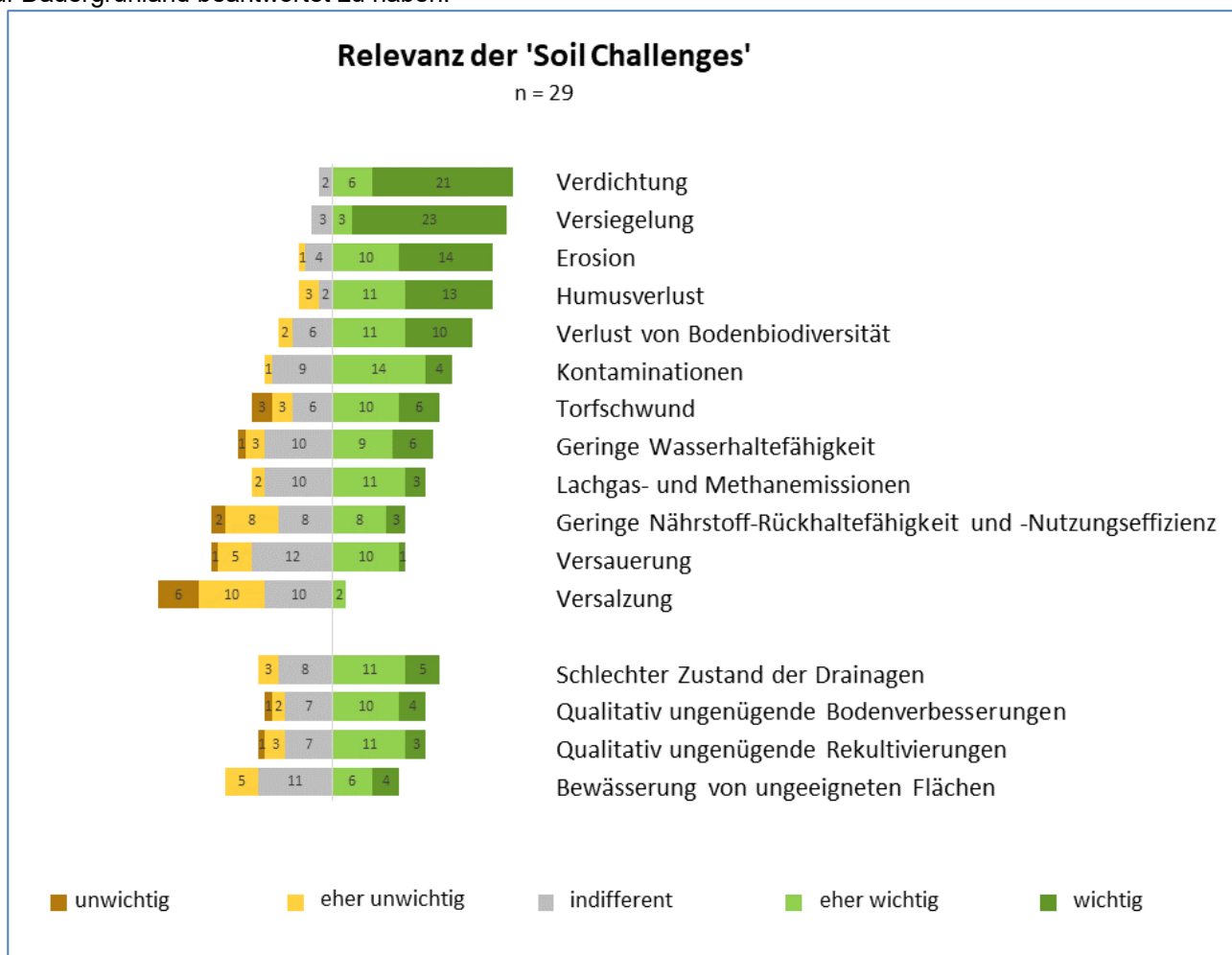


Abbildung 2: Stakeholdereinschätzung der Relevanz der Soil Challenges

Forschungsbedarf je nach Soil Challenges

Der geäußerte Forschungsbedarf je nach Soil Challenge (Abbildung 3) stimmte weitgehend mit der angegebenen Relevanz der Soil Challenges (Abbildung 2) überein. Eine wichtige Ausnahme war die Versiegelung, zu welcher der Forschungsbedarf als weniger relevant eingeschätzt wurde.

Nach Ansicht der Mehrheit der Schweizer Stakeholder gibt es neben den offiziellen EJP SOIL Challenges weitere Herausforderungen die wichtig sind und weiter erforscht werden müssen. Diese Herausforderungen sind die Optimierung des Bodenwasserhaushalts durch verbesserte Drainagetechniken, die technische Wiederherstellung von Böden (Rekultivierungen) und die Bodenverbesserungen (z.B. mit standortfremdem organischem Bodenmaterial). Einige wenige Akteure betrachteten die Bewässerung ungeeigneter Standorte als zusätzliche Herausforderung.

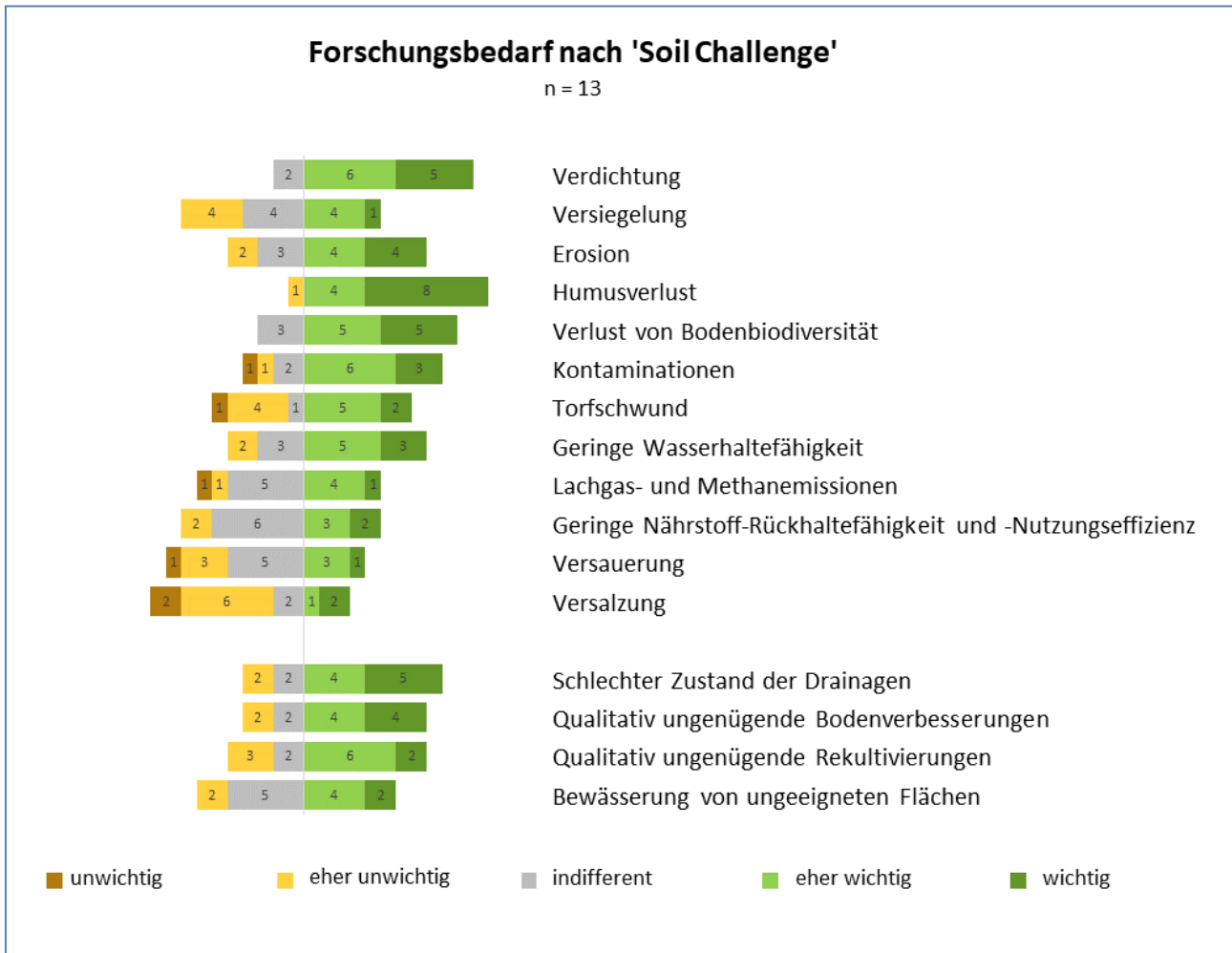


Abbildung 3: Stakeholdereinschätzung des Forschungsbedarfs je nach Soil Challenge

Weiterer Forschungsbedarf

Die wichtigsten, nicht Soil-Challenge-spezifischen Forschungslücken, die von den Stakeholdern genannt wurden, waren:

- Effektive Ansätze und Methoden zur Verbreitung von NBB-Wissen und -Praktiken müssen entwickelt und eingeführt werden.
- Eine wichtige offene Frage scheint zu sein: "Was sind standortangepasste NBB-Praktiken an einem bestimmten Standort oder in einer bestimmten Region?" Die Standorteigenschaften sind vielfältig (z.B. organische und mineralische Böden), daher ist auch ihre nachhaltige Bewirtschaftung vielfältig und muss das Zusammenspielen verschiedener Soil Challenges berücksichtigen.
- Effiziente, ganzheitliche und einfach anzuwendende Bodenqualitätsindikatoren müssen etabliert werden, um die Eignung von NBB-Praktiken und -Systemen zu bewerten.
- Gemäss den befragten Drainage-SpezialistInnen gibt es viele offene Fragen bezüglich einer effizienten und effektiven Entwässerung. Wie können Entwässerungssysteme erhalten, wiederhergestellt und verbessert werden? Können Entwässerungssysteme so optimiert werden, dass die Auswirkungen auf die Umwelt minimiert werden, zum Beispiel durch eine dynamische Regulierung des Grundwasserspiegels? Welche Auswirkungen haben Entwässerungssysteme insgesamt auf Produktion, Böden und Umwelt?

Viele Stakeholder äusserten Wissenslücken in Bezug auf einzelne Soil Challenges. Einige der Wissenslücken sind unten aufgeführt. Weiterhin sind Ansichten der Stakeholder zum Umgang mit Verdichtung, Erosion, Versiegelung, Humusverlust und suboptimale Rekultivierungen im Annex III (in Englisch) zusammengefasst.

- Wissen zur Vermeidung von Bodenverdichtungen und zur Wiederherstellung verdichteter Böden scheint oft nicht vorhanden zu sein. Gefragt wurde nach dem Einfluss von schweren Maschinen und Unterbodenverdichtungen auf die Bodenfruchtbarkeit und die Erträge, nach Strategien zur Vermeidung von Unterbodenverdichtungen im Grünland und nach Strategien zur Behebung von Bodenverdichtungen.
- Bewirtschaftungsfaktoren der Humusdynamik sind nicht gut genug bekannt. Es werden konkrete Strategien benötigt, wie der Humusgehalt effektiv und effizient erhöht und erhalten werden kann.
- Die Funktion, der Einfluss und der Zustand der Bodenbiologie scheint noch nicht ausreichend erforscht zu sein. Es fehlen Methoden zur einfachen Bewertung des biologischen Zustands des Bodens und Bewirtschaftungsstrategien zur Verbesserung der Bodenbiologie. Darüber hinaus erwähnte ein Stakeholder, dass die Wirkung von mikrobiellen Hilfsmitteln (z.B. Komposttees) nicht ausreichend erforscht ist.
- Die notwendigen Strategien, Aktivitäten und realistischen Zeiträume zur Wiederherstellung von degradierten Böden (z.B. verdichtet, erodiert, kontaminiert oder extrem humusarm) sind gemäss einigen Stakeholdern weitgehend unbekannt.
- Einige Stakeholder forderten ein tieferes Verständnis der langfristigen Auswirkungen von chemischen und mechanischen Pflanzenschutzstrategien auf die Bodenqualität.

Wichtigste Lücken im Boden-Monitoring

Einige Stakeholder erwähnten Lücken im Monitoring des Bodens, diese Erwähnungen werden im Folgenden zusammengefasst. Für weitere Überlegungen könnten die unten erwähnten Aussagen mit einer aktuellen Studie zu den Bedürfnissen an das künftige Boden-Monitoring abgeglichen werden⁶.

- Einige Stakeholder sagten, dass die bestehenden Überwachungsnetzwerke besser koordiniert werden sollten und dass die Ergebnisse gezielter auf Landwirte und andere Stakeholder ausgerichtet werden könnten. Ausserdem sollte die Anzahl der Standorte erhöht werden, um die Vielfalt der Böden und Bodenbewirtschaftungspraktiken in der Schweiz zu repräsentieren. Zum Beispiel sollte die Anzahl der Standorte auf organischen Böden erhöht werden und die Standortauswahl sollte den Vergleich von entwässerten und nicht entwässerten Standorten ermöglichen.
- Die Umfrageteilnehmer nannten viele zusätzliche Aspekte, die in Zukunft betrachtet werden könnten. Die Bewirtschaftung (inkl. Entwässerung) der Standorte sollte beschrieben und bewertet werden, um Bewirtschaftungseffekte zu evaluieren. Ausserdem sollten alle Standorte mit einem Bodenqualitätsindex bewertet werden anstelle von einzelnen Parametern. Die Liste der genannten Bodeneigenschaften, die untersucht werden könnten, ist relativ lang und umfasst physikalische Bodenparameter, Bodenverdichtung, Bodenbiologie, Veränderungen des OS-Bestands im gesamten Profil, Torfdegradationsstatus, Kontamination durch Mikroplastik und andere toxische Verbindungen.
- Ein nationales Inventar der Quantität und Qualität der FFF-Flächen wurde gefordert.
- Darüber hinaus fragten die Stakeholder, wie die Ergebnisse der Messnetze genutzt werden können, um Rückschlüsse auf den Zustand aller Böden zu ziehen.

⁶ Gubler A., Meuli R. G. & Keller A., 2020. Bedürfnisse der Kantone und des Bundes rund um ein Monitoring der Ressource Boden: Erfassung und Beurteilung von Risiko, Zustand und zeitlicher Entwicklung durch flächenhafte Erhebungen (Kartierung) und langfristige Beobachtung. Agroscope, NABO, Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zürich-Reckenholz.

2.2.2 Wissenssystem und Koordination

Zustand des landwirtschaftlichen Wissenssystems

Die Stakeholder wurden um ihre Meinung zu acht Aussagen über den Zustand des landwirtschaftlichen Wissenssystems in der Schweiz und dessen Fähigkeit, Landwirten Wissen über NBB zur Verfügung zu stellen, gebeten (Abbildung 4). Es gibt erhebliche Unterschiede zwischen den Antworten. Im Allgemeinen stimmten Stakeholder, die in der Ausbildung der Landwirte und in der Beratung tätig sind, den Aussagen eher zu, während Forschende und Verbandsvertreter sie eher ablehnten.

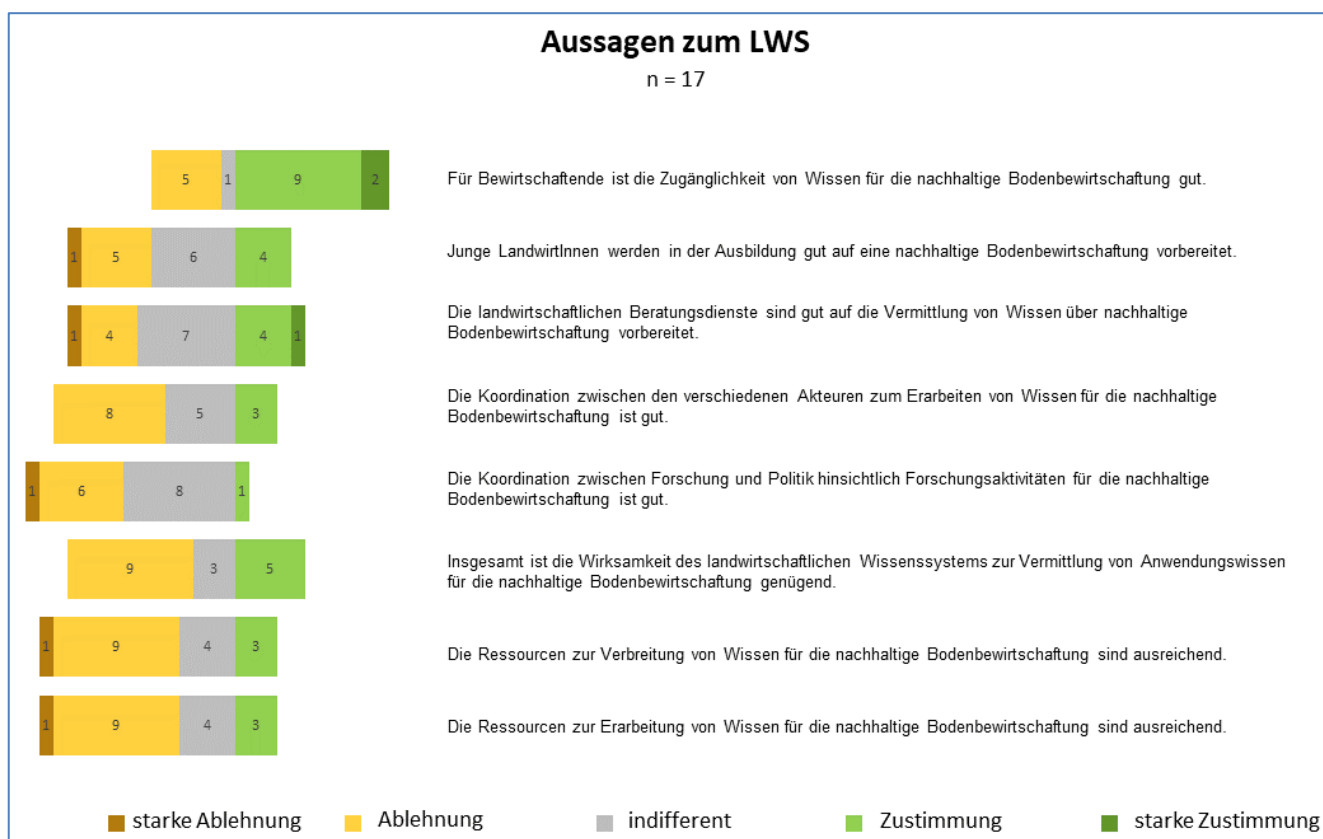


Abbildung 4: Meinung der Stakeholder zu Aussagen über das landwirtschaftliche Wissenssystem

Nutzung verschiedener Plattformen zur Verbreitung von NBB-Wissen

Die Stakeholder wurden nach der Nutzung verschiedener Plattformen für die Verbreitung von NBB-Wissen befragt. Neben den in Abbildung 5 genannten Plattformen wurden weitere Plattformen genannt, darunter digitale Plattformen (d.h. soziale Medien wie YouTube und Messenger-Gruppen), die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (BGS) und obligatorische Beratungsangebote, z.B. als Teil von freiwilligen Direktzahlungsprogrammen, oder im Rahmen von Ressourcenprojekten.

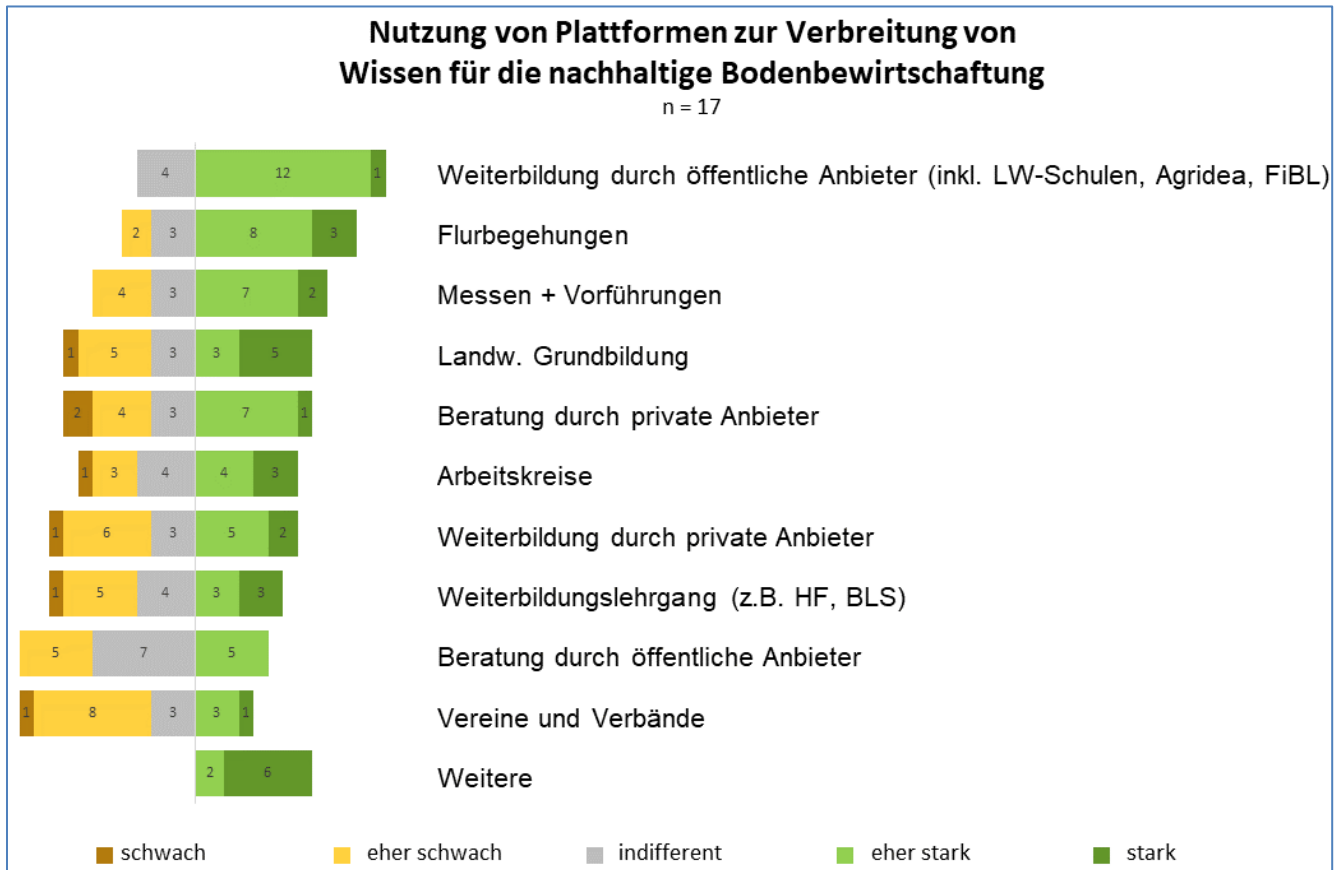


Abbildung 5: Stakeholdereinschätzung der Nutzung unterschiedlicher Plattformen zur Verbreitung von NBB-Wissen

Wie kann die Koordination verbessert werden?

Die Stakeholder wurden gefragt, wie die Koordination innerhalb des landwirtschaftlichen Wissenssystems der Schweiz verbessert werden könnte:

- Es könnte eine nationale Strategie zur Verbreitung und Beratung von bzw. zu NBB-Praktiken entwickelt werden. Die Kommunikation und Beratung könnte harmonisiert werden.
- Ein nationales oder regionales NBB-Netzwerk könnte etabliert werden. Das Netzwerk sollte alle relevanten Akteure einbeziehen, wie z.B. Bauerngruppen und -verbände (z.B. Swiss No-Till und die Bewegung der regenerativen Landwirtschaft), Beratende, Forschende, bestehende Netzwerke (z.B. Forum Ackerbau), Lohnunternehmen und landwirtschaftliche Genossenschaften. Ausserdem sollte das Netzwerk leicht zugänglich sein.

Das Netzwerk sollte die Möglichkeit bieten, Wissen und Erfahrungen zu NBB auszutauschen. Dieses Netzwerk könnte webbasierte Plattformen, Apps und Veranstaltungen anbieten. Es sollten Informationen für Landwirte, Berater sowie Behörden (z.B. Ressourcenprojekte) ausgetauscht werden können. Die Koordination dieses Netzwerks sollte adäquat und dauerhaft organisiert und finanziert werden (z.B. via Agridea).

Dieses vorgeschlagene Netzwerk könnte dazu beitragen, die Zusammenarbeit zwischen den Produzenten (z.B. zwischen Kartoffel-, Gemüse- und Zuckerrübenproduzenten) zu verstärken, die Kooperation und den Austausch zwischen Forschung und Praxis zu erhöhen und eine bessere Verbindung zwischen Forschung und Politik und Behörden zu gewährleisten.

Durch den verstärkten Austausch soll die Bodenforschung stärker auf die Bedürfnisse der Praxis und der Politik ausgerichtet werden. So könnte diese Forschung Berater und Landwirte effektiver unterstützen. Innerhalb des Netzwerks könnte auch entschieden werden, welche Ansätze, Techniken und Maschinen bewertet und später allenfalls gefördert werden sollen. Das Netzwerk könnte auch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen und Kompetenzen unter den Forschenden erleichtern.

- Auf staatlicher Seite könnten die Bodenschutzfachstellen stärker in den agrarpolitischen Rahmen und dessen Umsetzung eingebunden werden.
- Einige Stakeholder verwenden unterschiedliche Begriffe und Konzepte, wenn sie über NBB-Themen sprechen. Ein gemeinsames Vokabular zu NBB-Themen sollte sich entwickeln, um die Koordination der verschiedenen Akteure zu vereinfachen. Ausserdem muss dieses Vokabular in drei Sprachen verständlich oder zumindest übersetzbar sein.

2.2.3 Verbesserung der Wissensbasis

Ansätze zur Verbesserung der Boden-Wissensbasis

Die Stakeholder äusserten, dass es mehrere Ansätze gibt, um die Boden-Wissensbasis in der Schweiz zu verbessern (Abbildung 6). Neben den von EJP SOIL vorgeschlagenen Ansätzen wurden auch die partizipative Entwicklung von Forschung und Gesetzgebung sowie die Unterstützung des digitalen Lernens als wichtig erachtet.

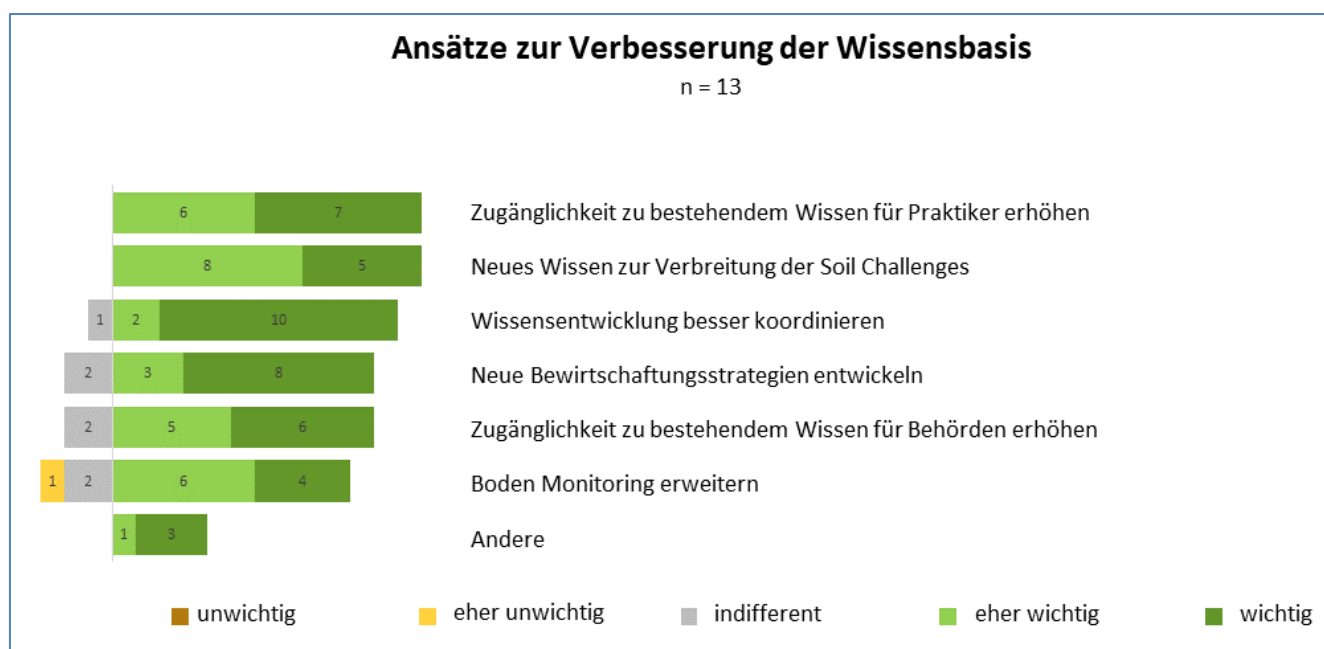


Abbildung 6: Stakeholdereinschätzung zur Relevanz verschiedener Ansätze zur Verbesserung der Wissensbasis

Wie kann die Entwicklung von Wissen verbessert werden?

Für die Wissenserarbeitung scheint ein Mangel an Zusammenarbeit und Austausch, insbesondere zwischen Forschung und Praktikern, ein Hauptproblem zu sein (Abbildung 7 und Abschnitt 2.2.2). Darüber hinaus wurden von den Stakeholdern weitere Ansätze zur Verbesserung der Wissenserarbeitung zu NBB genannt:

- Viele Stakeholder äusserten, dass sich die Bodenforschung stärker an den Bedürfnissen der Praxis orientieren muss. So benötigen Landwirte und Berater einen Katalog mit spezifischen Praktiken oder Systemen und keine Allgemeinplätze oder Prinzipien zur Bodenbewirtschaftung.
- Die Komplexität von NBB-Praktiken und -Systemen muss berücksichtigt werden. Wenn die Anwendung von NBB-Wissen aus organisatorischer Sicht schwierig zu handhaben ist, wird die Umsetzung begrenzt bleiben. Daher ist die partizipative Entwicklung von neuen Lösungen und Entscheidungsunterstützungswerkzeugen wichtig.

- Die Forschung muss stärker systemorientiert sein. Sie muss über die Bewertung einzelner Faktoren (z.B. Erosion, Humusverlust) hinausgehen. Beispielsweise müssen die Herausforderungen für den Boden auf der Ebene eines Einzugsgebiets und mit Blick auf die Wertschöpfungskette bewertet und angegangen werden. Aspekte der Systemorientierung sind zum Beispiel: Was sind die Auswirkungen von NBB-Praktiken und -Systemen auf Produktivität, Erträge und Gewinne? Was sind die langfristigen Auswirkungen von NBB-Praktiken und -Systemen auf die Bodenqualität? Sind die heutigen NBB-Praktiken zukunfts- und klimawandel-tauglich? Sind die neuen Techniken auf den landwirtschaftlichen Betrieben anwendbar und umsetzbar?
- Ein transdisziplinärer Ansatz, um mögliche Zielkonflikte und Kompromisse im Zusammenhang mit NBB (ökologisch, ökonomisch, sozial, traditionell, etc.) zu identifizieren und anzugehen, muss in Beracht gezogen werden. Dieser Ansatz sollte in der Lage sein, die Einschränkungen auf Betriebsebene für die NBB-Anwendung zu berücksichtigen, wie z.B. Erschwinglichkeit, Arbeitszeitbedarf, Zeitplanung und Prioritätensetzung.

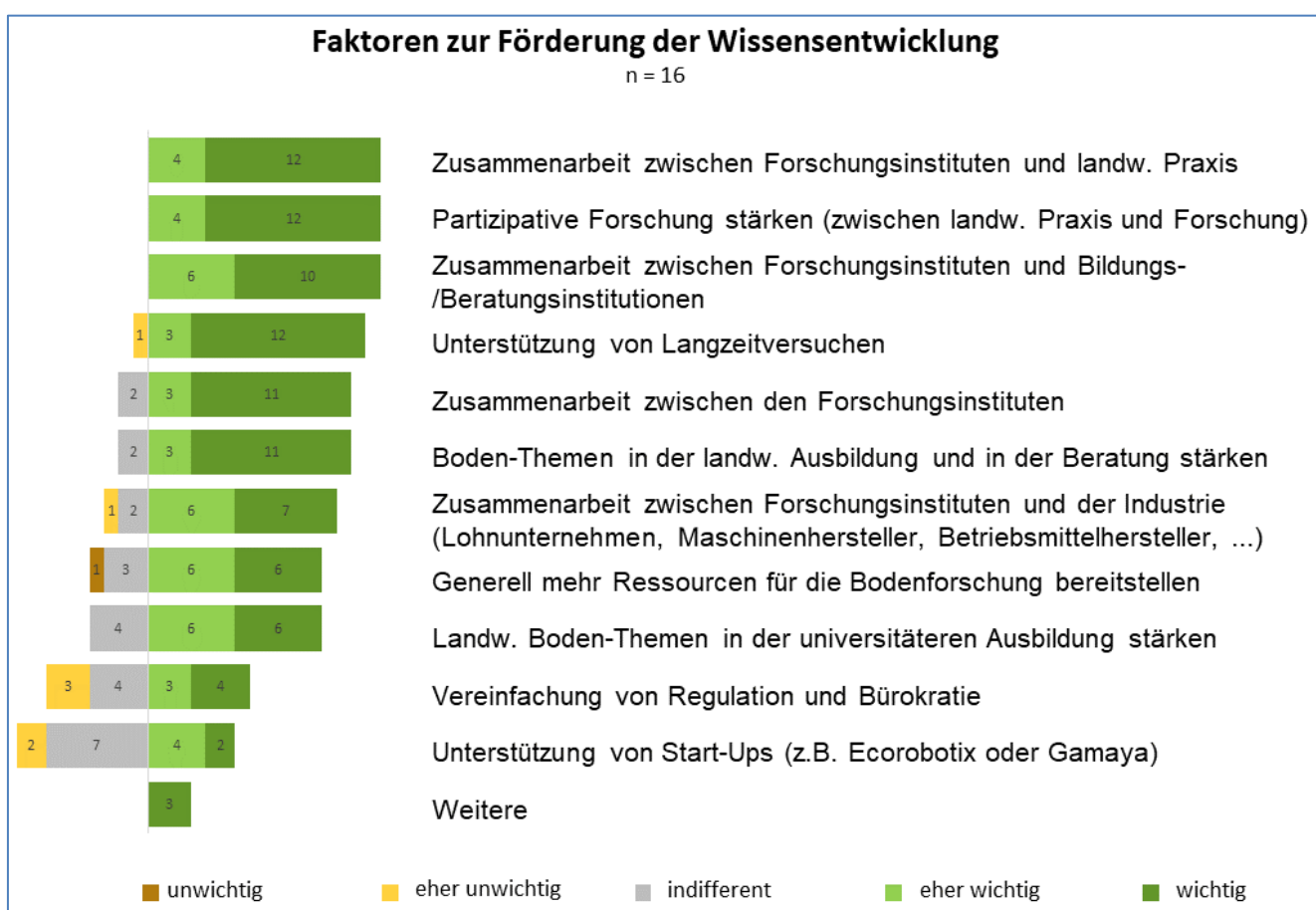


Abbildung 7: Stakeholdereinschätzung zur Relevanz verschiedener Faktoren zur Verbesserung der Wissensentwicklung

Wie kann die Verbreitung von Wissens verbessert werden?

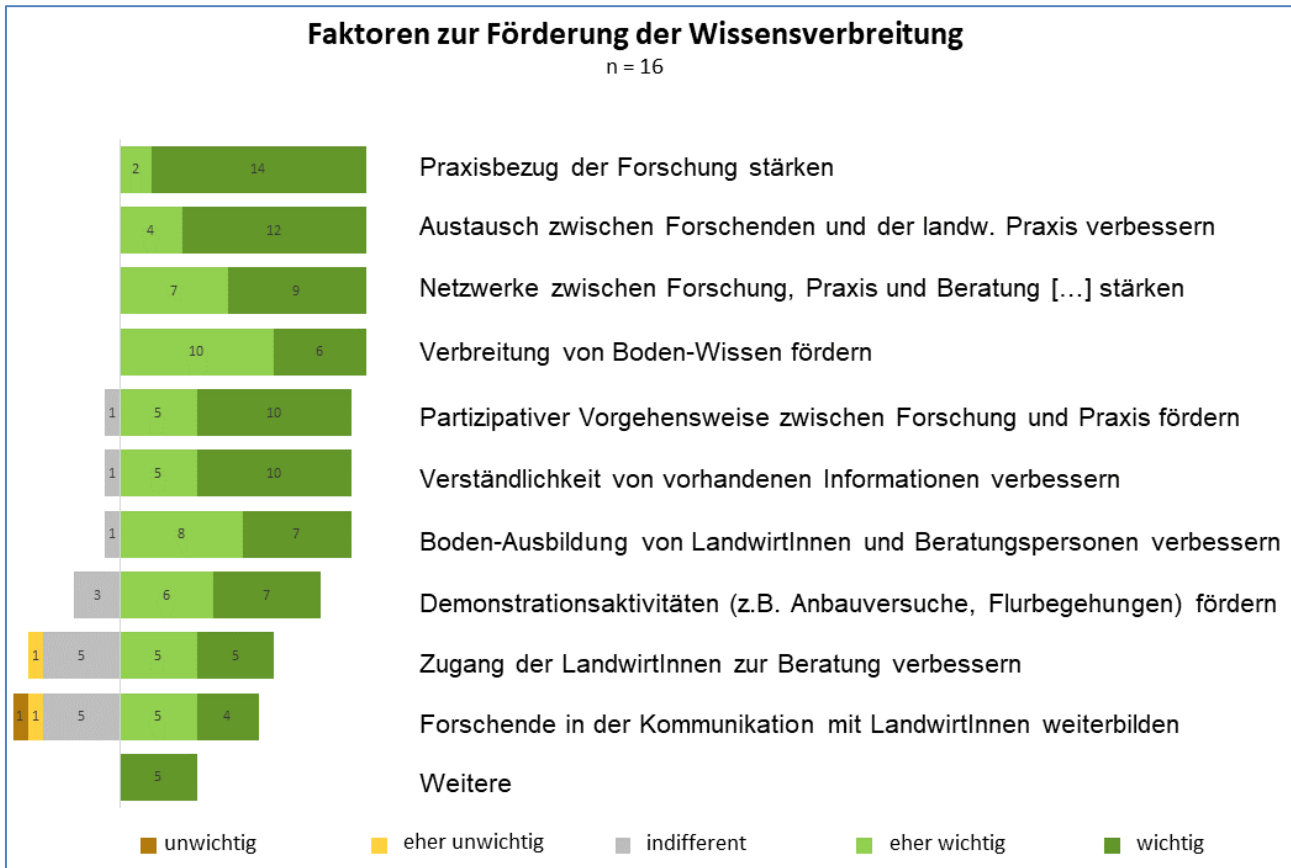


Abbildung 8: Stakeholdereinschätzung zur Relevanz verschiedener Faktoren zur Verbesserung der Wissensverbreitung

Die Stakeholder wurden gebeten, verschiedene Ansätze zur Verbesserung der Verbreitung von NBB-Wissen in der Schweiz zu bewerten (Abbildung 8). Die folgenden Ansätze wurden geäußert, als die Stakeholder nach Möglichkeiten gefragt wurden, wie Wissensverfügbarkeit und -verbreitung erhöht werden könnte:

- Es sollte eine zugängliche und leicht verständliche webbasierte Plattform für die Verbreitung von NBB-Wissen eingerichtet werden. So wird digitales Lernen ermöglicht. Eine solche Plattform könnte die Integration sozialer Medien beinhalten, um die digitale Vernetzung zu erleichtern. Multimedia-Produkte könnten auf dieser webbasierten Plattform verbreitet werden.
- Die Entwicklung und Pflege von integrierten digitalen Tools (z.B. Apps) könnte die Verfügbarkeit und Nutzung von Wissen verbessern. Ein Tool, mit dem Landwirte selbstständig die Eigenschaften ihrer Felder analysieren können, wurde als entscheidend für eine standortangepasste Bodenbewirtschaftung genannt.
- Boden und NBB sollten ein attraktiver Eckpfeiler der landwirtschaftlichen Ausbildung werden. Die Ausbildung zum Thema Boden sollte auf allen Ebenen gestärkt werden; dazu gehört ein effizienter Austausch mit Berufskollegen, Beratern und Forschern sowie ein systematisches Lernen von Berufskollegen. Lehrer und Berater (aber auch anwendungsorientierte Forscher) müssen die Möglichkeit haben, ihr Wissen zu vertiefen und sich weiterzubilden. Für Berater könnte eine auf die landwirtschaftliche Bodenkunde bezogene Ausbildung organisiert werden, zum Beispiel durch Agridea. Ausserdem sollte NBB in der Fortbildung von Landwirten gezielt thematisiert werden.

- Praktische Ausbildung und Demonstrationen, wie Feldtage, Besichtigungen von Streifenversuchen und Maschinenvorfürungen müssen gestärkt werden. Sie sollten auf regionaler Basis abgehalten werden, um für die Landwirte zugänglich zu sein. Diese Fortbildungen und Veranstaltungen könnten als Führungen organisiert sein, aber auch autonom zugänglich sein (z.B. durch Tafeln oder QR-Codes).
- Arbeitskreise zur Verbreitung von NBB-Wissen von Landwirt zu Landwirt sollten gefördert werden. Arbeitskreise sollen aufgrund der sozialen Lernprozesse, der kollektiven Ermutigung sowie der gemeinsamen Zielerreichung erfolgreich sein. Solche Arbeitskreise könnten organisatorische, methodische und inhaltliche Unterstützung durch ein Sekretariat und Experten in Anspruch nehmen. Ein solches System würde eine angemessene und stabile Finanzierung benötigen.
- Das Wissen über NBB könnte Entscheidungsträgern durch gezielte Bildungsangebote (z.B. durch landwirtschaftliche oder universitäre Bildungseinrichtungen oder Agridea) leichter zugänglich gemacht werden. Darüber hinaus sollten relevante wissenschaftliche Erkenntnisse kurze Zusammenfassungen enthalten, die speziell für Politische Entscheidungsträger geschrieben sind (nicht nur wissenschaftliche Abstracts, sog. Policy Briefs).

Wie kann die Anwendung von Wissen verbessert werden?

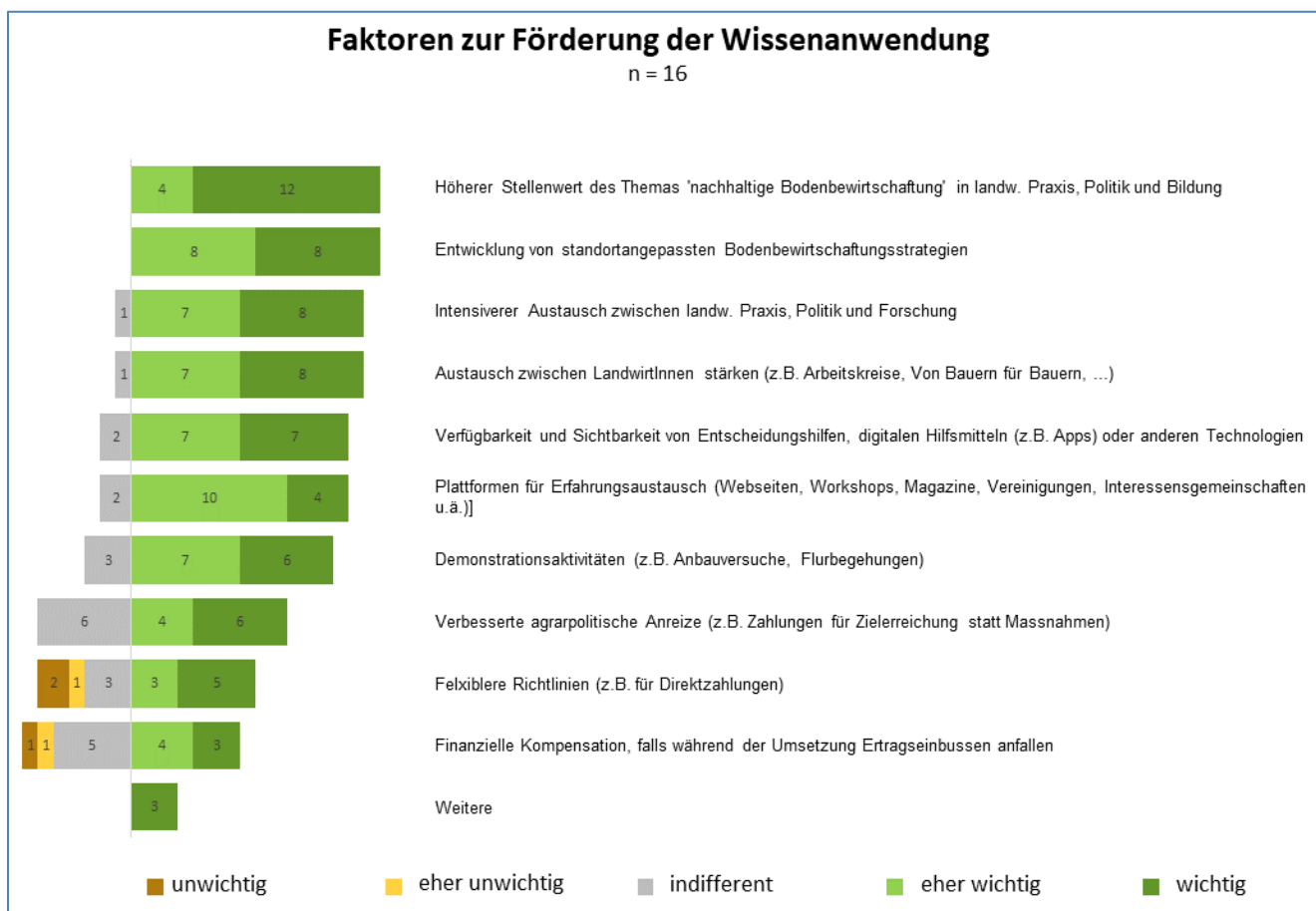


Abbildung 9: Stakeholdereinschätzung zur Relevanz verschiedener Faktoren zur Verbesserung der Wissensanwendung

Neben der Bewertung verschiedener Faktoren (Abbildung 9), äusserten die Stakeholder viele Ideen, wie die Anwendung von Wissen über NBB und die Anwendung von NBB-Praktiken gefördert werden könnte.

- Transparente Informationen über NBB-Praktiken müssen für die Landwirte zugänglich und nutzbar sein. Diese Informationen sollten Vorteile, aber auch Kosten und Nachteile aufzeigen. Ausserdem sollte sie die Sichtbarkeit von Best-Practice-Beispielen erhöhen.
- Es muss eine integrierte, standortangepasste Perspektive auf NBB entwickelt werden, die die Komplexität und Zielkonflikte berücksichtigt. Eine solche Perspektive muss Standorteigenschaften, Unkrautkontrolle, Pflanzenschutz, Nährstoffmanagement, biologische Vielfalt des Bodens, biologische Aktivität des Bodens, Bodengesundheit, Nährstoff- und Wasserrückhalt etc. einbeziehen.
- "Wenn die Anwendung von NBB-Wissen auf den Betrieben nicht wirtschaftlich ist, wird dieses Wissen nicht umgesetzt und wirkt nicht, deshalb: wirtschaftliche Anreize sind wichtig und organisatorisch kluge Handlungsoptionen sind hilfreich." Mehrere Ideen, um die wirtschaftlichen Anreize für NBB zu erhöhen, wurden von den Stakeholdern genannt:
 - NBB sollte in der Agrarpolitik und ihren Instrumenten stärker berücksichtigt werden. Beispielsweise könnten NBB und die Erhaltung der Bodenqualität in den Ökologischen Leistungsnachweis aufgenommen werden oder gezielte Direktzahlungen (z.B. Ressourceneffizienzbeiträge, Ressourcenprojekte) könnten weiter verbessert werden, um die Verbreitung von NBB zu erleichtern. Darüber hinaus könnten Direktzahlungen an eine NBB-Fortbildung gekoppelt werden.
 - Viele Ideen zu standortangepassten oder flexibleren Direktzahlungen wurden geäussert. Direktzahlungen könnten an Boden- und Standorteigenschaften gekoppelt werden (standortangepasste Landwirtschaft).
 - Flexiblere Beitragssysteme, ohne allzu spezifische Anforderungen, sollten es den Landwirten ermöglichen, ihr Wissen und ihre Erfahrung besser zu nutzen. Ausserdem sollten nicht bestimmte Praktiken subventioniert werden, sondern das langfristige Erreichen von Bodenqualitätszielen sollte belohnt werden. Die Stakeholder erwähnten auch, dass solche Bodenqualitätsziele realistisch sein müssen, d.h. standortangepasst.
 - Bestehende oder neue Labels könnten mehr Gewicht auf NBB legen und so ökologische Anreize für Landwirte schaffen, NBB-Praktiken anzuwenden.
 - Ein Interessenvertreter, der sich mit der Umsetzung der Agrarpolitik befasst, wies darauf hin, dass (neue) Regelungen effizient und effektiv durchsetzbar und kontrollierbar sein müssen. Ein anderer Stakeholder fügte hinzu, dass kontrollbasierte Systeme dazu neigen, zu komplex zu werden, um sie zu handhaben.
- Zum Abschluss der Umfrage erwähnte ein Stakeholder, dass die derzeitigen Bemühungen fortgesetzt werden müssen, da "steter Tropfen den Stein höhlt".

2.3 Zusammenfassung und Diskussion

Insgesamt äusserten die Stakeholder, dass die nachhaltige Bewirtschaftung der Schweizer Böden vor vielfältigen Herausforderungen steht. Die Soil Challenges in absteigender Reihenfolge der Nennung sind: Verdichtung, Versiegelung, Erosion, Humusverlust, Verlust der Bodenbiodiversität, Kontamination, Torfschwund, suboptimale Drainage, geringe Wasserhaltefähigkeit, Lachgas- und Methanemissionen, qualitativ ungenügende Bodenverbesserungen und Rekultivierungen, geringe Nährstoffnutzungseffizienz. Andererseits wurden Bodenversauerung, Versalzung sowie die Bewässerung ungeeigneter Flächen als wenig relevante Herausforderungen für eine nachhaltige Bodennutzung in der Schweiz angesehen.

Die Einschätzung des Forschungsbedarfs deckte sich weitgehend mit der wahrgenommenen Bedeutung der Soil Challenges. Eine wichtige Ausnahme war die Bodenversiegelung, für die Forschung weniger wichtig zu sein scheint als für andere Soil Challenges. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Bodenversiegelung durch die Raumplanung angegangen wird, so dass die Begrenzung der Bodenversiegelung meist durch den fehlenden politischen Willen und nicht durch Wissenslücken behindert wird. Ausserdem beschäftigten sich unsere Stakeholder vor allem mit der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Dies mag zu einer relativen Unterbewertung der Relevanz der Bodenversiegelung beigetragen haben.

Mehrere Stakeholder erwähnten spezifischen Forschungsbedarf, um einzelne oder mehrere Soil Challenges anzugehen. Andere erwähnten eher allgemeinen Forschungsbedarf, z.B. "wie kann man NBB-Wissen effizient verbreiten?"; standortangepasste NBB-Praktiken; einfach anzuwendende Bodenqualitätsindikatoren. Einige Stakeholder schlugen vor, das Bodenmonitoring zu verbessern, z.B. durch eine verstärkte Koordination zwischen bestehenden Monitoringsystemen (z.B. NABO und KABOs) oder zusätzliche Erhebungsparameter. Darüber hinaus äusserten die an der landwirtschaftlichen Strukturverbesserung beteiligten Akteure den Bedarf an effizienteren und effektiveren Drainagesystemen.

Auf die Frage nach dem Stand des landwirtschaftlichen Wissenssystems in der Schweiz stimmten viele Stakeholder zu, dass Landwirte einen guten Zugang zu NBB-Wissen haben, z.B. durch spezifische Schulungen und Feldtage. Auf der anderen Seite sagten einige Stakeholder, dass das derzeitige Wissenssystem nicht effektiv genug sei, um NBB-Wissen zu vermitteln. Dies deutet darauf hin, dass es andere Wissensquellen gibt, die den Landwirten ausserhalb des "traditionellen" Wissenssystems zugänglich sind. Allerdings gab es erhebliche Meinungsverschiedenheiten über den Zustand des Wissenssystems. Allgemein bewerteten Berater und Lehrer das Wissenssystem positiver als die Forscher und Bauernvertreter.

Viele Stakeholder äusserten, dass die Koordination innerhalb des Wissenssystems durch eine Reihe von Massnahmen verbessert werden könnte. Solche Massnahmen beinhalten eine nationale Strategie für die Verbreitung von NBB und Beratungsdienstleistungen sowie ein nationales oder regionales NBB-Netzwerk, das interessierte Landwirte, Forschende, Lehrpersonen, Beraterende und Behördenvertretungen umfasst.

Generell könnte die Wissensbasis verbessert werden, indem Landwirten und Behörden bestehende Forschungsergebnisse einfacher zur Verfügung gestellt werden. Ferner seien neue wissenschaftliche Erkenntnisse über die räumliche Verbreitung der wichtigsten Soil Challenges, wie Verdichtung oder Humusverlust, notwendig.

Die Wissensproduktion könnte durch eine verstärkte Zusammenarbeit innerhalb des landwirtschaftlichen Wissenssystems verbessert werden, z.B. durch partizipative Forschungsansätze. Mehr Zusammenarbeit könnte zu einer höheren Systemorientierung der Forschungsfragen und damit zu einer höheren Relevanz und Anwendbarkeit des erarbeiteten Wissens für Landwirte und Behörden gleichermaßen führen. Zusätzlich könnten Langzeitexperimente neues Wissen über die Langzeiteffekte von NBB-Praktiken generieren. Diese vorgeschlagenen Forschungsaktivitäten benötigen möglicherweise zusätzliche finanzielle Mittel.

Die Wissensverbreitung könnte von einer verbesserten Kommunikation und Netzwerken zwischen Landwirten, Forschern, Beratern und politischen Entscheidungsträgern profitieren. Ausserdem könnten Demonstrationsaktivitäten und die Beratung von Landwirten für Landwirte (z.B. Arbeitskreise) die Verbreitung von NBB-Praktiken erhöhen. Ausserdem sollten die Themen Boden und NBB in der Aus- und Weiterbildung von Landwirten und Beratenden an Bedeutung gewinnen. All diese Ansätze könnten durch digitale Wissensplattformen und Entscheidungshilfen unterstützt werden, die das autonome Lernen und die digitale Vernetzung fördern.

Die Anwendung von Wissen und NBB-Praktiken könnte durch standortspezifische Informationen über geeignete NBB-Praktiken verbessert werden. Diese Informationen sollten Kosten und Nutzen spezifischer NBB-Praktiken transparent aufzeigen und auch erfolgreiche organisatorische Optionen beinhalten. Darüber hinaus sollten die Anreize für Landwirte, NBB-Praktiken anzuwenden, erhöht werden, z.B. durch agrarpolitische Massnahmen oder marktgesteuerte Instrumente wie Labels.

Insgesamt äusserten die Stakeholder einen grossen Konsens über die vorherrschenden Soil Challenges und Ansätze, wie die Soil Challenges angegangen werden können. Viele Stakeholder äusserten, dass die verschiedenen Akteure innerhalb des Wissenssystems intensiver zusammenarbeiten sollten, um die Relevanz der NBB-bezogenen Forschung für die Praxis zu erhöhen sowie die Verbreitung und Anwendung von NBB-Praktiken zu erleichtern. Der Konsens unter den Stakeholdern war weniger ausgeprägt in ihren Meinungen zum Zustand des landwirtschaftlichen Wissenssystems und zu spezifischen Ansätzen zur Förderung der Erarbeitung, Verbreitung und Anwendung von

NBB-Wissen. Die unterschiedlichen Ansichten der Stakeholder hängen höchstwahrscheinlich mit den unterschiedlichen fachlichen Fokussen und Funktionen innerhalb des Wissenssystems zusammen.

3 Stand des Wissens

3.1 Vorgehen

Wir erstellten drei englischsprachige 'State of Knowledge Reports' gemäss den EJP SOIL-Richtlinien für Task 2.2.⁷ Die Berichte sind zwischen 1 und 2 Seiten lang. Die Titel der Berichte waren:

- Bericht 1: State of Knowledge on Soil Carbon Stocks (Annex IV)
- Bericht 2: State of Knowledge on 10 major Soil Challenges (Annex V)
- Bericht 3: Management Strategies to address 9 major Soil Challenges (Annex VI)

Die Berichte basieren auf einer Sichtung der aktuellen Literatur und dem Input von 9 Fachpersonen. Die Literatur wurde mit Unterstützung der Fachpersonen identifiziert (Tabelle 2). Wir haben 17, 91 und 72 Quellen für die Berichte 1, 2 bzw. 3 berücksichtigt.

Tabelle 2: Zum Stand des Wissens konsultierte Fachpersonen

Thema	Fachperson (Institution)
Bodenkohlenstoff	Jens Leifeld (Agroscope), Peter Weisskopf (Agroscope)
Torfschwund	Jens Leifeld (Agroscope)
Bodenkontaminierungen	Reto Meuli (Agroscope)
Bodenerosion	Volker Prasuhn (Agroscope)
Bodenstruktur	Peter Weisskopf (Agroscope)
Bodenversiegelung	Silvia Tobias (WSL)
Nährstoffspeicherung und Nährstoff-Nutzungseffizienz	Frank Liebisch (Agroscope), Ernst Spiess (Agroscope)
Lachgas- und Methanemissionen	Daniel Bretscher (Agroscope)
Bodenbiodiversität	Franz Bender (Agroscope)

3.2 Zusammenfassung und Diskussion

Laut Bericht 1 (Annex VI) stammt das Wissen über die Dynamik des organischen Bodenkohlenstoffs (OBK) in der Schweiz grösstenteils aus langjährigen Feldexperimenten im ganzen Land. Nationale Schätzungen zu den OBK-Speichern und deren Veränderungen wurden zuletzt für den Zeitraum 1990 bis 2018 geschätzt. Die OBK-Sequestrierungspotenziale für eine Vielzahl von Massnahmen wurden bereits abgeschätzt. Es ist jedoch weitere Forschung erforderlich, um die Genauigkeit der OBK-bezogenen Schätzungen zu erhöhen und zusätzliche Massnahmen zu bewerten.

Basierend auf der Literatur wurden die folgenden 10 Soil Challenges als am relevantesten angesehen (Bericht 2, Annex V): Versiegelung, Erosion, Verdichtung, Humusverlust, Torfschwund, Verlust der Bodenbiodiversität, Kontamination, geringe Nährstoff-Nutzungseffizienz, Lachgas- und Methanemissionen und suboptimaler Wasserhaushalt. Für 9 von 10 Herausforderungen wurden in Bericht 3 (Annex VI) Strategien, Ansätze oder konkrete Massnahmen identifiziert.

Aus den Berichten können wir schliessen, dass für die Versiegelung, Erosion, Verdichtung, Kontamination und Nährstoff-Nutzungseffizienz die Wissensbasis am weitesten fortgeschritten ist. Für die Themen Humusverlust, Torfschwund, Verlust der Bodenbiodiversität, Lachgas- und Methanemissionen sowie einen suboptimalen Wasserhaushalt scheint sie weniger fortgeschritten zu sein. Die wissenschaftliche ExpertInnen formulierten für alle Soil Challenges Forschungslücken.

⁷ Mulkholm L. J. & Thorsøe M. H., 2020. EJP SOIL Task 2.2: Knowledge availability and use – Guidelines for national analysis.

4 Politikanalyse

4.1 Vorgehen

Die Politikanalyse wurde gemäss den EJP SOIL-Richtlinien durchgeführt⁸ und bestand aus zwei Phasen.

Phase 1: Recherche zu den aktuellen politischen Ambitionen

Phase 1 bestand aus drei Schritten: (i) Identifizierung der relevanten Grundlagen; (ii) Analyse der Grundlagen; (iii) Validierung durch Stakeholder.

In Schritt i wurde eine Liste von Dokumenten zusammengestellt, die Ziele für landwirtschaftlichen Böden und deren Nutzung erwähnen.

In Schritt ii wurden die aufgelisteten Dokumente analysiert, um die folgenden Informationen zu extrahieren:

- Ziele
- Indikatoren zur Überwachung der Ziele
- Aktueller Stand der Zielerreichung
- Werkzeuge oder Methoden des Monitorings
- Bewirtschaftungspraktiken, die in den Dokumenten erwähnt werden
- Weitere Instrumente, die in den Dokumenten erwähnt werden und verwendet werden oder entwickelt werden sollen

In Schritt iii haben wir Stakeholder gebeten, die Analyse des Dokumente mit ihrem Wissen und ihrer Erfahrung zu ergänzen und zu validieren

Phase 2: Perspektive der Stakeholder zu den aktuellen Realisierungen und den angestrebten Zielen

Wo verfügbar, wurden Berichte berücksichtigt, um die Umsetzungen der Ziele zu bewerten. Für die Richtlinien und Ziele, für die keine Berichte verfügbar waren, wurden Stakeholder befragt.

Tabelle 3: Übersicht über Tabellen und Annex mit Bezug zu der Politikanalyse. Teilweise in Englisch.

Tabelle / Annex	Content
Tabelle 4	Liste der Grundlagen
Tabelle 5	Liste der Stakeholder
Annex VII	Descriptions of policies, instruments, indicators and monitoring tools
Annex VIII	List of policy targets
Annex IX	Overview of management practices mentioned by policy documents
Annex X	Policy targets by soil challenge and current realisations
Annex XI	List of other instruments to achieve aspirational goals

4.2 Resultate und Diskussion

4.2.1 Grundlagen und Stakeholder

Eine Übersicht der 33 berücksichtigten Dokumente, mit Bezug zu landwirtschaftlichen Böden und deren Nutzung, ist in Tabelle 4 dargestellt. Anhand der Angaben der Stakeholder wurde zwischen Dokumenten mit Priorität 1 und 2 unterschieden. Insgesamt wurden 12 Dokumente als Priorität 1 eingestuft. In Annex VII (in Englisch) finden sich

⁸ Ruyschaert G. & Jacob M., 2020. EJP SOIL Task 2.1: Identifying current policy ambitions and future soil aspirational goals - Guidelines for analysis at the member state level.

kurze Beschreibungen der Priorität-1-Dokumente sowie der zugehörigen Instrumente, Indikatoren und Monitoring-Methoden.

Grundlagen mit Bezug zu landwirtschaftlichen Böden und deren Nutzung, fanden sich häufig in eidgenössischen Verordnungen, die die allgemeinen Ziele von Bundesgesetzen genauer definieren. Diese Verordnungen gelten für die gesamte Schweiz. Der Vollzug dieser Verordnungen ist oft Sache der Kantone.

Tabelle 4: Liste der betrachteten Grundlagen (in Englisch)

Abbreviation	Policy Name ^a	Responsible	Priority
ADWO	Ordinance on the Avoidance and the Disposal of Waste (A1/1/2016) - Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA)	FOEN	2
AP-22+	Agricultural Policy 22+ (D12/2/2020) - Agrarpolitik 22+	FOAG	1
AP-GE	Action plan Green Economy (A8/3/2013) - Aktionsplan Grüne Wirtschaft	DETEC	2
AP-PPP	Action Plan Plant Protection Products (A6/9/2017) - Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (AP PSM)	FOAG	1
ChemRRO	Ordinance on the Reduction of Risks relating to the Use of Certain Particularly Dangerous Substances, Preparations and Articles (A1/8/2005) - Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen	FOAG; FOEN	2
CSA	Climate Strategy for Agriculture (A31/5/2011) - Klimastrategie Landwirtschaft	FOAG	1
CSO	Contaminated Sites Ordinance (A1/10/1998) - Altlastenverordnung (AltIV)	FOEN	2
DPO	Direct Payments Ordinance (A1/1/2014) - Direktzahlungsverordnung (DZV)	FOAG	1
EGA	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	FOEN; FOAG	1
EPA	Federal Act on the Protection of the Environment (A1/1/1985) - Bundesgesetz über den Umweltschutz	FOEN	2
FAA	Federal Act on Agriculture (A1/1/1999) - Landwirtschaftsgesetz (LWG)	FOAG	1
G-NFA	Implementation guidelines on nutrients and use of fertilizers in agriculture (A2012) - Vollzugshilfe Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft	FOEN; FOAG	2
G-PPPA	Plant Protection Products in Agriculture (A2013) - Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft	FOEN	2
G-SPA	Guidelines for soil protection in agriculture (A2013) - Vollzugshilfe Bodenschutz in der Landwirtschaft	FOEN; FOAG	2
NCHA	Federal Act on the Protection of Nature and Cultural Heritage (A1/1/1967) - Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG)	FOEN	2
NRP68	National Research Programme NRP 68 'Overall Synthesis' (05/2018) - Nationales Forschungsprogramm NFP 68 'Gesamtsynthese'	NRP 68	1
OFLN	Ordinance on the Federal Inventory of Landscapes and Natural Monuments (A29/3/2017) - Verordnung über das Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (VBLN)	FOEN; FOC; FEDRO	2
OFO	Organic Farming Ordinance (A1/1/1998) - Bioverordnung	FOAG	1
OISA	Ordinance on information systems in the field of agriculture (A1/1/2014) - Verordnung über Informationssysteme im Bereich der Landwirtschaft (ISLV)	FOAG	2
OPMF	Ordinance on the Placing on the Market of Fertilisers (A1/3/2001) - Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (DüV)	FOAG	2
OSIA	Ordinance on Structural Improvements in Agriculture (A1/1/1999) - Verordnung über die Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft (SVV)	FOAG	2
OSME	Ordinance on maximum stocks in meat and egg production (A1/1/2014) - Verordnung über Höchstbestände in der Fleisch- und Eierproduktion (HBV)	FOAG	2
PAL	Protection of arable land (A2012) - Schutz des Kulturlandes	FOAG	2
SBS	Swiss Biodiversity Strategy (A6/9/2017) - Strategie der Biodiversität Schweiz	FOEN	1
SCCS	Strategy for Adaptation to Climate Change in Switzerland (A2/3/2012) - Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in der CH 2014-2019	FOEN	2

SCP	Switzerland's climate policy (A2018) - Klimapolitik der Schweiz	FOEN	2
SoilPO	Soil Pollution Ordinance (A1/10/1998) - Verordnung über Belastung des Bodens (VBBo)	FOEN	1
SP-CP	Sectoral Plan for Prime Cropland Protection (A8/4/1992) - Sachplan Fruchtfolgeflächen (SP FFF)	ARE	1
SRS	Status Report on Soil in Switzerland (A30/11/2017) - Zustandsbericht Boden in der Schweiz	FOEN	1
SSD	Strategy for sustainable development 2016-2019 (A27/1/2016) - Strategie nachhaltige Entwicklung 2016-2019	ARE	2
SSfS	Spatial Strategy Switzerland (A2012) - Raumkonzept Schweiz	ARE	2
SSS	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	FOEN; FOAG; ARE	1
WPO	Water Protection Ordinance (A1/1/1999) - Gewässerschutzverordnung (GschV)	FOEN	2

^a: A: date of approval; D: date of draft (in case documents are in final phase but not approved by the government yet)

The table lists the Swiss policies that relate to the management of agricultural soils. Ordinances are legislative decrees, which are subordinate to the Constitution and the federal acts. They implement the legal provisions as well as supplement and complete them. The federal agricultural policy, which is revised every four years, provides a framework enabling Swiss farmers to fulfil their responsibilities to society, as defined by the Federal Constitution in Art. 104.

Furthermore, below are a few points to consider regarding these policies:

The AP22+ is undergoing parliamentary consultation and is controversially discussed. A demand for a suspension of the work on the document is currently pending.

For the SSS, there is no action plan yet. An action plan will be developed in the next few years.

Revision of CSA is ongoing in the framework of a holistic 'Climate Strategy Switzerland' (according to Daniel Felder, FOAG, personal communication, 17.8.2020).

The development of a chemical soil atlas is ongoing, including an area-wide mapping of soil contamination. This mapping will serve as a base to develop guide values and an area-wide monitoring tool (according to Gudrun Schwilch, FOEN, personal communication, 21.8.2020).

Für jede Grundlage wurde eine Person identifiziert, die eng an der Entwicklung der Grundlage beteiligt war oder gute Kenntnisse über deren Inhalt und Geschichte hat (Tabelle 5).

Tabelle 5: Liste der an der Politikanalyse beteiligten Stakeholder

Person	Institution	Expertise / Input ^a
Daniel Bretscher	Agroscope	SRS
Daniel Felder	BLW	CSA
Marcel van der Heijden	Agroscope	Soil biodiversity
Felix Herzog	Agroscope	SBS
Frank Liebisch	Agroscope	SRS, DPO
Jochen Mayer	Agroscope	OFO
Gudrun Schwilch	BAFU	National Hub, G-SPA, EGA, SRS
Ernst Spiess	Agroscope	SRS
Jan Wäspe	BLW	AP-PPP
Peter Weisskopf	Agroscope	DPO, SP-CP, SoilPO
Michael Zimmermann	BLW	National Hub, AP22+, SSS

^a: Abkürzungen gemäss Tabelle 4

4.2.2 Ziele

Resultate

Eine Übersicht über die bodenbezogenen Ziele der Dokumente und den aktuellen Stand der Indikatoren, die zur Überwachung dieser Ziele verwendet werden, findet sich in Annex VIII (in Englisch). In Annex VIII sind auch aktuelle oder zukünftige Instrumente zum Monitoring oder Förderung der Zieleerreichung aufgeführt.

In Annex IX (in Englisch) sind Praktiken aufgeführt, die in den Dokumenten zur Erreichung der Ziele genannt werden. Alle in den Dokumente erwähnten Praktiken sind aufgeführt, unabhängig davon, ob sie verpflichtend sind oder auf freiwilliger Basis mit oder ohne wirtschaftliche Anreize gefördert werden.

Diskussion

Wir haben viele politische Massnahmen identifiziert, die einen direkten oder indirekten Einfluss auf Böden und Bodenbewirtschaftung haben. Das wichtigste politische Instrument ist das gut etablierte Direktzahlungssystem, das als Anreizprogramm fungiert. Dieses Direktzahlungssystem wird als Erfolg angesehen und soll weiterentwickelt und ausgebaut werden. Im Mai 2020 wurde die erste Schweizer Bodenstrategie Schweiz (SSS) veröffentlicht, die den Zustand der Schweizer Böden zusammenfasst und deren nachhaltige Nutzung und Schutz stärkt. Sie wurde von den Bundesämtern für Umwelt (FOEN), für Landwirtschaft (FOAG) und für Raumentwicklung (ARE) gemeinsam erarbeitet.

Insgesamt wurden 178 Ziele in 33 Grundlagen gefunden. Von allen betrachteten Zielen hatten 64 Ziele einen allgemeinen Bodenbezug, 45 Ziele einen Bezug zu landwirtschaftlichen Böden und 69 Ziele waren nicht bodenspezifisch, sondern beinhalteten Regulation die Böden als Teil der gesamten Umwelt betrifft. Es haben somit rund 25 % der betrachteten Ziele einen starken Bezug zu landwirtschaftlich genutzten Böden.

Die meisten Ziele beziehen sich auf die Soil Challenges Kontaminierung, Nährstoffspeicherung und -Nutzungseffizienz, Versiegelung, Verdichtung, Erosion, Lachgas- und Methanemission, Humusverlust sowie den Erhalt nicht weiter spezifizierter Bodenfunktionen. Es gibt Massnahmen, die auf die Vermeidung von Bodenbelastungen durch den Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmittel abzielen. In diesen Massnahmen ist die Bodenbiodiversität indirekt in der Definition von "Biodiversität" enthalten, aber bis jetzt konzentrieren sich die Massnahmen auf die biologische Vielfalt über der Bodenoberfläche. Bodenbiodiversität wird zum ersten Mal in der relativ neuen SSS explizit erwähnt. Derzeit gibt es keine Massnahmen, die sich mit Bodenversauerung und -versalzung befassen. Laut unserer Stakeholder-Befragung (Abschnitt 2) sind die beiden letztgenannten Herausforderungen in der Schweiz von geringer Bedeutung, was das Fehlen solcher Ziele erklärt.

Bestimmte Bewirtschaftungspraktiken, wie reduzierte Bodenbearbeitung oder reduzierter Einsatz von Mineraldünger, werden durch die DPO gefördert, sind aber nicht verpflichtend. Allgemeine Grundsätze wie standortangepasste Bewirtschaftungsmethoden sind Teil der "guten landwirtschaftlichen Praxis", die für den Erhalt von Direktzahlungen verpflichtend ist, aber meist in qualitativer Form gefordert wird.

In den letzten Jahren wurde ein stärkerer Fokus auf den Bodenschutz gelegt, sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht. So sorgt beispielsweise der Sachplan FFF (eng. SP-CP) dafür, dass eine Mindestfläche der besten Ackerflächen des Landes vor Bodenversiegelung geschützt bleibt. Darüber hinaus werden Fruchtfolgen und standortangepasste Kulturen im Europäischen Vergleich stark gefördert. Weiterentwicklungen des regulatorischen Umfelds sind geplant oder laufen bereits (Annex VIII in Englisch), aber es besteht immer noch grosser Forschungsbedarf, um genaue und anwendbare Massnahmen und Indikatoren zu entwickeln. Vor allem muss die praktische Anwendbarkeit von Forschungsergebnissen verbessert werden, um direkte Effekte durch den Transfer in die Praxis bzw. in die Agrarpolitik zu erzielen.

4.2.3 Realisierung

Resultate

Annex X (in Englisch) zeigt den aktuellen Stand der Zielerreichung, die den jeweiligen Berichten entnommen oder von Stakeholder erwähnt wurde.

Diskussion

Die Ergebnisse der Stakeholder-Umfrage zeigen einen grossen Konsens bei den relevantesten Soil Challenges (Abbildung 2): Verdichtung, Versiegelung, Erosion, Humusverlust und Verlust der Bodenbiodiversität sowie Kontamination. Aktive Massnahmen und Strategien konzentrieren sich auf Kontamination, Erosion sowie Treibhausgas- und Ammoniakemissionen. Verdichtung, Humusverlust, Versiegelung und Verlust der Bodenbiodiversität müssen in den kommenden Jahren stärker in den Fokus rücken.

Trotz klarer Ziele ist der Zeitrahmen für die Zielerreichung nicht immer eindeutig. Ausserdem gibt es viele qualitative Ziele, bei denen es schwierig ist, den Stand der Zielerreichung zu bewerten. Darüber hinaus werden viele Ziele nicht überwacht und es sind noch keine Indikatoren festgelegt. Auf diese Problematik wird im Nationalen Forschungsprogramm "Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden" (eng. NRP 68) sowie in der Bodenstrategie hingewiesen und eingegangen. Das kürzlich gegründete KOBO (Kompetenzzentrum Böden) widmet sich der Koordinierung und Harmonisierung von Bodendaten sowie der Unterstützung der Entwicklung und Etablierung von Methoden zur Überwachung von Bodenindikatoren. Daher kann die Entwicklung von fehlenden Indikatoren und Überwachungsinstrumenten in Zukunft gefördert werden.

Ein wichtiges Instrument, das sich in der Vergangenheit als effektiv erwiesen hat, ist das landwirtschaftliche Direktzahlungssystem, ein gut etabliertes und ständig verbessertes System. Es wurde jedoch kritisiert, dass das Direktzahlungssystem wenig Raum für neue Technologien und Praktiken lässt. Regionale Programme, wie z.B. Ressourcenprojekte, können einen Rahmen für die Erprobung neuer Technologien oder alternativer Massnahmen bieten, die möglicherweise in Zukunft in die Direktzahlungsregelungen aufgenommen werden könnten.

4.2.4 Weitere Instrumente

Bei den in Annex XI aufgelisteten 'weiteren Instrumenten' handelt es sich hauptsächlich um Labels, die darauf abzielen, wirtschaftliche Anreize zu nutzen, um unter anderem die Einführung von NBB-Praktiken zu fördern. In diesem Sinne ist anzumerken, dass im Jahr 2019 15% (rund 170'000 ha auf 6814 Betrieben) aller Schweizer Betriebe biologisch bewirtschaftet wurden (Bundesamt für Statistik, 2020). Rund 20% (288'340 ha auf 9103 Betrieben) aller Schweizer Betriebe produzierten nach den Richtlinien von IP-SUISSE (Niklaus Hofer, IP-Suisse, persönliche Mitteilung, 2.9.2020). Beide Labels fördern NBB-Praktiken.

4.3 Zusammenfassung

Die in diesem Abschnitt untersuchten Dokumente beinhalten eine grosse Anzahl von Massnahmen aus der Umwelt- und Landwirtschaftspolitik, die sich entweder direkt oder indirekt auf die Bodenqualität auswirken. Zusammenfassend haben wir festgestellt, dass die Erhaltung der Funktionalität der Böden und die Ermöglichung ihrer nachhaltigen Bewirtschaftung in der Schweiz einen hohen Stellenwert haben. Dies spiegelt sich in der grossen Anzahl von landwirtschaftlichen, umweltpolitischen und raumplanerischen Massnahmen und Verordnungen auf nationaler Ebene wider. Diese zielen darauf ab, die nachhaltige Bewirtschaftung der Böden zu sichern, schädliche Umwelteinflüsse zu verhindern und hochwertige Ackerböden vor Versiegelung zu bewahren. In der Vergangenheit lag der Fokus der Politik vor allem auf der Vermeidung von Kontamination, Erosion sowie Treibhausgas- und Ammoniakemissionen. In Zukunft dürften die Verhinderung von Verdichtung, Humusverlust, Bodenversiegelung und des Verlusts der Bodenbiodiversität an Bedeutung gewinnen.

Viele der betrachteten Ziele sind qualitativer Natur. Der qualitative Charakter erschwert die Feststellung, ob die angestrebten Ziele erreicht werden oder nicht. Bis zu einem gewissen Grad lässt sich dieser Sachverhalt durch den Mangel an leicht zugänglichen Boden- und Bodenbewirtschaftungsinformationen erklären, d.h. durch das Fehlen geeigneter Indikatoren, Überwachungssysteme und harmonisierter Datenbanken.

5 Gesamtzusammenfassung und Schlussfolgerungen

Stakeholder Umfrage

Die Stakeholder waren sich weitgehend einig, dass die grössten Herausforderungen für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung in der Schweiz die Verdichtung, die Erosion, der Humusverlust, der Verlust der Bodenbiodiversität und die Kontamination sind. Für diese qualitativen Soil Challenges wurde ein relativ hoher Forschungsbedarfs geäussert. Weniger ausgeprägt war der Konsens der Stakeholder bezüglich der Bedeutung von Torfschwund, suboptimaler Drainage, geringem Wasserhaltevermögen, Lachgas- und Methanemissionen, q Bodenverbesserungen und Rekultivierungen sowie geringer Nährstoff-Nutzungseffizienz. Obwohl die Bodenversiegelung als eine wichtige qualitative Soil Challenge angesehen wurde, wurden nur wenige Wissenslücken im Zusammenhang mit der Bodenversiegelung identifiziert.

Eine breite Palette von Ansätzen zur Verbesserung der Erarbeitung, Verbreitung und Anwendung von Wissen über NBB-Praktiken wurde von den Stakeholdern geäussert. Die Ansätze beinhalten:

- Eine nationale Strategie zur Verbreitung von NBB-Praktiken und Beratungsleistungen
- Verbesserung der Kommunikation, Zusammenarbeit und Vernetzung innerhalb des landwirtschaftlichen Wissenssystems
- Förderung von partizipativen Multi-Stakeholder-Forschungsansätzen
- Erhöhung der Systemorientierung von Forschungsfragen
- Erhöhung der Relevanz und Anwendbarkeit des produzierten Wissens für Landwirte und politische Entscheidungsträger
- Erhöhung der Verfügbarkeit des vorhandenen Wissens für Landwirte und politische Entscheidungsträger
- Erarbeitung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Verbreitung der wichtigsten Soil Challenges
- Förderung von Demonstrationsaktivitäten und Arbeitskreisen
- Förderung der Themen Boden und NBB in der landwirtschaftlichen Aus- und Weiterbildung
- Förderung von digitalen Wissensplattformen und Entscheidungshilfen
- Förderung des autonomen Lernens und der digitalen Vernetzung
- Förderung von standortspezifischen, anwendbaren Informationen über geeignete NBB-Praktiken
- Förderung wirtschaftlicher Anreize NBB-Praktiken anzuwenden

Stand des Wissens

Basierend auf der gesichteten wissenschaftlichen Literatur wurden Versiegelung, Erosion, Verdichtung, Humusverlust, Torfdegradation, Verlust der Bodenbiodiversität, Kontamination, geringe Nährstoff-Nutzungseffizienz, Lachgas und Methanemissionen und ein suboptimaler Wasserhaushalt als am wichtigsten angesehen. Es wurde festgestellt, dass die Wissensbasis zu Versiegelung, Erosion, Verdichtung, Kontamination und Nährstoff-Nutzungseffizienz am weitesten fortgeschritten ist. Die wissenschaftlichen Experten formulierten jedoch für alle Soil Challenges Forschungsbedarf.

Politikanalyse

In der Umwelt- und Agrarpolitik der Schweiz haben die Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Böden und die Ermöglichung ihrer nachhaltigen Bewirtschaftung hohe Priorität. Viele Ziele sind jedoch qualitativer Natur und ihr aktueller Status bleibt unbekannt. Obwohl viele Vorschriften für den Bodenschutz und NBB bestehen, sind koordinierte Anstrengungen erforderlich, um nachhaltige Lösungen für spezifische Soil Challenges zu entwickeln.

Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse, die in Tabelle 6 zusammengefasst sind, deuten darauf hin, dass es einen breiten Konsens unter den Ansichten von Stakeholdern, Forschern und politischen Entscheidungstragenden zu den wichtigsten Soil Challenges in der Schweiz gibt. Diese Soil Challenges werden durch aktuelle oder geplante politische Massnahmen angegangen und sind Gegenstand vergangener oder laufender Forschungsaktivitäten. Bei anderen, vermeintlich weniger dringenden Soil Challenges ist entweder der Wissensstand, die Integration in die Politik oder beides weniger weit fortgeschritten.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Relevanz der 'Soil Challenges' Abschnitt (2), der zugehörigen Wissensbasis (Abschnitt 3) und deren Berücksichtigung in politischen Massnahmen (Abschnitt 4).

Soil Challenge	Bedeutung gemäss Umfrage	Qualität der Wissensbasis	Berücksichtigung in Politik
Verdichtung	++	+	(+)
Versiegelung	++	++	(+)
Erosion	++	+	+
Humusverlust	++	-	(+)
Verlust von Bodenbiodiversität	++	-	(+)
Kontaminationen	++	+	+
Torfschwund	+	-	
Geringe Wasserhaltefähigkeit	+		
Lachgas- und Methanemissionen	+	-	
Geringe Nährstoff-Nutzungseffizienz	+/-	+	(+)
Versauerung	+/-		
Versalzung	-		
Schlechter Zustand der Drainagen	+	-	
Qualitativ ungenügende Bodenverbesserungen	+		Nicht berücksichtigt in Recherche
Qualitativ ungenügende Rekultivierungen	+		
Bewässerung von ungeeigneten Flächen	+/-		

Umfrage: ++: von der Mehrheit der Befragten als wichtig oder eher wichtig beurteilt
 +: von vielen Befragten als wichtig oder eher wichtig beurteilt
 +/-: Von den Befragten sehr unterschiedlich beurteilt
 -: von der Mehrheit der Befragten als unwichtig oder eher unwichtig beurteilt

Wissensbasis: ++: weit fortgeschrittene Wissensbasis
 +: fortgeschrittene Wissensbasis
 -: geringe Wissensbasis
 leer: wurde in der Literatur-Recherchen zum aktuellen Wissensstand nicht berücksichtigt

Politik: +: Von aktuellen Massnahmen berücksichtigt
 (+): Von geplanten Massnahmen berücksichtigt
 leer: Es wurden im Rahmen der Recherche keine Massnahmen gefunden

Auf der Grundlage unserer Literatur-Recherchen und der von Stakeholdern geäusserten Meinungen (Abschnitt 2 und 4) kommen wir zu dem Schluss, dass weitere Forschung und Entwicklung erforderlich ist, um Methoden zur Überwachung und Bewertung der Bodenqualität, der Bodenfunktionen und der von Böden erbrachten Ökosystemleistungen bereitzustellen. Bei der Bereitstellung von funktionalen Bodeninformationen und Lösungen für die Bodenbewirtschaftung schlagen wir einen multidisziplinären Ansatz vor, sowohl bei der Bewertung der verschiedenen Bodenfunktionen als auch bei der künftigen Ausrichtung der bodenkundlichen Forschung im Allgemeinen. Zum Beispiel wiesen die Stakeholder darauf hin, dass es ein steigendes öffentliches und professionelles Interesse an alternativen landwirtschaftlichen Systemen (z.B. regenerative Landwirtschaft, Agroforstwirtschaft und Permakultur) gibt, das in zukünftigen Forschungsprojekten adressiert werden könnte. Wir empfehlen, für die Entwicklung solcher Projekte einen partizipativen Multi-Stakeholder-Ansatz zu verwenden. Dies ermöglicht die Integration des Wissens von Praxis, Beratung, Forschung und Behörden. Dadurch könnte die Anwendbarkeit und Effektivität praktischer Lösungen und die Akzeptanz bei den Zielgruppen (z.B. Praktikern) verbessert werden.

6 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen beteiligten Stakeholdern sowie bei allen wissenschaftlichen und politischen Experten, die zum Inhalt dieses Berichts beigetragen haben.

7 Annex

- Annex I: Stakeholder List
- Annex II: Survey Questionnaires
- Annex III: Stakeholder Perspective: How to address Soil Challenges?
- Annex IV: Report 1: State of Knowledge on Soil Carbon Stocks
- Annex V: Report 2: State of Knowledge on Soil Challenges
- Annex VI: Report 3: Management Strategies to address Soil Challenges
- Annex VII: Policy Descriptions
- Annex VIII: Policy Analysis
- Annex IX: Management Practices
- Annex X: Policy Realisations
- Annex XI: Other Instruments

Annex I: List of participants of the 'Stakeholder survey'

#	Surname	Name	Organization	Survey 1	Survey 2	Survey 3
1	Affolter	Gregor	BBZ Arenenberg	X		X
2	Bärtschi	Daniel	Agricultura Regeneratio	X	X	
3	Burgos	Stéphane	HAFIL	X	X	
4	Charles	Raphaël	FiBL	X		X
5	Chervet	Andreas	Kanton Bern	X	X	
6	Ciocco	Franca	Plantahof	X		
7	Füllemann	François	Kanton Waadt		X	
8	Furrer	Tobias	INFORAMA	X		X
9	Günter	Markus	BABU GmbH			X
10	Guyer	Urs	Bio Suisse	X		X
11	Hellemann	Petra	BLW, Geosuisse		X	
12	Keller	Armin	KOBO			X
13	Krebs	Rolf	ZHAW			X
14	Lüscher	Andreas	Agroscope, AGFF		X	
15	Lüthi-Probst	Mirjam	IP Suisse	X		X
16	Meier	Toni	AgroCO2ncept	X		
17	Minder	Reto	Swiss No-Till	X	X	
18	Niggli	Jeremias	FiBL	X		X
19	Oberhänsli	Ivana	Kanton Zürich			X
20	Schaffner	Laurence	Mandaterre	X	X	
21	Schaub	Daniel	Kanton Aargau, Cercle Sol		X	
22	Schenk	Oskar	Lohnunternehmen Schweiz			X
23	Schwegler	Markus	Kleinbauernvereinigung			X
24	Schwilch Brünisholz	Gudrun	BAFU			X
25	Spuhler	Markus	Agridea	X		X
26	Stadelmann	Franz	Kanton Luzern		X	
27	Weisskopf	Peter	Agroscope	X	X	
28	Zihlmann	Urs	Agroscope	X		
29	Zürrer	Martin	myx GmbH			X
30						X
31				X	X	
32					X	
				17	13	16

Survey 1: Knowledge System
 Survey 2: Research Needs
 Survey 3: Challenges and Opportunities

Three Stakeholders did not explicitly consent to be named in this list.

Annex II: Questionnaires of the 'Stakeholder survey'

German Version – Deutsche Version

Questionnaire 1: Knowledge system - Wissenssystem

Frage	Antwort Typ
Frage / Aussage 1: "Für Bewirtschaftende ist die Zugänglichkeit von Wissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung gut."	5-stufige Likert-Skala
Frage / Aussage 2: "Junge LandwirtInnen werden in der Ausbildung gut auf eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung vorbereitet."	5-stufige Likert-Skala
Frage / Aussage 3: "Die landwirtschaftlichen Beratungsdienste sind gut auf die Vermittlung von Wissen über nachhaltige Bodenbewirtschaftung vorbereitet."	5-stufige Likert-Skala
Frage 4: Wie kann Ihrer Meinung nach die Zugänglichkeit von Wissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung für verschiedene Akteure erhöht werden?	Offene Frage
Frage / Aussage 5: "Die Koordination zwischen den verschiedenen Akteuren zum Erarbeiten von Wissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung ist gut."	5-stufige Likert-Skala
Frage / Aussage 6: "Die Koordination zwischen Forschung und Politik hinsichtlich Forschungsaktivitäten für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung ist gut."	5-stufige Likert-Skala
Frage 7: Wie könnte Ihrer Meinung nach die Koordination zur Erarbeitung und Verbreitung von Wissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung zwischen den beteiligten Akteuren verbessert werden?	Offene Frage
Frage / Aussage 8: "Insgesamt ist die Wirksamkeit des landwirtschaftlichen Wissenssystems zur Vermittlung von Anwendungswissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung genügend."	5-stufige Likert-Skala
Frage / Aussage 9: "Die Ressourcen zur Verbreitung von Wissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung sind ausreichend."	5-stufige Likert-Skala
Frage / Aussage 10: "Die Ressourcen zur Erarbeitung von Wissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung sind ausreichend."	5-stufige Likert-Skala
Frage 11.1: Wie stark werden Ihrer Meinung nach die folgenden Plattformen zur Verbreitung von Wissen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung genutzt: Weiterbildung durch öffentliche Anbieter (inkl. LW-Schulen, Agridea, FiBL); Flurbegehungen; Messen + Vorführungen; Landw. Grundbildung; Beratung durch private Anbieter; Arbeitskreise; Weiterbildung durch private Anbieter; Weiterbildungslehrgang (z.B. HF, BLS); Beratung durch öffentliche Anbieter; Vereine und Verbände; Weitere	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Frage 11.2: Falls oben die Option "Weitere" gewählt wurde: Welche weiteren Plattformen?	Offene Frage
Frage 12: Gibt es Ansätze, Methoden und Überlegungen zur Verbreitung von Wissen über nachhaltige Bodenbewirtschaftung, die aus Ihrer Sicht besonders vielversprechend sind?	Offene Frage
Frage 13: Gibt es Anmerkungen welche in den vorhergehenden Fragen keinen Platz hatten und für die genannten Themenbereiche relevant sind?	Offene Frage
Frage 14: Gibt es Anmerkungen grundsätzlicher Art die Sie uns mitteilen möchten?	Offene Frage
Frage 15: Wie viel Zeit haben Sie für die Beantwortung des Fragebogens aufgewendet?	Offene Frage

Questionnaire 2: Research needs - Forschungsbedarf

Frage	Antwort Typ
Frage 1: Die nachfolgenden Fragen werden für das folgende Anbaugesbiet beantwortet:	Futterbaugesbiet / Ackerbaugesbiet / Beide
Frage 2: Wie relevant sind die folgenden Bodenbedrohungen Ihrer Einschätzung nach: Bodenverdichtung; Bodenversiegelung; Bodenerosion; Humusverlust; Verlust der Bodenbiodiversität; Bodenkontamination; Torfschwund; Geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens; Lachgas- & Methanemissionen; Zu geringe Nährstoffnutzungseffizienz; Bodenversauerung; Versalzung; Suboptimale Regulation des Bodenwasserhaushalt; Suboptimale Bodenaufwertungen; Suboptimale Bodenrekultivierungen; Suboptimale Bewässerungseignung	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Frage 3: Wie gross ist Ihrer Einschätzung nach der Forschungsbedarf im Bezug auf die folgenden Bodenbedrohungen: Bodenverdichtung; Bodenversiegelung; Bodenerosion; Humusverlust; Verlust der Bodenbiodiversität; Bodenkontamination; Torfschwund; Geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens; Lachgas- & Methanemissionen; Zu geringe Nährstoffnutzungseffizienz; Bodenversauerung; Versalzung; Suboptimale Regulation des Bodenwasserhaushalt; Suboptimale Bodenaufwertungen; Suboptimale Bodenrekultivierungen; Suboptimale Bewässerungseignung	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Frage 4.1: Wie relevant sind Ihrer Einschätzung nach die folgenden Ansätze zur Verbesserung der Wissensbasis: Bessere Verfügbarkeit von bestehendem Wissen für Bewirtschaftende; Mehr Wissen über die räumliche Verbreitung der Bodenbedrohungen; Bessere Koordination der verschiedenen Akteure für die Erarbeitung von Wissen; Neue Bewirtschaftungsstrategien für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodennutzung; Bessere Verfügbarkeit von bestehendem Wissen für politische Entscheidungsträger und Behörden; Mehr Wissen über die zeitliche Entwicklung der Bodenbedrohungen (Monitoring); Weitere	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Frage 4.2: Falls oben die Option "Weitere Ansätze" gewählt wurde: Welche weiteren Ansätze wären sinnvoll oder wichtig?	Offene Frage
Frage 5: Welches sind Ihrer Meinung die wichtigsten Wissenslücken bezüglich den Bodenbedrohungen? (max. 3)	Offene Frage
Frage 6: Welches sind Ihrer Meinung nach die wichtigsten Lücken beim Bodenmonitoring?	Offene Frage
Frage 7: Welches sind Ihrer Meinung nach die wichtigsten Wissenslücken in Bezug auf nachhaltige Bodenbewirtschaftung?	Offene Frage
Frage 8: Wie könnte Ihrer Meinung nach die Anwendung von Wissen zu nachhaltiger Bodenbewirtschaftung von Bewirtschaftenden gestärkt werden?	Offene Frage
Frage 9: Wie könnte Ihrer Meinung nach die Anwendung von Wissen zu nachhaltige Bodenbewirtschaftung bei der Ausarbeitung von regulatorischen Massnahmen gestärkt werden?	Offene Frage
Frage 10: Gibt es Anmerkungen welche in den vorhergehenden Fragen keinen Platz hatten und für die genannten Themenbereiche relevant sind?	Offene Frage
Frage 11: Gibt es Anmerkungen grundsätzlicher Art die Sie uns mitteilen möchten?	Offene Frage
Frage 12: Wie viel Zeit haben Sie für die Beantwortung des Fragebogens aufgewendet?	Offene Frage

Questionnaire 3: Challenges and opportunities - Herausforderungen und Möglichkeiten

Frage	Antwort Typ
Frage 1.1: Wie wichtig sind folgende Faktoren zur Förderung der Wissensentwicklung für nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung? Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstituten und landw. Praxis; Partizipative Forschung stärken (zwischen landw. Praxis und Forschung); Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstituten und Bildungs-/Beratungsinstitutionen; Unterstützung von Langzeitversuchen; Zusammenarbeit zwischen den Forschungsinstituten; Boden-Themen in der landw. Ausbildung und in der Beratung stärken; Zusammenarbeit zwischen Forschungsanstalten und der Industrie (Lohnunternehmen, Maschinenhersteller, Betriebsmittelhersteller, ...); Generell mehr Ressourcen für die Bodenforschung bereitstellen; Landw. Boden-Themen in der universitäreren Ausbildung stärken; Vereinfachung von Regulation und Bürokratie; Unterstützung von Start-Ups (z.B. Ecorobotix oder Gamaya); Weitere	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Frage 1.2: Falls oben die Option "Weitere" gewählt wurde: Welche weiteren Ansätze?	Offene Frage
Frage 2.1: Wie wichtig sind folgende Faktoren zur Förderung der Verbreitung von Wissen für die nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung? Praxisbezug der Forschung stärken; Austausch zwischen Forschenden und der landw. Praxis verbessern; Netzwerke zwischen Forschung und landw. Praxis, Beratung, Bevölkerung sowie Politik stärken; Verbreitung von Boden-Wissen fördern (in Bildung/Beratung, Gesellschaft, Politik, landw. Praxis); Partizipativer Vorgehensweise zwischen Forschung und landw. Praxis fördern; Verständlichkeit von vorhandenen Informationen verbessern; Ausbildung von LandwirtInnen und Beratungspersonen zu Boden-Themen verbessern; Demonstrationsaktivitäten (z.B. Anbauversuche, Flurbegehungen) fördern; Zugang der LandwirtInnen zur Beratung verbessern; Forschende in der Kommunikation mit LandwirtInnen weiterbilden; Weitere	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Frage 2.2: Falls oben die Option "Weitere" gewählt wurde: Welche weiteren Ansätze?	Offene Frage
Frage 3.1: Wie wichtig sind folgende Faktoren zur Förderung der Anwendung bzw. der Umsetzung von Wissen für die nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung? Höherer Stellenwert des Themas 'nachhaltige Bodenbewirtschaftung' in landw. Praxis, Politik und Bildung; Entwicklung von standortangepassten Bodenbewirtschaftungsstrategien; Intensiverer Austausch zwischen landw. Praxis, Politik und Forschung; Austausch zwischen LandwirtInnen stärken (z.B. Arbeitskreise, Von Bauern für Bauern, ...); Verfügbarkeit und Sichtbarkeit von Entscheidungshilfen, digitalen Hilfsmitteln (z.B. Apps) oder anderen Technologien; Plattformen für Erfahrungsaustausch (Webseiten, Workshops, Magazine, Vereinigungen, Interessensgemeinschaften u.ä.); Demonstrationsaktivitäten (z.B. Anbauversuche, Flurbegehungen); Verbesserte agrarpolitische Anreize (z.B. Zahlungen für Zielerreichung statt Massnahmen); Flexiblere Richtlinien (z.B. für Direktzahlungen); Finanzielle Kompensation, falls während der Umsetzung Ertragseinbussen anfallen; Weitere	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Frage 3.2: Falls oben die Option "Weitere" gewählt wurde: Welche weiteren Ansätze?	Offene Frage
Frage 4: Wie relevant sind die folgenden Bodenbedrohungen für die landwirtschaftlichen Böden in der Schweiz Ihrer Einschätzung nach: Bodenverdichtung; Bodenversiegelung; Bodenerosion; Humusverlust; Verlust der Bodenbiodiversität; Bodenkontamination; Torfschwund; Geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens; Lachgas- & Methanemissionen; Zu geringe Nährstoffnutzungseffizienz; Bodenversauerung; Versalzung; Suboptimale Regulation des Bodenwasserhaushalt; Suboptimale Bodenaufwertungen; Suboptimale Bodenrekultivierungen; Suboptimale Bewässerungseignung	Je Option eine 5-stufige Likert-Skala
Für welche Bodenbedrohung beantworten Sie die folgenden 4 Fragen?	Dropdown
Frage 5: Wie gross ist die Notwendigkeit von neuem Grundlagenwissen zu dieser Bodenbedrohung? Wo sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Erarbeitung von neuem Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 6: Welches sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Verbreitung von Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 7: Welches sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Umsetzung bzw. der Anwendung von Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 8: Ist das bestehenden Wissen bzw. die Information zu dieser Bodenbedrohung einfach zugänglich und anwendbar? Wie könnte die Zugänglichkeit und die Anwendbarkeit des bestehenden Wissens allenfalls erhöht werden?	Offene Frage
Für welche Bodenbedrohung beantworten Sie die folgenden 4 Fragen?	Dropdown
Frage 9: Wie gross ist die Notwendigkeit von neuem Grundlagenwissen zu dieser Bodenbedrohung? Wo sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Erarbeitung von neuem Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 10: Welches sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Verbreitung von Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 11: Welches sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Umsetzung bzw. der Anwendung von Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 12: Ist das bestehenden Wissen bzw. die Information zu dieser Bodenbedrohung einfach zugänglich und anwendbar? Wie könnte die Zugänglichkeit und die Anwendbarkeit des bestehenden Wissens allenfalls erhöht werden?	Offene Frage
Für welche Bodenbedrohung beantworten Sie die folgenden 4 Fragen?	Dropdown
Frage 13: Wie gross ist die Notwendigkeit von neuem Grundlagenwissen zu dieser Bodenbedrohung? Wo sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Erarbeitung von neuem Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 14: Welches sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Verbreitung von Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 15: Welches sind die grössten Probleme und Möglichkeiten bei der Umsetzung bzw. der Anwendung von Wissen zu der Bodenbedrohung?	Offene Frage
Frage 16: Ist das bestehenden Wissen bzw. die Information zu dieser Bodenbedrohung einfach zugänglich und anwendbar? Wie könnte die Zugänglichkeit und die Anwendbarkeit des bestehenden Wissens allenfalls erhöht werden?	Offene Frage
Frage 17: Gibt es Anmerkungen welche in den vorhergehenden Fragen keinen Platz hatten und für die genannten Themenbereiche relevant sind?	Offene Frage
Frage 18: Gibt es Anmerkungen grundsätzlicher Art die Sie uns mitteilen möchten?	Offene Frage
Frage 19: Wie viel Zeit haben Sie für die Beantwortung des Fragebogens aufgewendet?	Offene Frage

Avoid soil compaction

12 participants contributed to this open question section. Answers that appeared more than once are prioritized. Single answers were summarized.

How great is the need for new basic knowledge about this soil threat? What are the biggest problems and opportunities in the development of new knowledge about soil compaction?

1. Basic knowledge exists, transfer to practice is missing
2. Lack of comparability of different methods
3. Site specific knowledge is missing

What are the major barriers and opportunities in the dissemination of knowledge on soil compaction?

1. Lack of awareness of the problem
2. Promotion of knowledge of new technologies and the dangers of soil compaction in education
3. Promotion of visualization tools

Active dissemination measures were suggested to tackle the problem and to overcome the large distance between research and practice

What are the biggest barriers and opportunities in implementing or applying knowledge about soil compaction?

1. Conflict of objectives between economic incentives and soil protection
2. Lack of availability of light machinery
3. Lack of awareness of the problem, as degradation is slow and difficult to see
4. High dependence on and lack of flexibility of contractors

The trend towards heavier machinery, the time pressure from contractors and the economic incentives of higher yields often make farmers take decisions at the expense of soil protection. There is lack of incentives to make soil protection profitable. Also, there are not enough applicable decision support and visualization tools.

Is the existing knowledge or information on soil compaction easily accessible and applicable? How could the accessibility and applicability of existing knowledge be increased?

1. Economic aspects are often given higher priority than soil protection
2. Transfer of knowledge on new technologies to practice should be improved
3. There is a need for simpler and more comprehensible decision-making aids in agricultural practice

Generally, economic factors are more profitable than soil protection. Contractors and machinery manufacturers have to be involved in research, to change the current trends and shift towards light machinery and to more awareness for soil protection. Also, education still focuses on tillage. Soil protection and sustainable management are often just a side note.

Avoid soil erosion

6 participants contributed to this open question section. Answers that appeared more than once are prioritized. Single answers were summarized.

How great is the need for new basic knowledge about this soil threat? What are the biggest problems and opportunities in the development of new knowledge about 'soil erosion'?

1. Basic knowledge exists, transfer to practice is missing

If, then there is a lack of multidisciplinary research directions that also include social aspects. In addition, there is often a lack of understanding of the connection between problem and cause. The lack of a national overview makes it even more difficult.

What are the major barriers and opportunities in the dissemination of knowledge on 'soil erosion'?

1. Lack of problem awareness and interest among students and practitioners

Existing knowledge must be imparted more strongly in education in order to strengthen this awareness. There is a lot of experience on the subject, but there is a lack of systematic exchange and coordinated dissemination.

What are the biggest barriers and opportunities in implementing or applying knowledge about 'soil erosion'?

1. Lack of problem awareness
2. Conflict of objectives between plant protection and soil protection

Oversimplified, sustainable plant protection promotes tillage to avoid use of plant protection products, soil protection promotes use of herbicides to avoid tillage. Compromise solutions are not yet known and there is hardly any information material available that discusses this conflict constructively. Here too, economic incentives predominate and soil protection is often neglected.

Is the existing knowledge or information on 'soil erosion' easily accessible and applicable? How could the accessibility and applicability of existing knowledge be increased?

1. Raising awareness for the problem
2. Improve applicability of factsheets
3. Harmonize recommendations of soil and plant protection
4. Improve availability of assessment of the current situation
5. Improve active and attractive dissemination

Various conflicting objectives make it difficult for farmers to make the 'good' decision. There is a lack of user-friendly fact sheets that provide support and draw attention to the consequences. Again, the lack of problem awareness is often mentioned. There is also a lack of an assessment of the current situation, on the basis of which decisions can be made. Also, improvement of existing information material, and (attr)active dissemination thereof was suggested as a solution.

Avoid soil sealing

6 participants contributed to this open question section. Answers that appeared more than once are prioritized. Single answers were summarized.

How great is the need for new basic knowledge about this soil threat? What are the biggest problems and opportunities in the development of new knowledge about 'soil sealing'?

1. Basic knowledge exists
2. There is a need for knowledge on soil functions

Currently, soil sealing is evaluated according to area only, neglecting the importance of soil functions

What are the major barriers and opportunities in the dissemination of knowledge on 'soil sealing'?

1. Improve awareness of the finality of soil loss through sealing
2. Raise awareness for the importance of soil functions, when talking about soil sealing

Improved dissemination might result in prioritization of scientific interests in political decisions and incentives, towards increased soil protection. Currently, soil protection is not profitable. The current increase in climate-related topics should be used to raise the awareness of the importance and potential of soils.

What are the biggest barriers and opportunities in implementing or applying knowledge about 'soil sealing'?

1. Lack of awareness of soil quality, when talking about soil sealing
2. Economical value of built-up areas is much higher than unbuilt land

The problem is multidisciplinary and the political process is difficult to coordinate. Financial incentives to promote soil protection are not enough. Economic interests and the construction sector are prioritized. Legal regulations are sometimes vague, sometimes too rigid to find a site specific solution.

Is the existing knowledge or information on 'soil sealing' easily accessible and applicable? How could the accessibility and applicability of existing knowledge be increased?

1. Knowledge is available but not accessible
2. Available knowledge is not considered as important

There is a lack of area-wide monitoring data (soil function maps) as a basis for spatial planning and to underline the urgency of the problem.

Avoid loss of soil organic matter (SOM)

7 participants contributed to this open question section. Answers that appeared more than once are prioritized. Single answers were summarized.

How great is the need for new basic knowledge about this soil threat? What are the biggest problems and opportunities in the development of new knowledge about 'loss of SOM'?

1. basic knowledge exists, transfer to practice is missing

There is a lack of applicable and accurate decision support tools. Trend analyses and site-specific solutions are missing

What are the major barriers and opportunities in the dissemination of knowledge on 'loss of SOM'?

1. Effects of measures are invisible in the short term and are therefore not considered effective
2. Topic not sufficiently represented in education
3. Lack of awareness of the problem

Large gap between research and agricultural practice hamper dissemination. Basic knowledge is often missing, e.g. there is a different understanding of 'humus' itself

What are the biggest barriers and opportunities in implementing or applying knowledge about 'loss of SOM'?

1. Conflict of objectives: economic pressure vs. sustainable soil management
2. Lack of awareness

Is the existing knowledge or information on 'loss of SOM' easily accessible and applicable? How could the accessibility and applicability of existing knowledge be increased?

1. Knowledge is available and accessible
2. Lack of awareness and incentives to use them

Improvement of active dissemination, participatory approaches and finding applicable solutions.

Avoid sub-optimal recultivations

4 participants contributed to this open question section. Answers that appeared more than once are prioritized. Single answers were summarized.

How great is the need for new basic knowledge about this soil threat? What are the biggest problems and opportunities in the development of new knowledge about 'sub-optimal recultivations'?

Basic knowledge exists. Well educated specialists are not enough. There is a lack of independent inspecting authorities. Often, there is no monitoring, which hinders improvement of basic knowledge.

What are the major barriers and opportunities in the dissemination of knowledge on 'sub-optimal recultivations'?

Factsheets and guidelines are not harmonized and not updated according to the state of research. Collaboration between authorities and farmers, affected by sub-optimal recultivations, could improve dissemination. Lack of inspection hinders exchange of experiences. Also, there is a lack of awareness for the problem.

What are the biggest barriers and opportunities in implementing or applying knowledge about 'sub-optimal recultivations'?

Lack of awareness for the problem, shortage of well educated specialists and lack of nationally uniform guidelines and guide values

Is the existing knowledge or information on 'sub-optimal recultivations' easily accessible and applicable? How could the accessibility and applicability of existing knowledge be increased?

Improving awareness for the problem, active dissemination through advisory services and managing authorities. Creation of a mediation platform could improve the situation, as well as nationally uniform guidelines and guide values.

Switzerland's State of Knowledge on Soil Carbon Stocks

Environmental zones addressed: ALS, CON

Monitoring

Knowledge on soil organic carbon (SOC) stock dynamics in Switzerland originates largely from long-term field experiments (e.g. DOK [1], ZOFÉ [2], Tänikon [3], Frick [4], Oberacker [5] and Oensigen [6]). A review by Keel *et al.* [7] found that topsoils lost SOC at an average rate of $0.29 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, even though many of the investigated treatments were expected to lead to SOC increases. The review found that SOC change rates were mainly driven by C inputs, soil cover and initial SOC stocks. The type of land use or soil tillage had no significant effect. The analysis suggests that current efforts to manage soils sustainably need to be intensified [8]. A cantonal monitoring study reported complementary findings. Over time, SOC levels in integrated production systems were decreasing where as in organically managed arable lands SOC levels were slightly increasing. However, the organically managed arable soils had lower overall SOC levels [9].

In contrast, the Swiss Soil monitoring Network (NABO) found that SOC remained stable for an ensemble of 30 arable sites, although increasing and decreasing trends were observed for individual sites. For some sites, changes in the agricultural management of cropland triggered substantial changes in SOC. Moreover, sites with a low ratio of SOC/clay ($< 1/10$) generally showed more positive trends than sites with higher ratios.

Modelling carbons stocks and carbon stock changes

For the Swiss climate reporting, SOC stocks and SOC stock changes in mineral and organic soils were estimated for the period 1990 to 2018 [10, chap. 6.5 & 6.6]. Mineral soil SOC stocks and their associated changes were calculated using the RothC model. The implementation and evaluation of the model is described in detail in Wüst-Galley *et al.* [11]. Organic soil SOC stocks for climate reporting were calculated based on the work of Leifeld *et al.* [12, 13]. The annual net carbon stock change in organic soils was estimated according to reassessed measurements across Europe including Switzerland [12-15].

For farmers, Agroscope has developed a decision support tool to assess SOC stock changes at the plot level based on input and SOC decomposition [www.humusbilanz.ch, 16].

SOC sequestration potential

The SOC storage potentials of a wide range of management strategies have been assessed. The theoretical SOC sequestration potential of full no-till adaptation was estimated to be $0.35 \text{ Mt CO}_2 \text{ yr}^{-1}$. The full conversion of all cropland to grassland and the restoration of all cultivated peatlands were estimated to sequester $1.1 \text{ Mt CO}_2 \text{ yr}^{-1}$. However, the realization of the theoretical sequestration potential would drastically alter Switzerland's agricultural structure. Further, the authors concluded that due to the country's already high proportion of grassland as well as integrated and organic cropping, the sequestration potential in Switzerland's arable land is small compared to other countries [12].

A recent study estimated the mean technical SOC sequestration potential of improved agricultural management practices ($0.9 \text{ Mt CO}_2 \text{ yr}^{-1}$), deep ploughing ($0.8 \text{ Mt CO}_2 \text{ yr}^{-1}$) and biochar application ($2.2 \text{ Mt CO}_2 \text{ yr}^{-1}$) [17].

An ongoing study by Leifeld, Keel and Wüst-Galley is further assessing the SOC sequestration potential of biochar, cover crops and agroforestry at the Swiss national level.

Information and knowledge gaps

According to J. Leifeld, the lack of available soil information at sufficient spatial and temporal resolution are the main limitations to soil related modeling and estimations. Especially information on land-use, clay content, subsoil skeleton content, subsoil carbon stocks and the hydrological state of soils are often unavailable.

Subsoil organic carbon dynamics, historical and recent above- and belowground carbon inputs [18], and the impact of the hydrological status of the soil on SOC dynamics were identified as the main knowledge gaps.

References

- [1] Leifeld J., Reiser R. & Oberholzer H.-R., 2009. Consequences of Conventional versus Organic farming on Soil Carbon: Results from a 27-Year Field Experiment. *Agronomy Journal* 101 (5), 1204-1218. <http://doi.org/10.2134/agronj2009.0002>
- [2] Oberholzer H. R., Leifeld J. & Mayer J., 2014. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich organic fertilization experiment, following land-use change from grassland to cropland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177 (5), 696-704.
- [3] Hermle S. *et al.*, 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil and Tillage Research* 98 (1), 94-105. <http://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.010>
- [4] Krauss M. *et al.*, 2017. Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239, 324-333. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.029>
- [5] Martínez I. *et al.*, 2016. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile. *Soil and Tillage Research* 163, 141-151. <http://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.021>
- [6] Emmel C. *et al.*, 2018. Integrated management of a Swiss cropland is not sufficient to preserve its soil carbon pool in the long term. *Biogeosciences* 15 (17), 5377-5393. <http://doi.org/10.5194/bg-15-5377-2018>
- [7] Keel S. G. *et al.*, 2019. Loss of soil organic carbon in Swiss long-term agricultural experiments over a wide range of management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 286. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106654>
- [8] Gubler A. *et al.*, 2019. Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends. *Environ Monit Assess* 191 (5), 277. <http://doi.org/10.1007/s10661-019-7435-y>
- [9] Hofer P., Leu A. & Schwarz R., 2016. Förderprogramm Boden Kanton Bern. Schlussbericht, Zollikofen.
- [10] FOEN, 2020. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2018: National Inventory Report and reporting tables (CRF). Federal Office for the Environment, Submission of April 2020 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol, Bern. www.climatereporting.ch
- [11] Wüst-Galley C., Keel S. G. & Leifeld J., 2019. A model-based carbon inventory for national greenhouse gas reporting of mineral agricultural soils. Agroscope, Internal Report, Zürich.
- [12] Leifeld J., Bassin S. & Fuhrer J., 2003. Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. Agroscope, FAL-Schriftenreihe 44, Zürich.
- [13] Leifeld J., Bassin S. & Fuhrer J., 2005. Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105 (1-2), 255-266. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2004.03.006>
- [14] ART, 2009. Emission factor drained peatlands Switzerland – A brief analysis of recent studies and comparison to EF used in the Swiss GHG Inventory. Agroscope Reckenholz-Tänikon, Internal documentation by Leifeld, J., Zürich. www.climatereporting.ch
- [15] Paul S. & Alewell C., 2018. An assessment of CO₂ emission factors of drained organic soils in the Swiss GHG Inventory. University of Basel, Department of Environmental Sciences, Report on behalf of the Federal Office for the Environment, Bern. www.climatereporting.ch
- [16] Brock C. *et al.*, 2013. Humus balancing in Central Europe-concepts, state of the art, and further challenges. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 176 (1), 3-11. <http://doi.org/10.1002/jpln.201200137>

- [17] Beuttler C. *et al.*, 2019. The Role of Atmospheric Carbon Dioxide Removal in Swiss Climate Policy – Fundamentals and Recommended Actions. Federal Office for the Environment, Report by Risk Dialogue Foundation, Bern.
- [18] Keel S. G. *et al.*, 2017. Large uncertainty in soil carbon modelling related to method of calculation of plant carbon input in agricultural systems. *European Journal of Soil Science* 68 (6), 953-963.

Switzerland's State of Knowledge on 10 major Soil Challenges

Environmental zones addressed: ALS, CON

This report addresses the Swiss state of knowledge and knowledge gaps on the following major soil challenges: reducing sealing, reducing erosion, optimizing soil structure, soil organic carbon (SOC) conservation, reducing peat degradation, soil biodiversity conservation, increasing nutrient use efficiency (NUE), avoiding greenhouse gas (GHG) emissions and optimizing the water balance. The Swiss Soil Strategy [1], the report on the State of Soils [2], the National Research Program 68 on sustainable soil use [3], a foresight study of the Swiss Soil Monitoring Network (NABO) [4] and a recent text book [91] summarize the knowledge on Swiss soils. A scientific framework to assess anthropogenic impacts on soil characteristics and functions was published in 2003 [5].

Sealing

From 1985 to 2009, Switzerland's agricultural area reduced by 5.4% (ca. 295 km²). Two third of the lost land was converted into built-up areas [6]. Agricultural construction activities are strong drivers of soil sealing in the countryside [7]. It is possible to unseal soils, and these restored soils may develop favorable conditions for crop growth. However, restored soils have reduced functionality [8]. A nation-wide soil map as well as stringent spatial planning policies are crucial to protect the most valuable soils from sealing [9].

Erosion

The impact of soil management on erosion was determined in more than 200 arable fields over 20 years in the Swiss Midlands. The risk of soil erosion was significantly reduced by adapted crop rotation and tillage practice [10;11]. In managed alpine grasslands, erosion rates usually exceed soil formation rates; hence they are problematic [12].

According to V. Prashun, the state of knowledge is sufficient to address soil erosion risks. However, actual soil erosion rates outside case study areas are unknown [4].

Structure and compaction

The structure of agricultural soils is primarily influenced by the mineral composition [13] and the soil biological activity [14] and secondarily by structural deformation caused by tillage and traffic. SOC contents may increase the number of workable days per year, and are thus reducing the risk by tillage operation in wet soils [15]. The importance of assessing the effects of tillage and traffic on subsoil structure is known [16]. Regardless of operation scheduling, machine weights are likely to have exceeded the mechanical limit of soils, thus compaction is often unavoidable [17]. The prevalence of soil structural problems is widely unknown, just occasionally assessed at the Cantonal level [i.e. 18;19].

According to P. Weisskopf, the main knowledge gaps are: knowledge on processes that govern soil structural evolution [20], indicators for soil structural quality, quantification of natural and anthropogenic impacts on soil structure, spatial assessment of soil structural status, quantification of the site-specific soil structural damage risks and mitigation potential.

Soil organic carbon

A long-term study of 30 arable sites concluded that Swiss SOC levels were at or close to steady state since the 1980s. However, changes in the agricultural management triggered substantial changes in SOC contents for some sites [21]. A cantonal monitoring study made contradicting findings during the assessment of SOC levels on 240 sites over 6 years. Over time, SOC levels in integrated production systems were decreasing [18]. A review on Swiss long-term field trial results [22] found that most topsoils lost SOC, even though some of the treatments (no-till [23;24], reduced tillage [23;25], organic amendments [26;27], organic farming [28]) were expected to increase SOC.

According to P. Weisskopf and J. Leifeld, the knowledge gaps to address SOC depletion are substantial. Standards to measure and monitor SOC development on the field scale need to be established. The quantities of above- and belowground C inputs as well as the half-life time of typical organic amendments need better understanding to enhance SOC dynamics modelling. The knowledge on the effects of site characteristics, including soil hydrological status, on SOC dynamics remains limited. Additionally, the quantitative effects of SOC levels on soil function and soil fertility are understudied. Overall, the definition of site-specific SOC target levels as well as the strategies to attain and maintain these target levels remains a major challenge.

Peat degradation

Switzerland's peatland is mostly degraded due to large scale drainage and historical peat extraction. Since 1710 the peatland area has decreased by 70-80% [29;30]. The degradation status of the

remaining peat can be assessed by a stoichiometric method [31]. The historical extent of peatlands and the C storage of the remaining peatland is connected to large uncertainty due to a lack of available data.

Biodiversity

The general consensus in Switzerland is that increased biodiversity supports a multitude of ecosystem services [32-38]. For example, there have been numerous studies highlighting the importance of soil microbial diversity for improving crop yields and NUE [35] as well as for improving overall system-multifunctionality [34].

According to F. Bender, one of the main knowledge gaps in this field is developing ways to make targeted use of soil organisms to provide ecosystem services at the field level [39]. Similarly, it is still not clear why certain practices improve soil biodiversity in some locations but not others. However, a recent NABO report introduced the effort for a national inventory of soil microbial populations and functions [40].

Contamination

The NABO started to assess diffuse contaminations in 1985. Since then, Zn and Cu levels increased due to contaminated slurry and manure application. In some sites U levels increased due to application of contaminated mineral P fertilizer. Pb, Hg and light PAHs levels decreased, among other due to lower air pollution and the ban of Pb fuel additives. Cd, Ni, Cr, Co and heavy PAHs levels did not change significantly. Low PCDD/F and PCB levels were observed in a one-time survey [41-44]. According to R. Meuli, the effects and the prevalence of soil contamination by pesticides and pesticide transformation products [45], antibiotics, flame retardants, and microplastic are widely unknown [4].

Nutrient use efficiency

Despite long-standing policies and helpful national fertilization guidelines [46], the latest estimates at the national scale show a net N, P and K surplus [47;48]. According to a policy evaluation study [49], regional problems exist chiefly in arable areas (nitrate leaching [50;51]) and in regions with high animal densities (ammonia emissions [52], eutrophication of soils [53] and water bodies [54-56]). At the plot level, N efficiency-sustainability dilemma has been identified: treatments with a high nitrogen use efficiency (NUE) lose more soil stock N than those with a lower NUE but higher N losses from the system [57].

According to F. Liebisch and E. Spiess, the main knowledge gaps are the quantification of nutrient pathways in livestock integrated farming systems. Further, the establishment of accepted and reliable methods to increase the NUE with site-specific fertilization is challenging.

N₂O & CH₄

To date, there has been extensive research devoted to understanding rates and drivers of N₂O and CH₄ emissions from Swiss agricultural systems [25;58-80]. In April 2020, all available greenhouse gas emission data was summarized in a national inventory report describing Switzerland's GHG inventory from 1990 to 2018 [77]. This report shows that overall GHG emissions, from the Agriculture sector amounted to 5,991 kt CO₂-eq in 2018, which represents a decrease of 12.2% since 1990. Of these total emissions, 55% are from enteric fermentation, 25% are from agricultural soils in general, and 19% are from manure application to agricultural fields. Of these CO₂-equivalents, 6.2% are comprised of N₂O and 10.4% is comprised of CH₄.

According to D. Bretscher, the main knowledge gaps are not related to technical or policy-related aspects at all. Instead, our main challenge is understanding the various socio-economic and cultural barriers preventing practitioners from implementing practices aiming to reduce these potent greenhouse gas emissions.

Water balance

Switzerland's climate leads to the widespread soil water balance optimization by drainage and, in some locations, irrigation. At least a fifth of agricultural land is drained to make it suitable for cultivation and to prevent water logging [81;82]. Large parts of the drainage infrastructure have been in use for nearly a century and are close to the end of expected service life, raising the urgency of renovation [81]. At the same time, concerns about the environmental impact of the drainage systems have triggered research activities [82] and alternatives to drainage renovation are assessed [83].

Climate change will impact agricultural production [84] and may increase water use for irrigation [85-87]. Depending on the chosen adaptation strategies, increasing conflicts on water use during dry periods seem probable [88]. Nevertheless, today drainage and irrigation systems are subsidized [89]. For irrigation, subsidies are targeted to increase the water use efficiency, e.g. by sensor based irrigation scheduling [90].

References

- [1] The Federal Council, 2020. Bodenstrategie Schweiz für einen nachhaltigen Umgang mit dem Boden. The Swiss Federal Council, Bern, 64 S.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/fachinformationen/massnahmen-fuer-den-bodenschutz/bodenstrategie-schweiz.html>
- [2] FOEN, 2017. Boden in der Schweiz. Zustand und Entwicklung. Stand 2017. Federal Office for the Environment, Umwelt-Zustand 1721, Bern, 86 S.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/publikationen/boden-in-der-schweiz.html>
- [3] Steiger U., Knüsel P. & Rey L., 2018. Die Ressource Boden nachhaltig nutzen. NRP 68, Overall Synthesis of the National Research Programme "Sustainable Use of Soil as a Resource" (NRP 68), Bern.
- [4] Gubler A., Meuli R. G. & Keller A., 2020. Bedürfnisse der Kantone und des Bundes rund um ein Monitoring der Ressource Boden: Erfassung und Beurteilung von Risiko, Zustand und zeitlicher Entwicklung durch flächenhafte Erhebungen (Kartierung) und langfristige Beobachtung. Agroscope, NABO, Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Zürich-Reckenholz. IN PREPARATION
- [5] Candinas T. *et al.*, 2003. Grundlagen für die Beurteilung der nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodennutzung. Bodenschutz 3 (2), 90 – 98.
- [6] FSO, 2013. Land use in Switzerland. Federal Statistical Office, Territory and Environment 002-0904, Neuchâtel. <https://www.bfs.admin.ch/asset/en/002-0904>
- [7] Leuthard J., Tobias S. & Backhaus N., 2016. Kulturlandschutz in der Schweiz: Eine qualitative Untersuchung der politischen Steuerungsinstrumente. Geographisches Institut der Universität Zürich.
- [8] Tobias S. *et al.*, 2018. Soil sealing and unsealing: State of the art and examples. Land Degradation & Development 29 (6), 2015-2024. <http://doi.org/10.1002/ldr.2919>
- [9] Keller A. *et al.*, 2018. Bodeninformations-Plattform (BIP-CH). NRP 68, Partial Synthesis 4 of the National Research Programme "Sustainable Use of Soil as a Resource" (NRP 68) (In German or French), Bern.
- [10] Prasuhn V., 2020. Twenty years of soil erosion on-farm measurement: Annual variation, spatial distribution and the impact of conservation programmes for soil loss rates in Switzerland. Earth Surface Processes and Landforms. <http://doi.org/10.1002/esp.4829>
- [11] Prasuhn V., 2012. On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland. Soil and Tillage Research 120, 137-146. <http://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.002>
- [12] Alewell C., Egli M. & Meusburger K., 2014. An attempt to estimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands. Journal of Soils and Sediments 15 (6), 1383-1399. <http://doi.org/10.1007/s11368-014-0920-6>
- [13] Johannes A. *et al.*, 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? Geoderma 302, 14-21. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021>
- [14] Meurer K. *et al.*, 2020. A framework for modelling soil structure dynamics induced by biological activity. Glob Chang Biol. <http://doi.org/10.1111/gcb.15289>
- [15] Obour P. B. *et al.*, 2019. Soil water contents for tillage: A comparison of approaches and consequences for the number of workable days. Soil and Tillage Research 195. <http://doi.org/10.1016/j.still.2019.104384>
- [16] Martínez I. *et al.*, 2016. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part II. Soil porosity and gas transport parameters. Soil and Tillage Research 163, 130-140. <http://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.020>
- [17] Keller T. *et al.*, 2019. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil and Tillage Research 194. <http://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>

- [18] Hofer P., Leu A. & Schwarz R., 2016. Förderprogramm Boden Kanton Bern. Schlussbericht, Zollikofen.
- [19] Presler J., Carizzoni M. & Widmer D., 2013. Erfassung von Bodenverdichtung. Gemeinsame Bodenüberwachung der Zentralschweizer Kantone (KABO-ZCH).
- [20] Keller T. *et al.*, 2017. Long-Term Soil Structure Observatory for Monitoring Post-Compaction Evolution of Soil Structure. *Vadose Zone Journal* 16 (4).
<http://doi.org/10.2136/vzj2016.11.0118>
- [21] Gubler A. *et al.*, 2019. Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends. *Environ Monit Assess* 191 (5), 277. <http://doi.org/10.1007/s10661-019-7435-y>
- [22] Keel S. G. *et al.*, 2019. Loss of soil organic carbon in Swiss long-term agricultural experiments over a wide range of management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 286. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106654>
- [23] Hermle S. *et al.*, 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil and Tillage Research* 98 (1), 94-105.
<http://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.010>
- [24] Martínez I. *et al.*, 2016. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile. *Soil and Tillage Research* 163, 141-151.
<http://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.021>
- [25] Krauss M. *et al.*, 2017. Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239, 324-333.
<http://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.029>
- [26] Oberholzer H. R., Leifeld J. & Mayer J., 2014. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich organic fertilization experiment, following land-use change from grassland to cropland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177 (5), 696-704.
- [27] Maltas A. *et al.*, 2018. The effects of organic and mineral fertilizers on carbon sequestration, soil properties, and crop yields from a long-term field experiment under a Swiss conventional farming system. *Land Degradation & Development* 29 (4), 926-938. <http://doi.org/10.1002/ldr.2913>
- [28] Leifeld J., Reiser R. & Oberholzer H.-R., 2009. Consequences of Conventional versus Organic farming on Soil Carbon: Results from a 27-Year Field Experiment. *Agronomy Journal* 101 (5), 1204-1218. <http://doi.org/10.2134/agronj2009.0002>
- [29] Wüst-Galley C., Grünig A. & Leifeld J., 2019. Land use-driven historical soil carbon losses in Swiss peatlands. *Landscape Ecology* 35 (1), 173-187.
<http://doi.org/10.1007/s10980-019-00941-5>
- [30] Wüst-Galley C., Grünig A. & Leifeld J., 2015. Locating Organic Soils for the Swiss Greenhouse Gas Inventory. *Agroscope, Agroscope Science Environment* 26 / 2015, Zürich.
- [31] Leifeld J., Klein K. & Wust-Galley C., 2020. Soil organic matter stoichiometry as indicator for peatland degradation. *Sci Rep* 10 (1), 7634.
<http://doi.org/10.1038/s41598-020-64275-y>
- [32] de Vries F. T. *et al.*, 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc Natl Acad Sci U S A* 110 (35), 14296-301.
<http://doi.org/10.1073/pnas.1305198110>
- [33] Havlicek E. & Mitchell E. A., 2014. Soils supporting biodiversity. In: *Interactions in Soil: Promoting Plant Growth*. Springer, 27-58.
- [34] Wagg C. *et al.*, 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proc Natl Acad Sci U S A* 111 (14), 5266-70.
<http://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>
- [35] Bender S. F., van der Heijden M. G. A. & Kaplan I., 2015. Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. *Journal of Applied Ecology* 52 (1), 228-239.
<http://doi.org/10.1111/1365-2664.12351>

- [36] Tsiafouli M. A. *et al.*, 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Glob Chang Biol* 21 (2), 973-85. <http://doi.org/10.1111/qcb.12752>
- [37] Wall D. H., Nielsen U. N. & Six J., 2015. Soil biodiversity and human health. *Nature* 528 (7580), 69-76. <http://doi.org/10.1038/nature15744>
- [38] Charles R., Wendling M. & Burgos S., 2018. Boden und Nahrungsmittelproduktion. NRP 68, Partial Synthesis 1 of the National Research Programme "Sustainable Use of Soil as a Resource" (NRP 68), Bern.
- [39] Bender S. F., Wagg C. & van der Heijden M. G. A., 2016. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends Ecol Evol* 31 (6), 440-452. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
- [40] Hug A.-S. *et al.*, 2018. NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012–2016. Handlungsempfehlungen und Indikatoren. Agroscope, Agroscope Science 63, Zürich, 55 S.
- [41] Gubler A. *et al.*, 2015. Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) 1985-2009. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. Federal Office for the Environment, Umwelt-Zustand 1507, Bern. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/publikationen/bodenbeobachtung-nabo-1985-2009.html>
- [42] Gubler A. *et al.*, 2015. Remarkably constant PAH concentrations in Swiss soils over the last 30 years. *Environmental Science: Processes & Impacts* 17 (10), 1816-1828. <http://doi.org/10.1039/C5EM00344J>
- [43] Bigalke M. *et al.*, 2016. Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland. *Environmental pollution* 221, 85-93. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.035>
- [44] Schmid P. *et al.*, 2005. Correlation of PCDD/F and PCB concentrations in soil samples from the Swiss soil monitoring network (NABO) to specific parameters of the observation sites. *Chemosphere* 58 (3), 227-34. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.045>
- [45] Chiaia-Hernandez A. C. *et al.*, 2017. Long-Term Persistence of Pesticides and TPs in Archived Agricultural Soil Samples and Comparison with Pesticide Application. *Environ Sci Technol* 51 (18), 10642-10651. <http://doi.org/10.1021/acs.est.7b02529>
- [46] Richner W., Sinaj S. & Carlen C., 2017. GRUD 2017: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz. Agroscope.
- [47] Spiess E., 2011. Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91 (3), 351-365. <http://doi.org/10.1007/s10705-011-9466-9>
- [48] Spiess E. 2019: Large soil phosphorus accumulation due to nutrient surpluses in Swiss agriculture. Zürich.
- [49] Herzog F. & Richner W., 2005. Evaluation der Ökomassnahmen: Bereich Stickstoff und Phosphor. Agroscope, Schriftenreihe der FAL 57 57, Zürich.
- [50] Decrem M. *et al.*, 2007. Impact of Swiss agricultural policies on nitrate leaching from arable land. *Agronomy for Sustainable Development* 27 (3), 243-253. <http://doi.org/10.1051/agro:2007012>
- [51] Bünemann-König E. *et al.* Stickstoffeffizienz im Acker- und Gemüsebau für eine Reduktion des Nitratreintrages ins Grundwasser. FiBL, Access: <https://www.fibl.org/en/themes/projectdatabase/projectitem/project/1288.html>
- [52] Kupper T., Bonjour C. & Menzi H., 2015. Evolution of farm and manure management and their influence on ammonia emissions from agriculture in Switzerland between 1990 and 2010. *Atmospheric Environment* 103, 215-221. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.12.024>
- [53] Frossard E. *et al.*, 2004. Phosphor in Böden - Standortbestimmung Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt 368 368, Bern, 174 S.
- [54] Stoll S. *et al.*, 2019. Evaluation der stark zur Phosphor-Belastung des Baldeggersees beitragenden Flächen. Agroscope, Schlussbericht, Zürich.

- [55] Frossard E. *et al.*, 2005. Phosphor im Boden und Düngestrategie – Der Fall Baldeggersee. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Umwelt-Materialien 206, Bern, 65 S.
- [56] Hürdler J., Prasuhn V. & Spiess E., 2015. Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz - MODIFFUS 3.0. Agroscope, Zürich.
- [57] Mayer J. *et al.*, 2017. Stickstoffbilanzen in biologischen und konventionellen Anbausystemen Das Effizienz-Nachhaltigkeits-Dilemma. Umwelt und Nachhaltigkeit - Ökobilanzierung.
- [58] Ammann C. *et al.*, 2009. Assessment of the nitrogen and carbon budget of two managed temperate grassland fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133 (3-4), 150-162. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.006>
- [59] Bretscher D., 2010. Agricultural CH₄ and N₂O emissions in Switzerland. Agroscope, Zürich, 56 S.
- [60] Hastings A. F. *et al.*, 2010. Uncertainty propagation in soil greenhouse gas emission models: An experiment using the DNDC model and at the Oensingen cropland site. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 136 (1-2), 97-110. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.016>
- [61] Leifeld J. *et al.*, 2011. A comparison of repeated soil inventory and carbon flux budget to detect soil carbon stock changes after conversion from cropland to grasslands. *Global Change Biology* 17 (11), 3366-3375. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02471.x>
- [62] Hiller R. V. *et al.*, 2013. Anthropogenic and natural methane fluxes in Switzerland synthesized within a spatially-explicit inventory. *Biogeosciences Discussions* 10 (9), 15181-15224. <http://doi.org/10.5194/bgd-10-15181-2013>
- [63] Imer D. *et al.*, 2013. Temporal and spatial variations of soil CO₂, CH₄ and N₂O fluxes at three differently managed grasslands. *Biogeosciences* 10 (9), 5931-5945. <http://doi.org/10.5194/bg-10-5931-2013>
- [64] Bretscher D. *et al.*, 2014. Treibhausgasemissionen aus der schweizerschen Land-und Ernährungswirtschaft. *Agrarforschung Schweiz*, 458.
- [65] Hagedorn F. *et al.*, 2018. Boden und Umwelt. Organische Bodensubstanz, Treibhausgasemissionen und physikalische Belastung von Schweizer Böden. NRP 68, Partial Synthesis 2 of the National Research Programme "Sustainable Use of Soil as a Resource" (NRP 68) (In German or French), Bern.
- [66] Merbold L. *et al.*, 2014. Greenhouse gas budget (CO₂, CH₄ and N₂O) of intensively managed grassland following restoration. *Glob Chang Biol* 20 (6), 1913-28. <http://doi.org/10.1111/gcb.12518>
- [67] Felber R. *et al.*, 2016. Determination of the carbon budget of a pasture: effect of system boundaries and flux uncertainties. *Biogeosciences* 13 (10), 2959-2969. <http://doi.org/10.5194/bg-13-2959-2016>
- [68] Henne S. *et al.*, 2016. Validation of the Swiss methane emission inventory by atmospheric observations and inverse modelling. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16 (6), 3683-3710. <http://doi.org/10.5194/acp-16-3683-2016>
- [69] Bretscher D. & Ammann C., 2017. Treibhausgasemissionen aus der schweizerischen Nutztierhaltung; wie stark belasten unsere Kühe das Klima? Tagungsbericht, ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung: Klimawandel und Nutztiere: eine wechselseitige Beeinflussung, Zürich, 11 – 22, 11 S.
- [70] Künzle T., Rihm B. & Cattin R., 2017. Lachgas-Emissionskataster Schweiz. Aufbereitung von Datengrundlagen, Berechnung des Katasters. Meteotest, Auftrag von EMPA, BAFU.
- [71] Emmel C. *et al.*, 2018. Integrated management of a Swiss cropland is not sufficient to preserve its soil carbon pool in the long term. *Biogeosciences* 15 (17), 5377-5393. <http://doi.org/10.5194/bg-15-5377-2018>
- [72] Krause H.-M. *et al.*, 2018. Fokusstudie Treibhausgasbilanz: Treibhausgas-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden in der Schweiz. Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Nationales Forschungsprogramm 68 «Ressource Boden», Frick, Schweiz.

- [73] Henne S. *et al.*, 2019. Quantification of Swiss Nitrous Oxide Emissions Through Atmospheric Observations and Inverse Modelling. Federal Office for the Environment, Final Report, Bern, 55 S.
- [74] Skinner C. *et al.*, 2019. The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Sci Rep* 9 (1), 1702. <http://doi.org/10.1038/s41598-018-38207-w>
- [75] Voglmeier K. *et al.*, 2019. Grazing-related nitrous oxide emissions: from patch scale to field scale. *Biogeosciences* 16 (8), 1685-1703. <http://doi.org/10.5194/bg-16-1685-2019>
- [76] Ammann C. *et al.*, 2020. Effect of management and weather variations on the greenhouse gas budget of two grasslands during a 10-year experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 292. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106814>
- [77] Bretscher D. *et al.*, 2020. Agriculture. In: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2018: National Inventory Report, CRF-tables. Submission of April 2020 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. (Ed. Federal Office for the Environment), Bern.
- [78] Fuchs K. *et al.*, 2020. Multimodel Evaluation of Nitrous Oxide Emissions From an Intensively Managed Grassland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 125 (1). <http://doi.org/10.1029/2019jg005261>
- [79] Merbold L. *et al.*, 2020. Memory effects on greenhouse gas emissions (CO₂, N₂O and CH₄) following grassland restoration? *Biogeosciences Discussions*.
- [80] Voglmeier K. *et al.*, 2020. Soil greenhouse gas budget of two intensively managed grazing systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 287. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107960>
- [81] Béguin J. & Smola S., 2009. Stand der Drainagen in der Schweiz. BLW.
- [82] Kobierska F. *et al.*, 2020. Plant protection product losses via tile drainage: A conceptual model and mitigation measures. *Agrarforschung Schweiz* 11, 115 – 123. <http://doi.org/10.34776/afs11-115>
- [83] Churko G. *et al.* Feuchtackerprojekt. Agroscope, Access: www.feuchtacker.ch.
- [84] Holzkmper A. & Fuhrer J., 2015. Wie sich der Klimawandel auf den Maisanbau in der Schweiz auswirkt. *Agrarforschung Schweiz*, 440.
- [85] Fuhrer J., 2010. Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft. Bundesamt für Landwirtschaft, Studie Bewässerungsbedarf in der Schweiz, BB-CH Teil 2, Bern.
- [86] Fuhrer J. & Calanca P., 2014. Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defizitanalyse. *Agrarforschung Schweiz* 5 (6), 256-263.
- [87] Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit von Acker-und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung Schweiz* 16 (10), 396-401.
- [88] Holzkaemper A. 2019: Klimawandel und Landwirtschaft - Neue Nutzungskonflikte ums das Wasser? , Zürich.
- [89] FOAG & Suisse melio, 2020. Strukturverbesserungen im ländlichen Raum - Gesamtübersicht. Federal Office for Agriculture, Bern.
- [90] Keiser A. *et al.* Bewässerungsnetz. Berner Fachhochschulen, Access: www.bewaesserungsnetz.ch.
- [91] Krebs R. *et al.*, 2017. Bodenschutz in der Praxis. Haupt.

Switzerland's Management Strategies to address 9 major Soil Challenges

Environmental zones addressed: ALS, CON

This report addresses the Swiss management strategies of the following major soil challenges: reducing sealing, reducing erosion, optimizing soil structure, soil organic carbon (SOC) conservation, reducing peat degradation, soil biodiversity conservation, increasing nutrient use efficiency (NUE), avoiding greenhouse gas (GHG) emissions and optimizing the water balance. The Swiss Soil Strategy [1] lists measures and directions to counteract soil challenges. Further, many approaches are summarized in a recent text book [2].

Sealing

Soil sealing is addressed by three spatial planning instruments: The Federal Act on Spatial Planning that defines agricultural and building zones, the Sectoral Plan of Cropland Protection to preserve the quota of 438'460 ha prime cropland [3], and the regulations concerning construction activities outside the building zone [4]. A recent study indicates that these instruments might be more effective if they were legally binding at all administrative levels and, if planning authorities needed to compensate for the loss of the most fertile soils [5]. The synthesis of the National Research Project 68 on sustainable use of soil as a resource proposes a tool to integrate soil quality into spatial planning processes to avoid sealing of the high quality soils [6].

The potential and prerequisites of unsealing and restoring soils are understudied. In particular, the development of soils after restoration and their potential to provide ecosystem services need to be assessed [7].

Erosion

The Swiss Soil Protection Ordinance [8] limits tolerable soil erosion rate to 2 or 4 t DM yr⁻¹ ha⁻¹, depending on soil rooting depth. The soil erosion risk maps for arable land [9] and grassland [10] support local authorities and farmers to identify areas prone to erosion. In such areas appropriate measures are to be taken [11-15]. A 20-year conservation tillage monitoring program on more than 200 fields showed a significant decrease in erosion rates due to changed tillage practices [16]. The farmer-to-farmer-extension approach has shown to be effective in the dissemination and adaptation of soil protection practices [17].

According to V. Prashun, the policy framework is sufficient to address soil erosion. However, policy implementation is below its potential, as different state levels and offices are involved causing inefficiencies and interface issues. Social barriers to adaptation of soil protection measures need to be better understood and addressed. Further, farmers' access to information needs to be improved to increase awareness of soil erosion.

Structure and compaction

Guidelines for authorities [11] and practitioners [18;19] to assess the risk of soil compaction by agricultural soil management and traffic are available. Tools to assess and optimize the compaction risks are the web-based model Terranimo [20] and a map displaying arable land prone to compaction at a scale 1:200,000 [21]. Recommendations of tire pressure [22] and construction [23] are published. Additionally, guidelines for soil protection during construction are available. They include information on soil stripping, storage and restoration as well as on the management after restoration and on traffic during construction [24]. An inter-cantonal network provides online soil moisture data to support decisions for agricultural and construction related soil management [25]. Defining national limit values for soil density and compaction is the target of the STRUDEL research project [26-29].

According to P. Weisskopf, the main knowledge gaps are the link of site-specific compaction risk assessment with machine control software. Further, there is need for a simple method for farmers to assess soil structural quality and consider the soil structural quality in field management decisions.

Soil organic carbon

The positive effect of SOC levels on soil quality and soil fertility is widely known. There are guidelines and tools to support farmers' efforts to maintain and increase SOC levels [30;31].

Nevertheless, according to Peter Weisskopf, evidence-based tools to assess and recommend site-specific soil management need to be developed. Such tools need to address all soil challenges linked to agricultural land use and integrate holistic knowledge on plant nutrition as well as on crop protection.

Peat degradation

No economically viable alternative to peatland restoration is known in Switzerland [32]. And even if restoration is considered, current carbon offsetting prices often cannot compensate for the lost

agricultural income [33]. Additional options and policy instruments are therefore necessary to protect the remaining peatlands. Additionally, a substantial part of the drainage infrastructure has come to the end of its expected lifetime and drainage renovation or peatland restoration increasingly becomes a political issue [34;35].

Some alternatives to peatland restoration are currently assessed. The «Feuchtackerprojekt» assesses the economic and environmental potential of wet arable cropping (e.g. wet rice cultivation) [36]. Other active projects evaluate the climate impact of covering organic soils with mineral soils and the conversion of organic soils to permanent grassland.

Biodiversity

Multiple national policies are currently in place to ensure that habitat for biodiversity is preserved in agricultural systems [37-39]. For example, it is well known that certain management practices such as reduced or no-tillage, incorporation of cover crops [40], and use of organic fertilizers [41] and organic farming [42-44] can increase soil microbial diversity. On the other hand, many intensive agricultural practices [45] and certain plant protection measures are known to negatively affect soil microbial communities [46], and thus care must be taken when choosing which management practices to employ. Several indicators and protocols have been developed to assess landscape-scale biodiversity of agricultural systems [47-49].

Although the management practices that promote biodiversity are relatively well known, many of these practices are not economically feasible for farmers. Therefore, more information regarding economically profitable, targeted and site-specific practices is needed.

Contamination

In Switzerland, sites with high contamination are identified and are to be renovated in accordance with the Contaminated Sites Ordinance [50]. Additionally, many cantons have published maps with potentially contaminated soils to avoid untraceable spreading of contaminated soils [e.g. 51]. The Swiss legislation relating to soil contamination was summarized in a short review [52].

Future contamination of agricultural soils can be avoided by appropriate fertilization with low Cd and U levels in mineral fertilizers [53], and uncontaminated manure and slurry [54;55].

Nutrient use efficiency

On the plot and farm level, balanced farm nutrient budgets are central to the reduction of excess nutrient levels and losses. For N, there are two site-specific fertilization methods [55]. The N_{opt} -method, correcting rates for the expected yield [56] and the N_{min} -method, correcting rates for the available N in the soil [57]. However, only if soil nutrient stocks are taken into account for fertilizer rate calculation, over-fertilized sites can return to an environmentally friendlier supply level [58;59]. These methods are further improved and linked to models for mineralization processes (SOC, N, P, K) and uptake capacity at the moment [e.g. 60].

According to F. Liebis, the main challenges to site-specific fertilization are the establishment of accepted methods and digital tools for farmers and authorities.

N₂O & CH₄

In the past decades, management options for reducing greenhouse gas emissions from Swiss agricultural systems has been researched in detail [32;61-72]. GHG emissions were lowered by reduced and no-till management practices [71], replacing mineral fertilizers with organic sources and the use of composted farmyard manure instead of manure-based slurries [61], increasing the proportion of clover in the grass-clover mixture to promote biological nitrogen fixation and to reduce fertilizer input [70]. N taxes are an economic approach to reduce the N surplus, and thus the potential to produce N₂O emissions. However, a recent study showed that potential N taxes would likely have little effect on the N surplus [64]. The authors thus recommend further optimization of the direct payment scheme to motivate farmers to adopt better management practices aimed at reducing GHG emissions [64].

Thorough life-cycle assessments (LCA) of overall emissions are required to better understand impacts of multiple different organic fertilizer sources (e.g. composted manure) and crop types [71].

Additionally, there is still some uncertainty related to how practices aiming to reduce GHG emissions may impact yields, especially under a changing climate. More region-specific recommendations are thus needed.

References

- [1] The Federal Council, 2020. Bodenstrategie Schweiz für einen nachhaltigen Umgang mit dem Boden. The Swiss Federal Council, Bern, 64 S.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/fachinformationen/massnahmen-fuer-den-bodenschutz/bodenstrategie-schweiz.html>
- [2] Krebs R. *et al.*, 2017. Bodenschutz in der Praxis. Haupt.
- [3] ARE *et al.*, 2020. Sectoral Plan Prime Cropland (FFF). Federal Office for Spatial Development, Bern. <https://www.aren.admin.ch/aren/de/home/raumentwicklung-und-raumplanung/strategie-und-planung/konzepte-und-sachplaene/sachplaene-des-bundes/sachplan-fruchtfolgeflaechen-sp-fff.html>
- [4] Leuthard J., Tobias S. & Backhaus N., 2016. Kulturlandschutz in der Schweiz: Eine qualitative Untersuchung der politischen Steuerungsinstrumente. Geographisches Institut der Universität Zürich.
- [5] Oliveira E., Leuthard J. & Tobias S., 2019. Spatial planning instruments for cropland protection in Western European countries. Land Use Policy 87.
<http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104031>
- [6] Grêt-Regamey A. *et al.*, 2018. Eine Bodenagenda für die Raumplanung. NRP 68, Partial Synthesis 3 of the National Research Programme "Sustainable Use of Soil as a Resource" (NRP 68), Bern.
- [7] Tobias S. *et al.*, 2018. Soil sealing and unsealing: State of the art and examples. Land Degradation & Development 29 (6), 2015-2024. <http://doi.org/10.1002/ldr.2919>
- [8] SPO. Soil Protection Ordinance. Access: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19981783/index.html>.
- [9] Bircher P., Liniger H. & Prasuhn V., 2019. Aktualisierung und Optimierung der Erosionsrisikokarte (ERK2): Die neue ERK2 (2019) für das Ackerland der Schweiz. Federal Office for Agriculture, Bern.
<https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/umwelt/boden.html>
- [10] Schmidt S., Alewell C. & Meusburger K., 2019. Monthly RUSLE soil erosion risk of Swiss grasslands. Journal of Maps 15 (2), 247-256.
<http://doi.org/10.1080/17445647.2019.1585980>
- [11] FOEN & FOAG, 2013. Bodenschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Federal Office for the Environment, Umwelt-Vollzug 1313, Bern.
- [12] FOAG & FOEN, 2010. Erosion – Risiken beschränken. Federal Office for Agriculture, Merkblätter-Set, Bern.
- [13] Agridea, 2017. Hilfsmittel Massnahmenplan Erosion. Agridea, Lindau-Eschikon.
- [14] Prasuhn V. *et al.*, 2017. Der Einfluss von Lochstern und Querdammhäufel auf Erosion und Staunässe im Kartoffelanbau. BGS Bulletin 38, 27-37.
- [15] Lemann T. *et al.*, 2019. The effect of the Dyker on infiltration, soil erosion, and waterlogging on conventionally farmed potato fields in the Swiss Plateau. Catena 174, 130-141. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.038>
- [16] Prasuhn V., 2020. Twenty years of soil erosion on-farm measurement: Annual variation, spatial distribution and the impact of conservation programmes for soil loss rates in Switzerland. Earth Surface Processes and Landforms.
<http://doi.org/10.1002/esp.4829>
- [17] Schneider F. *et al.*, 2009. Social Learning Processes in Swiss Soil Protection—The 'From Farmer - To Farmer' Project. Human Ecology 37 (4), 475-489.
<http://doi.org/10.1007/s10745-009-9262-1>
- [18] Marbot B., Fischler M. & Küng J., 2014. Bodenverdichtung vermeiden - so funktioniert's! Agridea, Merkblatt, Lindau-Eschikon.
- [19] HAFL *et al.* Plattform Bodenverdichtung. Access: www.tassementdusol.ch.
- [20] Stettler M. *et al.*, 2014. Terranimo® – a web-based tool for evaluating soil compaction. Landtechnik 69 (3), 132 – 138. <http://doi.org/10.24451/arbor.6095>

- [21] Peyer K. *et al.*, 1988. Potentielle Verdichtungsgefährdung Schweizer Ackerböden. Nationales Forschungsprogramm "Nutzung der Schweizer Böden", Map 1:200'000.
- [22] Schjønning P. *et al.*, 2012. Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. *Soil Use and Management* 28 (3), 378 – 393. <http://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00411.x>
- [23] Gut S. *et al.*, 2015. Seasonal dynamics in wheel load-carrying capacity of a loam soil in the Swiss Plateau. *Soil Use and Management* 31 (1), 132-141. <http://doi.org/10.1111/sum.12148>
- [24] FOEN, 2001. Bodenschutz beim Bauen. Federal Office for the Environment, Leitfaden Umwelt 10, Bern.
- [25] Meteotest & Kantonale Fachstellen Bodenschutz. Bodenmessnetz Nordwestschweiz. Meteotest AG, Access: www.bodenmessnetz.ch.
- [26] Johannes A. & Weisskopf P. STRUDEL: Soil STRUcture Degradation Evaluation for Environmental Legislation. Agroscope, Access: www.strudel.agroscope.ch.
- [27] Johannes A. *et al.*, 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma* 302, 14-21. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021>
- [28] Johannes A. *et al.*, 2017. To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? *Soil and Tillage Research* 173, 24-32. <http://doi.org/10.1016/j.still.2016.06.001>
- [29] Johannes A. *et al.*, 2019. Soil structure quality indicators and their limit values. *Ecological Indicators* 104, 686-694. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.040>
- [30] Oberholzer H. R., Weisskopf P. & Meier J. Humusbilanz. Agroscope, Access: <https://www.humusbilanz.ch>.
- [31] Zihlmann U. *et al.*, 2019. Humus in Ackerböden - vermehren statt verzehren. Agridea, Merkblatt, Lindau-Eschikon.
- [32] Hagedorn F. *et al.*, 2018. Boden und Umwelt. Organische Bodensubstanz, Treibhausgasemissionen und physikalische Belastung von Schweizer Böden. NRP 68, Partial Synthesis 2 of the National Research Programme "Sustainable Use of Soil as a Resource" (NRP 68) (In German or French), Bern.
- [33] Ferré M. *et al.*, 2019. Sustainable management of cultivated peatlands in Switzerland: Insights, challenges, and opportunities. *Land Use Policy* 87. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.038>
- [34] Béguin J. & Smola S., 2009. Stand der Drainagen in der Schweiz. BLW.
- [35] Weber P. *et al.*, 2019. Innovationsprojekt «Umgang mit drainierten Böden», Schlussbericht. Kantone Aargau, Bern und Zürich.
- [36] Churko G. *et al.* Feuchtackerprojekt. Agroscope, Access: www.feuchtacker.ch.
- [37] FOEN & FOAG, 2016. Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht 2016. Federal Office for the Environment, Umwelt-Wissen 1633, 114p.
- [38] The Federal Council, 2017. Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz. Federal Office for the Environment, Bern.
- [39] The Federal Council, 2020. Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik ab 2022 (AP22+). The Swiss Federal Council 20.XXX, Bern.
- [40] Bowles T. M. *et al.*, 2017. Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. *Journal of Applied Ecology* 54 (6), 1785-1793. <http://doi.org/10.1111/1365-2664.12815>
- [41] Widmer F. *et al.*, 2006. Community structures and substrate utilization of bacteria in soils from organic and conventional farming systems of the DOK long-term field experiment. *Applied Soil Ecology* 33 (3), 294-307. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.09.007>
- [42] Mäder P. *et al.*, 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296 (5573), 1694-7. <http://doi.org/10.1126/science.1071148>
- [43] Verbruggen E. *et al.*, 2010. Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytol* 186 (4), 968-79. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x>

- [44] Hartmann M. *et al.*, 2015. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *ISME J* 9 (5), 1177-94. <http://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>
- [45] Tsiafouli M. A. *et al.*, 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Glob Chang Biol* 21 (2), 973-85. <http://doi.org/10.1111/gcb.12752>
- [46] Moll J. *et al.*, 2017. Effects of titanium dioxide nanoparticles on soil microbial communities and wheat biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 111, 85-93. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.019>
- [47] Dennis P. *et al.*, 2012. Biodiversity in organic and low-input farming systems: handbook for recording key indicators. Alterra, Wageningen-UR.
- [48] Herzog F. *et al.*, 2017. European farm scale habitat descriptors for the evaluation of biodiversity. *Ecological Indicators* 77, 205-217. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.010>
- [49] Martin E. A. *et al.*, 2019. The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. *Ecol Lett* 22 (7), 1083-1094. <http://doi.org/10.1111/ele.13265>
- [50] CSO. Contaminated Sites Ordinance. Access: <https://www.admin.ch/opc/en/classified-compilation/19983151/index.html>.
- [51] Kanton Zürich, 2020. Flächen im Kanton Zürich mit Hinweisen auf Schwermetallbelastungen des Bodens über dem Richtwert gem. Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo). Access: <https://maps.zh.ch/?topic=FaBoPBV2ZH>.
- [52] Schulin R., Keller A. & Evangelou M., 2018. Treatment and management of contaminated soils in Switzerland. University of Kerman - National Iranian Copper Industries Co., SMSER Conference Sustainable management of soil and environment resources. 4-5 September., Kerman, Iran, 1-7, 7 S.
- [53] Bigalke M. *et al.*, 2016. Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland. *Environmental pollution* 221, 85-93. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.035>
- [54] Gubler A. *et al.*, 2015. Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) 1985-2009. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. Federal Office for the Environment, Umwelt-Zustand 1507, Bern. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/publikationen/bodenbeobachtung-nabo-1985-2009.html>
- [55] Richner W., Sinaj S. & Carlen C., 2017. GRUD 2017: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz. Agroscope.
- [56] Richner W. *et al.*, 2010. Ableitung der Stickstoffdüngungsnormen von Ackerkulturen. *Agrarforschung Schweiz* 1 (11-12), 410-415.
- [57] Maltas A. *et al.*, 2015. Evaluation zweier Methoden für eine optimale Stickstoffdüngung im Ackerbau. *Agrarforschung Schweiz* 6 (3), 84 – 93.
- [58] Herzog F. & Richner W., 2005. Evaluation der Ökomassnahmen: Bereich Stickstoff und Phosphor. Agroscope, Schriftenreihe der FAL 57 57, Zürich.
- [59] Stoll S. *et al.*, 2019. Evaluation der stark zur Phosphor-Belastung des Baldeggersees beitragenden Flächen. Agroscope, Schlussbericht, Zürich.
- [60] Argento F. *et al.*, 2020. Site-specific nitrogen management in winter wheat supported by low-altitude remote sensing and soil data. *Precision Agriculture*. <http://doi.org/10.1007/s11119-020-09733-3>
- [61] Peter S. *et al.*, 2009. THG 2020: Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz. IAW Schriftenreihe 2009 1.
- [62] Felber R. *et al.*, 2012. Nitrous oxide emission reduction in temperate biochar-amended soils. *Biogeosciences Discussions* 9 (1), 151-189. <http://doi.org/10.5194/bgd-9-151-2012>
- [63] Sutter M., Menzi H. & Reidy B., 2013. Ökologische Optimierung des landwirtschaftlichen Produkteportfolios (ÖkOpt). HAFL, Dokumentation zu den im Auftrag von INFRAS erstellten Modellrechnungen der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen.

- [64] Felber R. *et al.*, 2014. Nitrous oxide emission reduction with greenwaste biochar: comparison of laboratory and field experiments. *European Journal of Soil Science* 65 (1), 128-138. <http://doi.org/10.1111/ejss.12093>
- [65] Alig M. *et al.*, 2015. Ökologische und ökonomische Bewertung von Klimaschutzmassnahmen zur Umsetzung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz. Agroscope, Zürich, *Agroscope Science* 29, 160.
- [66] Hüppi R. *et al.*, 2015. Effect of biochar and liming on soil nitrous oxide emissions from a temperate maize cropping system. *Soil* 1 (2), 707-717. <http://doi.org/10.5194/soil-1-707-2015>
- [67] Schmidt A. *et al.*, 2017. Direct and Indirect Economic Incentives to Mitigate Nitrogen Surpluses: A Sensitivity Analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 20 (4). <http://doi.org/10.18564/jasss.3477>
- [68] Zimmermann A., Nemecek T. & Waldvogel T., 2017. Umwelt- und ressourcenschonende Ernährung: Detaillierte Analyse für die Schweiz. Agroscope, *Agroscope Science* 55, Ettenhausenn, 170 S.
- [69] Bretscher D. *et al.*, 2018. Reduktionspotenziale von Treibhausgasemissionen aus der Schweizer Nutztierhaltung. *Agrarforschung Schweiz* 9 (11 + 12).
- [70] Fuchs K. *et al.*, 2018. Management matters: Testing a mitigation strategy for nitrous oxide emissions on intensively managed grassland. *Biogeosciences Discussions*. <http://doi.org/10.5194/bg-2018-192>
- [71] Nepalova M. *et al.*, 2018. Potentials to mitigate greenhouse gas emissions from Swiss agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265, 84-102. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.013>
- [72] Stolze M. *et al.*, 2019. Sustainable and healthy diets: trade-offs and synergies: final scientific report. FiBL, NFP 69, Frick. <https://orqprints.org/36918/>

Description of policies

DPO - Direct Payments Ordinance (A1/1/2014) - Direktzahlungsverordnung (DZV)

The DPO regulates the 2.8 billion francs of direct payments to Swiss farmers. Farmers need to fulfil the proof of ecological performance (PEP) to be eligible for direct payments (cross compliance). The PEP includes minimal standards for soil protection (e.g. erosion). There are voluntary direct payment contributions for sustainable soil management (e.g. strip tillage).

SP-CP - Sectoral Plan for Prime Cropland Protection (A8/4/1992) - Sachplan Fruchtfolgeflächen (SP FFF)

The SP-CP is an active policy that aims to maintain Swiss food security in times of disturbed or disrupted international supply chains. The SP-CP obliges the federation and the cantons to sustain the quantity and quality of 438'460 ha of prime cropland.

AP22+ - Agricultural Policy 22+ (D12/2/2020) - Agrarpolitik 22+

The AP22+ is the proposition of the Federal Office for Agriculture for the agricultural policies beyond 2022. The proposition is to be discussed and agreed upon in the two chambers of the Swiss parliament. In recent years the agricultural policy were revised every 4 years (e.g. AP14-17, AP18-21). Within one agricultural policy revision many regulations (e.g. subsidies, animal welfare laws, tariffs) are changed.

AP-PPP - Action Plan Plant Protection Products (A6/9/2017) - Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (AP PSM)

The AP-PPP is a common action plan of the Federal Offices for Agriculture, the Environment, Food Safety and Veterinary as well as the State Secretariat of Economic Affairs to reduce the environmental risks plant protection practices by 50% and promote alternatives to chemical plant protection strategies.

SBS - Swiss Biodiversity Strategy (A6/9/2017) - Strategie der Biodiversität Schweiz

The SBS is a strategy of the Swiss governments Federal Office for the Environment to safeguard and increase biodiversity.

CSA - Climate Strategy for Agriculture (A31/5/2011) - Klimastrategie Landwirtschaft

The CSA is a strategy of the Federal Office for Agriculture to adapt the agricultural sector to a changing climate and mitigate the climate impact of Switzerland's agriculture.

EGA - Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft

The EGA is a common set of environmental goals for the agricultural sector of the Federal Offices for Agriculture and the Environment. The EGA can be used to monitor the environmental impact of the agricultural sector and its policies. The EGA comprises goals related to biodiversity and landscape, climate and air, water as well as soil.

SSS - Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz

The SSS is a common strategy of the Federal Offices for Agriculture, the Environment and Spatial Development to align all soil related policies and strengthen the effort for soil protection.

NRP68 - National Research Programme NRP 68 'Overall Synthesis' (05/2018) - Nationale Forschungsprogramm NFP 68 'Gesamtsynthese'

The National Research Programme "Sustainable Use of Soil as a Resource" (NRP 68), with its 25 research projects, developed the scientific basis for political decisions. Both the ecological and the economic performance of the soil were taken into account. One overall synthesis and five thematic synthesis were created. The research phase lasted from 2013 to 2018.

SRS - Status Report on Soil in Switzerland (A30/11/2017) - Zustandsbericht Boden in der Schweiz

This SRS considers the condition of soils in Switzerland. The analysis of the Federal Office for the Environment shows that the soil is suffering both qualitative and quantitative damage. This suggests that it may be difficult to retain soil functions in the long-term. The 2017 report concludes that various measures have helped to prevent an increase or even decrease certain soil pollutions, Switzerland does not have a sustainable approach to dealing with soil, a basic natural resource. The SRS may have been a motivation to formulate the SSS (see above).

OFO - Organic Farming Ordinance (A1/1/1998) – Bioverordnung

The OFO is the Swiss regulation on organic Farming. The OFO is aligned with the international organic farming framework regulations by IFOAM.

Description of Instruments

Table A1: Instruments

ID	Name DE	Name ENG	Description
ChemO	Chemikalienverordnung	Chemicals Ordinance	Substances in fertilizers or pesticides must fulfil the listed requirements
CPCal	CP-Faktor-Rechner	CP-Factor-calculator	This enables farmers to estimate how crop rotation, the tillage method and the tillage direction of a plot can change the risk of erosion.
CSO	Altlastenverordnung (AltIV)	Contaminated Sites Ordinance	Polluted sites are remediated if they cause harmful effects or nuisances, or if there is a real danger that such effects may arise (SS)
DPB	Biodiversitätsbeiträge	Direct payment for areas reserved for promoting biodiversity	Designating areas to promote biodiversity. Payments for quality (two levels) and connectivity of areas
DPPS	Produktionssystembeiträge (PSB)	Direct payment for Production System	e.g. promotion of organic farming and extensive production of arable crops ('Extenso' programme), e.g. promotion of soil fertility, production with reduced pesticide use, humus build-up to maintain soil fertility, reduction of nutrient losses, promotion of functional biodiversity, promotion of location-adapted LW, ...
DPR	Ressourceneffizienzbeiträge (REB)	Direct payment for efficient use of resources	Application methods to reduce emissions Gentle tillage Precise application technology for pesticides N-reduced phase feeding Reduction of pesticides in fruit growing, viticulture and sugar beet
DPSI	Strukturverbesserungsbeiträge	Direct payments for structural improvement	Structural improvement in agriculture, such as soil improvement, drainages, upgrades to improve biodiversity, soil structure, water holding balance, restoration
EAEROOF	Verordnung des WBF über die biologische Landwirtschaft	EAER Ordinance on Organic Farming	List of fertilizers and substances allowed for Bio-certified farms.
GRUD2017	Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz 2017	Principles for the fertilisation of agricultural crops in Switzerland 2017	the GRUD 2017 records the latest state of research in the field of fertilization and the development of cultivation techniques. It is a decision-making aid in connection with the fertilisation of agricultural crops, a tool for agricultural advisors and farms, and the basis for federal and cantonal enforcement instruments (e.g. Suisse balance sheet).
HODUFLU	HODUFLU	HODUFLU	HODUFLU is an internet programme for the uniform management of farm and recycled manure transfers in agriculture
OAPC	Luftreinhalteverordnung (LRV)	Ordinance on Air Pollution Control (A1/3/1986)	Protection of human beings, animals and plants, their biological communities and habitats, and the soil against harmful effects or nuisances caused by air pollution

ID	Name DE	Name ENG	Description
PEP	Ökologischer Leistungsnachweis (ÖLN)	Proof of Ecological Performance	Contains an article on soil protection and regulates compliance with the minimum environmentally friendly standards. Mandatory, to qualify for other (optional) direct payments.
PPO	Pflanzenschutzmittelverordnung (PSMV)	Plant Protection Products Ordinance (A1/7/2011)	Regulation that addresses the registration, trade, application and control of soil protection products.
RP	Ressourcenprogramm	Resources programme	Within the framework of the available funding, the Federal Government supports the improvement of sustainability in the use of natural resources in agriculture with direct payments. The target areas are natural resources relevant to agriculture, such as soil, water, air, biodiversity or energy. The programme also supports the optimisation of the sustainable use of production resources such as pesticides or veterinary medicines, fertilisers, animal feed or energy.
SBil	Suisse-Bilanz	Suisse-Balance	An enforcement and planning instrument and serves to prove a balanced nitrogen and phosphorus balance. The reference method is described in the Suisse balance sheet guide
WBS	Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz WBS	Monitoring the Effectiveness of Habitat Conservation in Switzerland (A2011)	To protect precious habitats and the biodiversity, Switzerland designated about 7000 sites of national importance. These sites are legally protected and include mires (fens and raised bogs), dry grasslands, and flood plain habitats as well as amphibian breeding sites. In 2011, the Federal Office for the Environment (FOEN) and the WSL Swiss Federal Research Institute launched the joint project "Monitoring the effectiveness of habitat conservation in Switzerland WBS" to observe developments and changes in these sites.

Description of indicators

Table A2: Indicators

ID	Name DE	Name ENG	Description
AUI	Agrarumweltindikatoren	Agri-environmental indicators	Indicators to monitor the impact of the agricultural sector on the environment. The set of indicators includes nitrogen-balance, phosphorus-balance, ammonia emissions, humus-balance, N-loss, erosion risk, soil cover, biodiversity, GHG, use of energy/resources, energy/resource efficiency, pesticides, Zinc, Copper
Contamination		No indicator yet for new contaminants (I)	Risk of contamination: - general and proxy-indicators, used for scenario developments - Consumption and sales figures (E) - Cadastre of contaminated sites, test perimeter of soil displacement (E) - Balance/modelling on parcel, farm or regional level (E)
Contamination		No indicator yet for new contaminants (I)	Extent of contamination is monitored for 'established' compounds. Guide values are missing for 'new' compounds: - Micro plastic (I) - PPP (P) - Antibiotics - Trace elements (E)
Erosion		There are indicators for arable land, but none for grasslands (NABO) (I)	Guide values for maximum soil losses per time/event
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation	Revised Universal Soil Loss Equation	Adapted for Swiss soils, for evaluation of erosion risk
Soil biodiversity		No indicator yet for soil biodiversity (I)	- Soil biomass (E) - Soil activity (E) - Molecular genetic methods (I)
Soil Compaction		No indicator yet (I)	Soil compaction: There are proposals for guide values (cantonal guides), but are not embodied in de law (I)
Soil quality		No indicator yet for soil quality(I)	- there is no scientific and political consensus on how to approach this

ID	Name DE	Name ENG	Description
Soil sealing		No indicator yet for area-wide soil sealing (I)	Area-Statistics monitors soil sealing in urban areas only (E)
SOM		No indicator yet (I)	Monitoring, guide values and evaluation intended for a 'SOM-guide value'

Description of Monitoring Tools

Table A3: Monitoring Tools

ID	Name DE	Name ENG	Description
agrammon	agrammon.ch	agrammon.ch	simulation model for ammonia emissions
ALL-EMA	Arten und Lebensräume Landwirtschaft (E)	Agricultural Species and Habitats' Monitoring Programme -	Area-wide random sampling in agricultural locations that are representative for Switzerland. They are monitoring a subset of the BDM. Monitoring of species and habitats
AUM	Agrarumweltmonitoring	Agri-environmental monitoring	N (water, emissions, balances), P (lakes, soils, balances), pesticides residues in water, soil cover/erosion/SOM balance/heavy metal/contaminants/quality, biodiversity Assembles an agriculture-specific report with data from GHGI
BDM	Biodiversitätsmonitoring (E)	Biodiversity Monitoring	Monitoring of species and habitats, area-wide.
ERM	Erosionsrisikokarte (ERK)	Erosion risk map	Modelling of the risk of erosion (no 'real' data monitoring)
GHGI	Treibhausgasinventar	Swiss GHG inventory	The Swiss Greenhouse Gas Inventory calculates all relevant climate gases and related carbon according to UN guidelines. The data acquisition is carried out by various official statistics
LABES	Landschaftsbeobachtung Schweiz	Landscape Observation Switzerland	Monitoring of quality of landscape: Soil sealing; Extensively used forest area; Building area outside the construction zones; Landscape quality in the residential environment; Landscape fragmentation; Landscape urban sprawl; Agricultural area; Light emissions; Variety of uses in the agricultural area; Summer pastures; Perceived beauty of the landscape;
MONET	Monitoring der Nachhaltigen Entwicklung	Sustainable development indicators	MONET is an indicator system to monitor sustainable development. It measures and comments on the current

ID	Name DE	Name ENG	Description
			situation and development in Switzerland with regard to the social, economic and ecological aspects of sustainable development. Available since 2003.
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe	The National Air Pollution Monitoring Network	Air pollution monitoring network.
NABO	Nationale Bodenbeobachtung	Swiss Soil Monitoring Network	SOM, compaction, water-holding capacity, microbial biomass, soil respiration, nutritional balance, contamination Soil monitoring since 1980 on reference network of around 100 locations (arable land, grassland, forests)
NAQUA	Nationale Grundwasserbeobachtung	National Groundwater Monitoring	Monitoring of pesticide residues from agricultural inputs in surface water NAWA/NAQUA measure the leaching and run-off of nutrients and pollutants from soil to water.
NAWA	Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität	National Surface Water Quality Monitoring Programme	Monitoring of pesticide residues from agricultural inputs in surface water NAWA/NAQUA measure the leaching and run-off of nutrients and pollutants from soil to water.
OACP	Luftreinhalteverordnung (LRV) (E)	Ordinance on Air Pollution Control (A1/3/1986)	Protection of human beings, animals and plants, their biological communities and habitats, and the soil against harmful effects or nuisances caused by air pollution. Including emissions from agricultural practice.
WBS	Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz WBS	Monitoring the Effectiveness of Habitat Conservation in Switzerland	To protect precious habitats and the biodiversity, Switzerland designated about 7000 sites of national importance. These sites are legally protected and include mires (fens and raised bogs), dry grasslands, and flood plain habitats as well as amphibian breeding sites. In 2011, the Federal Office for the Environment (FOEN) and the WSL Swiss Federal Research Institute launched the joint project "Monitoring the effectiveness of habitat conservation in Switzerland WBS" to observe developments and changes in these sites.

Annex VIII: Summary of policy analysis.

Second priority policies are listed in italics and only the overarching target was extracted.

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
DPO-01	Balanced fertilizer use (SAS): - Close nutrient cycles as far as possible - adapt the number of livestock to the location	Farm-specific nutrient balance calculation, through PEP ('Swiss-Balance') (E) Cultivated soils have to be analysed according to DPO every 10 years to enable optimization of fertilization (E) + The min. 'good practice' standard of the GRUD is integrated in the PEP (through Swiss-Balance) and therefore legally binding. The GRUD also contains guidelines for site-specific 'best practice' for fertilization, but these are only recommendations and not legally binding. However, the AP22+ may recommend to enforce 'best practice' in critical regions	By BLW, 30% of farms are inspected/controlled	PEP (E), DPR (optional) (E) DPPS (optional) (E) GRUD2017 (E) Sbal ('Suisse-Bilanz') (E) HODUFLU (E)
DPO-02	Appropriate share of areas reserved for promoting biodiversity, promotion through direct payments (SS)	65'000ha of agriculturally productive areas in plains, 40% of specific quality as defined by DPO, 50% of areas are connected + Goal met concerning quantity and connectivity, but not concerning quality	ALL-EMA (E)	Implementation guidelines are available (E), direct payment through PEP: DPPS (optional) (E) DPB (optional) (E)
DPO-03	The crop rotations are to be determined in such a way that pests and diseases are prevented and that erosion, soil compaction and soil loss as well as leaching of fertilizers and PPPs ^d are avoided (SAS)	This target includes many sub-targets, various measures are promoted through PEP to reach these targets (E) + Strong focus on application measures and not on reaching targets PEP is well established, efforts for improvement are ongoing (P)	By BLW, 30% of farms are inspected/controlled	PEP (E), REB (optional) (E)
DPO-04	Appropriate soil protection (SAS): - Soil protection must be ensured by optimal soil cover and by measures to prevent soil erosion as well as chemical and physical impacts on soils (SAS)	According to SoilPO Annex 3 soil loss is considered to be relevant if it is higher than 2 to 4 t dm/ha*y, depending on the root penetration depth of a soil. Annex 2 and 3 contain guide values for organic and inorganic substances. + For erosion, there is no area-wide and systematic monitoring of effective status yet, except of one regional project (Frienisberg BE). Contaminants are monitored, but indicators for new compounds like micro-plastic are missing. Monitoring for soil compaction has started, but is not yet fully established. Development of biological parameters is also in progress (NABO) Generally, indicators that can be applied on farms are missing, development is ongoing	ERK2 (model based monitoring for erosion risks). NABO: For contamination (NABO, KABO) (E) Erosion Monitoring (I) Soil Compaction Monitoring (NABO) (I)	PEP (E), OSIA (E), DPSI (E)
DPO-05	Targeted selection and application of PPP ^d (SAS)	List of authorised PPP ^d in PPO + (N)	Cantonal implementation authorities	PEP (E)

Annex VIII

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
FAA-01	The Confederation shall ensure that, through sustainable, market-orientated production, the agricultural sector makes a significant contribution towards: - the reliable provision of the population with food (NS); - preserving natural resources (NS); - maintenance of the countryside (NS); - encouraging decentralised settlement (NS) [...]	(N) + (N)	(N)	PEP (E), OSIA: Meliorations or soil improvements supported by the federal government
FAA-02	The Confederation supports the sustainable use of natural resources and promotes animal and climate-friendly production	(N) + (N)	(N)	PEP (mandatory), DPR (E), DPB (E), DPPS (E)
SP-CP-01	By the planning of cropland areas, the quality and quantity of the best Swiss arable soils will be protected in the long-term. For the whole of Switzerland a minimum of 438'460 ha has to be ensured (SS): This minimum area has to be permanently ensured by the cantons.	- High quality arable soils : Climatic Zones A/B/C/D1-4; ≤ 18% slope; ≥ 50 cm root penetration depth; contaminants ≤ guide value (SoilPO); min. of 1 ha coherent area, no long-term compaction (E) + Not all assigned areas meet the requirements or are still available, therefore mapping of inventory is ongoing (according to FAL 24+ method) (P)	The cantons are responsible, that their prime cropland contingent remains secured and available in the long term.	
SoilPO-01	Long-term preservation of soil fertility through regulating (SS): - the observation, monitoring and assessment of chemical, biological and physical impacts on soil - measures to prevent long-term soil compaction and erosion; - measures to be taken when manipulating excavated soil; - the further measures to be taken by the cantons in the case of impacted soils. - the requirements on soil management in case of impacted soils.	- Compaction: there are proposals for guide values, but they are not embodied in the law yet. Efforts to do so are ongoing (by BAFU) (I) - Erosion: max. total of 2t dm (for soils with top rooting layer of max 70cm) or 4t dm (for soils with more than 70cm) soil loss per ha and year - Max. content of PCDD and PCDF of 5 (ng I-TEQ/kg DM for soils up to 15 % SOM, ng I-TEQ/dm ³ for soils with more than 15 % SOM) - Max. content of PAH of 1 (mg/kg DM for soils up to 15% SOM, mg/dm ³ for soils with more than 15% SOM) - Max. content of PCB of 0.2 (mg/kg DM for soils up to 15% SOM, mg/dm ³ for soils with more than 15% SOM) - Max. content of 50 CR, 50 Ni, 40 Cu, 150 Zn, 5 Mo, 0.5 Hg, 50 Pb, 700 F (mg/kg DM for soils up to 15% SOM, mg/dm ³ for soils with more than 15% SOM) + Following monitoring tools are missing and their development is planned (BAFU/NABO): Erosion Map (I) Soil Compaction Monitoring (I) Soil Biodiversity and Activity Monitoring (I)	NABO (national level), cantonal services for soil protection (cantonal level)	ChemRRO (E), OPMF (E), EPA (E)
AP-22+-01	By 2025, reduction of P, N, GHG and ammonia losses and emissions of 10%, in comparison to 2014/2015	Emissions of N, P, GHG and NH ₃ (I) + 113 938 t N = 0.13% increase 6 122 t P = 0.5% increase 7 571 000 t CO ₂ -eq = 0.2% decrease 42 300 t NH ₃ -N = 0.5% decrease (2015/2017)	No monitoring tool yet (I)	

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
AP-22+02	Agricultural sector has to contribute 20-25 % (1,5-2 Mio t) to the reduction of GHG emissions by 2030, in comparison to the base year 1990 (SAS)	Emissions of GHG from agriculture (I) + Total GHG emissions of agriculture in 1990: 7.56 Mio t CO ₂ -ep	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+03	Protection of prime cropland is important. Besides the quantitative aspect of soil protection in the cropland area, conservation of soil quality becomes more important. Prime croplands (according to SP-CP) have to be protected from sealing and its soil quality has to be maintained (SS)	No indicator yet (I) + (N)	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+04	The scarce cropland area shall primarily be used for direct human nutrition (not animal feed) (SAS)	No indicator yet (I) + (N)	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+05	The dependency of agricultural production from non-renewable resources like fossil energy or phosphate has to be reduced. The consumption of non-renewable resources (fossil energy, phosphorus, soils, etc.) has to be reduced (SAS)	No indicator yet (I) + (N)	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+06	Payments for innovative technologies to increase animal welfare and health and to prevent negative environmental effects (SAS)	No indicator yet (I) + (N)	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+07	A sustainable management shall ensure soil fertility. Promotion of humus formation and encouragement of management techniques to increase soil fertility (SAS)	Humus balance calculator (P) + Development of guide values ongoing	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+08	Environmental impacts by agriculture have to be reduced. The strategic focus is on environmental risks by plant nutrients N and P as well as by GHG, PPPs ^d and antibiotics (SAS)	No indicator yet (I) + (N)	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+09	A minimum percentage of arable land shall be managed as biodiversity promotion areas. This percentage shall be fixed at 3.5 % and will be taken into account for the necessary 7 % of over all biodiversity areas. (SS)	Status of biodiversity, quality of species and habitat on the entire agriculturally used area (E) + First cycle of monitoring ongoing	ALL-EMA (E)	
AP-22+10	Promotion of a site-adapted agriculture, fertilization plans for individual fields, improved use of permanent grasslands, adapted stocking rates. (SAS)	No indicator yet (I) + (N)	No monitoring tool yet (I)	

Annex VIII

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
AP-22+-11	Adaptation of the water protection act: reduction of the maximum allowable amount of farm manure usage from 3 to 2.5 LMU ³ /ha (SAS)	Status of and nitrogen input into watercourses (E) + First cycle of monitoring ongoing	No monitoring tool yet (I)	Extension of WPO (I)
AP-22+-12	To reduce the occurrence of subsoil compaction, the load capacity of soils shall be considered for soil management in the (SAS)	Software to monitor soil-compaction risk (Terranimo) for agricultural contracting business (P) - Compaction: there are proposals for guide values, but they are not embodied in the law yet. Efforts to do so are ongoing (by NABO) (I) + (N)	No monitoring tool yet (I)	Extension of PEP (I)
AP-22+-13	Promotion of functional biodiversity (NS)	Status of biodiversity, quality of species and habitat on the entire agriculturally used area (E) + First cycle of monitoring ongoing	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+-14	In the PEP, PPPs ^d with a high environmental risk won't be allowed, and the abandonment of PPPs ^d will be promoted by direct payments (SAS)	(N) + Testing and compilation of list is ongoing according to AP-PPP ^d (P)	No monitoring tool yet (I)	
AP-22+-15	Ensuring an area-wide management by maintaining and improving soil fertility and yield potential (SAS)	(N) + Development of guide values ongoing	No monitoring tool yet (I)	
AP-PPP-01	The risks of PPPs ^d are reduced by half through reduction and limitation of applications and by reducing emissions (NS)	According to sales figures (P) Proposal for development of specific indicators (P) + First evaluation planned for 2023	FAOG (for sales figures) (P) area-wide monitoring of crop-specific use (I)	PEP (E)
AP-PPP-02	By 2027, reduction of specific PPPs ^d (according to AP PPPs by 30%, in comparison to 2012-2015 (NS)	According to sales figures (P) + First evaluation planned for 2023	FAOG (P) AUM (for crop-specific use) (P)	WPO (E)
AP-PPP-03	The application of PPPs ^d has no long-term adverse effects on soil fertility and the use of such products with high risk potential for the soil is reduced (SS)	no indicator yet (P) + Process has been started to find methods and values to evaluate soil fertility (P)	Agroscope and The Ecotox Centre (P)	WPO (E)
AP-PPP-04	By 2027, the use of PPPs ^d with persistence in the soil (DT50> 6 months) will be reduced by 50%, in comparison to 2012-2015 (SS)	According to sales figures (P) + First evaluation planned for 2023	FAOG (P)	PEP (E)
AP-PPP-05	Residues of relevant PPPs ^d in soils and their degradation products are known until 2020 and will be regularly monitored from 2020 (SS)	no indicator yet (P) + First measurements are ongoing	NABO (E)	SoilPO (E)
SBS-01	Proof of ecological performance shall - as planned for agricultural policy 2014-2017 - be optimized as prerequisite for direct payments regarding fertilization, soil protection, plant protection and ecological compensation. (NS)	Amount of payments for biodiversity per time (E) + Process ongoing through AP22+, which under development	by BLW (E)	

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
SBS-02	Various instruments and incentive systems are to be used in combination to reduce ammonia emissions. As an important instrument, additional incentives for resource efficiency in the context of direct payments are to be used to promote targeted technical measures.	Ammonia emissions (E) + Decreasing trend between 1990 and 2018 (Switzerland's Informative Inventory Report 2020)	GHGI	
SBS-03	By 2020, the use of natural resources and interventions involving them are sustainable so that the conservation of ecosystems and their services as well as species and their genetic diversity is ensured	No indicators for soil biodiversity yet, there are research projects working on it (P) Various indicator for non soil-specific factors exist + There are efforts to develop monitoring for soil biodiversity (NABO) (I)	No monitoring tool yet for soil-biodiversity (NABO) (I)	
SBS-04	By 2020, an ecological infrastructure consisting of protected and connected areas will be developed to protect the area necessary for maintaining biodiversity. The state of endangered habitats will be improved. (NS)	No indicators for soil biodiversity yet, there are research projects working on it (P) + Goals are specific for above ground soil factors	BDM, ALL-EMA, 'Wirkungskontrolle 'Biotopschutz Schweiz' (for natural reserves)	
SBS-05	By 2020, ecosystem services are recorded quantitatively. This enables their consideration in the measurement of welfare, as complementary indicators to gross domestic production and in regulatory impact assessments	No indicator for ecosystem services yet (I) + Not clear yet, which indicators would be measured. Research necessary	no monitoring tool yet (I)	
CSA-01	By 2050, GHG emissions by agriculture will be reduced by at least one third, compared to 1990. (NS)	Emissions from agriculture + Reduction of 13% until 2017 (AUI)	GHGI and AUM	
EGA-01	Avoiding permanent compaction of agricultural soils (SAS)	There are proposals for guide values, but they are not embodied in the law yet. Efforts to do so are ongoing (by NABO) (I) + Goal not met, respective ordinances are not properly executed yet	no area-wide monitoring yet. Responsibility of cantonal authorities AUM (E) ?	Several leaflets with recommendations, but no guidelines. Regulated on regional level
EGA-02	Promotion of extensive management practices in watercourse corridors and for species-rich alpine pastures (SS)	Use of management practices + (N)	(N)	DPO (E)
EGA-03	Promotion of low-emission slurry application, thrift-reduced PPP ^d application, and soil conserving management techniques. (SAS)	Use of application techniques + there is an increase in use of precise application techniques ^e	AUM?	DPO (E)
EGA-04	Reduction of loss of arable land in alpine zones due to forest ingrowth (NS)	Reduction of loss + (N)	(N)	
EGA-05	Ammonia emissions amount to a maximum of 25 000 t N/year (SAS)	Emissions from agriculture + Goal not met yet, currently it's at 43'000 t N.	GHGI	
EGA-06	A maximum of 25 mg nitrate per litre in waters that serve as or are intended to be used for drinking water and whose inflow area is mainly used by agriculture (NS)	Amount of nitrate in waters + Goal not met yet, 45% of arable- and 15% of grassland exceeded limit in 2016	NAQUA/NAWA (E)	

Annex VIII

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
EGA-07	Reduction of agricultural nitrogen emissions into the water by 50% compared to 1985 (NS)	Emissions from agriculture + Goal not met, 2016, a reduction of 25% was measured	NAQUA/NAWA (E)	
EGA-08	Maximum total P content of 20ug P/L in lakes whose P input derives mainly from agriculture. (SAS)	Emissions from agriculture + Goal met for most large lakes. Not met for 6 medium lakes. No measurements present for small lakes	NAWA (E)	
EGA-09	No impairment of soil fertility and health due to inorganic or organic contaminants from agriculture (SS)	development of indicators for soil fertility ongoing (NABO) (P) + Goal not met. Guide value missing for soils. Goal met for most of groundwater, but not for small and medium surface water in highly cultivated areas	NAQUA/NAWA (E) (for water) NABO/AUM (E) (soils). No area-wide monitoring yet.	
EGA-10	The environmental risk from PPPs ^d must be reduced as much as possible. Natural conditions must be taken into account. (SS)	0.1 µg/l per individual substance unless regulated otherwise (see WPO Annex 2) + (N)	various (cantonal regulation)	
EGA-11	Input of individual contaminants from agriculture in soils is smaller than their output and degradation. (SAS)	List of contaminants available in SoilPO + No area-wide monitoring yet. Reference-measurements through NABO do not show a systematic accumulation of contaminants in the upper soil	(N)	SoilPO (E)
EGA-12	No impairment of soil fertility through erosion (SAS) - Erosion values have to stay below threshold in agricultural soils - Prevention of talweg erosion on arable soils	Max. total of 2t dm (for soils with top rooting layer of max 70cm) or 4t dm (for soils with more than 70cm) soil loss per ha and year + Goal not met, respective ordinances are not properly executed yet	Erosion Map (ERK2) and area-wide monitoring (NABO) (I) Regional monitoring in Frienisberg (Bern), as representative location for hilly areas	ERM (P), CPCal (E)
EGA-13	Agriculture makes a considerable contribution to maintain and promote biodiversity regarding species and habitat diversity, genetic diversity within species, and functional biodiversity (SAS).	65'000ha of prime cropland in plains, 50% or areas are connected. + Goal met for connectivity, but not for quality. Soil biodiversity is not included, development of indicators for soil biodiversity and ecosystem services are planned	BDM, ALL-EMA	DPO (E)
EGA-14	By 2050, reduction of agricultural carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions by at least one third, in comparison to 1990 (corresponds to a reduction of around 0.6% per year under a linear reduction path). (SAS)	Emissions from agriculture + Reduction of 13% until 2017 (AUI)	GHGI and AUM (E)	
EGA-15	Soil fertility is not affected by soil compaction (SS)	Emissions from agriculture + Development of guide values ongoing	no area-wide monitoring yet (NABO) (I) Responsibility of cantonal authorities	Extension of in PEP (I)
SSS-01	From 2050 onwards, no more soils shall be used. Building on soils will still be possible. If soil functions are lost by construction work, they have to be compensated for by upgrading soils on other places. (SS)	soil use (E) soil functions (N) + (N)	currently monitored by the land-use statistics of The Federal Statistical Office. In future, NABO will take over	SP-CP

Annex VIII

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
SSS-02	In order to control soil consumption in terms of sustainable development, soil functions are considered in planning and in weighing interests. The necessary soil information is available (SS)	(N) + (N)	NABO (P)	SP-CP
SSS-03	For its economic and social welfare Switzerland is depending on both the conservation of the country's own soils and the soils abroad. Therefore Switzerland is pleading for a more sustainable soil use on global level. (SS)	(N) + (N)	(N)	
SSS-04	In construction work outside of the construction zones the degree of soil sealing must be reduced. Buildings no longer used shall be removed and the natural state must be re-established. (SS)	(N) + (N)	(N)	Provision of methods and soil information to better take soil functions into account when defining construction zones (I) Review of the legal framework and creation of incentives to reduce soil sealing outside the construction zones to a minimum (I) In the case of infrastructure projects or other space-related activities by the federal government, measures to reduce soil loss are specified within the framework of the property planning, the planning approval or agreements (I).
SSS-05	Avoidance of permanent compaction in agricultural soils (SAS)	- Compaction: there are proposals for guide values, but they are not embodied in the law yet. Efforts to do so are ongoing (by NABO) (I) + Development of monitoring tools to evaluate measures (P) Development of guide values and methods to evaluate state of soil structure (I) Revision and adaptation of current indicators and regulations for heavy machinery (I)	NABO (P)	Amelioration of available information on local/current risk of soil compaction risk through agricultural practices (I) Raising awareness along the value chain for the sensitivity of soils to compaction (I) Development of evaluation and decision making tools for farmers (I)
SSS-06	No permanent impairment of soil functions through erosion on agricultural land (SAS)	see SoilPO for guide values (E) + (N)	Cantonal implementing authorities for direct payments (I)	G-SPA (E)
SSS-07	No impairment of water bodies and semi-natural habitats due to soil material washed away from agricultural areas (NS)	Guide values according to SoilPO (E) + (N)	Cantonal implementing authorities for environmental protection	

Annex VIII

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
SSS-08	Compensation of soil organic matter losses due to agricultural use of mineral soils. (SAS)	(I) + Development of guide and target values for SOM (I) Development of guidelines for renewal of drainage systems, including biodiversity, climate-, water- protection (I)	NABO (P) Swiss climate reporting under the UNFCCC (P)	Development of recommendation on how to maintain soil organic matter (I) Development of evaluation and decision making tools for farmers (I) Review of the general conditions including the direct payment system for an agriculture adapted to the location in order to better maintain soil organic matter (I) Amelioration of available information (I)
SSS-09	Minimizing the loss of soil organic matter due to agricultural use of organic soil (SAS)	(N) + Development of guide and target values for SOM (I) Development of guidelines for renewal of drainage systems, including biodiversity, climate-, water- protection (I)	NABO (P)	Development of recommendation on how to maintain soil organic matter (I) Development of evaluation and decision making tools for farmers (I) Review of the general conditions including the direct payment system for an agriculture adapted to the location in order to better maintain soil organic matter (I) Amelioration of available information (I)
SSS-10	No permanent loss of soil biodiversity and activity due to agricultural soil use (SAS)	(I) + Development of guide- and target values (I)	NABO (P)	Amelioration of available information on soil biodiversity and activity (I) Promotion of agricultural cultivation methods that guarantee a biologically active community typical of the location (I) Consideration of soil biodiversity and activity when planning and selecting 'ecosystems' ('ökol. Vernetzungsstruktur') (I) Consistent implementation of the possible measures to minimize emission of substances, such as ammonia from agriculture (I)

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
SSS-11	Review of measures and financing options for the remediation and use restriction of contaminated soils and brownfield sites with the aim of possible harmonization. (SS)	(N) + (N)	(N)	
ADWO-01	Protection of humans, animals, plants, their communities as well as water bodies, soil and air from harmful effects or nuisances caused by wastes. (NS)	(N) + (N)	NAWA/NAQUA for water (E) NABEL/GHGI for air (E) NABO/AUM for soils (E)	
ADWO-02	Limitation of environmental pollution by waste through precautionary measures (NS)	(N) + (N)	NAWA/NAQUA for water (E) NABEL/GHGI for air (E) NABO/AUM for soils (E)	
ADWO-03	Promotion of the sustainable use of natural resources through environmentally friendly recycling of waste (NS)	(N) + (N)	(N)	
ADWO-04	By January 2026, phosphorous must be materially recycled from phosphorous rich wastes, such as sewage sludge of central wastewater treatment plants or from the ashes of the thermal treatment of sewage sludge. (NS)	(N) + (N)	no monitoring tool yet	
AP-GE-01	The improvement of resource efficiency and the long-term reduction of resource consumption to an environmentally-friendly level (SS)	no indicators yet (I) + (N)	(N)	
ChemRRO-01	This Ordinance prohibits or restricts the use of particularly dangerous substances, preparations and articles; Annex 2.6 regulates the contents and application of fertilizers (SAS)	Annexes ChemRRO (long list of substances) + (N)	various (cantonal level)	
ChemRRO-02	Ban of direct application of sewage sludge on agricultural land (SAS)	no indicator + (N)	various (cantonal level)	
NCHA-01	Particular protection amongst others for sites which have a compensational function in ecosystems and offer particularly favourable conditions for communities. (NS)	According to WBS (E) + Goals not met	WBS (E)	
G-NFA-01	... for the protection of water and air due to the management of nutrients and the use of fertilizers in agriculture (SAS)	(N) + (N)	(N)	
G-PPP-A-01	This enforcement aid explains the legal basis in water and environmental protection, in chemicals legislation and, in part, in agricultural legislation, which are decisive for the handling of PPPs ^d on farms. It concretizes undefined legal terms in particular with regard to the storage and application of PPP ^d and the cleaning of spray equipment. (SS)	(N) + (N)	NAWA/NAQUA for water (E) NABEL/GHGI for air (E) NABO/AUM for soils (E)	

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
G-SPA-01	<i>The enforcement aid explains the legal basis for the soil protection module with the two areas erosion and soil compaction (SAS)</i>	Guide values according to SoilPO + (N)	(N)	PEP (E)
NRP68-01	The NRP 68 is recommending: when dealing with soils give prevention priority. (SS)	(N) + (N)	(N)	
NRP68-02	The NRP 68 is recommending: soil quality should be integrated into the spacial planning act as a decisive decision-making factor. This also applies to soils that are not classified as prime croplands. (SS)	no indicator yet (NABO) (I) + development of guide values ongoing	(I)	
NRP68-03	The NRP 68 is recommending: soil management has to be further developed as a site-appropriate, regionally adapted agriculture and forestry that uses soil functions and services provided by the soil optimally and avoids soil damage such as erosion, compaction, pollutants and losses of soil organic matter. (SS)	no indicator yet (NABO) (I) + Development of guide values ongoing	(I)	
NRP68-04	The NRP 68 is recommending: soil organic matter content and soil compaction should be essential indicators for soil quality in the direct payment system of agricultural policy (SS)	(I) + (N)	SOM Map and area-wide monitoring (NABO) (I)	
NRP68-05	The NRP 68 is recommending: from the perspective of climate protection and considering costs of climate change for society, further agricultural use of organic soils should be avoided. (SAS)	(N) + (N)	(N)	
NRP68-06	The NRP 68 is recommending: strengthen the efforts to reduce nitrogen pollution (SS)	(N) + (N)	GHGI and AUM (E) ?	
OFLN-01	<i>Preservation and protection of landscapes and natural monuments of national importance, including biotopes like peat bogs. These objects must remain intact in their landscape character related to natural and cultural aspects and their formative elements.</i>	AUI + (N)	<i>AUM Regulated by cantonal authorities, under supervision of the FOEN.</i>	
OISA-01	<i>This Ordinance regulates the processing of data in the field of agriculture, i.a. in the information system on nutrient shifts (NS)</i>	HODUFLU (web app) contains a list of guide values for different types of farm manure + (N)	(N)	
OPMF-01	<i>Commercial fertilizers are only admitted if (SAS): - there are no unacceptable side effects and no danger for neither environment nor indirectly for humans, if used according to the official prescriptions</i>	(N) + (N)	various (cantonal regulation)	ChemO (E)

Annex VIII

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
OSIA-01	Contributions are granted for: ... measures to maintain or improve structure and water regime of soils; Contributions are given to the periodic repair and maintenance of: ... agricultural drainage systems: cleaning and repair of drainage pipes, drains and drainage ditches; (SAS)	(N) + (N)	various (cantonal regulation)	DPSI (E)
OSME-01	THE FOAG authorizes a livestock size, so that the amount farm manure produced per farm allows a phosphorus balance to be maintained in accordance with the requirements of points 2.1.4 and 2.1.5 of Annex 1 to the DPO (NS)	The phosphorus balance of the completed nutrient balance may have an error range of at most plus 10% of the crop's requirements (E) + (N)	various (cantonal regulation)	DPO (E)
SRS-01	No exceeding of threshold values for erosion and prevention of talweg erosion on arable land (SS)	SoilPO: Max. total of 2t dm (for soils with top rooting layer of max 70cm) or 4t dm (for soils with more than 70cm) soil loss per ha and year + ERK2 is a model based monitoring for erosion risks. No monitoring for effective status yet (I)	Erosion Map (ERK2) and area-wide monitoring (NABO) (I) Regional monitoring in Frienisberg (Bern), as representative location for hilly areas	DPO, G-SPA, Agricultural Policy 2014-15
SRS-02	Erosion on agricultural land does not damage soil fertility (SAS)	No indicator yet for soil fertility yet (I) + Soil fertility' is defined in SoilPO, development of indicators in progress (P)	Erosion Map (ERK2) and area-wide monitoring (NABO) (I) Regional monitoring in Frienisberg (Bern), as representative location for hilly areas	DPO, G-SPA, Agricultural Policy 2014-16
SRS-03	No impairment of water bodies and semi-natural habitats due to soil material washed away from agriculturally used land (NS)	List for guide values of individual substances available in WPO (E) + ERK2 is a model based monitoring for erosion risks. No monitoring for effective status yet (I)	NAWA/NAQUA (source: NRP68TS4) various (cantonal regulation)	DPO, G-SPA, Agricultural Policy 2014-17
SRS-04	No impairment of soil fertility through soil compaction. Avoidance of permanent compaction of agricultural soils. (SS)	No indicator yet (NABO) (P) + there is no overview yet, but processes to develop indicators, methods and monitoring tools are ongoing	no monitoring tool yet (NABO) (I)	Several leaflets with recommendations, but no guidelines. Regulated on regional level
SRS-05	No impairment of soil fertility and health through inorganic or organic pollutants (SS)	Development of risk based indicators (oekotoxzentrum) for PPP ^d (P) + (N)	NABO and cantonal services (P)	G-NFA
SRS-06	Reduce the use of mineral phosphorus fertilizers as much as possible to the actual need in order to close the national P cycle using recycling measures. (SAS)	Development of national P-cycle is ongoing (P) Cultivated soils have to be analysed according to DPO every 10 years to enable optimization of fertilization (E) + Surplus phosphorous has been reduced from 12 kg/ha in 1990 to around 4kg/ha in 2018c Since 2016, the ADWO Art 15 demands, that by 2026, phosphorous has to be recycled from different wastes.	BLW	

Annex VIII

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
SRS-07	Preventive limitation of the emission of nitrogenous air pollutants (ammonia) as far as technically and operationally feasible and economically viable (SS)	max. ammonia emissions of agriculture of 25 000 t N/year (EGA) (E) + Goal not met. See EGA-05.	agrammon.ch	Project 'Instrumente-Evaluation Stickstoff'
SRS-08	No excessive immission (ammonium), i.e. no exceedance of critical limits such as immission limits, critical loads, critical levels and 'Air Quality Guidelines'. (SS)	Critical Loads' and 'Critical Levels' for ammonium compounds acc. to CLRTAP + Goal not met (see Report 'Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances')	agrammon.ch for emission FOEN for immission	OAPC (E)
WPO-01	<i>This Ordinance is intended to protect surface and underground waters against harmful effects and to enable their sustainable use. To this end, all measures taken under this Ordinance must take account of the ecological objectives for water bodies (NS)</i>	Annexes WPO + (N)	NAQUA/NAWA	
WPO-02	<i>Waste water from farm manure processing, from hors-sol production and similar crop production techniques must be reused in an environmentally compatible manner, according to the state of the art in agriculture or in horticulture (SAS)</i>	(N) + (N)	(N)	
PAL-01	<i>The protection of agriculturally suitable soils is given greater priority in spatial planning; the principle is emphasized, that arable land lost as a result of spatial planning must be compensated. (NS)</i>	(N) + (N)	LABES	SP-CP
PAL-02	<i>Prime cropland has to be compensated real, e.g.. - by re-zoning prime cropland in undeveloped building zones, and assigning them to the agricultural zone - by improving soils which have been damaged by human activities, or (iii) assigning soils in agricultural zones which have not yet been assigned to the cropland area. (SAS)</i>	(N) + (N)	(N)	SP-CP
SCCS-01	<i>Switzerland tries to benefit from the chances resulting from climate change by minimizing the risks of climate change, protecting the population, assets and natural resources and improves the adaptive capacity of society, the economy and the environment (NS)</i>	(N) + (N)	(N)	
SCP-01	<i>With its climate policy, Switzerland aims to reduce its national greenhouse gas emissions by 20 percent as compared with 1990 levels by 2020</i>	GHG emissions (E) + Reduction of 13% until 2019 (Federal Statistical Office)	GHGI	

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
SSD-01	<i>By 2030, the quantitative and qualitative planetary resilience and use limits of natural resources (e.g. biodiversity, landscape, soil, air, water, forest and renewable and non-renewable raw materials for energetic or material use) are complied with. The pressure on the ecosystems is limited so that they can continue to perform their functions, remain resilient and the conservation of species populations is guaranteed. The area required to maintain the resources is secured. The environmental pollution caused by Switzerland nationally and abroad has been reduced to a level that is compatible with nature.</i>	(N) + (N)	MONET	SP-CP
SSfs-01	<i>Switzerland minimizes the loss of agricultural land through new settlements and thus permanently guarantees the highest possible share of food production.</i>	(N) + Implementation of goals is ongoing	LABES	SP-CP
EPA-01	<i>Protection of humans, animals and plants, their communities and habitats against harmful effects or nuisances and to preserve the natural resources sustainably, in particular biological diversity and the fertility of the soil</i>	(N) + (N)	(N)	CSO (E)
EPA-02	<i>The soil may be physically affected only to the extent that its fertility is not permanently impaired; this does not apply to land used for construction. The Federal Council may issue regulations or recommendations on measures against physical impacts such as erosion or compaction (SS)</i>	(N) + (N)	(N)	CSO (E)
EPA-03	<i>If soil fertility in specific areas is no longer guaranteed in the long term, the cantons must, in agreement with the Confederation, tighten the regulations on requirements for sewage infiltration, limitation of emissions for facilities, the use of substances and organisms or physical impacts on soil to the necessary extent.</i>	(N) + (N)	(N)	CSO (E)

Target ID	Policy target	Indicators + current status	Policy monitoring tools	Other policy instruments
OFO-01	The fertility and biological activity of the soil shall be maintained and, if possible, increased. To this end, the following measures in particular must be taken (SAS): a. the soil shall be cultivated in such a way that its physical, chemical and biological properties enable it to achieve sustainable productivity; b. biological diversity shall be promoted; c. crop rotation, crop shares, use of pastures and soil management shall be planned to avoid crop rotation problems, soil erosion, runoff and leaching of nutrients and plant protection products; d. in arable land use, soil cover must be so high that soil erosion and losses of nutrients and plant protection products are kept to the minimum; e. the intensity of forage production must be differentiated and adapted to the site.	This ordinance does not contain measurable indicators but tries to provide a framework to aim at the described state of soils + The OFO is based on restrictions concerning products and practices. Compliance results in approaching the described state of soils	Certified private inspection bodies (E)	DPO (E)
OFO-02	The quantity of nutrients applied per hectare (own farmyard manure and manure from other farms, bought in fertilizers) may, under the most favourable valley conditions, correspond to no more than 2.5 LMU ^a . It shall be graded according to soil load capacity, altitude and topographical conditions. If maximum values defined by the Canton according to water protection legislation are lower, these values are valid (SAS)	max. 2,5 LMU ^a per ha + (N)	Certified private inspection bodies (E)	DPO (E)
OFO-03	The EAER ^b authorizes the fertilisers that are permissible and the instructions for their use. Mineral nitrogen fertilisers are not allowed for use (SAS)	EAER OOF ^f contains a long list of authorised substances + (N)	Certified private inspection bodies (E)	

SS: soil specific; **SAS:** specific for agricultural soils only; **NS:** non-soil specific, the target includes soils but is broader than agricultural soils only

E: already established (already or nearly operational); **P:** in progress (it is already (quite) well known how to develop and development is in progress); **I:** initial development phase or development or research phase still has to start; **N:** not available/planned

^a (livestock manure unit) equals 105 kg total N (without losses), 15 kg P

^b Federal Department of Economic Affairs, Education and Research

^c Phosphorus balance of the Federal Statistical Office

^d plant protection product

^e Monitoring des Direktzahlungssystem', May 2020

^f EAER Ordinance on Organic Farming

Annex X: Current policy realisations and aspirational goals per soil challenge.

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Maintain/increase SOC	SSS-08	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	Compensation of soil organic matter losses due to agricultural use of mineral soils. (SAS)	Development of guide and target values for SOM, of guidelines for renewal of drainage systems, including biodiversity, climate-, water- protection is planned
	SSS-09		Minimizing the loss of soil organic matter due to agricultural use of organic soil (SAS)	
	NRP68-05	National Research Programme NRP 68 'Overall Synthesis' (05/2018) - Nationale Forschungsprogramm NFP 68 'Gesamtsynthese'	The NRP 68 is recommending: from the perspective of climate protection and considering costs of climate change for society, further agricultural use of organic soils should be avoided. (SAS)	Status unknown
Avoiding N ₂ O, CH ₄ emissions from soils	CSA-01	Climate Strategy for Agriculture (A31/5/2011) - Klimastrategie Landwirtschaft	By 2050, GHG emissions by agriculture will be reduced by at least one third, compared to 1990. (NS)	Reduction of 13% was measured in 2017 (AUI)
	EGA-07	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	Reduction of agricultural nitrogen emissions into the water by 50% compared to 1985 (NS)	Goal not met, 2016, a reduction of 25% was measured (EGA Status Report 2016)
	EGA-14		By 2050, reduction of agricultural carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions by at least one third, in comparison to 1990 (corresponds to a reduction of around 0.6% per year under a linear reduction path). (SAS)	Reduction of 13% was measured in 2017 (AUI)
	SRS-07	Status Report on Soil in Switzerland (A30/11/2017) - Zustandsbericht Boden in der Schweiz	Preventive limitation of the emission of nitrogenous air pollutants (ammonia) as far as technically and operationally feasible and economically viable (SS)	Goal not met yet, see EGA-05

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Avoid soil erosion	EGA-12	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	No impairment of soil fertility through erosion (SAS) - Erosion values have to stay below threshold in agricultural soils - Prevention of talweg erosion on arable soils	Max soil loss per ha and year according to SoilPO. Status unknown, there is no monitoring tool yet. Development of area-wide monitoring ongoing (NABO)
	SSS-06	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	No permanent impairment of soil functions through erosion on agricultural land (SAS)	
	SRS-01	Status Report on Soil in Switzerland (A30/11/2017) - Zustandsbericht Boden in der Schweiz	No exceeding of threshold values for erosion and prevention of talweg erosion on arable land (SS)	Guide values according to SoilPO. Monitoring through ERK2, which is a model based monitoring for erosion risks. No monitoring for effective status yet
	SRS-02		Erosion on agricultural land does not damage soil fertility (SAS)	No indicator yet for soil fertility yet. 'Soil fertility' is defined in SoilPO, development of indicators in progress (NABO)
	SRS-03		No impairment of water bodies and semi-natural habitats due to soil material washed away from agriculturally used land (NS)	List for guide values of individual substances available in WPO. Model based monitoring through ERK2. No monitoring for effective status yet
Avoid soil sealing	SP-CP-01	Sectoral Plan for Prime Cropland Protection (A8/4/1992) - Sachplan Fruchtfolgeflächen (SP FFF)	By the planning of cropland areas, the quality and quantity of the best Swiss arable soils will be protected in the long-term. For the whole of Switzerland a minimum of 438'460 ha has to be ensured (SS): This minimum area has to be permanently ensured by the cantons.	- High quality arable soils : Climatic Zones A/B/C/D1-4; ≤ 18% slope; ≥ 50 cm root penetration depth; contaminants ≤ guide value (SoilPO); min. of 1 ha coherent area, no long-term compaction (E). Not all assigned areas meet the requirements or are still available, therefore mapping of inventory is ongoing (according to FAL 24+ method)
	SSS-01	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	From 2050 onwards, no more soils shall be used. Building on soils will still be possible. If soil functions are lost by construction work, they have to be compensated for by upgrading soils on other places. (SS)	soil use and soil functions + status not available yet. Currently monitored by the land-use statistics of The Federal Statistical Office. In future, NABO will take over
	SSS-02		In order to control soil consumption in terms of sustainable development, soil functions are considered in planning and in weighing interests. The necessary soil information is available (SS)	No monitoring tool available

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>	
Avoid soil sealing	NRP68-04	National Research Programme NRP 68 'Overall Synthesis' (05/2018) - Nationale Forschungsprogramm NFP 68 'Gesamtsynthese'	The NRP 68 is recommending: soil organic matter content and soil compaction should be essential indicators for soil quality in the direct payment system of agricultural policy (SS)	Status unknown	
	DPO-05	Direct Payments Ordinance (A1/1/2014) - Direktzahlungsverordnung (DZV)	Targeted selection and application of PPP ^d (SAS)	List of authorised PPP^d in PPO. Status unknown	
Avoid contamination	AP-PPP-01	Action Plan Plant Protection Products (A6/9/2017) - Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (AP PSM)	The risks of PPPs ^d are reduced by half through reduction and limitation of applications and by reducing emissions (NS)	Monitoring so far according to sales figures. Proposal for development of specific indicators is in progress. First evaluation period planned for 2023.	
	AP-PPP-02		By 2027, reduction of specific PPPs ^d (according to AP PPPs ^d by 30%, in comparison to 2012-2015 (NS)		
	AP-PPP-03		The application of PPPs ^d has no long-term adverse effects on soil fertility and the use of such products with high risk potential for the soil is reduced (SS)	No indicator for soil fertility yet. Process has started to find methods and values to evaluate soil fertility	
	AP-PPP-04		By 2027, the use of PPPs ^d with persistence in the soil (DT50>6 months) will be reduced by 50%, in comparison to 2012-2015 (SS)	Monitoring so far according to sales figures. First evaluation period planned for 2023	
	AP-PPP-05		Residues of relevant PPPs ^d in soils and their degradation products are known until 2020 and will be regularly monitored from 2020 (SS)	Development of indicators in progress. First measurements are ongoing	
	EGA-06		Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	A maximum of 25 mg nitrate per litre in waters that serve as or are intended to be used for drinking water and whose inflow area is mainly used by agriculture (NS)	Goal not met yet, 45% of arable- and 15% of grassland exceeded limits in 2016
	EGA-08		Maximum total P content of 20ug P/L in lakes whose P input derives mainly from agriculture. (SAS)	Goal met for most large lakes. Not met for 6 medium lakes. No measurements present for small lakes	
	EGA-09		No impairment of soil fertility and health due to inorganic or organic contaminants from agriculture (SS)	Goal not met. Development of indicators for soil fertility ongoing (NABO) Guide value missing for soils. Goal met for most of groundwater, but not for small and medium surface water in highly cultivated areas	

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Avoid contamination	EGA-10	Environmental Goals Agriculture (A2008) -	The environmental risk from PPPs ^d must be reduced as much as possible. Natural conditions must be taken into account. (SS)	0.1 µg/l per individual substance unless regulated otherwise (see WPO Annex 2). Status unknown
	EGA-11	Umweltziele Landwirtschaft	Input of individual contaminants from agriculture in soils is smaller than their output and degradation. (SAS)	List of contaminants available in SoilPO. There is no area-wide monitoring yet. Reference-measurements through NABO do not show a systematic accumulation of contaminants in the upper soil
	SSS-07	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	No impairment of water bodies and semi-natural habitats due to soil material washed away from agricultural areas (NS)	Guide values according to SoilPO, status not known
	SSS-11		Review of measures and financing options for the remediation and use restriction of contaminated soils and brownfield sites with the aim of possible harmonization. (SS)	not available yet
	SRS-05		No impairment of soil fertility and health through inorganic or organic pollutants (SS)	No official definition of soil fertility and soil health yet. Therefore no indicators/monitoring tools available.
Optimal soil structure	DPO-04	Direct Payments Ordinance (A1/1/2014) - Direktzahlungsverordnung (DZV)	Appropriate soil protection (SAS): - Soil protection must be ensured by optimal soil cover and by measures to prevent soil erosion as well as chemical and physical impacts on soils (SAS)	Annexes of SoilPO contain guide values for erosion, organic and inorganic contaminants. For erosion there is no area-wide and systematic monitoring of effective status yet, except of one regional project (Frienisberg BE). The ERK2 serves as a model based erosion risk monitoring only. Contaminants are monitored, but indicators for new compounds like micro-plastic are missing (NABO, KABO). Monitoring for soil compaction has started, but is not yet fully established (NABO). Development of biological parameters is also in progress (NABO). Generally, indicators that can be applied on farms are missing, development is ongoing.
	EGA-01	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	Avoiding permanent compaction of agricultural soils (SAS)	Goal not met. There are proposals for guide values, but they are not embodied in the law yet. Efforts to do so are ongoing (NABO)
	EGA-15		Soil fertility is not affected by soil compaction (SS)	Development of guide values ongoing
	SSS-05	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	Avoidance of permanent compaction in agricultural soils (SAS)	Ongoing processes: Development of monitoring tools to evaluate measures Planned processes: Development of guide values and methods to evaluate state of soil structure and revision and adaptation of current indicators and regulations for heavy machinery

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Optimal soil structure	SRS-04	Status Report on Soil in Switzerland (A30/11/2017) - Zustandsbericht Boden in der Schweiz	No impairment of soil fertility through soil compaction. Avoidance of permanent compaction of agricultural soils. (SS)	Development of indicators, methods and monitoring tools is ongoing (NABO)
Enhance soil biodiversity	DPO-02	Direct Payments Ordinance (A1/1/2014) - Direktzahlungsverordnung (DZV)	Appropriate share of areas reserved for promoting biodiversity, promotion through direct payments (SS)	65'000ha of agriculturally productive areas in plains, 40% of specific quality as defined by DPO, 50% of areas are connected + Goal met concerning quantity and connectivity, but not concerning quality
	DPO-03		The crop rotations are to be determined in such a way that pests and diseases are prevented and that erosion, soil compaction and soil loss as well as leaching of fertilizers and PPPs ^d are avoided (SAS)	This target includes many sub-targets, various measures are promoted through PEP to reach these targets. Strong focus on application measures and not on reaching targets. PEP is well established, efforts for improvement are ongoing
	FAA-02	Federal Act on Agriculture (A1/1/1999) - Landwirtschaftsgesetz (LWG)	The Confederation supports the sustainable use of natural resources and promotes animal and climate-friendly production	Status unknown
	SBS-01	Swiss Biodiversity Strategy (A6/9/2017) - Strategie der Biodiversität Schweiz	Proof of ecological performance shall - as planned for agricultural policy 2014-2017 - be optimized as prerequisite for direct payments regarding fertilization, soil protection, plant protection and ecological compensation. (NS)	Process ongoing through AP22+, which is under development
	SBS-02		Various instruments and incentive systems are to be used in combination to reduce ammonia emissions. As an important instrument, additional incentives for resource efficiency in the context of direct payments are to be used to promote targeted technical measures.	Decreasing trend between 1990 and 2018 (Switzerland's Informative Inventory Report 2020)
	SBS-03		By 2020, the use of natural resources and interventions involving them are sustainable so that the conservation of ecosystems and their services as well as species and their genetic diversity is ensured	No indicators for soil biodiversity yet. Various indicator for non soil-specific factors exist. There are efforts to develop such indicators and monitoring (NABO)
	SBS-04		By 2020, an ecological infrastructure consisting of protected and connected areas will be developed to protect the area necessary for maintaining biodiversity. The state of endangered habitats will be improved. (NS)	

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Enhance soil biodiversity	SBS-05	Swiss Biodiversity Strategy (A6/9/2017) - Strategie der Biodiversität Schweiz	By 2020, ecosystem services are recorded quantitatively. This enables their consideration in the measurement of welfare, as complementary indicators to gross domestic production and in regulatory impact assessments	No indicator for ecosystem services yet. Not clear yet, which indicators would be measured. Research necessary
	EGA-02	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	Promotion of extensive management practices in watercourse corridors and for species-rich alpine pastures (SS)	Status unknown
	EGA-13	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	Agriculture makes a considerable contribution to maintain and promote biodiversity regarding species and habitat diversity, genetic diversity within species, and functional biodiversity (SAS).	65'000ha of prime cropland in plains, 50% or areas are connected. Goal met for connectivity, but not for quality. Soil biodiversity is not included, development of indicators for soil biodiversity and ecosystem services are planned
	SSS-10	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	No permanent loss of soil biodiversity and activity due to agricultural soil use (SAS)	Development of guide values ongoing (NABO)
	OFO-01	Organic Farming Ordinance (A1/1/1998) - Bioverordnung	The fertility and biological activity of the soil shall be maintained and, if possible, increased. To this end, the following measures in particular must be taken (SAS): a. the soil shall be cultivated in such a way that its physical, chemical and biological properties enable it to achieve sustainable productivity; b. biological diversity shall be promoted; c. crop rotation, crop shares, use of pastures and soil management shall be planned to avoid crop rotation problems, soil erosion, runoff and leaching of nutrients and plant protection products; d. in arable land use, soil cover must be so high that soil erosion and losses of nutrients and plant protection products are kept to the minimum; e. the intensity of forage production must be differentiated and adapted to the site.	This ordinance does not contain measurable indicators but tries to provide a framework thorough restricting products and practices, to aim at the described state of soils

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Enhance soil nutrient retention/use efficiency	DPO-01	Direct Payments Ordinance (A1/1/2014) - Direktzahlungsverordnung (DZV)	Balanced fertilizer use (SAS): - Close nutrient cycles as far as possible - adapt the number of livestock to the location	Swiss-Balance: The min. 'good practice standard of the GRUD is integrated in the PEP (Swiss-Balance) and therefore legally binding. The GRUD also contains guidelines for site-specific 'best practice' for fertilization, but these are only recommendations and not legally binding. However, the AP22+ may recommend to enforce 'best practice' in critical regions. Cultivated soils have to be analysed according to DPO every 10 years to enable optimization of fertilization
	EGA-05	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	Ammonia emissions amount to a maximum of 25 000 t N/year (SAS)	42'200 kt N were measured in 2015 (AUI)
	EGA-03	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	Promotion of low-emission slurry application, thrift-reduced PPP ^d application, and soil conserving management techniques. (SAS)	There is an increase in use of precise application techniques ^e
	SRS-06	Status Report on Soil in Switzerland (A30/11/2017) - Zustandsbericht Boden in der Schweiz	Reduce the use of mineral phosphorus fertilizers as much as possible to the actual need in order to close the national P cycle using recycling measures. (SAS)	Development of national P-cycle is ongoing. Cultivated soils have to be analysed according to DPO every 10 years to enable optimization of fertilization Surplus phosphorous has been reduced from 12 kg/ha in 1990 to around 4kg/ha in 2018 ^c Since 2016, the VVEA Art 15 demands, that by 2026, phosphorous has to be recycled from different wastes.
	SRS-08		No excessive immissions (ammonia), i.e. no exceedance of critical limits such as immission limits, critical loads, critical levels and «Air Quality Guidelines». (SS)	Goal not met (see Report 'Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances')
	NRP68-06	National Research Programme NRP 68 'Overall Synthesis' (05/2018) - Nationale Forschungsprogramm NFP 68 'Gesamtsynthese'	The NRP 68 is recommending: strengthen the efforts to reduce nitrogen pollution (SS)	Status unknown

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Enhance soil nutrient retention/use efficiency	OFO-02	Organic Farming Ordinance (A1/1/1998) - Bioverordnung	The quantity of nutrients applied per hectare (own farmyard manure and manure from other farms, bought in fertilizers) may, under the most favourable valley conditions, correspond to no more than 2.5 LMU ^a . It shall be graded according to soil load capacity, altitude and topographical conditions. If maximum values defined by the Canton according to water protection legislation are lower, these values are valid (SAS)	LMU unit is not adapted to current livestock breeds, therefore it is an approximation.
	OFO-03	Organic Farming Ordinance (A1/1/1998) - Bioverordnung	The EAER ^b authorizes the fertilisers that are permissible and the instructions for their use. Mineral nitrogen fertilisers are not allowed for use (SAS)	WBF OOF ^f contains a long list of authorised substances
Preserve soil functions	FAA-01	Federal Act on Agriculture (A1/1/1999) - Landwirtschaftsgesetz (LWG)	The Confederation shall ensure that, through sustainable, market-orientated production, the agricultural sector makes a significant contribution towards: <ul style="list-style-type: none"> - the reliable provision of the population with food (NS); - preserving natural resources (NS); - maintenance of the countryside (NS); - encouraging decentralised settlement (NS) [...] 	Status unknown
	SoilPO-01	Soil Pollution Ordinance (A1/10/1998) - Verordnung über Belastung des Bodens (VBBö)	Long-term preservation of soil fertility through regulating (SS): <ul style="list-style-type: none"> - the observation, monitoring and assessment of chemical, biological and physical impacts on soil - measures to prevent long-term soil compaction and erosion; - measures to be taken when manipulating excavated soil; - the further measures to be taken by the cantons in the case of impacted soils. - the requirements on soil management in case of impacted soils. 	SoilPO contains various guide values for erosion and contaminants. Development of indicators and monitoring tools for soil compaction, for soil biodiversity and activity and for erosion are planned (by BAFU/NABO)
	EGA-04	Environmental Goals Agriculture (A2008) - Umweltziele Landwirtschaft	Reduction of loss of arable land in alpine zones due to forest ingrowth (NS)	Status unknown

Soil Challenge	Target ID	Policy document	Current policy target	Current status of policy targets (when Indicators are available) <i>Policy indicator + status extracted from table 2</i>
Preserve soil functions	SSS-03	Soil Strategy Switzerland (A1/5/2020) - Bodenstrategie Schweiz	For its economic and social welfare Switzerland is depending on both the conservation of the country's own soils and the soils abroad. Therefore Switzerland is pleading for a more sustainable soil use on global level. (SS)	Status unknown
	SSS-04		In construction work outside of the construction zones the degree of soil sealing must be reduced. Buildings no longer used shall be removed and the natural state must be re-established. (SS)	Status unknown
	NRP68-01	National Research Programme NRP 68 'Overall Synthesis' (05/2018) - Nationale Forschungsprogramm NFP 68 'Gesamtsynthese'	The NRP 68 is recommending: when dealing with soils give prevention priority. (SS)	Status unknown
	NRP68-02		The NRP 68 is recommending: soil quality should be integrated into the spacial planning act as a decisive decision-making factor. This also applies to soils that are not classified as prime croplands. (SS)	Development of guide values ongoing (NABO)
	NRP68-03		The NRP 68 is recommending: soil management has to be further developed as a site-appropriate, regionally adapted agriculture and forestry that uses soil functions and services provided by the soil optimally and avoids soil damage such as erosion, compaction, pollutants and losses of soil organic matter. (SS)	Development of guide values ongoing (NABO)

SS: soil specific;

SAS: specific for agricultural soils only;

NS: non-soil specific, the target includes soils but is broader than agricultural soils only

Annex XI: Other instruments to achieve aspirational goals per soil challenge.

Soil challenge	Possible instruments to achieve aspirational goal (short explanation)
Maintain/increase SOC	<ul style="list-style-type: none"> - 'Bio-Suisse', the swiss organic label promotes maintenance and increase in SOM - 'CarboCert GmbH', a market based initiative, promotes projects for humus formation - 'AgroCO2ncept', a regional initiative to reduce CO2 emissions - 'Klimaschutz durch Humusaufbau' a project where a local bank compensates GHG emissions by supporting local measures to increase humus formation. - 'My Climate', an international, but Swiss-based initiative for voluntary CO2-compensation measures
Avoid soil erosion	<ul style="list-style-type: none"> - The online 'CP-Factor Calculator' can be used as decision making aid, to estimate how the crop rotation system, tillage method and direction of tillage of a plot of land can change the risk of erosion. - The 'Erosion risk map of Switzerland (ERK2)' shows the potential risk of erosion (acc. to RUSLE). To determine the current erosion risk, the factors for soil cover and tillage method and direction of tillage are necessary. These two factors can strongly influence farmers. - the NFP68 recommends the use of soil index points as a control instrument limit the progressive loss of high-quality soils
Avoid soil sealing	<ul style="list-style-type: none"> - NFP68-PS4, recommends the use of soil indicators as a decision aid for spatial planning
Avoid contamination	<ul style="list-style-type: none"> - The 'Bio-Suisse' label, which extends the regulations of the OFO, prohibits the use of pesticides and mineral fertilizer - In the framework of the 'NFP68', a regional soil monitoring tool for sustainable cycles of substances on agricultural soils ('Frühwarnsystem') was developed. This could be used as decision aid for sustainable soil management.
Optimal soil structure	<ul style="list-style-type: none"> - The 'Bio-Suisse' label also contains many regulations that promote conservation agriculture (e.g. plough-less tillage, direct sowing, mulch sowing) - The 'IP-Suisse' label recommends the use of soil-conserving practices, optimal crop rotation and permanent soil cover. Most swiss farms cultivate - 'bodenmessnetz.ch': The soil monitoring network of the cantons of Solothurn, Aargau, Baselland, Zug, Geneva, Vaud, Fribourg and Berne provides information on the current state of the soil and decision-making aids for soil-conserving work. - Regional Programms like 'Förderprogramm Boden' of the canton Berne, to create a network for promotion of practices promoting soil health - Terranimo® is a model for prediction of the risk of soil compaction due to agricultural field traffic.

<p>Enhance soil biodiversity</p>	<p>- 'Bio-Suisse' label: fertilization and soil management has to promote soil life. Prohibition of synthetic fertilizers, promotion of conservation tillage</p>
<p>Enhance soil nutrient retention/use efficiency</p>	<p>- Bio-Suisse: Nutrient balance has to be reduced to a minimum and has to be adapted to the specific location. - The simulation model 'Agrammon' allows ammonia emissions to be calculated, and shows how changes in structure and production methods at the farm level affect emissions.</p>
<p>Enhance water storage capacity</p>	<p>- 'bewässerungsnetz.ch': The soil probe measuring network via soil probes helps to determine the optimal time and amount of irrigation.</p>
<p>No specific challenge</p>	<p>- The NFP68 recommends:</p> <ul style="list-style-type: none"> - to consider soil quality, the individual soil functions and ecosystem services for future land use decisions - a comprehensive mapping of Swiss soils - The establishment of a Swiss Soil Information Platform, which develops standardized sampling methods, ensures the nationwide harmonisation of soil information, makes interactive products such user and soil function maps available and ensures access to them for science, authorities and practice. - to provide consumers with information on sustainable use of soil in Switzerland and abroad - Cooperation between the various stakeholders - in particular between environmental, agricultural and spatial planning experts - should be deepened and coordinated at all levels of government - to promote the implementation of the Swiss Soil Strategy and to raise awareness of soil issues in society