

Suche nach geeigneten biologischen Indikatoren, um die Effekte von Pflanzenschutzmittelrückständen in Landwirtschaftsböden zu beobachten

Hintergrund und Einführung

In der Landwirtschaft werden häufig Pflanzenschutzmittel (PSM) eingesetzt, um Nutzpflanzen vor Schädlingen zu schützen und eine hohe Produktivität zu gewährleisten. Bevor PSM auf den Markt kommen, durchlaufen sie ein auf standardisierten Tests basiertes Zulassungsverfahren, um nachzuweisen, dass sie keine negativen Auswirkungen auf Nichtzielorganismen haben. Natürliche Ökosysteme sind jedoch komplex. Daher werden das Verhalten und die Auswirkungen einer Chemikalie in der Umwelt unter den Standardbedingungen der prospektiven Bewertung möglicherweise nicht korrekt dargestellt. Während einige PSM nach der Anwendung schnell abgebaut werden, können andere PSM als Rückstände im Ökosystem verbleiben. Darüber hinaus findet man in Landwirtschaftsgebieten oft nicht nur ein PSM, sondern eine Mischung aus mehreren solchen Stoffen. Daher können Nichtzielorganismen und ihre natürlichen Lebensgemeinschaften, die wichtige Ökosystemleistungen erbringen, den Rückständen mehrerer PSM ausgesetzt sein und so unerwünschte Effekte auftreten, die oft schwierig vorherzusagen sind. Das Monitoring des tatsächlichen Vorkommens, der Persistenz und der Auswirkungen von PSM-Rückständen in der Umwelt kann als Ergänzung zu den aktuellen Ansätzen nützlich sein.

Der Aktionsplan und das ConSoil-Projekt – ein Langzeitmonitoring für PSM-Rückstände in Landwirtschaftsböden

Um die Risiken von PSM zu reduzieren und deren nachhaltige Nutzung zu fördern, hat der Bundesrat 2017 einen Aktionsplan für PSM (AP-PSM) verabschiedet. Ziel von Massnahme 6.3.3.7 des AP-PSM ist es, ein Monitoring von PSM-Rückständen zu entwickeln, um deren Auswirkungen auf die langfristige Bodenfruchtbarkeit zu bewerten.

Im Rahmen der Massnahme 6.3.3.7 wurde das Projekt ConSoil gestartet, um ein Konzept für die Be-

wertung des langfristigen Risikos von PSM-Rückständen für die Bodenfruchtbarkeit zu entwickeln. Ein Ziel des ConSoil-Projekts ist es, biologische Indikatoren zu entwickeln, um die Auswirkungen von PSM-Rückständen zu bewerten. Als Indikator-Methoden können sowohl Labortests mit Bodenproben aus dem Feld als auch direkte ökologische Felduntersuchungen verwendet werden. In beiden Fällen können strukturelle Effekte (Populationsgrösse, Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft) oder funktionelle Effekte gemessen werden, indem die Aktivitäten der Organismen verfolgt werden (z. B. Zersetzung der organischen Substanz).

Um geeignete biologische Indikatoren auszuwählen, müssen die folgenden Fragen beantwortet werden: 1) Was ist Bodenfruchtbarkeit? Und 2) welche Bodenorganismen tragen (am meisten) zu den ökologischen Bodenfunktionen bei, die für die Bodenfruchtbarkeit wichtig sind?

1) Was ist Bodenfruchtbarkeit?

Die Definition der Bodenfruchtbarkeit stammt aus der Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998 und ist in Box 1 zusammengefasst.

Box 1: Ein fruchtbarer Boden weist eine biologische aktive Lebensgemeinschaft sowie eine standorttypische Bodenstruktur, Bodenaufbau und Mächtigkeit und eine ungestörte Abbaufähigkeit auf. Darüber hinaus können Pflanzen ungestört wachsen und sich entwickeln.

Mit anderen Worten müssen folgende ökologische Bodenfunktionen erhalten bleiben:

- **Produktionsfunktion:** Fähigkeit des Bodens, landwirtschaftliche Güter zu produzieren
- **Regulierungsfunktion:** Fähigkeit des Bodens, Wasser, Nährstoffe und Schadstoffe zu speichern, zu regulieren und zu filtern
- **Lebensraumfunktion:** Fähigkeit des Bodens, die für Organismen notwendigen Bedingungen und Ressourcen zur Verfügung zu stellen und zur Erhaltung der Vielfalt von Ökosystemen, von Arten und ihrer genetischen Vielfalt beizutragen.

2) Welche Bodenorganismen tragen zur Bodenfruchtbarkeit bei?

Böden werden von verschiedenen Organismen bewohnt, wie zum Beispiel Mikroorganismen (z. B. Pilze, Bakterien), Mesofauna (z. B. Bodenmikroarthropoden), Makrofauna (z. B. Regenwürmer, Asseln) und Pflanzen, die in stark verknüpften Netzwerken miteinander interagieren. Bodenorganismen sind an mehreren ökologischen Prozessen beteiligt, die wiederum für die ökologischen Bodenfunktionen notwendig sind. Um die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu schützen, müssen diejenigen Organismen geschützt werden, die die drei oben erwähnten ökologischen Bodenfunktionen zur Unterstützung der Bodenfruchtbarkeit unterstützen.

Um die Organismen zu identifizieren, die zum Schutz der Bodenfruchtbarkeit wichtig sind, hat das Team des ConSoil-Projekts einen technischen Bericht erstellt (Dell'Ambrogio et al. 2023). In diesem werden die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Akteuren und den ökologischen Bodenfunktionen und -prozessen auf Basis des momentanen Wissens zusammengestellt und in der Tabelle „Actors to Ecological Soil Functions“ (AESF) zusammengefasst.

Die AESF-Tabelle

In der wissenschaftlichen Literatur wird die Rolle von Bodenorganismen für das Funktionieren von Ökosystemen anhand von unterschiedlichen Klassifizierungen und in unterschiedlichen Zusammenhängen und mit unterschiedlichen Zielen beschrieben. Daher mussten die verfügbaren Informationen auf ihre Relevanz überprüft und in eine gemeinsame Klassifizierung eingearbeitet werden, die auf dem Konzept der Ökosystemleistungen basiert (siehe Box 2). Um die AESF-Tabelle zu erstellen, wurden die folgenden Schritte (zusammengefasst in Abbildung 1) angewendet:

- **Schritt 1:** Integration der Bodenfruchtbarkeit in das CICES-Konzept: Verknüpfung ökologi-

scher Bodenfunktionen und Ökosystemleistungen (Ebene «Sektion»)

- **Schritt 2¹:** Screening von Ökosystemleistungen (Ebene «Klasse») auf ihre Relevanz für die Bodenfruchtbarkeit
- **Schritt 3²:** Integration von Informationen aus der wissenschaftlichen Literatur in das CICES-Konzept (Ebene „Klasse“)
- **Schritt 4²:** Hinzufügen des Prozesskonzepts zu den Klassen von Ökosystemleistungen
- **Schritt 5²:** Zuordnung von Akteuren zu Prozessen

Box 2: Ökosystemleistungen sind als der Nutzen definiert, den Menschen aus dem Funktionieren eines Ökosystems ziehen, und werden als wichtige Kommunikationsinstrumente für Stakeholder genutzt. Die jüngste Klassifikation ist die Common International Classification of Ecosystem Services (CICES – <https://cices.eu/>), in der Ökosystemdienstleistungen auf mehreren Detailebenen in einer hierarchischen Struktur klassifiziert werden können. Die Ebene «Sektion» gibt am wenigsten Details, während die Ebene «Klasse» am detailliertesten ist.

Schlussfolgerung und Ausblick

Während die Zuordnung von Akteuren zu Prozessen und Ökosystemleistungen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basiert, muss die Auswahl der zu schützenden Ökosystemleistungen gemeinsam mit den Entscheidungsträgern getroffen werden. Zu diesem Zweck werden die Klassen von Ökosystemleistungen nach ihrer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit eingestuft. Dazu werden die Ergebnisse eines Fragebogens verwendet, der an Stakeholder und Experten aus der Landwirtschaft (Politik/Behörden, Forschung/Wissenschaft, Landnutzer/Landwirte) geschickt wird. Die Akteure werden auf Grundlage der Anzahl der Verbindungen priorisiert, die sie mit den bewerteten Ökosystemleistungen teilen. Die Auswahl der am besten geeigneten biologischen Indikatoren deckt die wichtigsten Akteure für die Bodenfruchtbarkeit ab.

¹ Das CICES hat einen breiten Kontext, daher wurden nur Klassen ausgewählt, die für das ConSoil-Projekt als relevant erachtet wurden.

² Die Schritte 3 bis 5 basieren auf der wissenschaftlichen Literatur: Prozesse spiegeln die direkte Rolle der Akteure wider,

die zu den Klassen von Ökosystemleistungen beitragen. Obwohl der relative Beitrag jedes einzelnen Akteurs schwierig zu quantifizieren ist, bieten die zusammengestellten Informationen einen Überblick über die qualitativen Zusammenhänge zwischen Akteuren und Prozessen

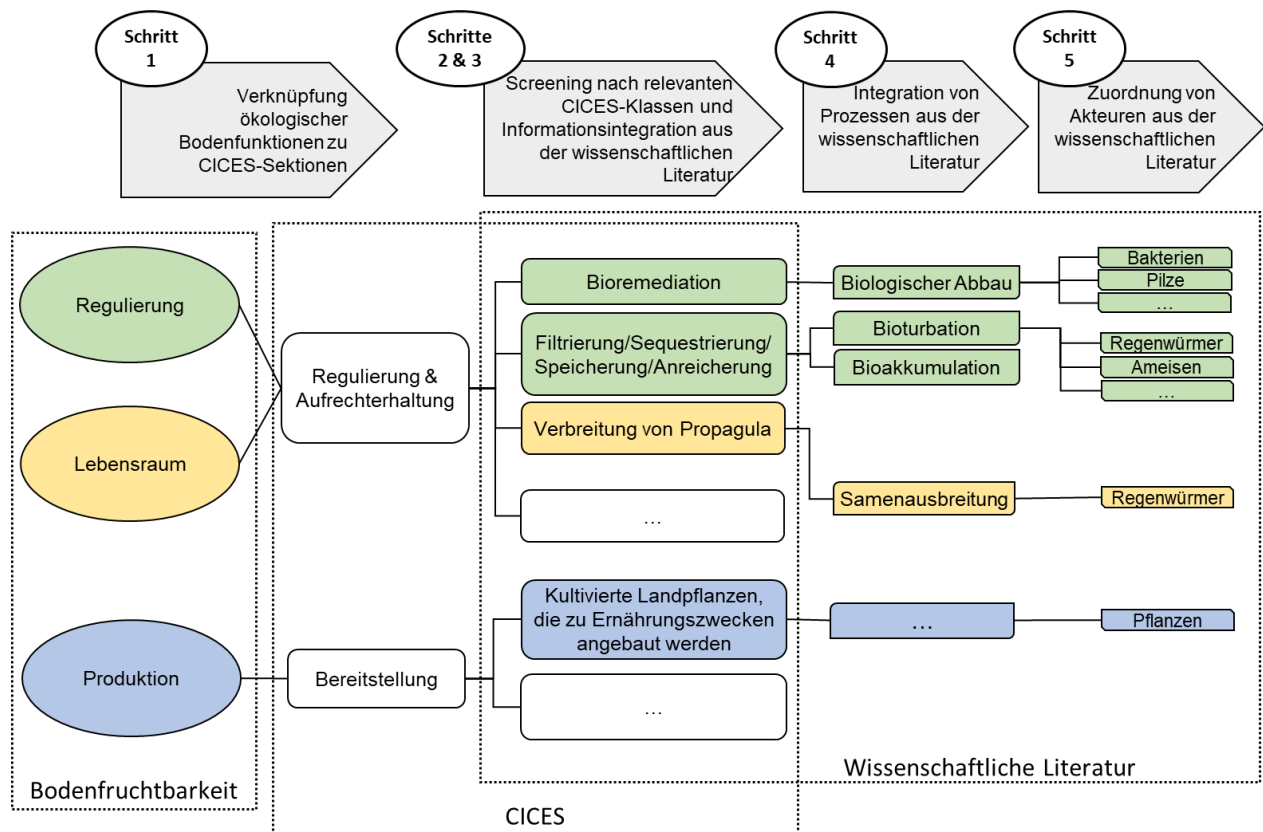


Fig. 1: Schrittweises Verfahren zur Erstellung der AESF-Tabelle Anhand einiger Beispiele werden die Zusammenhänge zwischen ökologischen Bodenfunktionen, Ökosystemleistungen (ÖSD), Prozessen und Akteuren (z. B. Bodenorganismen) veranschaulicht. Ökologische Bodenfunktionen sind farblich gekennzeichnet, Blau = Produktionsfunktion, Gelb = Lebensraumfunktion, Grün = Regulierungsfunktion. ÖSD werden auf der Grundlage der Gemeinsamen Internationalen Klassifikation der Ökosystemleistungen (CICES – <https://cices.eu/>) definiert. Die Prozesse und ihre Verknüpfung mit den Akteuren basieren auf der wissenschaftlichen Literatur. Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens finden Sie unter Dell’Ambrogio et al. 2023.

Glossar

- Akteure:** Weiter gefasster Begriff zur Definition verschiedener ökologischer und taxonomischer Gruppen von Bodenorganismen, z. B. Pflanzen, Regenwürmer, Bakterien.
- Ökologische Bodenfunktionen:** Resultat des normalen Funktionierens des Ökosystems Boden. Sie entsprechen im Zusammenhang mit der Bodenfruchtbarkeit der Bodenstrategie Schweiz den Funktionen Produktion, Regulierung und Lebensraum .
- Ökologische Prozesse:** Aktionen und Wechselwirkungen von Bodenorganismen mit ihrer Umwelt, die zu ökologischen Bodenfunktionen beitragen.

- Weitere Informationen zur Auswahl von Bioindikatoren finden Sie unter: Dell’Ambrogio G., Renaud M., Campiche S., Marti-Roura, M. Ferrari, B. (2023). *Selection of a bioindicator toolbox for monitoring effects of plant protection products residues Part 1 – Linking ecological soil functions and soil organisms*. Schweizerische Zentrum für Angewandte Ökotoxikologie, Dübendorf und Lausanne, Schweiz.
 - Kontakt: Mathieu Renaud, Oekotoxzentrum

Tabelle 1: Zusammenfassung der AESF-Tabelle mit den resultierenden Verbindungen zwischen Akteuren (Spalten) und Klassen von Ökosystemleistungen (Zeilen). Die Zahlen geben die Anzahl der von den Akteuren durchgeführten Prozesse an, d. h. die Anzahl der Vorkommen des Akteurs für jede Klasse von Ökosystemleistungen. Ökologische Bodenfunktionen sind farbig gekennzeichnet, Blau = Produktion, Gelb = Lebensraum, Grün = Regulierung.

	Regenwürmer	Bakterien	Pflanzen	Pilze	Enchytraeen	Springschwänze	Mykorrhiza	Ameisen	Nematoden	Milben	Protozoen	Coleoptera	Isopoden	Diplopoden	Mikroalgen	Gastropoden	Insekten	Archaeen	Spinnen	Viren
Angebaute Landpflanzen, Fasern oder andere Materialien aus angebauten Pflanzen, die für Ernährungszwecke, zur direkten Verwendung oder Verarbeitung, oder als Energiequelle verwendet werden			1																	
Samen, Sporen und anderes Pflanzenmaterial, das zur Erhaltung oder Etablierung einer Population gesammelt wurde			1																	
Verbreitung von Propagula	2				1	1			1	1		1	1	1						
Bestäubung		1					1													
Erhaltung von Brutpopulationen (nursery populations) und Lebensräumen, einschliesslich Schutz des genetischen Erbes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bioremediation	1	1	1	1		1	1		1											
Filtrierung/ Sequestrierung /Speicherung/ Anreicherung toxischer Substanzen	2	1	1	1	2	1	1	2	2			1				1				
Kontrolle von Erosionsraten	2	1	3	1	2	1	1	2	2						1					
Wasserkreislauf und Regulierung der Wasserflüsse	4	1	3	1	4	2	1	3	3	1			1	1	1					
Schädlings- und Krankheitsbekämpfung	3	6	3	6	1	3	2	1	1	2	4						2	1	1	1
Verwitterungsprozess (Weathering)		1	1	1			1													
Abbau- und Fixierungsprozess	5	4	4	4	5	4	2	2	2	3	2		1	1	1			1		
Regulierung der chemischen Zusammensetzung von Süsswasser	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1		1				1				