



Executive Stakeholder Summary

Projektnummer	406840_143062
Titel	Regionales Boden-Monitoring-Tool für nachhaltige Stoffkreisläufe auf landwirtschaftlich genutzten Böden
Projektleiter:	Armin Keller, Agroscope
Weitere Projektverantwortliche	Michael Schaeppman, Universität Zürich Rainer Schulin, ETH Zürich Stefan Mann, Agroscope

Beitrag zur thematische(n) Synthese(n):

<input type="checkbox"/> Boden und Nahrungsmittelproduktion	<input type="checkbox"/> Boden und Umwelt	<input type="checkbox"/> Raumentwicklung	<input checked="" type="checkbox"/> Bodendaten, Methoden und Instrumente	<input type="checkbox"/> Bodenpolitik
---	---	--	--	---------------------------------------

Ort, Datum: Zürich, 23. Februar 2017

Hintergrund

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung beeinflusst die Stoffkreisläufe der Böden und damit wichtige Bodenfunktionen. Mit den Düngemitteln und Hilfsstoffen gelangen neben den erwünschten Nährstoffen auch Schadstoffe in den Boden, wo sie sich längerfristig anreichern. Die Art der Düngungsmittel ist vielfältig: Eingesetzt werden Nährstoffe aus Wirtschaftsdüngern (Mist, Jauche, Gülle), Recyclingdünger (z.B. Kompost, organische Handelsdünger, Gährückstände aus Biogasanlagen) und Mineraldüngern (Einzel- und Mehrnährstoffdünger).

Manche Phosphor-Mineraldünger weisen Verunreinigungen durch Uran (U) oder Cadmium (Cd) auf, Wirtschaftsdünger können je nach landwirtschaftlichem Betriebstyp und eingesetzten Futtermittel stark erhöhte Gehalte an Kupfer und Zink enthalten, aber auch Rückstände von Tierarzneimittel. In der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung wird zudem eine breite Palette an Wirkstoffen für den Pflanzenschutz eingesetzt, neben Fungiziden und Insektizide vor allem Herbizide, die zu einem grossen Anteil direkt auf den Boden gelangen.

In der Schweizer Landwirtschaft waren Massnahmen zur Reduktion der Nährstoffüberschüsse nur teilweise erfolgreich. Vor allem für Stickstoff sind hohe Überschüsse zu verzeichnen. Überdüngte Böden und Schadstoffe vermindern jedoch die Bodenqualität und das Leistungsvermögen der Böden (Bodenfunktionen). Im Hinblick auf eine nachhaltige Nutzung der Böden durch die Landwirtschaft sind deshalb möglichst ausgeglichene Stoffkreisläufe anzustreben.

Die Bodenbeobachtung liefert wichtige Erkenntnisse über Zustand und Dynamik in Böden und ermöglicht eine wirksame Erfolgskontrolle umweltpolitischer Massnahmen. Im Messnetz der Nationalen Bodenbeobachtung wurden für ausgewählte Standorte auf Parzellenebene entsprechende Monitoringinstrumente entwickelt. Dagegen bestehen für die regionale Ebene grosse Wissenslücken und bisher sind in der Schweiz keine Instrumente verfügbar.

Ziel

Das primäre Ziel des Projekts «Frühwarnsystem» war die Entwicklung eines Instruments für das regionale Monitoring landwirtschaftlich genutzter Böden. Im Zentrum stand die Frage, unter welchen Bedingungen sich in der Landwirtschaft Nährstoffkreisläufe im regionalen Kontext ausgleichen und Schadstoffeinträge in die Böden vermeiden lassen. Das regionale Monitoringinstrument soll dazu dienen, für ausgewählte Regionen räumlich-zeitliche Aussagen zu erhöhten Stoffeinträgen in Böden treffen zu können. Aus dem Einsatz des Monitoringinstrumentes ergibt sich eine Reihe weiterer Handlungsziele: Wie lässt sich der Einsatz von Nährstoffen im regionalen Kontext optimieren? Wie lassen sich Schadstoffeinträge verringern? Wie lassen sich Risiken für landwirtschaftlich genutzte Böden grossräumig erkennen? Wie beeinflusst die landwirtschaftliche Nutzung die Bodenfunktionen?

Da die landwirtschaftliche Praxis wesentlich von sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen abhängt, bestand ein weiteres Ziel des Projekts darin, mögliche Massnahmen hinsichtlich ausgeglichener Stoffkreisläufe auch im Zusammenhang mit den Einkommen und Produktionsfaktoren der landwirtschaftlichen Betriebe zu betrachten.

Resultate

Entwicklung eines Bodenbewirtschaftungsmodells

Im Rahmen des Projekts entwickelt wir ein Bodenbewirtschaftungsmodell, das regional eingesetzt werden kann und auf schweizweit verfügbaren Daten basiert – unter anderem georeferenzierte

Daten aus Landwirtschaftszählungen, Landnutzungskarten, Fernerkundung, Richtlinien für die Düngung, Qualitätsuntersuchungen von Düngemitteln, Boden- und Klimadaten sowie sozio-ökonomische Faktoren. Das regionale Modell ist modular aufgebaut und verfügt über Schnittstellen zu bestehenden Modellen, so zum (1) sozio-ökonomischen Modell SWISSLand, zu (2) einem Landnutzungsmodell, das die räumliche Verteilung der Landnutzung mit Hilfe von Fernerkundungsdaten berechnet, (3) einem Landmanagementmodell, das die Düngungspraxis der Betriebe abbildet, sowie zum (4) Boden-Prozessmodell EPIC, das die Bodeneigenschaften, Bodenprozesse mit der Bewirtschaftung und Nutzung der Böden verbindet. Das entwickelte Bodenbewirtschaftungsmodell berücksichtigt – basierend auf langjährigen Datenreihen – für die Schweiz typische Kulturen, Düngungspraktiken und Betriebstypen.

Fallstudiengebiete

Mit Hilfe dieses Bodenbewirtschaftungsmodell wurden in zwei Studienregionen der Kantone Zürich und Bern die jährlichen Ein- und Austräge von Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor) und Spurenmetallen (Kupfer, Zink und Cadmium) in die beziehungsweise aus den Böden für die Jahre 2000 bis 2015 berechnet und die Nähr- und Schadstoffbilanzen in räumlich expliziten Karten abgebildet. Das Fallstudiengebiet Zürich umfasste 71 km² mit 41 km² Landwirtschaftsland und 250 Landwirtschaftsbetrieben (mehrheitlich Milchviehbetriebe und kombinierte Betriebe), dasjenige von Bern rund 300 km² mit 158 km² Landwirtschaftsland und 1070 Betrieben (kombinierte Betriebe, Ackerbau). Beide Regionen wiesen eine mittlere Tierdichte von 1.1-1.2 Grossvieheinheiten pro Hektar (GVE/ha) auf.

Fernerkundung und Landnutzungsmodell

Mit Hilfe der Fernerkundung wurden LANDSAT 8 Bilder prozessiert und klassifiziert, und für die Fallstudiengebiete die Acker- und Graslandnutzung mit einer räumlichen Auflösung von 30 m x 30 m segmentiert. Mit Hilfe von RapidEye-Aufnahmen, die zeitlich häufiger verfügbar sind, entwickelt wir eine Methode, um auf Grasland die Nutzungsintensität auf Basis der Anzahl Nutzungen pro Jahr abzuschätzen. Diese räumlich-zeitlichen Karten bilden die Grundlage für das Landnutzungsmodell und die Berechnung der Düngungsintensität der Flächen.

Land Management Model

Für das Land Management Model werden die Stoffkreisläufe für jeden landwirtschaftlichen Betrieb in einem mehrstufigen Algorithmus berechnet. Dabei werden die Tier- und Pflanzenproduktion der einzelnen Betriebe sowie die in den umliegenden Betrieben verfügbaren Nährstoffüberschüsse (Hofdünger) berücksichtigt. Auf Basis der jeweiligen Kulturen, Betriebstypen und Tierhaltung werden in einem ersten Schritt Stoffbilanzen berechnet. Im zweiten Schritt werden im regionalen Kontext mögliche Optionen für einen Handel von Hofdünger zwischen Betrieben betrachtet. Der Nährstoffbedarf für die Kulturen der Betriebe wird nach Intensität des Betriebs und der Düngungsintensität der Kulturen differenziert. Dazu wurden Datensätze aus dem Agrarmonitoring von über 300 Betrieben ausgewertet und Regeln für die Düngungspraxis pro Betriebstyp und Kultur erstellt. Im Ergebnis liefert das Land Management Model jährlich gemittelte Stoffbilanzen für die Einträge über Hof- und Mineraldünger und Austräge über das Erntegut (Oberflächenbilanzen) in einer räumlichen Auflösung, wie sie mit den Landnutzungskarten aus der Fernerkundung (30 m x 30 m) erzeugt werden. Somit liefert das Modell wichtige räumlich-zeitliche Kennwerte auf mehreren Skalen: 1. regional gesamt: Nährstoffbedarf beziehungsweise -defizit, Mengen Mineraldünger, Hofdünger, Hofdüngerhandel, Tierzahlen und Erntemengen, Landnutzung, 2. Stoffbilanzen auf Stufe landwirtschaftlicher Betrieb und 3. Stoffbilanzen für

Ackerland und Grasland pro Betrieb. Aufgrund der üblichen Fruchtfolgen auf den Parzellen werden dabei für Ackerland mittlere Stoffbilanzen berechnet. Beim Grasland kann nach Intensitätsstufen unterschieden werden.

In beiden Fallstudiengebieten zeigte sich ein räumlich sehr differenziertes Muster für Böden mit Nährstoffdefiziten und - überschüssen. Im Fallstudiengebiet Zürich wies rund ein Fünftel der landwirtschaftlichen Fläche einen Phosphorüberschuss von jährlich mehr als 20 kg P/ha auf, rund die Hälfte einen Stickstoffüberschuss von jährlich mehr als 40 kg N/ha. Für das Fallstudiengebiet Bern wurden ähnliche Verhältnisse berechnet. Die mit dem regionalen Modell erzeugten Karten ermöglichen es, das kleinräumig sehr heterogene Muster der Stoffbilanzen in der Schweizer Landwirtschaft zu erkennen. Damit lassen sich auch kleinere Gebiete mit nicht nachhaltiger Bodennutzung identifizieren und es lassen sich gezielt Massnahmen zur Reduktion oder zur Optimierung von Stoffströmen für einzelne Gebiete ableiten.

Bodenprozessmodell EPIC

Das Bodenprozessmodell EPIC verbindet die Bewirtschaftung und Stoffeinträge und -austräge des landwirtschaftlichen Systems mit den relevanten Faktoren für Klima und Boden. So modelliert EPIC die Ernteerträge auf Basis der Klimadaten und der Düngungspraxis. Zudem wird der Wasserkreislauf im Boden berechnet. Mit Hilfe von EPIC wurde für das Jahr 2012 in beiden Fallstudiengebieten für jede Rasterzelle von 30 m x 30 m eine Systembilanz erstellt. Diese berücksichtigt zusätzlich zu den oben genannten Ein- und Austrägen der Oberflächenbilanz auch Stoffflüsse durch die Verlagerung in Böden (Leaching), Verflüchtigung (Emissionen, relevant für Stickstoff), Stickstofffixierung durch Leguminosen, Erosion oder Oberflächenabfluss. Die räumlichen Karten der Systembilanzen für Stickstoff und Phosphor zeigten für die beiden Fallstudiengebiete sehr differenzierte räumliche Muster. Anhand der Karten lassen sich Gebiete identifizieren mit einem Risiko zur Verlagerung von Nährstoffen in tiefere Bodenschichten – und damit ins Grundwasser –. Mit EPIC wird zudem der Einfluss der Bodeneigenschaften beziehungsweise der Regulierungsfunktion der Böden auf die Stoffkreisläufe erkennbar: In Gebieten mit tiefgründigen Böden mit hoher Filter- und Pufferfunktion besteht in der Regel ein wesentliches geringeres Risiko zur Verlagerung von Stickstoff ins Grundwasser.

Sozio-ökonomisches Modell SWISSland

Das Modell SWISSland wurde für die 250 landwirtschaftlichen Betriebe im Fallstudiengebiet Zürich für das Referenzjahr 2014 kalibriert. darauf aufbauen wurden für die Zeitperiode 2014 bis 2025 sechs Szenarien berechnet. Zwei Referenzszenarien (Direktzahlungssystem 2011 und 2014) wurden möglichen Szenarien zur Verteuerung der Mineraldüngerpreise, Futtermittel und Energie sowie ein Freihandelsszenario gegenübergestellt. Aus den über 150 Modellvariablen, die SWISSland berechnet, wurde für jedes Szenario die zeitliche Veränderung der wichtigsten Kenngrössen bis 2025 analysiert. Die Szenarien mit einer Verteuerung der Produktionsfaktoren zeigten insgesamt nur einen relativen geringen Effekt auf die Bewirtschaftung. Eine stufenweise Verteuerung der Mineraldünger um bis zu 100 Prozent zeigte beispielsweise nur geringe Auswirkungen auf den Verbrauch. Die grössten Änderungen prognostizierte SWISSland für das Freihandelsszenario, bei dem das Bruttoeinkommen der Landwirte bis 2025 um 32% und die Anzahl der Betriebe um 25% abnimmt, während die Grösse der Betriebe durchschnittlich von rund 18 ha auf 24 ha zunimmt. Weniger Ackerbau und weniger intensive Graslandbewirtschaftung gehen bei diesem Szenario mit einer höheren Milchproduktion (+14%) einher.

Für das Szenario Freihandel zeigten die Prognosekarten der Nährstoffbilanzen für das Jahr 2025 mit der prognostizierten Extensivierung deutliche Abnahmen der Nährstoffüberschüsse gegenüber

dem Referenzjahr 2014. Im Zusammenspiel von SWISSLand und dem Land Management Model lassen sich Risikogebiete «Hotspots») erkennen und – in Abhängigkeit unterschiedlicher sozio-ökonomische Bedingungen – künftige Trends vorhersagen. Durch die Kopplung der beiden Modelle wird eine Verbindung geschaffen zwischen den ökonomischen Treibern der Landwirtschaft und der Bewirtschaftung der Böden. Auf diese Weise können Zielkonflikte («Trade-offs») quantifiziert werden, beispielsweise zwischen ausgeglichenen Stoffbilanzen einerseits und einer Extensivierung der Nutzung und den damit verbundenen Einkommensverlusten andererseits.

Bedeutung für die Forschung

Das Projekt «Frühwarnsystem» fokussiert auf den Einfluss regionaler Landbewirtschaftung auf die Bodenfunktionen und liefert Entscheidungshilfen für eine nachhaltige Bodennutzung. Im Projekt wurden mehrere bestehende Modelle miteinander verknüpft. Für die räumliche Darstellung der Ergebnisse wurde die Fernerkundung einbezogen. Das regionale Modell erlaubt in einem integralen Ansatz insbesondere eine regionalspezifische Betrachtung des landwirtschaftlichen Systems (Tier- und Pflanzenproduktion, Düngung), der Bodenbewirtschaftung und des Systems Boden (Bodeneigenschaften, Bodenprozesse). Eine solche Kopplung landwirtschaftlicher Aktivitäten und des terrestrischen Systems stellt für viele Umweltmodelle ein bedeutender Mehrwert dar. Das regionale Monitoringinstrument liefert beispielsweise räumlich-zeitlich aufgelöste Karten für Fruchtfolgen und Hof- und Mineräldüngereinträge, die für Bodenkohlenstoffmodelle (Humusbilanzierung) essenziell sind, oder wichtige Informationen für Bodenerosionsmodelle. Für die Beurteilung der Bodenbiodiversität oder der Quantifizierung von Treibhausgasen sind solche räumlichen Informationen ebenfalls essenziell.

Die Ergebnisse des entwickelten Modells sind auch für andere Umweltbereiche wertvoll, etwa für die Bewertung diffuser Verschmutzungen von Oberflächengewässern oder für den Eintrag von Stickstoff und Pestiziden ins Grundwasser. In der Regel müssen die Ergebnisse des regionalen Monitoringinstruments dazu aufbereitet werden und dienen dann als Eingangsgrößen für das jeweilige Umweltmodell.

Die Kopplung der landwirtschaftlichen Nutzung mit dem Bodenprozessmodell EPIC eröffnet viele Anwendungsmöglichkeiten für die Forschung. Aus Zeitgründen konnte in diesem Projekt nur ein kleines Spektrum der Bodenprozesse und Programmmodule, die in EPIC enthalten sind, genutzt werden. Eine künftige Herausforderung stellt die dynamische Bewertung von Bodenfunktionen dar, also den Einfluss der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf Bodenfunktionen zu quantifizieren. Dank der Kombination lassen sich auch Regulierungs-, Habitat- und Produktionsfunktionen des Bodens unter Berücksichtigung der sehr variablen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und Nahrungsmittelproduktion quantifizieren und bewerten.

In Kombination mit der Fernerkundung eröffnet das Modell weitergehende Möglichkeiten, die Erfassung der zeitlich-räumliche Nutzung der Böden zu verbessern. Zudem lässt sich das Bodenmonitoringinstrument mit Produkten der Fernerkundung weiter optimieren, beispielsweise mit abgeleiteten räumlich-zeitlichen Kenngrößen zur Nutzungsintensität von Grasland, Kulturtypen oder mit dem Chlorophyllgehalt von Grasland.

Bedeutung für die Praxis

Das Bodenmonitoringinstrument soll in der Praxis als Entscheidungshilfe für eine nachhaltige Bodennutzung dienen. Es hilft, nicht nachhaltige Entwicklungen in einer Region frühzeitig zu erkennen und präventive Massnahmen zu planen. Eine Stärke des Modells besteht darin, dass es anhand von Szenarien geeignete Massnahmen auf regionaler Ebene aufzeigen kann, und es Indikatoren liefert, die eine Entscheidungsfindung im Sinne einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung erlauben.

Das Instrument schliesst eine Lücke zwischen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und dem Boden und bietet eine wichtige Hilfestellung für viele weitere aktuelle Themen der Landwirtschaftspolitik. So liefert das Projekt Grundlagen für den Vollzug des Bodenschutzes, beispielsweise für das Agrar-Umwelt-Monitoring oder den Umweltschutz in der Landwirtschaft. Die Zwischenevaluation «Umweltziele Landwirtschaft» 2016 zeigte beispielsweise deutlich Defizite und Handlungsfelder für weitere Massnahmen hinsichtlich einer bodenschonenden Bodennutzung auf. Das Bodenmonitoringinstrument stellt in diesem Zusammenhang vor allem für den stofflichen Bodenschutz ein praxistaugliches Instrument dar, um regionalspezifische Lösungen aufzuzeigen.

Empfehlungen

Wir empfehlen die Anwendung des regionalen Bodenmonitoringinstrumentes für weitere Fallstudiengebiete in Zusammenarbeit mit kantonalen Fachstellen für Landwirtschaft und Boden. Nach Vorgabe der kantonalen Fachstellen sollen Gebiete ausgewählt und die Ergebnisse gemeinsam analysiert werden. Die Anwendung des Bodenmonitoringinstrumentes für eine Region nach Wahl verläuft grundsätzlich in zwei Phasen (siehe unten), die mit relativ geringem Zeitaufwand durchgeführt werden können. Optional können die Ergebnisse in einer dritten Phase in Bezug zum System «Boden» und zu den Bodenfunktionen vertieft werden, dies erfordert jedoch mit der Prozessierung von Bodendaten im EPIC-Modell einen höheren Aufwand. Für die erfolgreiche Anwendung des Bodenmonitoringinstrumentes empfehlen wir zudem, die teilweise mangelnde Verfügbarkeit von Daten zur landwirtschaftlichen Nutzung zu verbessern, indem die georeferenzierten kantonalen Daten auch der Forschung zugänglich gemacht werden.

Anwendungsphasen

1. Umsetzung des Modells für Region und Risikogebiete mit erhöhten Stofffrachten erkennen

Die Basisdaten sind in dem Modell für die ganze Schweiz vorhanden. Für die Region nach Wahl wird recherchiert, ob weitere regionalspezifische Daten zu Landwirtschaft und Boden vorhanden sind. Die aktuelle Flächennutzung (Acker-/Grasland) in der Region wird mit der Fernerkundung erfasst. Alternativ kann die Arealstatistik verwendet werden. Mit dem Modell werden die Karten der vereinfachten Nähr- und Schadstoffbilanzen (Oberflächenbilanzen) generiert. Es werden aussagekräftige Indikatoren berechnet, um ein Gesamtbild über die Kreisläufe von Stickstoff, Phosphor und Schwermetalle zu erhalten.

2. Modellszenarien: Handlungsempfehlungen ableiten

In der Phase 2 steht die Frage im Zentrum, unter welchen Bedingungen in der Landwirtschaft sich im regionalen Kontext Nährstoffkreisläufe optimieren und Schadstoffeinträge in die Böden vermeiden lassen. Anhand von Modellszenarien können die Wirksamkeit praxisrelevanter Massnahmen evaluiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Zum Beispiel: Kann eine bessere Hofdüngerverteilung zur Minimierung von P-Mineraldünger und der N-Überschüsse beitragen kann? Oder: Wieviel Schwermetalle werden über Futtermittelzusätze in der Tierhaltung

oder bei einer Kompensation von P-Mineraldünger durch P-Recyclingdünger in die Böden mittel- und langfristig eingetragen?

3. Bodenqualität und Bodenfunktionen (optional)

Während die ersten beiden Phasen auf das System «Landwirtschaft» fokussieren, stehen in Phase 3 die Bodeneigenschaften, Bodenprozesse und Bodenfunktionen im Vordergrund. Dazu müssen für die ausgewählte Region verfügbare Bodeninformationen (Bodenprofile, Bodenkarten) und Klimadaten in EPIC integriert werden, und – falls möglich – einzelne EPIC-Modellparameter mit unabhängigen Datensätzen der Region kalibriert werden. Gegenüber Phase 2 können erweiterte Modellszenarien, die Bodenprozesse berücksichtigen, durchgeführt werden. Beispielsweise kann überprüft werden, wie sich Düngungspläne in der Region auswirken, wenn die vorhandenen Nährstoffgehalte in den Böden in der Düngungsplanung berücksichtigt werden, oder es lassen sich mögliche negative Effekte darstellen, die sich durch den übermässigen Eintrag von Nährstoffen und Pestizide auf andere Umweltbereiche ergeben. Anhand von Bodendaten und mit Hilfe verschiedener Bodenteilfunktionen kann zudem aufgezeigt werden, welche Leistungen Böden zur Regulierung von Wasser, Nähr- und Schadstoffen sowie zur Produktion von Nahrungsmittel erbringen. Diese Ergebnisse können den aktuellen Stoffkreisläufen gegenübergestellt werden. ergänzend zu den Modellszenarien in Phase 2 können somit Aussagen und Empfehlungen zur aktuellen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung im Verhältnis zum Leistungsvermögen der Böden formuliert werden. Die Handlungsempfehlungen zielen in der Folge darauf ab, die Bodenfunktionen möglichst langfristig zu erhalten und durch eine angepasste Bewirtschaftung zu verbessern.