



## Executive Stakeholder Summary

Projektnummer	406840_143060
Titel	Bodenkohlenstoffeintrag durch Kulturpflanzen
Projektleiter	Jochen Mayer, Agroscope
Weitere Projektverantwortliche	Jens Leifeld, Agroscope Samuel Abiven, Universität Zürich Andreas Hund, ETH Zürich

### Beitrag zur thematische(n) Synthese(n)::

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

Ort, Datum: New Delhi, 14.11.2017

## Hintergrund

Die organische Bodensubstanz (OBS) hat einen entscheidenden Anteil an der Produktivität sowie den Ökosystemleistungen (ÖSL) landwirtschaftlich genutzter Böden wie Fruchtbarkeit, Wasser- und Nährstoffspeicherpotenzial, Wasserqualität oder Schutz vor Erosion. Sie bildet die Lebensgrundlage für Pflanzen, Bodentiere und -mikroorganismen. Durch die Bindung von CO<sub>2</sub> stellt sie den grössten terrestrischen Kohlenstoffspeicher dar und spielt damit eine zentrale Rolle bei der Regulierung des globalen Klimas. Die OBS durch den Kohlenstoffeintrag von Kulturpflanzen zu erhalten oder zu mehren ist ein zentrales Ziel von Bodenschutzstrategien in der Landwirtschaft. Bisher ist allerdings kaum bekannt, inwiefern der Eintrag in die Böden durch unterschiedliche Bewirtschaftungsformen, Pflanzenarten oder -sorten und unter künftigen klimatischen Bedingungen beeinflusst wird.

## Ziel

Ziel des NFP 68-Projekts KOHLENSTOFFEINTRAG war es, den Eintrag von Bodenkohlenstoff durch Wurzeln und deren Ausscheidungen (Rhizodeposition) von Ackerkulturen als Hauptquelle für die Bildung der OBS quantitativ zu erfassen. Zudem interessierte die Frage, inwieweit landwirtschaftliche Bewirtschaftungsformen, genetische Faktoren der Ackerpflanzen und Trockenheitsperioden diesen Eintrag beeinflussen.

In Feld- und Laborstudien wurde dazu die Umsatzdynamik des wurzelbürtigen Kohlenstoffs in unterschiedlichen Bodentiefen untersucht. Die Ergebnisse dienen dazu, wichtige Eingangsvariablen bestehender wissenschaftlicher Boden-Kohlenstoffmodelle, die für das Treibhausgasinventar der Schweiz und im Zusammenhang mit Agrarumweltindikatoren zum Einsatz kommen, zu überprüfen und gegebenenfalls zu verbessern. Ausserdem sollen sie als Basis dienen für Instrumente zur Erstellung von Kohlenstoffbilanzen und Lebenszyklusanalysen, die von Beratungsdiensten und Landwirten genutzt werden.

## Resultate

### **Die Bewirtschaftungsintensität beeinflusst oberirdischen Kohlenstoff deutlich stärker als unterirdischen**

Eine zunehmende Intensität der Landwirtschaft, insbesondere der Düngung, hat einen grossen Einfluss auf die oberirdischen Erträge und die Menge an oberirdischem gebundenem Kohlenstoff. Die Bewirtschaftungsintensität beeinflusst dagegen den Eintrag von Kohlenstoff in den Boden durch Wurzeln und Rhizodeposition von Mais- und Weizenpflanzen ist dagegen nur in geringerer Masse. Dabei trägt die Rhizodeposition rund etwa die Hälfte bis zwei Drittel zum unterirdischen Eintrag von Kohlenstoff bei und ist bedeutender als der Eintrag durch die Wurzeln selbst (strukturellen Wurzelkohlenstoff). Dies zeigen Studien in zwei Schweizer Langzeitversuchen, dem DOK Versuch in Therwil und dem ZOFE Versuch in Zürich-Affoltern.

Bei zunehmender Bewirtschaftungsintensität vermindert sich das Verhältnis von unterirdischem zu oberirdischem Kohlenstoff signifikant, was auf die starke Zunahme von oberirdischem Kohlenstoff zurückzuführen ist. Die Bodenkohlenstoffeinträge lassen sich allerdings nicht mit der Zunahme des oberirdischen Ertrags abschätzen. In vielen Boden-Kohlenstoffmodellen werden konstante Faktoren für die Schätzung der unterirdischen Kohlenstoffeinträge auf Basis oberirdischer Kohlenstoffträge verwendet. Die Ergebnisse des Projekts KOHLENSTOFFEINTRAG zeigen eine grosse Spannweite des Verhältnisses von unterirdischem zu oberirdischem Kohlenstoff von 0,15–0,4 bei Mais und 0,15–0,6 bei Weizen, wobei die geringen relativen unterirdischen Kohlenstoffanteile in den intensiven Bewirtschaftungssystemen gefunden wurden, die hohen Anteile in den extensiven Systemen. Entsprechend werden die unterirdischen Kohlenstoffeinträge in intensiven Systemen überschätzt, in extensiveren Systemen wie dem Biolandbau unterschätzt. Mit der Anwendung intensitätsabhängiger Faktoren für die Schätzung unterirdischer Kohlenstoffeinträge konnten die Berechnungsergebnisse der Kohlenstoffmodelle in Schweizer Langzeitversuchen verbessert werden.

### **Alte Weizensorten wurzeln tiefer, junge Sorten können Trockenheit kompensieren**

Das Projektteam untersuchte die Änderung der Wurzeltiefe und Wurzelbiomasse von Weizenzüchtungen in der Schweiz der letzten 100 Jahren. Als Wurzeltiefe gilt dabei die Tiefe, bis zu der 95 Prozent der gesamten Wurzelbiomasse zu finden ist. Versuche im Gewächshaus ergaben, dass moderne, kurzstrohige Weizensorten weniger tief wurzeln als ihre langstrohigen Vorfahren. Allerdings konnten moderne Sorten bei einsetzender Trockenheit dieses Defizit durch tiefere Wurzeltiefen kompensieren, während ältere Sorten auf Trockenheit eher negativ reagierten. Unter Feldbedingungen zeigte sich der gleiche Trend, allerdings in stark abgeschwächter Form. Interessanterweise nahm die Wurzelbiomasse, und damit auch das Wurzel-Sprossverhältnis bei den Weizenzüchtungen der letzten 100 Jahre zu. Es Die Züchter selektierten demnach indirekt auf weniger tiefe Wurzeln, dafür aber auf mehr Wurzelbiomasse. In einer Gewächshausstudie wurde das Rhizodepositionsverhalten einer alten Sorte (Plantahof, ~1910) und einer modernen Sorte (Suretta, 2009), so wie die Zersetzung der Wurzeln und des Wurzelkohlenstoffs verglichen. Die moderne Sorte wies geringere Rhizodeposition und Wurzelkohlenstoffmengen auf, im Vergleich zur alten Sorte. Ein Jahr später konnten für Suretta und Plantahof noch 60 beziehungsweise 40 Prozent des eingetragenen Kohlenstoffs im oberen Bodenabschnitt (0–0,5 m) nachgewiesen werden. Insgesamt war der Kohlenstoffverlust der modernen Sorte bis zu einer Tiefe von 0,25 Metern bis zu einem Fünftel verlangsamt gegenüber der alten Sorte. Der Kohlenstoffeintrag moderner Sorten könnte daher als nachhaltiger/stabiler betrachtet werden.

### **Der Umsatz wurzelbürtigen Kohlenstoffs im Boden ist stark vom Standort abhängig**

Für das Verständnis der Kohlenstoffdynamik im Boden, ist eine wichtige Frage, wie schnell wurzelbürtiger Kohlenstoff im Boden von Mikroorganismen abgebaut wird. Unterirdischer Kohlenstoff (Wurzeln und Rhizodeposition) von Maiskulturen wurde unter den Feldbedingungen der beiden Langzeitversuche DOK und ZOFÉ in zwei Jahren zu rund zwei Dritteln abgebaut. Nach zwei Jahren ist also noch rund ein Drittel des zur Maisernte gefundenen wurzelbürtigen Kohlenstoffs im Boden vorhanden. Die Abbauraten unterschieden sich tendenziell in Abhängigkeit von der Düngungsintensität und waren in den intensiven Systemen höher. Grössere Unterschiede in der Abbaudynamik als zwischen den Düngungsintensitäten wurde allerdings zwischen den beiden Standorten der Langzeitversuche gefunden, die sich hinsichtlich Bodenart, Jahresmitteltemperatur und Niederschlag deutlich unterscheiden. Auf dem ZOFÉ Standort mit sandigerem Boden, höheren Niederschlägen, aber um rund 1°C geringeren Jahresmitteltemperaturen wurde der wurzelbürtige Kohlenstoff rund eineinhalb Mal schneller umgesetzt als auf dem schluffreichen Lössboden des DOK.

### **Bedeutung für die Forschung**

Die Ergebnisse des Projektes KOHLENSTOFFEINTRAG zeigen einen relativ geringen Einfluss der Bewirtschaftungsintensität und -form auf die unterirdischen Kohlenstoffeinträge. Dies steht im Widerspruch zu bisherigen Annahmen, die von einer proportionalen Zunahme der unterirdischen Kohlenstoffeinträge mit der Zunahme oberirdischer Biomasse ausgehen. Auf Basis der im Projekt gewonnenen Daten lassen sich wissenschaftliche Bodenkohlenstoffmodelle verbessern und Klimagasinventare exakter abschätzen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Züchtung einen klaren Einfluss auf Wurzelmerkmale bei Weizen hat. Dies wirft weitere Fragen auf: Warum stieg die Wurzelbiomasse und das Spross-Wurzelverhältnis tendenziell an? Ist dieser Trend typisch für das schweizerische Züchtungsprogramm mit seinem starken Fokus auf einen hohen Proteingehalt bei gleichzeitig moderater Düngung, oder lässt er sich auch in anderen Programmen beobachten? Des Weiteren wird eine Kartierung der wichtigsten «reduced height» (*rht*) Gene im Weizen angestrebt. Es soll untersucht werden, ob alternative *rht*-Gene zu einem verbesserten Wurzeltiefenwachstum führen. Der stabilere wurzelbürtige Kohlenstoffeintrag der modernen Sorte lässt vermuten, dass die Züchtung auch die Wurzelmorphologie (z.B. Vorkommen und Menge von Wurzelhaaren) und die chemische Stabilität von Wurzeln (z.B. durch erhöhten Ligningehalt) beeinflusst hat. Weitere Untersuchungen in diesem Bereich könnten zeigen, ob

der Anbau ausgewählter moderner Weizensorten einen nachhaltigeren Kohlenstoffeintrag erzielen könnte und die vermutlich veränderte Wurzelmorphologie zu einer effizienteren Nährstoffnutzung (z.B. stark verbesserte Stickstoffeffizienz moderner Sorten gegenüber alter Sorten) geführt haben.

### **Bedeutung für die Praxis**

Das Projekt KOHLENSTOFFEINTRAG zeigt die Auswirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf den Eintrag von Bodenkohlenstoff durch Ackerkulturen. Es leistet einen Beitrag zur Verbesserung der Bodenkohlenstoffmodelle und angewandter Kohlenstoffbilanzen. Die Daten des Projektes bildeten eine der Grundlagen des Kapitels «Bodenfruchtbarkeit und Humusbewirtschaftung» der «Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen» (GRUD 2017) und wurden zur Validierung der neu eingeführten, webbasierten Agroscope Humusbilanz ([www.humusbilanz.ch](http://www.humusbilanz.ch)) herangezogen.

Das Mittelland zählt mit seinen mehr als 1000 mm Jahresniederschlag nicht zu jenen Regionen der Welt, in denen sich eine gezielte Selektion auf eine erhöhte Dürretoleranz lohnt. Basierend auf den Projektergebnissen stellt sich trotzdem die Frage, ob züchterische Massnahmen getroffen werden müssen, um die Wasserreserven des Bodens in heissen, trockenen Sommern besser zu nutzen. Entsprechende Untersuchungen in Kooperation mit den Weizenzüchtern wurden bereits gestartet. So werden beispielsweise ab 2018 Sortenversuche mit Thermographie-Kameras befliegen (KTI-Projekt «Trait Spotting»). Die Kühlungsleistung der Bestände ermöglichen Aussage über deren Wasserverfügbarkeit beziehungsweise Wurzeltiefe.

### **Empfehlungen**

Unsere Ergebnisse bestätigen die Bedeutung der Kohlenstoffeinträge über Wurzeln und Rhizodeposition in den Boden als wichtigste Kohlenstoffquelle für den OBS-Aufbau. Intensive Systeme werden dabei tendenziell überbewertet, extensivere Systeme wie der Biolandbau unterbewertet. Weitere Untersuchungen zur Wurzelbiomasse unter Praxisbedingungen bestätigen diesen Befund. Extensivere Landbauformen sind bezüglich unterirdischer Kohlenstoffeinträge folglich mindestens als gleichwertig oder besser zu beurteilen.

Der Boden wird, in seiner Funktion als Speicher für Nährstoffe und Wasser in Zukunft für eine hohe Ertragsstabilität eher wichtiger werden. Eine spezifischere Anpassung neuer Sorten an geänderte Klima- und Anbaubedingungen wird in den nächsten Jahrzehnten intensiver Forschung bedürfen. Dabei sollte auch der langfristige Effekt der Züchtung mitberücksichtigt werden.