

Erhöhte Humusvorräte in einem siebenjährigen Agroforstsystem in der Zentralschweiz

Benjamin Seitz¹, Emilie Carrard², Stéphane Burgos², Dylan Tatti², Felix Herzog¹, Mareike Jäger³ und Firesenai Sereke²

¹Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

²Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

³AGRIDEA, Gruppe Pflanzenbau, 8315 Lindau, Schweiz

Auskünfte: Benjamin Seitz, E-Mail: benjamin.seitz@agroscope.admin.ch



Abb. 1 | Die untersuchte Agroforstparzelle in der Zentralschweiz mit 545 Apfelbäumen und Gründung in der kultivierten Fläche hat bereits nach sieben Jahren relevante Mengen Kohlenstoff und Stickstoff im Ober- und im Unterboden angereichert. (Foto: Emilie Carrard, HAFL)

Einleitung

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts waren Hochstammobstbäume ein prägendes Element der Schweizer Kulturlandschaft. Aufgrund der Mechanisierung der landwirtschaftlichen Produktion, der Ausdehnung der Siedlungsgebiete als auch des internationalen Handels von landwirtschaftlichen Erzeugnissen wurden über 80 % der Hochstammobstbäume in der Schweiz gefällt. Von 13,5 Millionen Hochstammobstbäumen im Jahr 1951 blieben im Jahr 2001 noch 2,9 Millionen Bäume übrig, während sich die Zahl in den letzten Jahren bei knapp über

2,0 Millionen Bäume stabilisierte (Walter *et al.* 2010). Die Entwicklung von modernen Agroforstsystemen will diesem Trend entgegenwirken (Nehrlich *et al.* 2013). Durch den kombinierten Anbau von Ackerkulturen mit Bäumen (sowohl Wertholzproduktion als auch Hochstammobst) sollen produktive Systeme geschaffen werden, die mit moderner Agrartechnik bewirtschaftet werden können und ökonomisch attraktiv sind (Sereke *et al.* 2015).

Auch aus agrarökologischer Sicht sind Agroforstsysteme sehr interessant. Die Umweltleistungen von modernen Agroforstsystemen umfassen Erosionsschutz, Regulierung des Wasserhaushalts, Kohlenstoffakkumulation in Boden und Biomasse, Förderung der oberirdischen Biodiversität und ein attraktives Landschaftsbild (Kaeser *et al.* 2010). Die Datenlage zu den einzelnen Umweltleistungen ist allerdings noch sehr dünn und viele Aussagen basieren vor allem auf Modellrechnungen. Zudem kann angenommen werden, dass die Ausprägung der einzelnen Umweltleistungen je nach Region und Kombinationen von Baum- und Kulturarten unterschiedlich stark ausfällt.

In dieser Studie wollten wir die Möglichkeit von regelmäßigen Humusbestimmungen in Ergänzung zu einem bestehenden oberirdischen Monitoring (Kuster *et al.* 2012) in Schweizer Agroforstsystemen eruieren. Dafür haben wir ein siebenjähriges Agroforstsystem in der Zentralschweiz ausgewählt und die im Boden vorhandenen organischen Kohlenstoff- und Gesamtstickstoffvorräte bestimmt.

Material und Methoden

Agroforstparzelle in der Zentralschweiz

Die untersuchte Agroforstparzelle liegt im Kanton Luzern (Abb. 1). Die Parzelle ist 5,6 ha gross und wird gemäss den Anforderungen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) bewirtschaftet. Im Jahr 2009 wurden 545 Apfelbäume der Sorten Boskoop und Spartan als Reihen in Nordwest-Südost-Ausrichtung angepflanzt. Die

Baumreihen nehmen dabei 22 % der Parzellenfläche ein. In den Zwischenreihen wird eine Fruchtfolge von Winterweizen, Mais, Raps, Erdbeeren und Rotationsbrache angebaut (Kuster *et al.* 2012). Die Düngung zu den Kulturen erfolgt rein mineralisch oder mit einer aus Mutterkuhhaltung und Schweinemast stammenden Mischgülle. Die Baumreihen werden nicht gedüngt.

Der Bodentyp der Parzelle ist eine tiefgründige, steinarme Kalkbraunerde mit der Bodentextur sandiger Lehm bis Lehm (BGS 2010) und der Horizontabfolge Ahp (0–25 cm; gepflügter Oberbodenhorizont) – Bx (25–32 cm; verdichteter Unterbodenhorizont) – B (32–60 cm; Unterbodenhorizont) – Bcn (60–100 cm; Unterbodenhorizont mit punktförmigen, schwärzlichen Knötchen).

Seit 2011 wird die Entwicklung von Bäumen und Unterkulturen auf den vier nördlichsten Baumreihen jährlich beobachtet. Die Humusuntersuchung haben wir in der dritten Baumreihe und in der angrenzenden Ackerfläche durchgeführt, um Feldrandeffekte möglichst zu vermeiden (Abb. 2).

Probennahme

Am 4. November 2016 wurde die Bodenprobennahme in der dritten Baumreihe und in der angrenzenden Ackerfläche durchgeführt. In der Baumreihe wurden fünf Replikate zwischen den Bäumen Nr. 6 und 7, Nr. 11 und 12, Nr. 16 und 17, Nr. 21 und 22 und Nr. 26 und 27 festgelegt (Abb. 2). Die Bodenproben wurden exakt in der Mitte zwischen den Bäumen in der Mitte der Baumreihe entnommen (Abb. 3). Von jedem Replikat aus wurden in der kultivierten Fläche in 3,5 m und 7,25 m Abstand zur Baumreihe weitere Bodenproben entnommen (Abb. 3). Beim Abstand von 7,25 m handelt es sich um die Mitte zwischen den Baumreihen. Das gewählte Design bestand damit aus drei Standorten (Baumreihe, Viertel und Mitte der kultivierten Fläche) mit je fünf Replikaten. Pro Replikat wurden vier Pürckhauer-Einstiche bis zu einer Bodentiefe von 60 cm für die Analyse von Bodentextur, Kohlenstoff(C)- und Stickstoff(N)-Gehalt entnommen. Zudem wurden drei Zylinderproben für die Bodentiefen 13–18 cm und 38–43 cm entnommen (Abb. 3).

Laboranalysen

Die Bodentextur, die gesamten C- und N-Gehalte (C_{tot} und N_{tot}) und der Kalkgehalt wurden mit den Pürckhauerproben für die Bodentiefen 0–20 cm, 20–40 cm und 40–60 cm bestimmt. Die Lagerungsdichte der Feinerde und der Skelettgehalt des Bodens wurden mit den Zylinderproben in den Tiefen 13–18 cm und 38–43 cm ermittelt.

Die Pürckhauerproben wurden bei 40 °C für 72 Stunden getrocknet und auf 2 mm gesiebt. Die Messung der Bo-

Zusammenfassung

Moderne Agroforstsysteme haben das Potenzial, eine produktive Landwirtschaft mit verbesserter Erreichung der «Umweltziele Landwirtschaft» zu verbinden. Diese Systeme werden in der Schweiz allerdings erst seit kurzem von wenigen Landwirten getestet, daher liegen bisher kaum Daten zu den Umweltwirkungen von modernen Agroforstsystemen vor. In dieser Studie untersuchten wir, wie sich die Humusvorräte in einem siebenjährigen Agroforstsystem in der Zentralschweiz verändert haben. Unsere Resultate zeigen, dass bereits nach sieben Jahre eine substantielle Humusanreicherung (+18 %) in der Baumreihe verglichen mit der kultivierten Fläche zu beobachten ist. Erstaunlicherweise beschränkte sich die Humusanreicherung nicht nur auf den Oberboden, sondern konnte auch bis in eine Tiefe von 60 cm nachgewiesen werden. Eine erste Schätzung der jährlichen Humusanreicherung in der untersuchten Agroforstparzelle beträgt 0,86 t Kohlenstoff pro Hektare und Jahr beziehungsweise 91 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr für die Bodentiefe 0–60 cm. Die Magnitude dieser ersten Schätzung zeigt, dass die weitere Erforschung der Humusdynamik in Agroforstsystemen aus Sicht des Boden-, Klima- und Gewässerschutzes von grosser Bedeutung ist.

dentextur wurde gemäss der eidgenössischen Referenzmethode KOM durchgeführt (Agroscope 1996). Die C_{tot} - und N_{tot} -Gehalte wurden mit einem CN-Analyzer (Vario MAX CN, Elementar) gemessen. Der Kalkgehalt und der daraus berechnete anorganische C-Gehalt (C_{anorg}) wurden nach der eidgenössischen Referenzmethode CaCO_3 ermittelt (Agroscope 1996). Der Gehalt an organischem C (C_{org}) wurde als Differenz von C_{tot} und C_{anorg} ($C_{\text{org}} = C_{\text{tot}} - C_{\text{anorg}}$) berechnet.

Die Bestimmung der Lagerungsdichte und des Skelettgehalts wurde mit den drei Zylinderproben (100 cm³) von beiden Tiefen (13–18 und 38–43 cm) und jedem der 15 Standorte durchgeführt. Die Zylinderproben wurden bei 40 °C für 72 Stunden getrocknet und gewogen (Gew_{tot}). Nachdem die Proben über Nacht mit Wasser gesättigt wurden, wurden die Steine in einem 2-mm-Sieb herausgewaschen. Das Gewicht der trockenen Steine (Gew_{st}) wurde ermittelt und das Volumen (Vol_{st}) durch

Wasserverdrängung in einem Messzylinder geschätzt. Die Lagerungsdichte der Feinerde (LD) wurde nach der Formel $LD = (Gew_{tot} - Gew_{st}) / (100\text{ cm}^3 - Vol_{st})$ berechnet.

Humusvorräte und Humusakkumulation

Zur Berechnung der Humusvorräte wurde das Bodenprofil in vier Segmente unterteilt: 0–20 cm, 20–25 cm, 25–40 cm und 40–60 cm. Die ermittelten C_{org} und N_{tot} -Gehalte wurden gemäss ihren Bodentiefen den jeweiligen Segmenten zugeordnet. Die Lagerungsdichte der Feinerde für die Bodentiefe 13–18 cm wurde für die beiden Segmente des Pflughorizonts (0–20 cm und 20–25 cm) verwendet, die Lagerungsdichte für die Bodentiefe 38–43 cm für die beiden unteren Segmente.

Die berechneten Vorräte an C_{org} und N_{tot} wurden zur Vergleichbarkeit gemäss *Equivalent-Soil-Mass-Method* (Lee et al. 2009; Schrupf et al. 2011) auf eine einheitliche Masse an Feinerde pro m^2 normiert. In unserem Fall entschieden wir uns für die Bodenschichten 0–350 kg Feinerde/ m^2 (\approx 0–25 cm), 350–550 kg Feinerde/ m^2 (\approx 25–40 cm) und 550–900 kg Feinerde/ m^2 (\approx 40–60 cm).

Da für den untersuchten Standort weder Bodendaten aus der Zeit vor 2009 noch eine agronomische Kontrollparzelle existieren, kann die C- beziehungsweise N-Akkumula-

tion im Boden nur unter gewissen Annahmen berechnet werden: Die durchschnittlichen Bodenvorräte an C_{org} und N_{tot} im kultivierten Bereich zwischen den Baumreihen befinden sich im Gleichgewicht und haben sich seit 2009 nicht verändert.

Die durchschnittlichen Bodenvorräte im kultivierten Bereich sind auch für eine hypothetische, nicht agroforstlich genutzte Kontrollparzelle repräsentativ.

Die C- und N-Akkumulation pro Hektare und Jahr wird dadurch mittels folgender Formel berechnet: $Akkumulationsrate\ pro\ Hektar\ und\ Jahr = (0,22 [Flächenanteil\ Baumreihe] * Bodenvorrat\ Baumreihe - 0,22 * Bodenvorrat\ kultivierte\ Fläche) / 7 [Anzahl\ Jahre]$.

Es ist wichtig anzumerken, dass es sich bei der berechneten C- und N-Akkumulation nur um eine Schätzung handelt, die zudem orts- und systemspezifisch ist. Es ist möglich, dass sich die Werte auf anderen Böden oder in Systemen mit anderen Baumarten deutlich unterscheiden.

Resultate

Organischer Kohlenstoff und Gesamtstickstoff

Zu unserer Überraschung konnten wir sieben Jahre nach Anlage des Agroforstsystems bereits signifikante Unter-

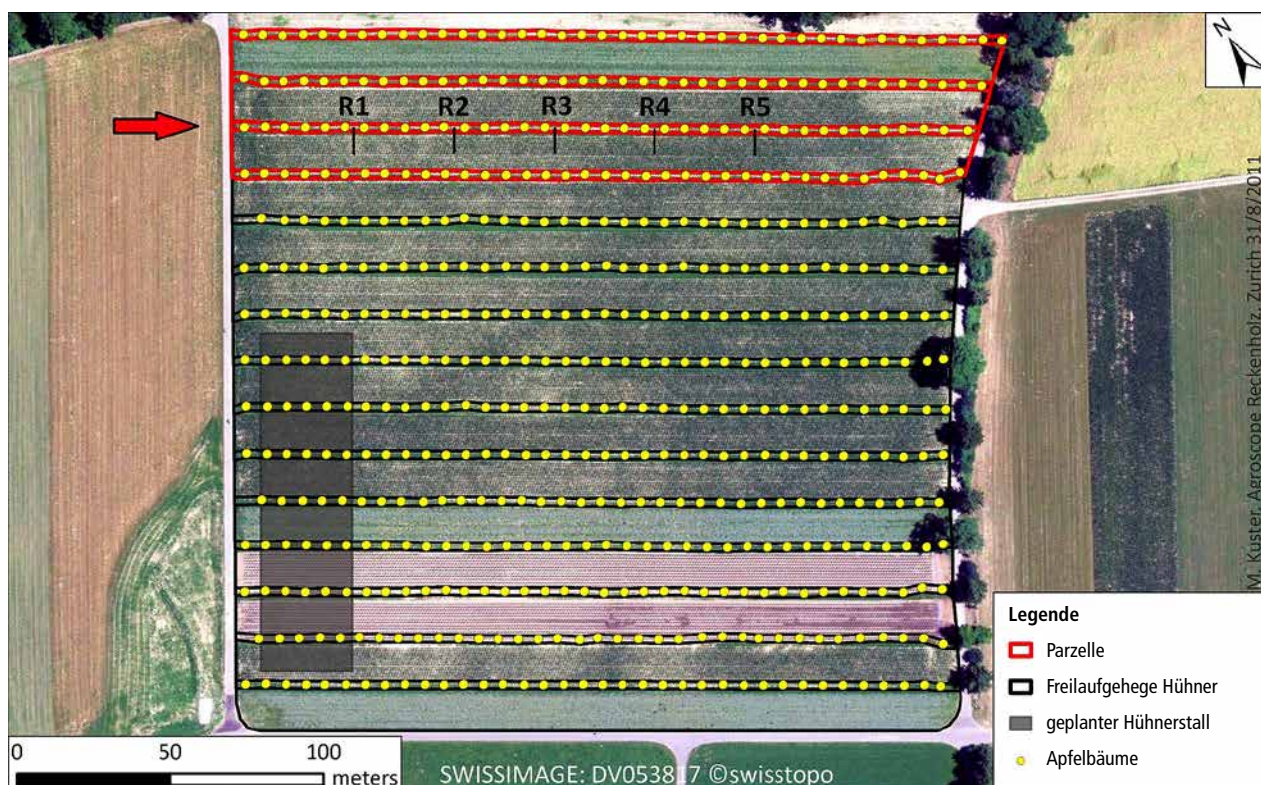


Abb.2 | Luftbild der untersuchten Agroforstparzelle. Die Bodenproben wurden in der dritten Baumreihe und Ackerfläche entnommen (R = Replikat). (Foto: swisstopo)

Tab. 1 | Bodenvorräte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff normiert nach einheitlichen Massen an Feinerde (FE) pro Quadratmeter. Die gewählten Massen entsprechen ungefähr den Bodentiefen 0–25 cm (0–350 kg FE/m²), 25–40 cm (350–550 kg FE/m²), 40–60 cm (550–900 kg FE/m²). Die Bodenvorräte werden als Mittelwerte \pm 1 Standardfehler dargestellt, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Standort	C-Vorrat 0–350 kg FE/m ²	C-Vorrat 350–550 kg FE/m ²	C-Vorrat 550–900 kg FE/m ²	C-Vorrat 0–900 kg FE/m ²	N-Vorrat 0–350 kg FE/m ²	N-Vorrat 350–550 kg FE/m ²	N-Vorrat 550–900 kg FE/m ²	N-Vorrat 0–900 kg FE/m ²
	kg C/m ²				kg N/m ²			
Baumreihe	8,31 \pm 0,38 a	3,97 \pm 0,21 a	5,14 \pm 0,23 a	17,42 \pm 0,76 A	0,92 \pm 0,04 a	0,46 \pm 0,02 a	0,62 \pm 0,02 a	2,00 \pm 0,08 A
Kultivierte Fläche (Viertel)	6,72 \pm 0,27 b	3,50 \pm 0,17 b	4,45 \pm 0,37 b	14,67 \pm 0,79 B	0,77 \pm 0,02 b	0,41 \pm 0,01 b	0,51 \pm 0,02 b	1,69 \pm 0,06 B
Kultivierte Fläche (Mitte)	6,63 \pm 0,38 b	3,41 \pm 0,22 b	4,64 \pm 0,18 b	14,69 \pm 0,75 B	0,78 \pm 0,04 b	0,41 \pm 0,02 b	0,53 \pm 0,02 b	1,72 \pm 0,08 B

schiede in den Bodenvorräten an C_{org} und N_{tot} feststellen (Tab. 1). Die Bodenvorräte in der Baumreihe sind sowohl für C_{org} als auch für N_{tot} um 18 % höher als in der kultivierten Fläche zwischen den Baumreihen. Die Anreicherung des Bodens mit C und N war erstaunlicherweise nicht nur im Oberboden (\approx 0–25 cm) sondern auch im Unterboden (\approx 25–40 cm und 40–60 cm) signifikant nachweisbar. Für die Standorte im kultivierten Bereich konnten keine Unterschiede aufgrund der Distanz zur Baumreihe ausgemacht werden.

Kohlenstoff- und Stickstoffakkumulationsrate

Die C- und N-Akkumulationsrate wurde für die gesamte Agroforstparzelle (22 % Flächenanteil der Baumreihen, 78 % Flächenanteil der kultivierten Fläche) gegenüber einer hypothetischen Kontrollfläche (100 % Flächenanteil der kultivierten Fläche) berechnet. Der Oberboden (\approx 0–25 cm) der Agroforstparzelle reichert C_{org} mit einer Rate von 0,51 t C pro Hektar und Jahr an. Für die gesamte untersuchte Bodentiefe (\approx 0–60 cm) ergibt sich eine C-Akkumulationsrate von 0,86 t C pro Hektar und Jahr, für Stickstoff von 91 kg N pro Hektar und Jahr.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anlage einer Agroforstparzelle bereits nach wenigen Jahren einen signifikanten Einfluss auf den C- und N-Haushalt der Parzelle hat. In unserem Fallbeispiel wurde dabei sowohl im Oberboden als auch im Unterboden der Baumreihe bedeutende Mengen an C und N angereichert. Die berechneten C-Akkumulationsraten von 0,51 t C pro Hektare und Jahr für den Oberboden beziehungsweise 0,86 t C pro Hektar und Jahr für die gesamte, untersuchte Bodentiefe sind als hoch einzustufen, bewegen sich aber in einem realistischen Rahmen. Weitere Arbeiten mit einer detaillierteren Auflösung der Bodendichte (z. B. Stechzylinderproben alle 10 cm) können die Genauigkeit dieser ersten Schätzung verbessern.

Die Stickstoffanreicherung von 91 kg N pro Hektar und Jahr für die gesamte untersuchte Bodentiefe ergibt sich aus dem relativ konstanten C/N-Verhältnis der organischen Bodensubstanz von durchschnittlich $8,62 \pm 0,10$. Allerdings ist die Zahl als sehr hoch einzustufen, zumal die Akkumulationsrate für die Parzelle berechnet wurde, die Anreicherung hingegen nur unter der Baumreihe stattfindet. Zudem muss berücksichtigt werden, dass in der untersuchten Parzelle aufgrund der angebauten Kulturen (Winterweizen, Mais, Raps, Erdbeeren, Rotationsbrache und Apfelbäume) keine Stickstofffixierung vorhanden ist. In der krautigen Vegetation der Baumreihe konnten auch kaum Leguminosen ausgemacht werden, eine genaue Bonitur der Baumstreifenvegetation wurde jedoch nicht durchgeführt. Die Herkunft und das alternative Verbleiben des angereicherten Stickstoffes stellen daher eine wichtige Forschungsfrage für die praktische Bedeutung der hier gezeigten Resultate dar. Sollte ein Teil des akkumulierten Stickstoffs mit geringeren Stickstoffverlusten zu erklären sein, wären Agroforstsysteme eine interessante Alternative für Ackerbaugebiete, die zurzeit hohe Nitratwerte im Grundwasser aufweisen (Kaeser *et al.* 2010).

Ein Blick in die internationale Literatur zeigt, dass bezüglich der Humusdynamik in Agroforstsystemen noch grosse Wissenslücken bestehen. Für Agroforstsysteme in den gemässigten Breiten liegen nur wenige Daten vor, zudem beschränken sich die meisten Studien auf C und geringe Bodentiefen (Lorenz und Lal 2014). Wie auch für die gesamte Humusforschung zeigt sich auch hier, dass die Festlegung von Referenzmethoden für die Bestimmung von Humusvorräten zwingend nötig ist (Jandl *et al.* 2014). Die meisten Studien zeigen für den Oberboden C-Anreicherungen von 0,25–0,3 t C pro Hektare und Jahr (Lorenz und Lal 2014; Cardinael *et al.* 2017), obwohl auch sowohl keine Veränderung als auch Anreicherungen von bis zu 1,04 t C pro Hektare und Jahr dokumentiert wurden (Lorenz und Lal 2014). Für den Unterboden ist die

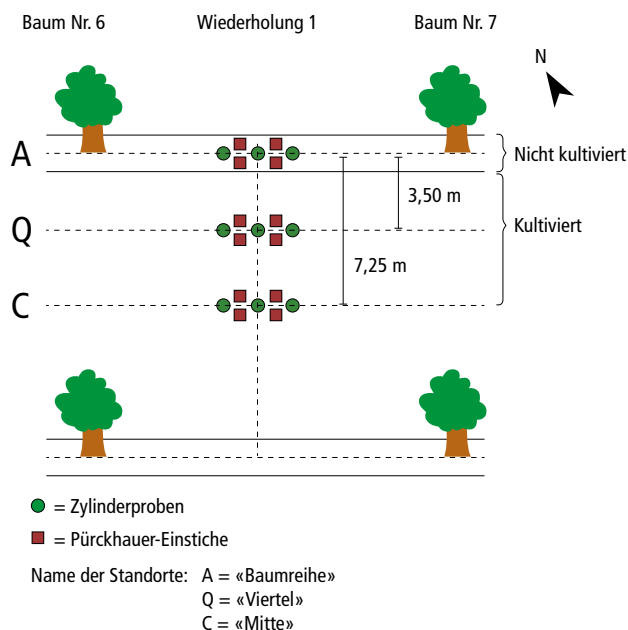


Abb. 3 | Schematische Darstellung der Bodenprobennahme des ersten Replikats. Die Probennahme der übrigen Replikate wurde im gleichen Stil durchgeführt.

Datenlage noch spärlicher, Upson und Burgess (2013) zeigen allerdings, dass die C-Dynamik je nach Bodentiefe unterschiedlich sein kann und somit das gesamte Bodenprofil berücksichtigt werden muss. In ihrer Studie zeigen Upson und Burgess, dass das von ihnen untersuchte Agroforstsystem in den oberen 60 cm zu einer starken C-Anreicherung geführt hat, dies aber durch C-Verluste in den unteren Bodenschichten teilweise kompensiert wurde. Dies deckt sich mit experimentellen Resultaten, die zeigen, dass erhöhte C-Einträge durch Wurzelausscheidungen im Unterboden zu einer verstärkten Mineralisierung der organischen Substanz (*Priming*-Effekt) führen können (Bernal *et al.* 2016).

Cardinael *et al.* (2017) zeigen zudem anhand von fünf Agroforstflächen in Frankreich, dass in jungen Agroforstsystemen die Humusanreicherung nur in der Baumreihe stattfindet und nicht in der kultivierten Fläche zwischen den Baumreihen. Erst in einem älteren Agroforstsystem, wenn die Bäume grösser sind und ein grosses Wurzelwerk ausgebildet haben, kann eine Humusanreicherung auch in der kultivierten Fläche zwischen der Baumreihe nachgewiesen werden. Des Weiteren unterstützt dies unsere Annahme, dass sich die C- und N-Vorräte im kultivierten Bereich der siebenjährigen Agroforstparzelle in der Zentralschweiz nicht von einer reinen Ackerbauparzelle unterscheiden.

Die schnelle C-Akkumulation, die bereits in jungen Agroforstsystemen nachweisbar ist, wirft die Frage auf, ob die Bäume in Agroforstsystemen die alleinige Ursache der C-Akkumulation darstellen. In unserer Studie haben wir die Bodenproben an den Stellen entnommen, die jeweils die grösste Entfernung zu den gepflanzten Bäumen haben. Auch Cardinael *et al.* (2017) vermuten daher, dass in den ersten Jahren die C-Anreicherung in der Baumreihe vor allem durch die krautige Vegetation verursacht wird. Eine daraus folgende Hypothese für weitere Arbeiten ist daher, dass ein Agroforstsystem aus zwei C-Senken besteht: eine kurzfristige Senke durch die krautige Vegetation in der Baumreihe und eine langfristige Senke durch die ausgewachsenen Bäume im kultivierten Bereich zwischen den Baumreihen.

Schlussfolgerungen

Wir folgern, dass die untersuchte Agroforstparzelle bereits nach sieben Jahren relevante Mengen an C und N sowohl im Oberboden als auch im Unterboden anreichert. Vor allem der angereicherte C im Unterboden könnte aufgrund der höheren Verweilzeit im Kontext der C-Sequestrierung von grossem Interesse sein. Es ist allerdings wichtig, dass bei zukünftigen Forschungsprojekten zu diesem Thema die gesamte Bodentiefe berücksichtigt wird.

Die schnelle C-Akkumulation nach Etablierung des Agroforstsystems wird wahrscheinlich nicht durch die Bäume, sondern durch die krautige Vegetation in den Baumreihen verursacht, was interessante Fragen bezüglich der Dauer der C-Senke aufwirft. Zudem muss die Frage, woher der angereicherte N herkommt und was sein alternativer Pool wäre, durch weitere Messungen und eine detaillierte N-Bilanzierung beantwortet werden. Sollte es sich beim angereicherten N um vermiedene N-Verluste handeln, wäre dies ein grosser Gewinn sowohl für den Landwirt als auch für die Umwelt. ■

Riassunto

Aumento delle riserve di humus in un sistema agroforestale settennale nella Svizzera centrale

I sistemi agroforestali moderni hanno il potenziale di coniugare un'agricoltura produttiva con il raggiungimento migliorato degli «obiettivi ambientali per l'agricoltura». Tuttavia, in Svizzera, questi sistemi sono testati solo recentemente da pochi agricoltori. Pertanto non sono praticamente disponibili dati sugli effetti ambientali dei sistemi agroforestali moderni. Nel presente studio, abbiamo analizzato i cambiamenti delle riserve di humus in un sistema agroforestale settennale della Svizzera centrale. I risultati dimostrano che già dopo sette anni è possibile osservare un aumento sostanziale dell'accumulo di humus (+18 %) nei filari di alberi rispetto alle superfici coltivate. Sorprendentemente l'aumento di humus non si limita solamente allo strato più superficiale del terreno, ma è stato attestato anche fino a una profondità di 60 cm. Una prima stima dell'aumento annuo di humus nella parcella agroforestale studiata si eleva a 0,86 t di carbonio per ettaro e anno e 91 kg di azoto per ettaro e anno per la profondità del terreno 0–60 cm. L'ordine di grandezza di questa prima stima dimostra che, nell'ottica della protezione del terreno, del clima e delle acque, è di fondamentale importanza effettuare ulteriori ricerche nell'ambito delle dinamiche dell'humus nei sistemi agroforestali.

Summary

Increased SOM stocks in a seven-year-old agroforestry system in central Switzerland

Modern agroforestry systems have the potential to combine productive agriculture with increased environmental benefits. Because these systems have only recently been tested by a few farmers in Switzerland, there is hardly any data available on the environmental impacts of modern agroforestry systems. In this study, we examined the changes in soil organic matter (SOM) stocks in a seven-year old agroforestry system in central Switzerland. Our results show that after just seven years, a substantial accumulation of SOM (+18 %) can be observed in the tree row compared to in the cultivated land. Surprisingly, the accumulation of SOM was not restricted to the topsoil, but was also detected up to a soil depth of 60 cm. An initial estimate of the annual SOM accumulation in the agroforestry plot investigated stands at 0,86 t of carbon per hectare and year and 91 kg nitrogen per hectare and year for a soil depth of 0–60 cm. The magnitude of this initial estimate shows that further research into the SOM dynamics of agroforestry systems is of great importance from the perspective of soil, climate and water protection.

Key words: agroforestry, soil organic matter, carbon accumulation, nitrogen.

Literatur

- Agroscope, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Agroscope, Zürich.
- Bernal B., McKinley D.C., Hungate B.A., White P.M., Mozdzer T.J. & Megonigal J.P., 2016. Limits to soil carbon stability; Deep, ancient soil carbon decomposition stimulated by new labile organic inputs. *Soil Biol. Biochem.* **98**, 85–94.
- BGS, 2010. Klassifikation der Böden der Schweiz. Bodenkundliche Gesellschaft Schweiz, Geschäftsstelle, Luzern. 86 S.
- Cardinael R., Chevallier T., Cambou A., Béral C., Barthès B.G. *et al.*, 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agric. Ecosyst. Environ.* **236**, 243–255.
- Jandl R., Rodeghiero M., Martinez C., Cotrufo M.F., Bampa F. *et al.*, 2014. Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. *Sci. Total Environ.* **468–469**, 376–383.
- Kaesler A., Palma J., Sereke F. & Herzog F., 2010. Umweltleistungen von Agroforstwirtschaft. Agroscope, Zürich. ART-Bericht 736. 12 S.
- Kuster M., Herzog F., Rehnus M. & Sorg J.P., 2012. Innovative Agroforstsysteme – *On farm monitoring* von Chancen und Grenzen. *Agrarforsch. Schweiz* **3** (10), 470–477.
- Lee J., Hopmans J.W., Rolston D.E., Baer S.G. & Six J., 2009. Determining soil carbon stock changes: Simple bulk density corrections fail. *Agric. Ecosyst. Environ.* **134**, 251–256.
- Lorenz K. & Lal R., 2014. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **34**, 443–454.
- Nerlich K., Graeff-Hönninger S. & Claupein W., 2013. Agroforestry in Europe: a review of the disappearance of traditional systems and development of modern agroforestry practices, with emphasis on experiences in Germany. *Agroforest. Syst.* **87**, 475–492.
- Schrumpf M., Schulze E.D., Kaiser K. & Schumacher J., 2011. How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences* **8**, 1193–1212.
- Sereke F., Graves A.R., Dux D., Palma J.H.N. & Herzog F., 2015. Innovative agroecosystem goods and services: key profitability drivers in Swiss agroforestry. *Agron. Sustainable Dev.* **35**, 759–770.
- Upson M.A. & Burgess P.J., 2013. Soil organic carbon and root distribution in a temperate agroforestry system. *Plant Soil* **373**, 43–58.
- Walter T., Klaus G., Altermatt F., Ammann P., Birrer S. *et al.*, 2010. Landwirtschaft. In: Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900: Ist die Talsohle erreicht? (Ed. Lachat T. *et al.*). Bristol-Schriftenreihe 25. Haupt Verlag, Bern. S. 64–123.