

Ressourcenschutz durch Agroforstsysteme – standortangepasste Lösungen

Sonja Kay¹, Mareike Jäger² und Felix Herzog¹

¹Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

²Agridea, 8315 Lindau, Schweiz

Auskünfte: Sonja Kay und Mareike Jäger, E-Mail: sonja.kay@agroscope.admin.ch; mareike.jaeger@agridea.ch



Modernes Agroforstsystem in Sursee: Seit zehn Jahren wird die Fruchtfolge Winterweizen, Erdbeeren und Buntbrache mit Apfelbäumen kombiniert. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope)

Einleitung

Natürliche Ressourcen nutzen und schützen

Natürliche Ressourcen zu nutzen und zu schützen, ist ein Leitziel der Agrarpolitik des Bundes. Sie soll darauf hinwirken, Agrarökosystemleistungen effizient bereitzustellen, Umweltbelastungen zu reduzieren und die Resilienz der Landwirtschaft zu erhöhen (BLW 2018). Gemessen wird dies u. a. an der Erreichung der Umweltziele Landwirtschaft (BAFU und BLW 2016). Agroforstsysteme können einen Beitrag leisten, um diese Ziele zu erreichen und gleichzeitig die landwirtschaftliche Produktion aufrechtzuerhalten.

Agroforst – das ist die Kombination von Bäumen mit landwirtschaftlichen Unterkulturen. Traditionell waren

agroforstliche Nutzungsformen in der Schweiz weit verbreitet: etwa als Kastanienselven, Waldweiden oder im Feldobstbau (Herzog *et al.* 2018). Dass Bäume auch gezielt mit Ackerkulturen kombiniert werden können und diese Kombination Vorteile erzielt, wurde in der Schweiz vor etwa zehn Jahren wiederentdeckt (Kaeser *et al.* 2011). Experimentierfreudige Landwirte versprachen sich eine effiziente Reduktion der Erosion. Sie schufen moderne Agroforstsysteme mit optimiertem Pflanzdesign, das eine rationelle Bewirtschaftung mit den vorhandenen Maschinen erlaubt und die Konkurrenz durch Schattenwurf auf die Unterkulturen minimiert. Zudem unterstützte das Beratungsprojekt «Agroforst Netzwerk Schweiz» zusammen mit dem von der EU geförderten Forschungsprojekt AGFORWARD (AGroFORestry that Will Advance Rural Development) Praxisbetriebe bei der Umsetzung von Agroforst auf Ackerflächen (siehe Kasten).

Bis heute wurden in der Schweiz etwa 120 ha ackerbau-lich genutzte Fläche zu modernen Agroforstsystemen umgewandelt, und es werden stetig mehr. Das positive Feedback der Schweizer Praktikerinnen und Praktiker zusammen mit den Zielen der Agrarpolitik ab 2022 (AP22+), die Umweltziele Landwirtschaft zu erreichen sowie die Landwirtschaft an den Klimawandel anzupassen, stellte uns vor folgende Fragen:

1. Bei welchen Defiziten der Umweltziele Landwirtschaft und bei welchen Klimaextremen können Agroforstsysteme einen Beitrag zur Verbesserung leisten?
2. In welchen Regionen der Schweiz finden sich diese Umwelt-Defizite und wo treten die Belastungen gehäuft auf?
3. Können Agroforstsysteme im Sinne einer standortgerechten Bewirtschaftung in den Defizitgebieten umgesetzt werden und dort zu einer Verbesserung der Umweltsysteme beitragen?
4. In welchem Umfang können Agroforstsysteme in der Schweiz zum aktiven Klimaschutz beitragen?

Material und Methoden

Basierend auf Literatur- und Expertenwissen haben wir beurteilt, ob und wie Agroforstsysteme zur Erreichung der Umweltziele Landwirtschaft (UZL, auch Teilziele; BAFU und BLW 2016) beitragen können. Für diese Teilziele wurde die Verfügbarkeit digitaler Karten zum Umweltzustand geprüft (Tab. 1). Aus der Literatur wurden Grenzwerte abgeleitet und anschliessend diejenigen Regionen abgegrenzt, in denen die Grenzwerte überschritten sind. Diese sogenannten Defizitgebiete wurden überlagert und gut 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) identifiziert, in denen drei oder mehr Defizite gleichzeitig auftreten. Für diese Regionen wurden passende Agroforstsysteme vorgeschlagen, ihr Potenzial zur Kohlenstoffbindung auf der Basis der Ergebnisse des Schweizer Agroforst-Monitorings (Jäger 2018) abgeschätzt und zu den Klimagasemissionen der direkten landwirtschaftlichen Produktion in Beziehung gesetzt.

Rasterdaten mit einer Auflösung von 10 m × 10 m je Pixel wurden in ArcGIS 10.4 (ESRI 2016) verrechnet und mit R (R 2016), *Leaflet* (Cheng *et al.* 2018) und *Ggplot2* (Wickham *et al.* 2016) ausgewertet.

Resultate

Räumliche Verteilung der Defizitgebiete

Die Betrachtung bezieht sich auf 10441 km² LN, in der die Defizitgebiete mit unterschiedlichen Flächenanteilen (Abb. 1) und räumlicher Verbreitung (Abb. 2) vertreten sind. Beispielsweise finden sich im Mittelland erhöhte Ammoniakkonzentrationen, Erosionsgefährdungen und potenzielle Nitratauswaschungen. Phosphor-Überschüsse treten hingegen vermehrt in der Voralpenregion der Zentral- und Ostschweiz auf. Die Berggebiete und damit die Futterbauregionen sind von steigenden Temperaturen betroffen, während sich die Änderung der Niederschlagsverteilung im westlichen Jura (weniger Niederschläge) und in den Ackerbaugebieten im Norden (mehr Niederschläge) bemerkbar machen. Jeweils sehr kleinräumig begrenzt, dafür aber nahezu homogen über die ganze Schweiz verteilt, sind die Flächen des potenziellen Gewässerraums sowie der Vernetzungskorridore. Die Karten sind online unter www.agroscope.ch/agroforst verfügbar und können je nach Bedarf kombiniert werden. Auf 185911 ha bzw. 17,8 % der LN wird kein Grenzwert der untersuchten Umweltziele überschritten. Diese Aussage beschränkt sich allerdings auf die hier analysierten Ziele. Defizite, für die keine nationalen Karten vorliegen (Erhalt Kulturlandschaft, Bodenfruchtbarkeit etc.), sind

Zusammenfassung

Die Agrarpolitik des Bundes hat unter anderem zum Ziel, Agrarökosystemleistungen bereitzustellen, Umweltbelastungen zu reduzieren und die Resilienz der Landwirtschaft zu erhöhen. Die Kombination von Bäumen mit landwirtschaftlichen Unterkulturen, genannt Agroforst, kann dazu beitragen, diese Ziele zu erreichen, ohne die landwirtschaftliche Produktion wesentlich einzuschränken. Wir haben diejenigen Regionen identifiziert, in denen gemäss den Umweltzielen Landwirtschaft Umweltbelastungen auftreten, und in denen Agroforstsysteme einen Beitrag zur Minderung dieser Belastungen leisten können. Unsere Resultate basieren auf elf nationalen Defizitkarten der Umweltbereiche Biodiversität, Landschaft, Klima, Luft, Wasser und Boden. Demnach finden sich auf 13,3 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) drei oder mehr Defizite gleichzeitig. Würden diese 13,3 % der LN zu Agroforstsystemen wie Baumreihen in Ackerkulturen, Futterbäumen und Schattenspendern für Tiere usw. umgewandelt, so könnten bis zu 13 % der Treibhausgasemissionen des Sektors Landwirtschaft kompensiert werden. Mit Hilfe der vorliegenden Karten und dem grossen Potenzial von Agroforstsystemen lassen sich in Zukunft Massnahmen entwickeln, die auf die lokalen Voraussetzungen und Umweltziele abgestimmt sind.

nicht berücksichtigt. Umgekehrt kumulieren sich auf 13,3 % der LN drei oder mehr Defizite (Abb. 3). Es handelt sich v. a. um Teile der ackerbaulich genutzten Regionen des Mittellandes. Gerade in diesen Regionen können Agroforstsysteme einen Beitrag zum Ressourcenschutz leisten.

Potenziale der Agroforstnutzung

In Regionen, in welchen Defizite kumuliert auftreten beziehungsweise die besonders stark vom Klimawandel betroffen sein werden, könnten agroforstliche Systeme einen Beitrag zur Lösung der Umweltprobleme leisten und gleichzeitig helfen, die landwirtschaftliche Produktion auch unter veränderten klimatischen Bedingungen aufrecht zu erhalten. In der Folge werden Ackerbau- und Tierhaltungs-Agroforstsysteme vorgestellt. Es handelt sich dabei um generalisierte Beschreibungen von Agro-

Agroforst-Netzwerk-Schweiz

Das Beratungsprojekt «Agroforst Netzwerk Schweiz» begleitete Praxisbetriebe zwischen 2014 und 2018 bei der Umsetzung von Agroforst auf Ackerflächen und vernetzte die Akteure aus Praxis, Beratung und Forschung. Gefördert wurde das Projekt vom Bundesamt für Landwirtschaft und privaten Stiftungen. Ziel war es, Agroforst zur Praxisreife zu bringen, die Erfahrungen zu dokumentieren und Produktivität, Wirtschaftlichkeit, Managementstrategien, Umweltfaktoren und Wahrnehmung durch die Bewirtschaftenden zu untersuchen.

Grob können vier Typen von modernen Agroforstsystemen auf Ackerland unterschieden werden:

1. **System Frucht intensiv:** Ackerparzellen mit Bäumen zur Fruchtnutzung (Obst zur Verarbeitung, Tafelobst zur Direktvermarktung). In der Regel Biobetriebe.
2. **System Frucht extensiv:** Ackerparzellen mit Obstbäumen zur extensiven Nutzung (Mostobst, Brennobst).
3. **System Holz/Frucht:** Ackerparzellen mit Bäumen zur Doppelnutzung Frucht und Holz (v. a. Nussbäume, zum Teil aber auch Birn- und Kirschbäume).
4. **System Wertholz:** Ackerparzellen mit Bäumen zur reinen Wertholznutzung (v. a. Wildobst-, zum Teil auch Edellaubbaumarten oder Obstbäume zur Holznutzung).

Der Grossteil der ca. 120 Hektaren Schweizer Agroforstsysteme wird nach den Systemen **Frucht extensiv** und **Holz/Frucht** bewirtschaftet. Diese Systeme werden im

Rahmen der Direktzahlungen durch Biodiversitätsbeiträge für Hochstamm-Feldobstgärten gefördert. Doch auch umweltrelevante Faktoren (v. a. Schutz vor Wind- und Bodenerosion) sind ein Grund, weshalb sich Landwirte für diese Nutzungsform entscheiden. Die ersten Ergebnisse sowie die abgeleiteten Zuwachsmodelle bekräftigen die Vorteile in den Bereichen Biodiversität sowie Erosionsschutz und zeigen, dass eine Hektare mit 50 Bäumen je nach Wüchsigkeit des Standorts um die 1,2t Kohlenstoff pro Jahr speichern kann.

Bewirtschaftende wurden befragt, wie sie die Umweltleistungen ihres Agroforstsystems wahrnehmen. Bezüglich Regulations- und Habitatfunktionen schätzten sie den Effekt von Agroforst durchweg positiv ein. Als zusätzliche Leistungen nannten sie:

- die Freude am Baum
- die Freude an der Bewirtschaftung
- die Freude an Strukturen und mehr Biodiversität
- den Vorteil der Diversifizierung der Produktionsfläche (höhere Wertschöpfung)
- die optimale Kombination von Ökologie und Ökonomie
- dass bleibende Werte auf dem Acker geschaffen werden, wo sonst nur einjährige Kulturen stehen
- die Motivation für sensibilisierte Kunden bei regionaler Vermarktung

Weitere Infos:

www.agroforst.ch; www.agroscope.ch/agroforst

forstsystemen, die von Landwirtinnen und Landwirten in der Schweiz angelegt wurden (www.agroforst.ch, siehe Infobox), sowie um Erfahrungen aus den europäischen Nachbarländern (www.agforward.eu).

Silvoarable Systeme (Agroforst mit Ackerbau)

Gebiete mit Defiziten in den Umweltbereichen Klima und Luft, Wasser und Boden sind oft intensiv ackerbauartig genutzt. Mit Baumreihen (ca. 50 Bäume pro Hektare) können Umweltdefizite reduziert werden. Während in den bisher angelegten Systemen kaum eine Ertragsreduktion der Ackerkulturen festgestellt wurde, werden mit zunehmendem Baumwachstum Winterfrüchte besser geeignet sein als Sommerkulturen, da die Beschattung während der Zeit ohne Laub reduziert ist. Zum ge-

zielten Einsatz gegen Erosion sollte der Baumstreifen quer zum Hang angelegt werden. Extensive Baumarten, die mit minimalem Aufwand und geringer Pflege bewirtschaftet werden können, bieten sich hier an. Bei akuten Umweltproblemen gewähren schnellwachsende Baumarten (z. B. Pappeln, Weiden, Vogelkirschen) rasche Abhilfe, bei hohen Grundwasserständen bzw. bei Überflutungsgefahr sind insbesondere Erle und Weide vorteilhaft.

In Regionen mit Defiziten in den Bereichen Biodiversität, Gewässerraum und Landschaft spielt die Vielfalt der Anbaukulturen und Baumarten eine grosse Rolle. Baum- und Strauchstrukturen, die Nist- und Überwinterungsmöglichkeiten für Insekten bieten, sowie blühende Arten (z. B. Obstbäume, Linden, Hecken), die das Res-

sourcenangebot im Ackerland auch saisonal erweitern und die ackerbauliche Nutzung möglichst wenig konkurrieren, sind zu favorisieren. Totholz und ein permanenter Unterwuchs im Baumstreifen sind wünschenswert. Die Bewirtschaftung von Gewässerräumen hat meist sehr extensiv zu erfolgen, obwohl diese oft gute Voraussetzungen für eine ackerbauliche Nutzung bieten. Agroforstsysteme mit staunässe-resilienten Baumarten könnten hier weiterhelfen. In Landschaftsqualitätsprojekten spielen Bäume in der Agrarlandschaft eine wichtige Rolle, da sie von der Bevölkerung als ästhetisch sehr wertvoll empfunden werden (Junge *et al.* 2011).

Silvopastorale Systeme (Agroforst mit Tierhaltung)

Wiesen und Weiden kommen vorrangig in Regionen vor, die stark vom Klimawandel betroffen sein werden und in denen die Bewirtschaftung entsprechend angepasst werden muss. In diesen Regionen bieten Bäume mit viel Blattmasse Schatten für Tiere und reduzieren die Verdunstung. Sogenannte Laubfutterhecken können zudem die Versorgung von Weidetieren mit mineralstoffhaltigem Laubfutter auch in trockenen Sommern ergänzen. Zum Einsatz kommen trockenheitsresiliente Baumarten wie Maulbeere, Vogelkirsche oder auch Eiche. Die traditionellen Agroforstsysteme wie der Hochstammfeldobstbau, die Wytweiden und die Kastaninenselven sind wichtige Elemente der Kulturlandschaft. Als aktive Kohlenstoffsenken werden Agroforstsysteme auch in Zukunft immer bedeutender. Würden im Prioritätsgebiet (13,3 % der LN) 50 Bäume per Hektare

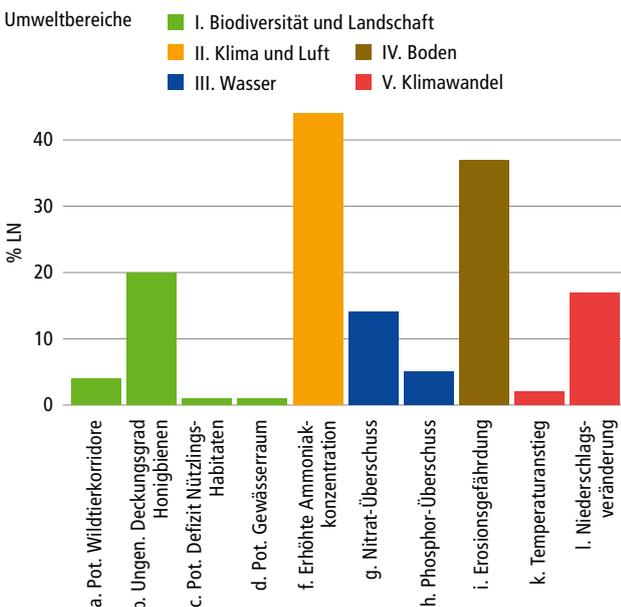


Abb. 1 | Prozentualer Anteil der Umweltdefizite an der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz.

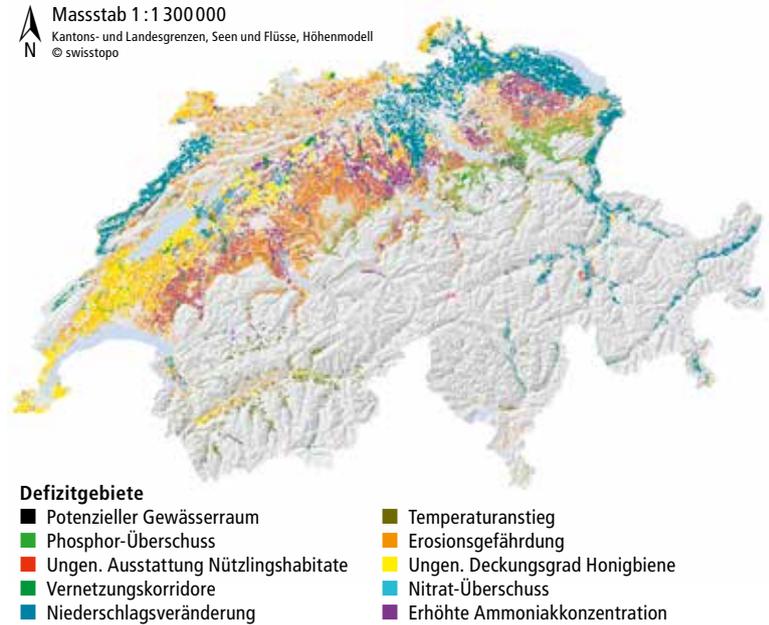


Abb. 2 | Übersicht der Defizite auf Landesebene. Treten mehrere Defizite kumuliert auf, ist jeweils nur eines sichtbar (Sichtbarkeit in der Reihenfolge der Legende). Interaktive Karten: www.agroscope.ch/agroforst

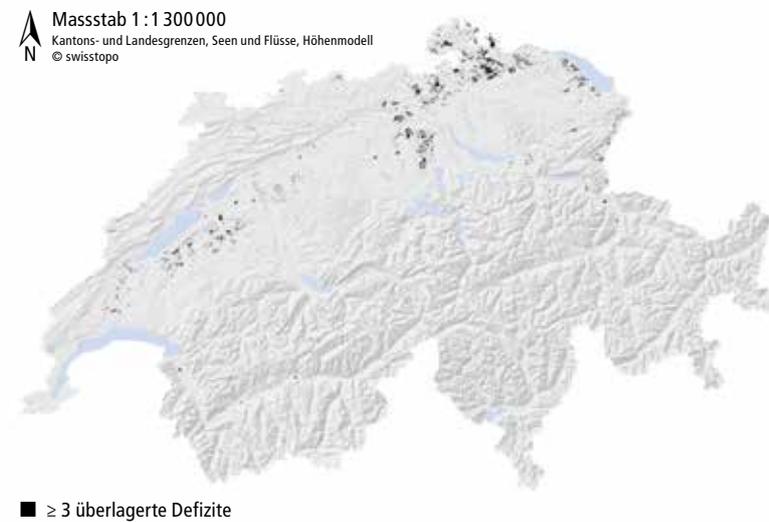


Abb. 3 | Regionen, in denen drei oder mehr Defizite der untersuchten Umweltziele Landwirtschaft auf derselben Fläche kumuliert auftreten, und/oder die vom Klimawandel besonders stark betroffen sein werden.

gepflanzt, könnte die Baum-Biomasse jährlich bis 1,6t Kohlenstoff per Hektare und damit bis zu 0,8 Mio. t CO₂-Äquivalente speichern. Dies entspricht bis zu 13% der Treibhausgas-Emissionen der direkten landwirtschaftlichen Produktion (BAFU 2019a) und könnte die Kohlenstoffbilanz der Bodennutzung in der Schweiz 2017, d.h. die Menge des in Boden und Vegetation gebundenen Kohlenstoffs, um 50% von -1,59 Mio. t CO_{2eq} auf -2,42 Mio. t CO_{2eq} verbessern (BAFU 2019b).

Tab. 1 | Überblick über die Teilziele der Umweltziele Landwirtschaft (UZL), die gemäss Statusbericht 2016 (BAFU und BLW 2016) nicht erreicht wurden, die Eignung

Umweltbereich	Teilbereich/Teilziel	Kategorie «Ziel wird voraussichtlich nicht erreicht»
UZL Biodiversität und Landschaft	Arten und Lebensräume	Regional deutliche Flächendefizite, insbesondere bei den Pufferzonen um Naturschutzgebiete
		Die Mehrzahl der Biodiversitätsförderflächen weist noch nicht die erforderliche ökologische Qualität auf oder wurde nicht am geeigneten Standort angelegt
		Defizite bestehen auch bei der Vernetzung und Durchlässigkeit
	Genetische Vielfalt	Für viele einheimische wildlebende Verwandte von Kulturpflanzen (CWR) und wildlebende Arten ist das Ziel nicht erreicht
	Ökosystemleistungen	Die Landwirtschaft hat nach wie vor zahlreiche negative Auswirkungen auf naturnahe Ökosysteme und deren Qualität, so dass deren Leistungen eingeschränkt sind
	Offenhaltung durch angepasste Bewirtschaftung	Es gehen weiterhin Landwirtschaftsflächen verloren
	Vielfalt der Kulturlandschaft	Zersiedelung, Zerschneidung und Versiegelung nehmen weiterhin zu
UZL Klima und Luft	Treibhausgasemissionen	Rund 0,6% Einsparung pro Jahr
	Stickstoffhaltige Luftschadstoffe	Max. 25 000 t Stickstoff pro Jahr
	Dieseleruss	Max. 20 t Dieseleruss pro Jahr
UZL Wasser	Nitratbelastung	Max. 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern zur Trinkwassernutzung –50% Stickstoffeintrag in die Gewässer im Vergleich zu 1985
	Phosphorbelastung	> 4 mg Sauerstoff pro Liter Seewasser
	Pflanzenschutzmittel (PSM)	Beeinträchtigungen bei Gewässern und Landlebensräumen vorhanden
		> 0,1 µg/l PSM in Oberflächengewässern Umweltrisiko durch PSM kann noch weiter gesenkt werden
	Tierarzneimittel	Im Boden, in kleinen Fliessgewässern und für die Biodiversität können in einzelnen Situationen Beeinträchtigungen vorkommen
UZL Boden	Schadstoffe im Boden	An einzelnen Standorten werden Kupfer und Zink akkumuliert
	Bodenerosion	Richtwertüberschreitungen für Erosion > 2 bzw. 4 t/ha Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit Beeinträchtigung der Gewässer durch abgeschwemmtes Material
	Bodenverdichtung	Fehlende Angaben
Klimawandel	Hitzestress	
	Trockenheit Starkniederschläge	

Diskussion

Die Defizitanalyse beschränkt sich auf elf Umweltziele, für die Kartenmaterial schweizweit verfügbar war. Die Liste ist nicht abschliessend, so fehlen beispielsweise Informationen zu Bodeneigenschaften, Landschaft und Biodiversität. Auch wurden die Kriterien zur Auswahl der Defizitgebiete schweizweit einheitlich angewendet und tragen einer regional höheren Bedeutung eines einzelnen Umweltziels nicht Rechnung, z. B. in Regionen, die gemäss Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes saniert werden. Darüber hinaus wurden die Karten auf 10m × 10m Pixel vereinheitlicht. Damit wird die Fläche von 100m² mit nur einem Ergebnis hinterlegt, obwohl

im Gelände kleinräumigere Unterschiede in der Bewirtschaftung, der Hangneigung oder von Bodeneigenschaften vorhanden sein können. Das ist eine typische Limitation von Studien auf dieser oder auf noch höherer Skala (Malek und Verbürg 2017). Trotzdem können die Karten helfen, Schwerpunktregionen für bestimmte Ressourcenprobleme zu identifizieren und gezielte Massnahmen vorzuschlagen. Auch bieten sie die Möglichkeit, in Zukunft potenzielle Landnutzungskonflikte zwischen Agroforstsystemen und z. B. dem Natur- und Vogelschutz zu berücksichtigen.

Von Agroforst, um die Zielerreichung zu verbessern, und das Vorhandensein räumlicher Information sowie Kriterien zur Abgrenzung der Defizitgebiete.

Verbesserung durch Agroforst möglich?	Kartenmaterial vorhanden?	Kriterien zur Abgrenzung der Defizitgebiete
Teilweise		
Nur für Hochstammfelddobstbau, Wytweiden, Hecken-Biodiversitätsförderflächen		
Erweiterung bzw. Aufwertung der Vernetzungskorridore (Lecq <i>et al.</i> 2017)	Vernetzungskorridore (BAFU 2013)	Gesamtes Vernetzungsgebiet (Korridore 10 m)
Nur bedingt		
U. a. Schaffung neuer Habitats für Bestäuber und Nützlinge / Nährstoff- und Bodenrückhalt (Kay <i>et al.</i> 2018)	Bestäuberpotenzial (Sutter <i>et al.</i> 2017) Nützlingspotenzial (Rega <i>et al.</i> 2018)	< 2 Völker ha ⁻¹ bestäubungsabhängige Kultur Sehr niedriges und niedriges Potenzial
Nein		
Nein		
U. a. traditionelle Systeme (Hochstammfelddobstbau, Wytweiden, Kastanienselven)		
Aufwertung des Gewässerraumes (McIvor <i>et al.</i> 2014)	Potenzieller Gewässerraum (eigene Berechnungen)	11 m Mindestbreite
Kohlenstoffsенke bzw. -speicher (Kay <i>et al.</i> 2019)		
Ammoniaksenke im Umkreis von Ammoniakquellen (Patterson <i>et al.</i> 2008)	Erhöhte Ammoniakkonzentrationen (Rhim and Achermann 2016)	> 3 µg m ⁻³ (in besonderen Biotopen für Pflanzen 2–4 µg m ⁻³ ; Moose 1 µg m ⁻³)
Nein		
Reduktion der Nitratauswaschung (Wolz <i>et al.</i> 2018; Manevski <i>et al.</i> 2019)	Stickstoff-Überschüsse (Prasuhn <i>et al.</i> 2016)	> 40 mg N l ⁻¹
Reduktion Phosphoraustrag (Schoumans <i>et al.</i> 2014)	Phosphor-Überschüsse (Prasuhn <i>et al.</i> 2016)	> 1 kg P ha ⁻¹ a ⁻¹
Nein		
Im Zusammenhang mit Ausscheidung und Aufwertung des Gewässerraums	Potenzieller Gewässerraum (eigene Berechnungen)	11 m Mindestbreite
Nein		
Nein		
Nein		
Erhöhung der Bodenstabilität (Murphy 2015)	Erosionsgefährdung (Bircher <i>et al.</i> 2018)	> 4 t Bodenverlust ha ⁻¹ a ⁻¹
Erhöhung des Bodenkohlenstoffs (Seitz <i>et al.</i> 2017)		
Reduktion des Bodenabtrags (McIvor <i>et al.</i> 2014)	Erosionsgefährdung (Bircher <i>et al.</i> 2018)	> 4 t Bodenverlust ha ⁻¹ a ⁻¹
Nein		
Mikroklimatische Verbesserung u. a. als Schattenspende, Verdunstungsreduktion, Erhöhung Wasserhaltekapazität (Alam <i>et al.</i> 2014; Sánchez und McCollin 2015)	Temperaturanstieg (CH2011 2011) Niederschlagsveränderungen (CH2011 2011)	Extreme: oberstes Quantil (= 1/5 der Werte) Extreme: niedrigste und höchste Werte (= 1/5 der Werte)

In intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten kann die Integration von produktiven Bäumen auf vergleichsweise kleinen Flächen helfen, die Ressourcen effizienter zu nutzen, die Gesamtproduktivität sogar zu steigern und gleichzeitig Umweltbelastungen zu reduzieren (Sereke *et al.* 2015). Neben einer verbesserten Bodenwasser-Haltekapazität tritt bereits nach wenigen Jahren eine Steigerung des Bodenhumusgehaltes auf (Cardinal *et al.* 2017; Seitz *et al.* 2017). Nitrat- und Phosphorverluste ins Grundwasser verringern sich (Wolz *et al.* 2018; Manevski *et al.* 2019). Deshalb unterstützt z. B. die Agence de l'eau Loire-Bretagne (F) Heckenpflanzungen (*bocage*) als eine Massnahme zur Reinhaltung des Trinkwassers.

Auch zur Luftreinhaltung leisten Agroforstsysteme einen Beitrag. So wiesen Patterson *et al.* (2008) und Bealey *et al.* (2014) im Umkreis von Hühnerställen eine Ammonium-Aufnahme bis zu 27 % durch Bäume nach. Agroforst erhöht zudem die Resilienz gegen die Auswirkungen des Klimawandels: Agroforst-Praktiker aus Ungarn, Frankreich und Spanien berichten, dass der Getreideanbau in heissen, trockenen Sommern weniger unter dem Problem der Notreife leidet, und dass Weidetiere unter den Bäumen Schatten sowie zusätzliches Futter in Form der Blätter finden (García de Jalón *et al.* 2018). In der Schweiz werden Agroforstsysteme aufgrund ihrer Fähigkeit, langfristig Kohlenstoff zu speichern, u. a.

durch das Coop-Förderprogramm Agroforstwirtschaft unterstützt. Die Anlage von Agroforstsystemen ist eines der wirksamsten Instrumente zur Kohlenstoffspeicherung, das der Landwirtschaft zur Verfügung steht. Für ganz Europa haben Kay *et al.* (2019) berechnet, dass durch die Anlage von Agroforstsystemen auf weniger als 10 % der Landwirtschaftsfläche der EU sogar bis zu 40 % der Treibhausgasemissionen des Agrarsektors kompensiert werden könnten. Dieser Wert ist höher als in der Schweiz, da in gewissen Regionen ein Schwerpunkt auf schnellwachsende Energiehölzer gelegt wird und im Mittelmeerraum generell günstigere Wuchsbedingungen im Vergleich zur Schweiz herrschen.

Auch wenn die Palette der Möglichkeiten gross ist, Agroforstsysteme sind nicht per se an jedem Standort ohne Einschränkung zu empfehlen. Ihrer Etablierung sind ökologische und ökonomische Grenzen gesetzt. Sind die Böden nicht ausreichend tiefgründig, führt dies zu Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe. Auch können divergierende Landnutzungsinteressen in Bereichen

des Natur- und Gewässerschutzes die Agroforstnutzung ausschliessen. Entscheidend ist die Identifikation der Bewirtschaftenden mit dieser Art der Landnutzung (Sereke *et al.* 2016). Agroforstsysteme eignen sich nur für Landwirte, die effektiv mit Bäumen arbeiten wollen. Die konkrete Ausgestaltung des Systems muss auf die strategische Ausrichtung des Betriebes abgestimmt sein.

Schlussfolgerung und Ausblick

Im Rahmen der AP22+ ist vorgesehen, in regionalen landwirtschaftlichen Strategien die räumlichen Ziele der Vernetzung, der Landschaftsqualität und des Ressourcenschutzes zusammenzufügen. Dies eröffnet Spielräume, um in grösseren Zusammenhängen regionsspezifische Lösungen zu entwickeln. Die vorliegenden Karten können als Ausgangslage für die weiteren Diskussionen dienen und helfen, die Massnahmen so zu priorisieren, dass sie die lokalen Defizite adressieren. Agroforstsysteme können hier einen wesentlichen Beitrag leisten. ■

Literatur

- Alam M., Olivier A., Paquette A. *et al.*, 2014. A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agrofor Syst* **88**, 679–691.
- BAFU, 2013. Vernetzungssystem Wildtiere. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Zugang: <http://www.bafu.admin.ch/wildtierpassagen> [1.7.19].
- BAFU, 2019a. Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020). Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- BAFU, 2019b. Indikator Klima: Kohlenstoffbilanz der Landnutzung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Zugang: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/klima--indikatoren/indikator-klima.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWRtaW4uY2gvUHVibG/ljL0FibURldGFpbD9pbmQ9S0wwMzcmcbG5nPWRIJIN1Ymo9Tg%3D%3D.html> [1.7.19].
- BAFU & BLW, 2016. Umweltziele Landwirtschaft – Statusbericht 2016. Umwelt-Wissen 144. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Bealey W.J., Loubet B., Braban C.F. *et al.*, 2014. Modelling agro-forestry scenarios for ammonia abatement in the landscape. *Environ Res Lett* **9**, 125001.
- Bircher P., Liniger H. & Prasuhn V., 2018. Aktualisierung und Optimierung der Erosionsrisikokarte (ERK2). Die neue ERK2 (2018). Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern.
- BLW, 2018. Vernehmlassung zur Agrarpolitik ab 2022 (AP22+), Erläuternder Bericht. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern.
- Cardinael R., Chevallier T., Cambou A. *et al.*, 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agric Ecosyst Environ* **236**, 243–255.
- CH2011, 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Zugang: <https://www.ch2011.ch/> [1.7.19].
- Cheng J., Karambelkar B, Xie Y, Wickham H, 2018. Create Interactive Web Maps with the JavaScript «Leaflet». Zugang: <http://rstudio.github.io/leaflet/> [1.7.19].
- Der Bundesrat, 2016. Natürliche Lebensgrundlagen und ressourceneffiziente Produktion. Aktualisierung der Ziele. Bericht in Erfüllung des Postulats 13.4284, Bertschy, vom 13. Dezember 2016.
- ESRI, 2016. ArcGIS Desktop: Release 10.4. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- García de Jalón S., Burgess P.J., Graves A. *et al.*, 2018. How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agrofor Syst* **92**, 829–848.
- Herzog F, Szerencsits E, Kay S *et al.*, 2018. Agroforestry in Switzerland-a non-CAP European country. In: 4th EURAF Conference. pp 74–77.
- Junge X., Lindemann-Matthies P., Hunziker M., Schüpbach B., 2011. Aesthetic preferences of non-farmers and farmers for different land-use types and proportions of ecological compensation areas in the Swiss lowlands. *Biol Conserv* **144**, 1430–1440.
- Kaeser A., Sereke F., Dux D., Herzog F., 2011. Agroforstwirtschaft in der Schweiz. *Agrar Schweiz* **2**, 128–133.
- Kay S., Crous-Duran J., García de Jalón S. *et al.*, 2018. Spatial similarities between European agroforestry systems and ecosystem services at the landscape scale. *Agrofor Syst* **92**, 1075–1089.
- Kay S., Rega C, Moreno G *et al.*, 2019. Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land use policy* **83**: 581–593.
- Lecq S., Loisel A., Brischoux F. *et al.*, 2017. Importance of ground refuges for the biodiversity in agricultural hedgerows. *Ecol Indic* **72**, 615–626.
- Malek Ž. & Verburg P., 2017. Mediterranean land systems: Representing diversity and intensity of complex land systems in a dynamic region. *Landsc Urban Plan* **165**, 102–116.
- Manevski K., Jakobsen M., Kongsted A.G. *et al.*, 2019. Effect of poplar trees on nitrogen and water balance in outdoor pig production – A case study in Denmark. *Sci Total Environ* **646**, 1448–1458.

Riassunto**Protezione delle risorse tramite sistemi di agroselvicoltura – soluzioni adeguate alle condizioni locali**

Fra gli obiettivi della politica agricola della Confederazione rientrano la messa a disposizione di servizi per ecosistemi agricoli, la riduzione dell'inquinamento ambientale e l'incremento della resilienza dell'agricoltura. La combinazione di alberi e colture agricole, detta agroselvicoltura, può contribuire a raggiungere questi obiettivi senza limitare considerevolmente la produzione agricola. Abbiamo identificato le regioni nelle quali, secondo gli obiettivi ambientali per l'agricoltura, vi è inquinamento ambientale e i sistemi di agroselvicoltura potrebbero contribuire a ridurre tale inquinamento. I risultati si basano su 11 carte nazionali dei deficit nei settori ambientali biodiversità, paesaggio, clima, aria, acqua e suolo. Il 13,3% delle superfici agricole utili presenta contemporaneamente tre o più deficit. Se questa percentuale delle superfici agricole utili fosse convertita in sistemi di agroselvicoltura, come ad esempio filari di alberi nelle colture campicole, alberi da foraggio e zone d'ombra per gli animali, si potrebbe compensare fino al 13% delle emissioni di gas serra del settore agricolo. Servendosi delle carte disponibili e del grande potenziale offerto dai sistemi di agroselvicoltura, in futuro si potranno sviluppare misure adeguate alle condizioni e agli obiettivi ambientali locali.

Summary**Protecting resources with agroforestry systems: regionally adapted solutions**

The Swiss Federal Government's agricultural policy aims inter alia to provide agricultural ecosystem services, reduce environmental impacts, and increase the resilience of the agricultural sector. Combining the cultivation of trees with crops or grass – termed «agroforestry» – can contribute to achieving these goals without substantially limiting agricultural production. We identified the regions where environmental pressures (as defined by the Agricultural Environmental Objectives) occur, and where agroforestry systems can contribute to reducing these impacts. Our results are based on eleven national deficit maps for the environmental sectors of biodiversity, landscape, climate, air, water and soil, according to which three or more deficits occur simultaneously on 13.3% of the utilised agricultural area (UAA). Converting these 13.3% of UAA into agroforestry systems such as e.g. rows of trees in arable fields, short rotation trees and shade trees for animals, could offset up to 13% of the agricultural sector's greenhouse-gas emissions. The use of these maps and the major potential offered by agroforestry systems will enable to develop strategies geared to local conditions and to environmental targets.

Key words: resources protection, agroforestry, regional planning, greenhouse gas compensation.

- McIvor I., Youjun H., Daoping L. *et al.*, 2014. Agroforestry: Conservation trees and erosion prevention. *Encycl Agric Food Syst* 1, 208–221.
- Murphy B.W., 2015. Impact of soil organic matter on soil properties. A review with emphasis on Australian soils. *Soil Res* 53, 605–635.
- Patterson P.H., Adirzal, Hulet R.M. *et al.*, 2008. The potential for plants to trap emissions from farms with laying hens: 2. Ammonia and dust. *J Appl Poultr Res* 17, 398–411.
- Prasuhn V., Spiess E., Kupferschmid P. *et al.*, 2016. Szenario-Berechnungen für das Projekt zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS. Agroscope, Zürich.
- R Development Core Team, 2016. R Software. R: A language and environment for statistical computing.
- Rega C., Bartual A.M., Bocci G. *et al.*, 2018. A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecol Indic* 90, 653–664. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.03.075
- Rhim B. & Achermann B., 2016. Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). *Environ Stud* 1642, 78.
- Sánchez I.A. & McCollin D., 2015. A comparison of microclimate and environmental modification produced by hedgerows and dehesa in the Mediterranean region: A study in the Guadarrama region, Spain. *Landsc Urban Plan* 143, 230–237.
- Schoumans O.F., Chardon WJ, Bechmann ME *et al.*, 2014. Mitigation options to reduce phosphorus losses from the agricultural sector and improve surface water quality: A review. *Sci Total Environ* 468–469, 1255–1266.
- Seitz B., Carrand E., Burgos S. *et al.*, 2017. Erhöhte Humusvorräte in einem siebenjährigen Agroforstsystem in der Zentralschweiz. *Agrar Schweiz* 8, 318–323.
- Sereke F., Dobricki M., Wilkes J. *et al.*, 2016. Swiss farmers don't adopt agroforestry because they fear for their reputation. *Agrofor Syst* 90, 385–394.
- Sutter L., Herzog F., Dietemann V. *et al.*, 2017. Nachfrage, Angebot und Wert der Insektenbestäubung in der Schweizer Landwirtschaft. *Agrar Schweiz* 8, 332–339.
- Wickham H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
- Wolz K.J., Branham BE, DeLucia E.H., 2018. Reduced nitrogen losses after conversion of row crop agriculture to alley cropping with mixed fruit and nut trees. *Agric Ecosyst Environ.* 258, 172–181.