Berichte über Landwirtschaft
Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

Moderne Agroforstsysteme in der Schweiz

Partizipative Entwicklung und künftige Herausforderungen

Sonja Kay, Mareike Jäger, Felix Herzog

1. Einleitung

(Süß)Most, Kirsch, Bündner Nusstorte oder Vermicelle: kulinarisches Erbe der Schweiz, die traditionell von Agroforstsystemen – den Waldweiden, dem Hochstamm-Obstbau, den Kastanienselven – bereitgestellt werden. Diese Systeme kombinieren Baum- oder Gehölzstrukturen mit Landwirtschaft; dem Ackerbau, der Viehhaltung, dem Gemüse- und Obstbau (FAO, 2015). Die Produkte präg(t)en die regionale Kultur; diese Form der Landwirtschaft das Landschaftsbild. Als wirtschaftlich wenig lukrativ, fielen die Produkte und damit auch die Landschafts-Bäume in den letzten Jahrzehnten immer mehr und mehr sowohl der Mechanisierung als auch dem Verfall zum Opfer. Ein Stigma des Antiquierten und Unrentablen haftet Agroforstsystemen an. Dafür wurde ihre Bedeutung für das Landschaftsbild und für die Biodiversität erkannt und sie werden in der Schweiz sein mehr als 20 Jahren mit sogenannten Biodiversitätsbeiträgen gefördert. Neuerdings spielen sie auch in Projekten zur regionalen Entwicklung wieder eine zunehmend wichtigere Rolle.

Parallel dazu stoßen auch «moderne» Agroforstsysteme zunehmend auf Interesse. Diese sind ihrerseits abgestimmt auf Mechanisierung, Klimawandel und Markttrends. Diese Form der nachhaltigen Bewirtschaftung bei gleichzeitiger Sicherung der Produktion stößt auf immer breite Akzeptanz in Politik, Verwaltung und Praxis. Dies u.a. da Studien von (Torralba et al., 2016), (Alam et al., 2014) und (Hart et al., 2017) zeigten, dass sich Agroforstsysteme positiv auf den Bodenschutz (Reduktion der Erosion, Vitalisierung des Bodenlebens), den Wasserschutz (höhere Nährstoffeffizienz, Reduktion der Nährstoffverluste, Wasserrückhalt sowie Bewässerungsbedarfs), die Biodiversität (Erhöhung Habitatdiversität) und den Klimaschutz (Kohlenstoffspeicherung) auswirken.

Zusätzlich zu den rund 1.200 km^2 (= 8 % der LN) traditioneller Agroforstsysteme (Herzog et al., 2018), gab es bis vor etwa einer Dekade lediglich vereinzelt moderne silvoarable Systeme im Ackerbau. Dank Engagement, guter Beratung und staatlicher Förderung für Biodiversität, Landschafts- und Ressourcenschutz sowie privater Klimaschutz-Förderung wird wohl bereits in diesem Jahr die 250 ha Marke geknackt. Zudem konnte sich mit der Gründung der Interessengemeinschaft Agroforst (IG Agroforst) sowie der Plateforme Agroforesterie Romande auch ein reger Praxis-Austausch zwischen den rund 300 Mitglieder etablieren.

1.1 Partizipative Entwicklung: Forschung und Umsetzung von Agroforstsystemen in der Schweiz

Seit März 2011 besteht die IG Agroforst Schweiz (www.agroforst.ch, vgl. Abbildung 1), die den fachlichen Austausch zwischen Akteuren aus Praxis, Beratung und Forschung fördert. Das Pendant für die Westschweiz ist die Plateforme Agroforesterie Romande (www.agroforesterie.ch). Die Leitung beider Netzwerke übernimmt AGRIDEA, der landwirtschaftlichen Beratungszentrale der kantonalen Fachstellen. Die fachliche Begleitung erfolgt in Zusammenarbeit zwischen AGRIDEA, Agroscope und der Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaft (ZHAW).

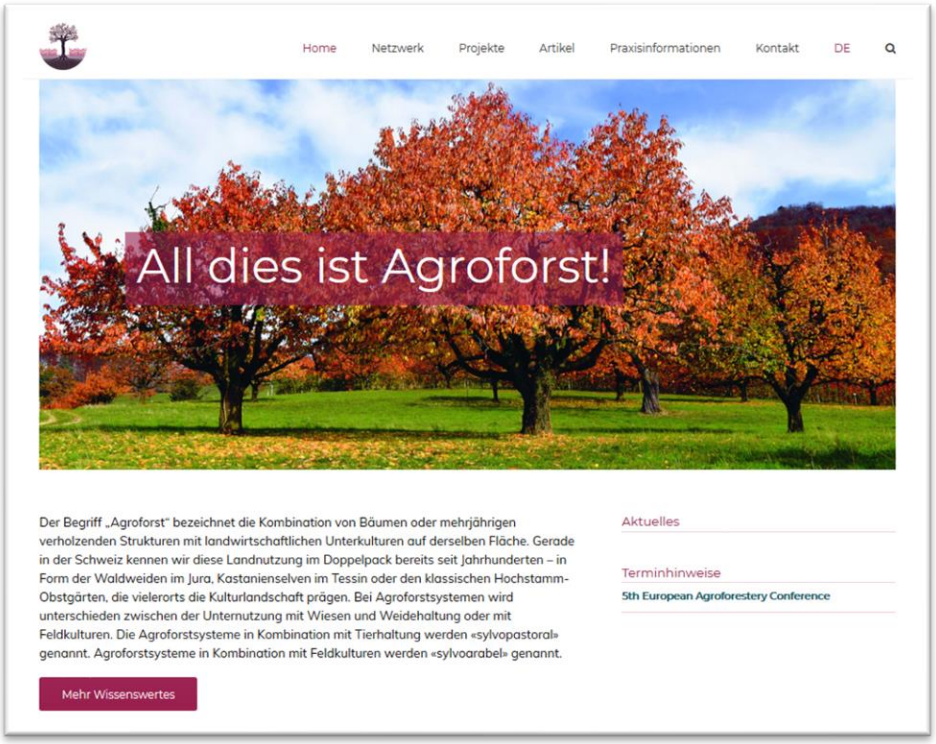

Abbildung 1: Homepage der IG Agroforst Schweiz (www.agroforst.ch), Plateforme Agroforesterie Romande (www.agroforesterie.ch)

Das Trio blickt auf eine 15-jährige Geschichte «Moderner Agroforstwirtschaft in der Schweiz» zurück. Nach anfänglichen Tastversuchen mit einigen wenigen Agroforst-Pionieren, konnten – durch nationale und europäische Förderung unterstützt – erste Erfahrungen gesammelt, ein begleitendes Monitoring etabliert und fundiertes Expertenwissen einschließlich Politikberatung ausgebaut werden. Standen zu Beginn häufig Fragen des Designs und der Ertragsoptimierung (Sereke et al., 2015) im Vordergrund der Forschung, verlagerte sich der Blick in den Folgejahren auf bereitgestellte Umweltleistungen und die Auswirkungen auf Problemfelder der modernen Landnutzung (Kay et al., 2018). In der Diskussion um den Klimawandel gewinnen zudem Fragen zu resilienten Agrarsystemen und zur Kohlenstoffspeicherung an Bedeutung (Kay et al., 2019b).

Die etablierten Systeme und deren Pflanzdesign orientiert sich derzeit weitgehend an den Grenzen und Möglichkeiten der nationalen Agrarförderung und deren Fokus auf Biodiversitätsbeiträge für Hochstamm-Feldobst (= Streuobst). Dementsprechend wurden in der Schweiz grob vier Kategorien moderner Agroforstsysteme etabliert:

1. Ackerparzellen mit Hochstamm-Bäumen zur Fruchtnutzung (Mostobst, Brennobst, Tafelobst für die Direktvermarktung – mehrheitlich Biobetriebe),
2. Ackerparzellen mit Obstbäumen zur extensiven Nutzung (Mostobst),
3. Ackerparzellen mit Bäumen zur Doppelnutzung Frucht und Holz (v.a. Nussbäume, zum Teil aber auch Birn- und Kirschbäume),
4. Ackerparzellen mit Bäumen zur Wertholznutzung (v.a. Wildobstarten, zum Teil auch Edellaubbaumarten oder Obstbäume zur Holznutzung).

Ein Schwerpunkt lag bisher auf silvoarablen Systemen, der Kombination von Ackerland und – als Schweizer Besonderheit – Hochstamm-Einzelbäumen (vgl. Abbildung 2). Schnellwachsende Systeme zur Energieholznutzung (KUP), wie sie beispielsweise in Deutschland sehr verbreitet sind, finden sich in der Schweiz nicht. Die traditionell weitverbreitenden silvopastoralen Systeme, die Tierhaltung mit Gehölzen kombinieren, stoßen in moderner Variante als sogenannte Laubfutterhecken in der Praxis auf vermehrtes Interesse. Dies ist auch auf Probleme mit zunehmender Trockenheit im Futterbaugebiet und auf fehlende Schattenelemente auf Weideflächen zurückzuführen.

Abbildung 2: Agroforstsystem zur extensiven Fruchtnutzung mit Apfelbäumen und Getreide und Beeren (links) sowie Agroforstsystem zur Holznutzung mit Nussbäumen und Ackerbau (rechts)

Im Rahmen der begleitenden Forschung konnten u.a. i) Messreihen zum Zuwachs erhoben, ii) Modelle zu Umweltleistungen entwickelt, iii) Befragungen bei BewirtschafterInnen sowie iv) Befragungen von AnwohnerInnen nach ihrer subjektiven Wahrnehmung von Umweltleistungen durchgeführt werden.

i) Die ersten Ergebnisse der Zuwachserhebung in vier Parzellen sowie die abgeleiteten Zuwachsmodelle zeigen, dass 50 Hochstamm-Obstbäumen pro Hektar (je nach Wüchsigkeit des Standorts) in 40 Jahren etwa 3,2 t Biomasse pro Jahr erzeugen bzw. bis zu 1,6 t Kohlenstoff pro Jahr in Stamm und Wurzeln speichern (Jäger, 2018).

ii) Für die Untersuchung der Umweltleistungen wurde ein Versuchsdesign auf Landschaftsebene gewählt, da viele Leistungen auf Feldebene nur schwer bzw. gar nicht erfasst werden können. Daher wurden je vier Landschafts-Test-Quadrate (LTQ, je 1 km^2) mit dominierender Ackerbau- und Grünland-Bewirtschaftung und weitere vier LTQ mit Agroforstwirtschaft ausgewählt. Analysiert wurden die Biomasse-Produktion, der Wasserfluss ins Grundwasser (Grundwasser-Neubildung), die Kohlenstoffspeicherung, der Nitrataustrag, der Bodenverlust, das Potenzial an Insekten-Bestäubung und die Habitatdiversität (vgl. Abbildung 3). Es wurden bestehende und validierte Modelle genutzt, die räumlich explizit für die Untersuchungsgebiete berechnet und anschließend auf der Ebene des LTQs zusammengefasst wurden. Demnach weisen Agroforst-Landschaften einen geringeren jährlichen Ernteertrag auf, jedoch sind Nitrat- und Bodenverluste reduziert, die Kohlenstoffspeicherung, die Bestäuberleistung und die Habitatdiversität erhöht. Landwirtschaftliche Landschaften verzeichnen einen größeren jährlichen Biomasseertrag und einen größeren Wasserfluss ins Grundwasser (=Grundwasserneubildungsrate). Zusammenfassend leisten Agroforstsysteme einen bedeutenden Beitrag im Boden-, Klima- und Gewässerschutz sowie der Biodiversität (Kay et al., 2018).

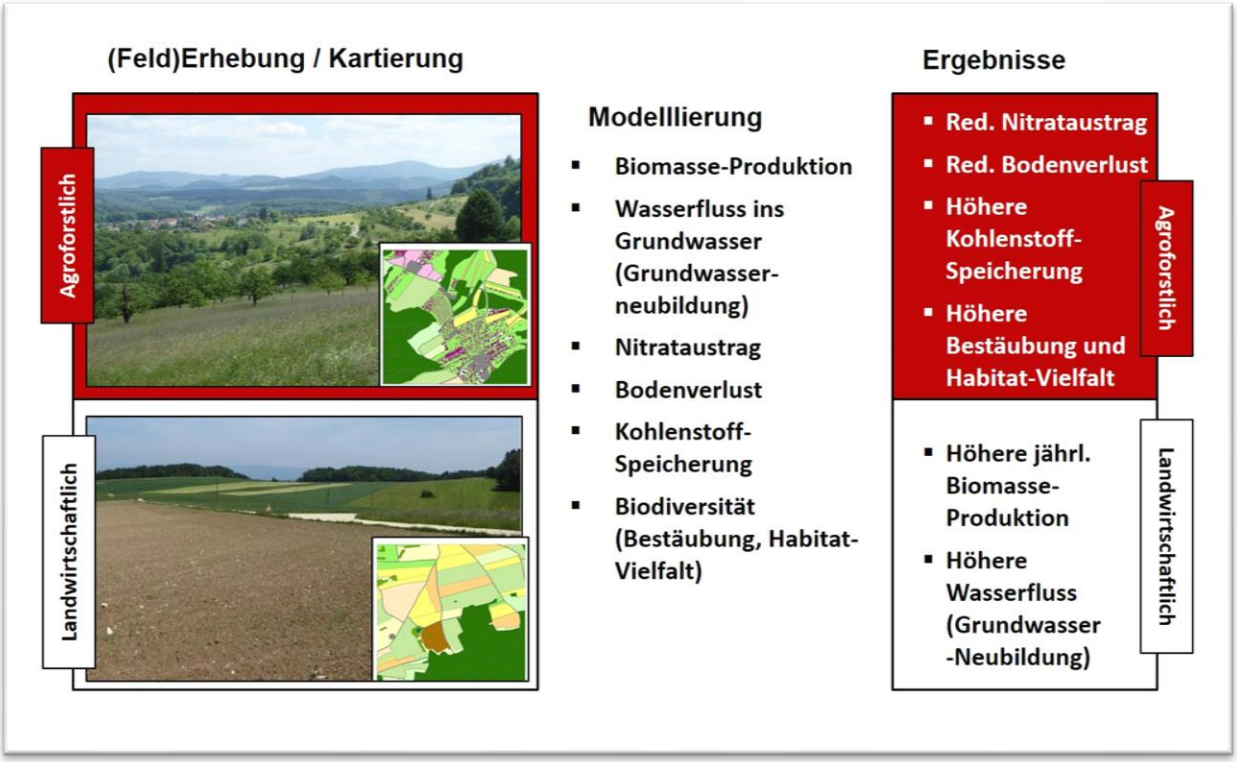

Abbildung 3: Umweltleistungen von Agroforstsystemen analysiert auf Landschaftsebene.

iii) Die BewirtschafterInnen wurden nach ihrer subjektiven Wahrnehmung hinsichtlich der Umweltleistungen ihres Agroforstsystems befragt. Im Fokus standen die Regulationsfunktionen (Bodenschutz, Erosion), die Habitat-Funktionen (Biodiversität) und die kulturellen Funktionen (Landschaftsbild). Hinzu kamen Fragen zur «wahrgenommenen» Wirtschaftlichkeit und potenziell

nachteiligen Effekten der Systeme, wie z.B. die Konkurrenz zwischen Baum und Unterkultur, auftretender Schattenwurf oder die Mäusevermehrung im Baumstreifen. Über vier Jahre hinweg wurde eine Gruppe von LandwirtInnen mit dem gleichen Fragebogen befragt. Insgesamt wurden 41 Fragebögen ausgewertet. Bezüglich Regulations- und Habitat-Funktionen schätzten die befragten Personen den Effekt von Agroforst durchweg positiv ein (vgl. Abbildung 4). Als zusätzliche Leistung des Agroforstsystems nannten die LandwirtInnen: die Freude am Obstbaum, 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, das bleibende Werte auf dem Acker geschaffen werden, wo sonst nur einjährige Kulturen stehen und die Motivation für sensibilisierte Kunden bei regionaler Vermarktung (Jäger, 2018).

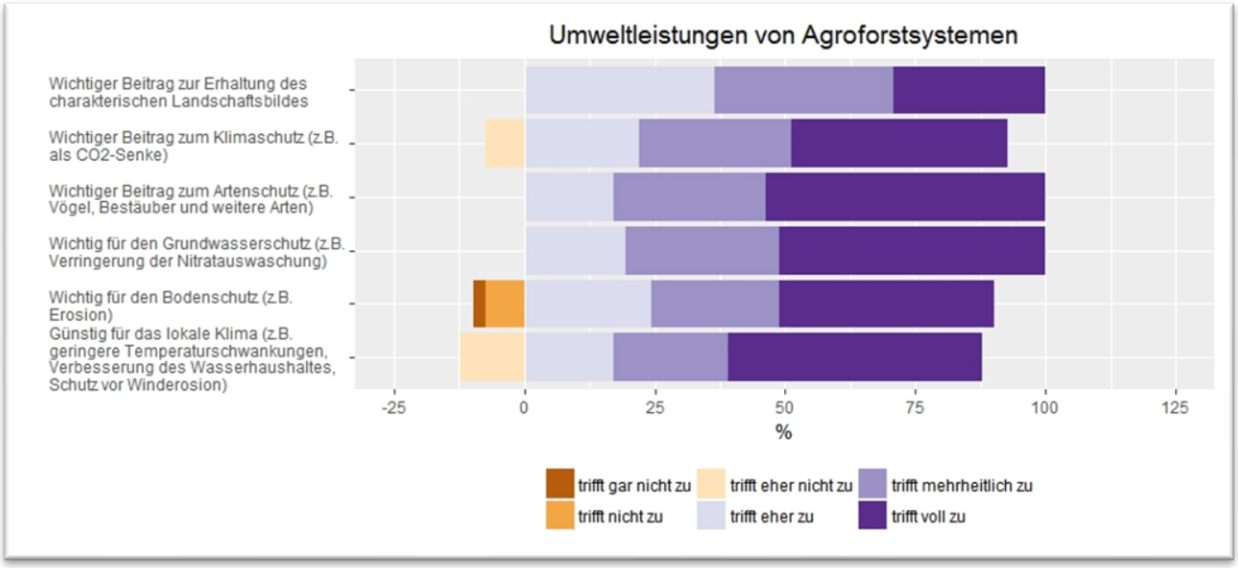

Abbildung 4: Funktionen von Agroforstsystemen laut Umfrage unter Agroforst-Landwirten (n=41 Fragebögen).

iv) Und auch die AnwohnerInnen bestätigen, dass eine vielfältige, diversifizierte Landschaft die meisten wahrgenommenen Leistungen bietet (Fagerholm et al., 2019). Mittels der sogenannten public participative GIS (ppGIS)-Methode, wurden die Leistungen auf einer digitalen Karte von den AnwohnerInnen eingezeichnet. Gefragt wurden sie nach Orten, an denen Sie „Nahrungsmittel“ kaufen oder sammeln, Wildpflanzen, Tiere und Umwelt erleben, Sport, Kulturelles, Sozialleben oder schöne Landschaften geniessen. Es zeigte sich, dass neben Hotspots des kulturellen Zusammenlebens in Dörfer und Ortschaften, insbesondere heterogene Landschaften u.a. Agroforstlandschaften besonders beliebt waren.

Weiterführende Informationen zur Schweizer Agroforst-Forschung und zu den Ergebnissen des EU Projekts AGFORWARD finden sich online unter: www.agroscope.ch/agroforst bzw. www.agforward.eu.

1.2 Künftige Herausforderungen: Umweltziele Landwirtschaft Schweiz

Wie vielerorts in Europa sieht sich auch die Landwirtschaft in der Schweiz mit steigenden Umweltbelastungen (Nitratüberschuss, Biodiversitätsverluste, etc.) durch landwirtschaftliche Tätigkeiten konfrontiert. Bereits im Jahr 2008 haben das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) gemeinsam mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) Umwelt-Ziele für Biodiversität, Landschaft und Gewässerraum, Klima und Luft sowie Wasser und Boden erarbeitet (BAFU und BLW, 2008). Ein regelmäßiges Monitoring bilanziert die erarbeiteten Erfolge, aber auch die andauernden Defizite (BAFU und BLW, 2016). Tabelle 1 stellt die Umweltziele Landwirtschaft (UZL) sowie die Ergebnisse des letzten Monitorings zusammen.

Tabelle 1:
Umweltziele Landwirtschaft, Zielsetzung 2008 sowie Monitoring Ergebnisse 2016

Umweltziele Landwirtschaft Zielsetzung 2008	**Monitoring Ergebnisse 2016**
Biodiversität und Landschaft	
Biodiversität: Die Landwirtschaft leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität. Dies umfasst die Aspekte 1. Artenvielfalt und Vielfalt von Lebensräumen, 2. genetische Vielfalt innerhalb der Arten sowie 3. funktionale Biodiversität	
1. Die Landwirtschaft sichert und fördert die einheimischen, schwerpunktmässig auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche vorkommenden oder von der landwirtschaftlichen Nutzung abhängigen Arten (nach Anhang 1) und Lebensräume (nach Anhang 2) in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet. Die Bestände der Zielarten werden erhalten und gefördert. Die Bestände der Leitarten werden gefördert, indem geeignete Lebensräume in ausreichender Fläche und in der nötigen Qualität und räumlichen Verteilung zur Verfügung gestellt werden.	• 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.
2. Die Landwirtschaft erhält und fördert die genetische Vielfalt bei einheimischen, schwerpunktmässig auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche vorkommenden wildlebenden Arten. Sie leistet zudem einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung von einheimischen Sorten landwirtschaftlicher Kulturpflanzen und von einheimischen Nutztierrassen.	• Für viel einheimische wildlebende Verwandte von Kulturpflanzen (CWR) und wildlebende Arten ist das Ziel nicht erreicht.
3. Die landwirtschaftliche Produktion erhält die von der Biodiversität erbrachten Ökosystemdienstleistungen	• Die Landwirtschaft hat nach wie vor zahlreiche negative Auswirkungen auf naturnahe Ökosysteme und deren Qualität, so dass deren Leistungen eingeschränkt sind.
Landschaft: Erhalt, Förderung und Weiterentwicklung vielfältiger Kulturlandschaften mit ihren spezifischen regionalen Eigenarten und ihrer Bedeutung für Biodiversität, Erholung, Identität, Tourismus und Standortattraktivität über	
1. Offenhaltung durch angepasste Bewirtschaftung; 2. Vielfalt der nachhaltig genutzten und erlebbaren Kulturlandschaften;	• Es gehen weiterhin Landwirtschaftsflächen verloren. • Zersiedelung, Zerschneidung und Versiegelung nehmen weiterhin zu.
3. Erhaltung, Förderung und Weiterentwicklung ihrer regionsspezifischen, charakteristischen, natürlichen, naturnahen und baulichen Elemente	• Die Zielerreichung lässt sich noch nicht beurteilen.

Gewässerraum Ausreichender Gewässerraum im Sinne des Leitbildes -Fließgewässer mit gewässergerechtem Uferbereich gemäß Modulstufenkonzept im Landwirtschaftsgebiet.	• Ausscheidung des Gewässerraums - Förderung für Uferwiesen entlang von Fließgewässern sowie für Hecken, Feld- und Ufergehölze
Klima und Luft	
Treibhausgase: Reduktion der landwirtschaftlichen Kohlendioxid-, Methan- und Lachgas-Emissionen	• rund 0,6 % Einsparung /Jahr
Stickstoffhaltige Luftschadstoffe (Ammoniak, Stickoxide) Die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft betragen maximal 25 000 Tonnen Stickstoff pro Jahr.	• max. 25000 t N/Jahr
Dieselruss Die Dieselrussemissionen der Landwirtschaft betragen maximal 20 Tonnen pro Jahr	• max. 20 t/Jahr
Wasser	
Nitrat:	
1. Maximal 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind und deren Zuströmbereich hauptsächlich von der Landwirtschaft genutzt wird. 2. Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985	• max. 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern zur Trinkwassernutzung • gegenüber 1985 - 50 % N in die Gewässer
Phosphor Der Gesamtphosphorgehalt in Seen, deren Phosphoreintrag hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammt, beträgt weniger als 20 µg Phosphor pro Liter. Besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten.	• > 4 mg Sauerstoff pro Liter Seewasser
Pflanzenschutzmittel 1. Keine Beeinträchtigung von Umwelt und Gesundheit durch Pflanzenschutzmittel aus der Landwirtschaft. 2. Für Gewässer, deren Pflanzenschutzmittel-Eintrag hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammt: maximal 0,1 µg organische Pflanzenschutzmittel und relevante Metaboliten pro Liter je Einzelstoff in oberirdischen Gewässern sowie im Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist. Vorbehalten bleiben andere Werte aufgrund von Einzelstoffbeurteilungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens. 3. Das Umweltrisiko durch Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft ist so weit wie möglich zu reduzieren. Dabei sind naturräumliche Gegebenheiten zu berücksichtigen.	• Beeinträchtigungen bei Gewässern und Landlebensräumen vorhanden • 0,1µg/l in Oberflächengewässern • Umweltrisiko durch PSM kann noch weiter gesenkt werden
Arzneimittel Keine Beeinträchtigung von Umwelt und Gesundheit durch Tierarzneimittel, deren Eintrag hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammt.	• Im Boden, in kleinen Fließgewässern und für die Biodiversität können in einzelnen Situationen Beeinträchtigungen vorkommen.
Boden	
Schadstoffe im Boden 1. Keine Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit und der Gesundheit durch anorganische oder organische Schadstoffe aus der Landwirtschaft. 2. Der Eintrag einzelner Schadstoffe aus der Landwirtschaft in Böden ist kleiner als deren Austrag und Abbau.	• An einzelnen Standorten werden Kupfer und Zink akkumuliert

Bodenerosion 1. Keine Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit und der Gesundheit durch anorganische oder organische Schadstoffe aus der Landwirtschaft. 2. Der Eintrag einzelner Schadstoffe aus der Landwirtschaft in Böden ist kleiner als deren Austrag und Abbau. 3. Keine Richtwertüberschreitungen für Erosion und Verhinderung der Talwegerosion auf Ackerflächen. 4. Keine Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. 5. Keine Beeinträchtigung der Gewässer und naturnaher Lebensräume durch abgeschwemmtes Bodenmaterial aus landwirtschaftlich genutzten Flächen.	• Richtwertüberschreitungen für Erosion > 2 bzw. 4t/ha • Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit • Beeinträchtigung der Gewässer durch abgeschwemmtes Material
Bodenverdichtung Vermeidung dauerhafter Verdichtungen landwirtschaftlicher Böden.	• Fehlende Angaben

Quelle: (BAFU und BLW, 2016, 2008)

Acht Jahre nach Einführung der ambitionierten Zielsetzung konnten erste Erfolge verbucht werden. Jedoch bestehen weiterhin Defizite. Das positive Feedback der Schweizer Agroforst-Praktiker zusammen mit den Zielen der neuen Schweizer Agrarpolitik (AP22+) hinsichtlich einer Verbesserung der UZL sowie Anpassung an den Klimawandel stellte uns vor die Fragen: 1) Welche Umweltziele wurden bisher noch nicht zufriedenstellend erreicht? Und bei welchen Defiziten können Agroforstsysteme einen Beitrag zur Verbesserung leisten? 2) Können Agroforstsysteme im Sinne einer standortgerechten Bewirtschaftung in den Defizitgebieten umgesetzt werden und welche Systeme kommen dazu in Frage?

2. Methodik

Ausgehend von den drei oben beschriebenen Fragen, gingen wir folgendermaßen vor: Zunächst fokussierten wir auf die «voraussichtlich nicht erreichten» UZL-Teilziele und ergänzten diese um zwei Ziele im Bereich Klimawandel. Insgesamt flossen 24 Teilziele in die weitere Betrachtung ein. Diese wurden sodann den positiven Umwelt-Potenzialen von Agroforstsystemen gegenübergestellt. 18 UZL-Teilziele wiesen Verbesserungspotenzial durch Agroforstsysteme auf. Anschließend wurde für die Indikatoren räumliche Daten sowie digitales Kartenmaterial gesammelt. Lediglich für elf Teilziele stand Kartenmaterial in entsprechend räumlicher Auflösung zur Verfügung. Für jeden Indikator wurden qualitative oder quantitative Grenzwerte fixiert.

Folgende Teilziele wurden berücksichtigt:

- Im Bereich «*Biodiversität und Landschaft*» wird das Teilziel **Vernetzung und Durchlässigkeit** bisher nicht allerorts hinreichend erfüllt. Neben der angemessenen Größe von und Ausstattung mit Habitaten und Strukturelementen in der Landschaft, sollten diese auch hinlänglich vernetzt sein. Erst dies ermöglicht einen regen Austausch zwischen den Gebieten und erlaubt die (existenzielle) Interaktion verschiedenster Tier- und Pflanzen-Populationen. Insbesondere der permanente Baumstreifen in Agroforstsystemen kann zur Erweiterung bzw. Aufwertung der Vernetzung und potenzieller Korridore beitragen (Lecq et al., 2017). Modellierung des BAFUs hinsichtlich einer Lokalisierung potenzieller Wildtierpassagen bzw.

Vernetzungskorridore (BAFU, 2013) dienten der weiteren Analyse als Grundlage (= ausgewiesenen Rückzugsflächen sowie 10 m Korridore).

- Darüber hinaus wird angestrebt, die von Ökosystemen erbrachten Leistungen nachhaltig zu erhalten. Ob dies gelingt, kann bisher nicht für alle Leistungen zufriedenstellend beantwortet werden. Daher werden hier beispielhaft für die landwirtschaftliche Produktion die **Insektenbestäubung** sowie das **Nützlingspotenzial** herangezogen. Agroforstsysteme können u.a. durch die Schaffung neuer Habitate, Futter- und Nistmöglichkeiten für Bestäuber und Nützlinge einen Beitrag leisten (Kay et al., 2020). Für die Schweiz stellten (Sutter et al., 2017) die Nachfrage bestäubungsabhängiger Kulturen (z.B. Raps, Obstbau, etc.), dem räumlichen Auftreten der Honigbiene gegenüber. Regionen, die weniger als zwei Bienenvölker je Hektar bestäubungsabhängige Kultur aufwiesen, wurden als Defizitgebiete klassifiziert. Ergänzt wurde diese Auswertung um Regionen, mit sehr niedrigem und niedrigem Potenzial für Nützlinge, die sich aus Analysen von (Rega et al., 2018) herleitete.
- Für die Fließgewässer der Schweiz ist die Ausscheidung eines **Gewässerraums**, der ein Vielfaches der Flussbreite bzw. bei kleineren Flüssen mindestens 11 m betragen muss, vorgesehen. Ausgestattet werden die Gebiete mit Uferwiesen aber auch Hecken, Feld- und Ufergehölzen. Da die Ausweisung der Gebiete noch nicht abgeschlossen ist, wurde für diese Auswertung die pauschale Mindestbreite von 11m herangezogen.

- Im Bereich «*Klima und Luft*» emittiert die landwirtschaftliche Produktion weiterhin große Mengen **stickstoffhaltiger Luftschadstoffe**. Die Reduktion dieser Belastung im direkten Umkreis einer Quelle bzw. die Filterung der Stickstoff- explizit Ammoniak-Emissionen durch Bäume bzw. Agroforstsysteme aus der Luft konnte von (Patterson et al., 2008) und (Bealey et al., 2014) nachgewiesen werden. Auf Basis der Karten zur Ammoniak-Konzentration (Rihm and Achermann, 2016) wurde eine erhöhte Konzentration bei > 3 µg m^{-3} als Grenzwert herangezogen. Dieser Wert basiert auf den kritischen Konzentrationswerten (critical loads) der UN/ECE, die in besonderen Biotopen einen Grenzwert für Pflanzen von 2 bis 4 µg m^{-3} und für Moose 1 µg m^{-3} vorsieht.

- Im Bereich «*Wasser*» sind die **Nitrat- und Phosphorbelastungen** weiterhin kritisch. Wie bereits oben erwähnt, tragen Agroforstsysteme dank ihres Aufbaus in unterschiedlichen Höhenschichten sowie über- als auch unterirdisch zu einem effizienten Nährstoffkreislauf bei. (Wolz et al., 2018) sowie (Manevski et al., 2019) untersuchten Nitratauswaschung und fanden eine Reduktion bei Agroforstsystemen. Ähnliche Ergebnisse bestätigte auch (Schoumans et al., 2014) für einen reduzierten Phosphoraustrag. Schweizer Regionen mit Stickstoff- und Phosphorüberschuss wurde von (Prasuhn et al., 2016) ausgewiesen. Regionen mit > 40 mg N l^{-1} sowie > 1 kg P ha^{-1} a^{-1} wurden als Defizitgebiete definiert.

- Der Bereich «*Boden*» ist aufgrund seiner unmittelbaren Bedeutung für landwirtschaftliches Wirtschaften sehr prominiert in den UZL vertreten. Es wird sowohl eine **Erhöhung der**

Bodenstabilität als auch die **Reduktion des Bodenabtrags** angestrebt. Studien zeigen, dass der permanente Baumstreifen eines Agroforstsystems eine Reduktion des Bodenabtrags bewirkt und das tiefgründige Wurzelsystem der Bäumen eine stabilisierende Wirkung auf den Boden aufweist (Murphy, 2015). Defizitgebiete sind Regionen, in den (Bircher et al., 2018) einen potenziellen Bodenverlust von größer als 4 t ha^{-1} a^{-1} modellierten.
Zudem soll die Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit vermieden werden. Eine **Erhöhung des Bodenkohlenstoffs** kann hierzu positiv beitragen. (Seitz et al., 2017) und (Upson and Burgess, 2013) untersuchten den Bodenhumusgehalt und fanden eine signifikante Steigerung in Agroforstsystemen.

- In Anbetracht der Langfristigkeit der Agroforst-Kultur wurde zusätzlich zu den UZL der Bereich «*Klimawandel*» mit hinzugenommen. Auf Basis der Swiss Climate Change Scenarios (CH2011, 2011) wurden der **Temperaturanstieg** (Extreme, oberstes Quantil, 1/5 der Werte) sowie die **Änderung des Niederschlags** (Extreme, niedrigste und höchste Werte, 1/5 der Werte) herangezogen. Regionen, in denen Hitzestress, Trockenheit oder Starkniederschläge auftreten können, wurden so herauskristallisiert. Agroforstsysteme bewirken eine mikroklimatische Verbesserung des Standorts durch das Spenden von Schatten, die Reduktion der Verdunstung sowie die Erhöhung der Wasserhaltekapazität (Alam et al., 2014; Sánchez and McCollin, 2015).

Für jeden Indikator wurden - räumlich explizit – kritische Gebiete, sogenannte Defizitgebiete, lokalisiert. Die 11 Indikator-spezifischen Defizitregionen wurden anschließend räumlich überlagert und Negativ-Hotspots priorisiert.
Im Sinne der letzten Forschungsfrage, konnten auf Basis der erarbeitenden Defizit-Karte Vorschläge für standortangepasste Agroforstsysteme erarbeitet werden. Zudem bietet die Karte als Tool die Möglichkeit, standortspezifische Synergien aber auch Konflikte zu anderen Landnutzern zu beleuchten.
Die Studie erfolgte für die Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der Schweiz ohne Sömmerungsgebiete (Szerencsits et al. 2018). Alle Karten wurden im Rasterformat mit einer Auflösung von 10x10m je Pixel in ArcGIS 10.4 (ESRI, 2018) bearbeitet. Die Software R (R 2016) mit den Packages leaflet (Agea et al., 2010) und ggplot2 (Wickham, 2016) diente zur Auswertung und Präsentation der Ergebnisse.

3. Ergebnisse

3.1 Räumliche Verteilung der Umweltdefizite

Die Schweizer Landwirtschaftsflächen sind zu unterschiedlichen Anteilen von den untersuchten Umweltdefiziten betroffen (Kay et al., 2019a). Auf etwa zwei Fünftel der Fläche finden sich erhöhte Ammoniakkonzentrationen, auf einem Drittel besteht die Gefahr, dass bei unsachgemäßer Bewirtschaftung der Boden erodiert und auf einem Fünftel unterschreitet der Deckungsgrad mit Honigbienen die Nachfrage der bestäubungsabhängigen Kulturen.
Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse im Detail und es fällt auf, dass einige Defizite räumlich kumuliert auftreten. So finden sich Erosionsgefährdung und Nitratauswaschung eher in Ackerbaugebieten des

Schweizer Mittellandes, während Phosphorüberschüsse mehr in Tierhaltungs- und Graslandregionen der Zentral- und Ostschweiz auftreten. Flächig verteilt jeweils punktuell finden sich Potenziale zur Aufwertung der Vernetzungskorridore bzw. des potenziellen Gewässerraumes. Alle Karten können online abgerufen werden unter www.agroscope.ch/agroforst.

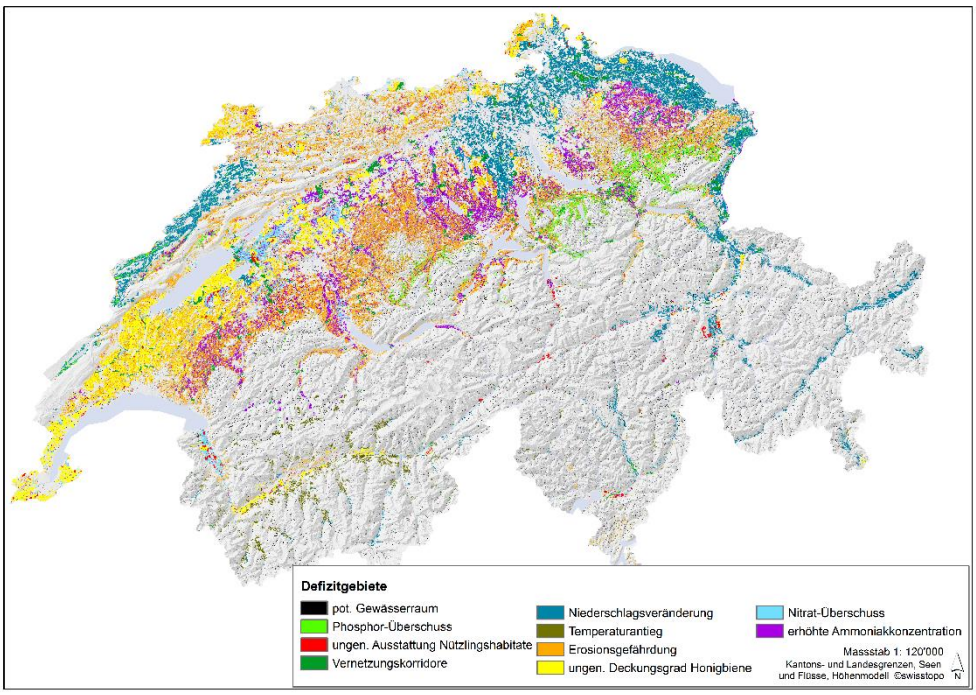

Abbildung 5: Übersicht über alle Defizite auf Landesebene. Die Defizitgebiete überlagern sich teilweise, angezeigt sind sie in der Reihenfolge der Legende (Quelle: Kay et al. 2019a; www.agroscope.ch/agroforst).

Rund 17,8 % der untersuchten Fläche befinden sich in einem guten Zustand hinsichtlich der hier berücksichtigten 11 Umweltindikatoren. Hingegen häufen sich auf 13,3 % der LN drei oder mehr Defizite. Deutlich treten hier insbesondere die intensiv genutzten Ackerbauregionen der Nordschweiz hervor. Agroforstsystemen könnten gerade in diesen Gebieten einen Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz leisten. Insbesondere das Klima würde profitieren, da Agroforstsysteme bestehend aus 50 Bäumen pro Hektar etwa 1,6 t Kohlenstoff pro Jahr binden. Hochskaliert auf die stark defizitäre Fläche der LN ergäbe dies ein Speicherpotenzial von bis zu 0,8 Mio. t CO_2-Äquivalenten bzw. etwa 13 % der Treibhausgas-Emissionen der direkten landwirtschaftlichen Produktion der Schweiz (BAFU, 2019).

3.2 Standortangepasste Agroforstsysteme

Im Sinne eines lösungsorientierten Ansatzes bringen wir im folgenden Kapitel die bisherigen Erkenntnisse zusammen und übersetzen sie für die praktische Umsetzung. Sprich: auf der einen Seite zeigt die Studie, dass Agroforstsysteme einer Vielzahl von Umweltproblemen positiv entgegenwirken können, auf der anderen Seite werden Schweizer Regionen beleuchtet, in denen genau diese Probleme (gehäuft) auftreten. Aufbauend auf dem lokalen Wissen über Standortverhältnisse (Topografie, Boden,

Wasser, etc.) und der bisherigen Bewirtschaftung (Tierhaltung, Acker- und Obstbau, etc.) lassen sich nunmehr praxistaugliche Empfehlungen für standortangepasste Agroforstsysteme in den Defizit-Hotspot-Regionen zusammentragen.

In den **Ackerbau-Regionen** im Schweizer Mittelland treten vermehrt Defizite durch erhöhte Ammoniakkonzentrationen, Erosionsgefahr und Nitratauswaschung auf. Die Kombination aus Baumreihen (40-60 Bäume ha^{-1}) mit Ackerstreifen, ermöglicht es den LandwirtInnen, ihre bisherige Bewirtschaftung und Fruchtfolge aufrecht zu erhalten und gleichzeitig von den Vorteilen eines Agroforstsystems zu profitieren. Bei sichtbaren Problemen mit Bodenverlust, sollten die Baumreihen quer zum Hang gepflanzt werden. Eine gezielte Auswahl der Baumart ermöglicht es zudem, sich auf akute (Nitrat-) Probleme (z.B. mit schnellwachsende Bäumen wie Pappeln, Weiden, Vogelkirschen), Gewässerräume mit hohen Grundwasserstände bzw. partiellen Überflutungen (z.B. mit Erle und Weide) oder auch Alternativen zu Drainagen (z.B. mit Kopfbäumen, bei denen jedes Jahr lediglich die Astreiser genutzt werden und der Stamm stehen bleibt) einzustellen.

Ebenfalls häufig tritt im Ackerland ein Mangel an bzw. eine schlechte Ausstattung für die Biodiversität auf. Vielfalt sowohl bei der Artenausstattung (Ackerkulturen sowie Baum- und Straucharten) als auch bei der saisonalen Variabilität kann einen großen Beitrag leisten. Beispielsweise profitieren Vögel und Insekten vom permanenten Baumstreifen als Rückzugsort für Futter-, Nist- und Überwinterungs-Möglichkeit. Blühende Strauch- und Baumarten (z.B. Obstbäume, Linden, dornige Hecken) stellen zusätzliche Nahrungsquellen bereit und Totholz bietet u.a. Unterschlupf für Igel und Hermelin. Dieserart Vielfalt wird auch von der Bevölkerung anerkannt, die «blühende» Landschaftselemente als ästhetisch schön wertschätzen (Junge et al., 2011).

Die Weiden bzw. die **Futterbau-Regionen** der Zentral- und Ostschweiz sehen sich insbesondere mit klimatischen Veränderungen (steigende Temperaturen bei sinkenden Niederschlägen) und Phosphorbelastungen konfrontiert. Auch hier kann mit einer intelligenten Baumartenwahl sowohl das Schattenangebot für Tiere als auch die Reduktion der Verdunstung erzielt werden. Gehölze mit mineralstoffhaltigem Laub können als zusätzliche Futterquellen, den sogenannten Laubfutterhecken, den Weidegang der Tiere verlängern und gleichzeitig überschüssige Nährstoffe binden bzw. effizient nutzen. Eschen, Eichen, Hainbuchen, Maulbeeren und Hasel bieten sich für einen solchen Einsatz an (Goust, 2017).

Ideen für Kombination von Agroforstsystemen mit Sonderkulturen wie Obst- und Weinbau befinden sich noch in der Test- und Erprobungsphase. Auch als aktive Kohlenstoffsenke werden dies Systeme in Zukunft immer interessanter.

Agroforstsysteme sind aufgrund ihrer vielfältigen Ausgestaltungs- und Einsatzmöglichkeiten sehr aussichtsreich. Trotzdem sind sie nicht an jedem Standort noch für jeden Praktiker empfehlenswert. Ungünstige Bodenbedingungen, divergierende Naturschutzziele (z.B. Erhalt des Offenland-Charakters, Feuchtgebiete), der erhöhte Managementaufwand sowie lange Kapitalbindung sollten von Seiten der Landwirtschaft bedacht werden (García de Jalón et al., 2018).

4. Diskussion

Die Landwirtschaft findet sich im Spannungsfeld zwischen den Ansprüchen der KonsumentInnen an eine qualitativ-hochwertige und leistungsfähige Produktion und den Forderungen der Gesellschaft die Biodiversität zu erhalten und eine hohe Umweltqualität u.a. mit sauberem Trinkwasser zu garantieren. Um dieser Stimmung Rechnung zu tragen, wurden in der Schweiz bereits 2008 die Umweltziele Landwirtschaft (BAFU und BLW, 2008) formuliert und mit einem ökologische Leistungsnachweis sowie ökologisch-motivierten Direktzahlungen gekoppelt. Diese Maßnahmen zeigten in den Folgejahren erste Wirkungen, die Ziele konnten aber noch nicht zur Gänze erreicht werden.

Die vorliegende Arbeit versucht daher einen Schritt weiterzugehen, indem sie sowohl -räumlich-explizit- die (noch) auftretenden Umweltdefizite visualisiert und als auch genau für diese Gebiete Lösungen in Form von standortangepassten Agroforstsystemen vorschlägt. An dieser Stelle deutlich hervorheben wollen wir, dass Agroforstsysteme lediglich eine Variante in einer großen Palette an Alternativen darstellen, die Umweltdefizite anzusprechen. Je nach Standort kann anderen agrarökologischen Maßnahmen wie beispielsweise Zwischenfrüchten, Blühstreifen oder Extensivierung der Vorrang gegeben werden (Wezel et al., 2014). Insbesondere dann, wenn BewirtschafterInnen sich mit der Langfristigkeit einer Agroforst-Maßnahme schwertun.

Die größte Besonderheit und auch der größte Wert von Agroforstsystemen ist deren langfristiges Wesen. Die Systeme werden gerade auf Dauerhaftigkeit von mehreren Jahrzehnten angelegt und «wachsen» mit den Jahren in ihre volle Leistungsfähigkeit hinein. Erst wenn Bäume und Gehölze sowie insbesondere deren Wurzeln sich zur Gänze etablieren, erschließen sie sich mehrere vertikalen Ebenen (Wurzelhorizonte bis mehrere Meter Tiefe, Kronenhöhe über 3m) und können ihre Umweltleistungen ober- und unterirdisch entfalten. Als eine der wenigen aktiven Kohlenstoffsenken in der Landwirtschaft (Hart et al., 2017), ist ihr Beitrag zur Klimagasspeicherung aber auch zur Klimaanpassung (Verchot et al., 2007) von großer Bedeutung. So haben u.a. (Schrumpf et al., 2013) gezeigt, das (Baum)Wurzeln, die in tiefere Bodenschichten vordringen, nicht mehr im Bodenkohlenstoff-Kreislauf genutzt werden, sondern in tieferen Bodenschichten gelagert und somit sequestriert werden. Politik und Gesellschaft muss bewusst sein, dass mit der Etablierung von Agroforstsystemen keine «schnellen Lösungen» erzielt werden. Bäume brauchen zum Wachsen Zeit.

Rückblickend auf die vorliegende Studie ist deutlich zu machen, dass die Analyse sich nur auf einige ausgewählte Umweltbereiche bezieht und nicht alle real-auftretenden Umweltprobleme adressiert. So lagen beispielsweise über den Humushaushalt per Fläche, den ästhetischen Wert einer Landschaft oder auch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kein Kartenmaterial vor. Darüber hinaus reduzierten wir den Datenbestand sowohl räumlich als auch inhaltlich. Räumlich wurde eine Bezugsfläche von 100m2 bzw. eine Rastergröße von 10x10m gewählt, um eine vergleichbare Datenbasis zu erstellen, jedoch mit dem Nachteil, dass räumlich höher-aufgelöste Informationen verloren gehen. Dies ist vergleichbar mit Studien von (Malek and Verburg, 2017). Inhaltlich fokussierten wir auf national-geltende Grenzwerte, wohlwissend, dass regionale Besonderheiten damit leider außer Acht gelassen wurden.

Nichtsdestotrotz können die vorliegenden Ergebnisse bei der gezielten Förderung von Agroforstsystemen zur Reduktion von Umweltbelastungen helfen. Ist das regional auftretende Problem bekannt, können Gegenmaßnahmen ergriffen werden. So werden beispielsweise in der Bretagne regionaltypische Heckenlandschaften bei Pflanzung und Unterhalt finanziell durch die Wasserwirtschaft (Agence de l'eau Loire-Bretagne) unterstützt, um Nitratbelastungen im Grundwasser zu reduzieren und die Qualität des Trinkwassers zu gewährleisten. Ähnliche Ziele verfolgen die Brauerei Müller in Baden (Schweiz) oder die Stadtwerke Augsburg (Bayern), die Land- und Forstwirtschaft finanziell unterstützen. Auch im Bereich Luftreinhaltung gibt es erste Verknüpfungen zur landwirtschaftlichen Praxis. So hat das britische Centre for Ecology and Hydrology ein Online-Tool entwickelt, um das Ammoniak-Reduktionspotenzial von Agroforstsystemen zu berechnen («Tree Shelter Belts for Ammonia Mitigation» www.farmtreestoair.ceh.ac.uk)

Nicht nur für den Erhalt der Wasserqualität auch zur aktiven Kohlenstoffspeicherung werden Agroforstsysteme finanziell gefördert. Das Coop Förderprogramm Agroforstwirtschaft[1] unterstützt die Beratung und Etablierung der Systeme im Zeichen seines Klimaschutzprogramms.

Darüber hinaus sind Agroforstsysteme in Mediterranen Regionen Europas noch deutlich weiter verbreitet (den Herder et al., 2017) und werden sowohl gesellschaftlich als auch ökonomisch dort sehr wertgeschätzt. Bedingt durch die dortigen klimatischen Verhältnisse, die sich durch höhere Sonnenstunden, höhere Temperaturen und niedrigere Niederschlagsmengen auszeichnen, kommen die Vorteile der Baumsysteme stärker zur Geltung. Vor dem Hintergrund des – auch in der Schweiz – anhaltenden Klimawandels sollten insbesondere neue alternative Bewirtschaftungsformen in der Landwirtschaft stärker erprobt und erschlossen werden und wertvolle Erfahrungen aus den südlichen Regionen Europas bestmöglich genutzt werden.

5. Fazit und Ausblick

Ohne Zweifel haben Agroforstsysteme ein hohes Problemlösungspotenzial in Bezug auf die aktuellen Umweltprobleme der modernen Landwirtschaft. Doch die in der Schweiz erprobten Systeme mit ihrem bisherigen Fokus auf silvoarablen Systemen und Konformität mit dem bestehenden Direktzahlungssystem reichen als Universallösung kaum aus. Moderne Agroforstsysteme haben das Interesse von LandwirtInnen und Politik geweckt, da ihr Pflanzdesign an die Mechanisierung angepasst ist und standortangepasste Arten und Sorten verwendet werden, die die Resilienz des Gesamtsystems erhöhen. Auch die zusätzliche Wertschöpfung in Form von Obstprodukten neben den ackerbaulichen Kulturen oder der langfristige Kapitalaufbau in Form von Wertholz spielten eine Rolle.

Weitere Innovationen und Best Practice Beispiele stellt das EU-Projekt AGFORWARD (www.agforward.eu) vor. So tragen in den Niederlanden Futterhecken zur Mikronährstoffversorgung von Wiederkäuern bei, wird in Frankreich und Großbritannien die Apfelproduktion mit Masthähnchen-

[1] https://www.myclimate.org/de/informieren/klimaschutzprojekte/detail-klimaschutzprojekte/schweiz-landnutzung-und-wald-7919-003/

und Legehennen-Haltung kombiniert oder spenden Energieholzstreifen Schweinen in Italien Schatten und verbessern das Mikroklima.

Im Rahmen der neuen Schweizer Agrarpolitik (AP22+) ist auch eine regionale landwirtschaftliche Gesamtstrategie angedacht, worin die räumlichen Ziele der Vernetzung, der Landschaftsqualität und des Ressourcenschutzes innerkantonal zusammengefügt werden sollen. Die vorliegenden Ergebnisse bieten Landnutzern und Entscheidungsträgern die Möglichkeit, lokal-auftretende Defizite einerseits zu adressieren und andererseits mit weiteren standörtlichen und naturschutzfachlichen Gegebenheiten bzw. Zielsetzungen zusammenzufügen. Dies befähigt, sowohl den großen Zusammenhang zu sehen als auch regionsspezifische Lösungen u.a. für eine nachhaltige Bewirtschaftung sowie Strukturierung der Land(wirt)schaft abzuleiten.

Zusammenfassung

Moderne Agroforstsysteme in der Schweiz

Partizipative Entwicklung und künftige Herausforderungen

Agroforstsysteme, die Kombination von Gehölzen und landwirtschaftlicher Nutzung auf der gleichen Fläche, haben als Hochstamm-Feldobst (= Streuobst), Waldweiden und Kastanienselven eine lange Tradition in der Schweiz. In den letzten Jahren wurden die Systeme in moderner Form reaktiviert, d.h. ihr Pflanzdesign wurde an die Mechanisierung angepasst und ihr Management optimiert. Neben der Diversifizierung der Produktion durch zusätzliche Obst- oder Wertholzproduktion, profitiert die Landwirtschaft bei standortangepasster Strauch- und Baumarten-Wahl ebenfalls durch erhöhte Resilienz sowie Beiträgen zum Umwelt- und Ressourcenschutz.

Die zukünftige Schweizer Agrarpolitik (AP22+) hat sich ambitionierte Ziele gesetzt: Reduktion der Umweltbelastung, höhere Wertschöpfung durch stärkere Marktausrichtung sowie Erhöhung der betrieblichen Effizienz. Doch wie vielerorts in Europa sieht sich auch die Schweiz mit steigenden Umweltbelastungen (Nitratüberschuss, Biodiversitätsverluste, etc.) durch landwirtschaftliche Tätigkeiten konfrontiert.

Dies verbindend geht die vorliegende Studie folgenden Fragen nach: in welchen Regionen finden sich erhöhte landwirtschaftliche Umweltbelastungen? Und welche Agroforstsysteme können einen Beitrag zur Verbesserung dieser negativeren Umweltwirkungen leisten?

Basierend auf elf Umwelt-Indikatoren aus den Bereichen Biodiversität, Landschaft, Klima, Luft, Wasser, sowie Boden wurden zunächst individuelle Defizit-Karten erstellt und diese anschließend räumlich überlagert. Daraus resultiert: Rund 17,8 % der untersuchten Fläche befindet sich hinsichtlich der berücksichtigten Indikatoren in einem guten Zustand. Hingegen häufen sich auf 13,3 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche drei oder mehr Defizite. Agroforstsysteme bieten aufgrund ihrer vielfältigen Ausgestaltungs- und Einsatzmöglichkeiten ein hohes Lösungspotenzial sowohl im Ackerbau, der Tierhaltung als auch in Sonderkulturen wie Obst- und Weinbau.

Landnutzern und Entscheidungsträgern bieten die vorliegenden Ergebnisse die Möglichkeit, lokal-auftretende Defizite einerseits zu adressieren und andererseits mit weiteren standörtlichen und naturschutzfachlichen Gegebenheiten bzw. Zielsetzungen zusammenzufügen. Dies befähigt, sowohl den großen Zusammenhang zu sehen als auch regionsspezifische Lösungen u.a. für eine nachhaltige Bewirtschaftung sowie Strukturierung der Land(wirt)schaft abzuleiten.

Summary

Titel

2nd Titel

(engl. Übersetzung; der Sprachendienst der BLE überarbeitet sie in jedem Fall)

Literatur (nach DIN ISO 690)

Agea, J.G., Kirangwa, D., Waiswa, D., Okia, C.A., 2010. Household Firewood Consumption and its Dynamics in Kalisizo Sub-County, Central Uganda. Ethnobot. Leafl. 14, 841–855.

Alam, M., Olivier, A., Paquette, A., Dupras, J., Revéret, J.P., Messier, C., 2014. A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. Agrofor. Syst. 88, 679–691. doi:10.1007/s10457-014-9681-x

BAFU, 2019. Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO2 Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013-2020).

BAFU, 2013. Vernetzungssystem Wildtiere [WWW Document]. URL http://www.bafu.admin.ch/wildtierpassagen

BAFU, BLW, 2016. Umweltziele Landwirtschaft - Statusbericht 2016. Umwelt-Wissen 144.

BAFU, BLW, 2008. Umweltziele Landwirtschaft - Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen 221.

Bealey, W.J., Loubet, B., Braban, C.F., Famulari, D., Theobald, M.R., Reis, S., Reay, D.S., Sutton, M.A., 2014. Modelling agro-forestry scenarios for ammonia abatement in the landscape. Environ. Res. Lett. 9, 125001. doi:10.1088/1748-9326/9/12/125001

Bircher, P., Liniger, H., Prasuhn, V., 2018. Aktualisierung und Optimierung der Erosionsrisikokarte (ERK2). Die neue ERK2 (2018).

CH2011, 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011.

den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada, R.M., Palma, J.H.N., Sidiropoulou, A., Santiago Freijanes, J.J., Crous-Duran, J., Paulo, J.A., Tomé, M., Pantera, A., Papanastasis, V.P., Mantzanas, K., Pachana, P., Papadopoulos, A., Plieninger, T., Burgess, P.J., 2017. Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. Agric. Ecosyst. Environ. 241, 121–132. doi:10.1016/j.agee.2017.03.005

ESRI, 2018. ArcGIS Desktop: Release 10.6. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Fagerholm, N., Torralba, M., Moreno, G., Girardello, M., Herzog, F., Aviron, S., Burgess, P., Crous, J., Ferreiro-Domínguez, N., Graves, A., Hartel, T., Măcicăsan, V., Kay, S., Pantera, A., Varga, A., Plieninger, T., 2019. Cross-site analysis of perceived ecosystem service benefits in multifunctional landscapes. Glob. Environ. Chang. 56, 134–147. doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.04.002

FAO, 2015. Agroforestry - Definition [WWW Document]. URL http://www.fao.org/forestry/agroforestry/80338/en/ (accessed 3.15.18).

García de Jalón, S., Burgess, P.J., Graves, A., Moreno, G., McAdam, J., Pottier, E., Novak, S., Bondesan, V., Mosquera-Losada, R., Crous-Duran, J., Palma, J.H.N., Paulo, J.A., Oliveira, T.S., Cirou, E., Hannachi, Y., Pantera, A., Wartelle, R., Kay, S., Malignier, N., Van Lerberghe, P., Tsonkova, P., Mirck, J., Rois, M., Kongsted, A.G., Thenail, C., Luske, B., Berg, S., Gosme, M., Vityi, A., 2018. How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. Agrofor. Syst. 92, 829–848. doi:10.1007/s10457-017-0116-3

Goust, J., 2017. Arbres fourragers. De l'élevage paysan au respect de l'environnement. Escalquens.

Hart, K., Allen, B., Keenleyside, C., Nanni, S., Maréchal, A., Paquel, K., Nesbit, M., Ziemann, J., 2017. Research for Agri Committee - the Consequences of Climate Change for EU Agriculture. Follow-Up To the COP21 - Un Paris Climate Change Conference. doi:10.2861/295025

Herzog, F., Szerencsits, E., Kay, S., Roces-Díaz, J. V., Jäger, M., 2018. Agroforestry in Switzerland – A non-CAP European Country. In: Agroforestry as Sustainable land Use., in: 4th European Agroforestry Conference, Nijmegen 28.-30.05.2018. pp. 74–78.

Jäger, M., 2018. Agroforst Netzwerk Schweiz 2014 - 2018, Schlussbericht.

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. doi:10.1016/j.biocon.2011.01.012

Kay, S., Crous-Duran, J., García de Jalón, S., Graves, A., Palma, J.H.N.J., Roces-Díaz, J. V., Szerencsits, E., Weibel, R., Herzog, F., Garcia-de-Jalón, S., Graves, A., Palma, J.H.N.J., Roces-Díaz, J. V., Szerencsits, E., Weibel, R., Herzog, F., 2018. Landscape-scale modelling of agroforestry ecosystems services in Swiss orchards: a methodological approach. Landsc. Ecol. 33, 1633–1644. doi:10.1007/s10980-018-0691-3

Kay, S., Jäger, M., Herzog, F., 2019a. Ressourcenschutz durch Agroforstsysteme – standortangepasste Lösungen. Agrar. Schweiz 10, 308–315.

Kay, S., Kühn, E., Albrecht, M., Sutter, L., Szerencsits, E., Herzog, F., 2020. Agroforestry can enhance foraging and nesting resources for pollinators with focus on solitary bees at the landscape scale. Agrofor. Syst. 94, 379–387. doi:10.1007/s10457-019-00400-9

Kay, S., Rega, C., Moreno, G., den Herder, M., Palma, J.H.N., Borek, R., Crous-Duran, J., Freese, D., Giannitsopoulos, M., Graves, A., Jäger, M., Lamersdorf, N., Memedemin, D., Mosquera-Losada, R., Pantera, A., Paracchini, M.L., Paris, P., Roces-Díaz, J. V., Rolo, V., Rosati, A., Sandor, M., Smith, J., Szerencsits, E., Varga, A., Viaud, V., Wawer, R., Burgess, P.J., Herzog, F., 2019b. Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. Land use policy 83, 581–593. doi:10.1016/j.landusepol.2019.02.025

Lecq, S., Loisel, A., Brischoux, F., Mullin, S.J., Bonnet, X., 2017. Importance of ground refuges for the biodiversity in agricultural hedgerows. Ecol. Indic. 72, 615–626. doi:10.1016/j.ecolind.2016.08.032

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. doi:10.1016/j.landurbplan.2017.05.012

Manevski, K., Jakobsen, M., Kongsted, A.G., Georgiadis, P., Labouriau, R., Hermansen, J.E., Jørgensen, U., 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.376

Murphy, B.W., 2015. Impact of soil organic matter on soil properties - A review with emphasis on Australian soils. Soil Res. 53, 605–635. doi:10.1071/SR14246

Patterson, P.H., Adirzal, Hulet, R.M., Bates, R.M., Despot, D.A., Wheeler, E.F., Topper, P.A., 2008. The potential for plants to trap emissions from farms with laying hens: 2. Ammonia and dust. J. Appl. Poult. Res. 17, 398–411. doi:10.3382/japr.2007-00104

Prasuhn, V., Spiess, E., Kupferschmied, P., Spiess, E., Hürdler, J., 2016. Szenario-Berechnungen für das Projekt zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS. Zürich.

R Development Core Team, 2016. R Software. R: A language and environment for statistical computing.

Rega, C., Bartual, A.M., Bocci, G., Sutter, L., Albrecht, M., Moonen, A.-C., Jeanneret, P., van der Werf, W., Pfister, S.C., Holland, J.M., Paracchini, M.L., 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

Rihm, 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. doi:10.1016/j.landurbplan.2015.07.002

Schoumans, O.F., Chardon, W.J., Bechmann, M.E., Gascuel-Odoux, C., Hofman, G., Kronvang, B., Rubæk, G.H., Ulén, B., Dorioz, J.M., 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.061

Schrumpf, M., Kaiser, K., Guggenberger, G., Persson, T., Kögel-Knabner, I., Schulze, E.D., 2013. Storage and stability of organic carbon in soils as related to depth, occlusion within aggregates, and attachment to minerals. Biogeosciences 10, 1675–1691. doi:10.5194/bg-10-1675-2013

Seitz, B., Carrand, E., Burgos, S., Tatti, D., Herzog, F., Jäger, M., Sereke, F., 2017. Erhöhte Humusvorräte in einem siebenjährigen Agroforstsystem in der Zentralschweiz / Augmentation des stocks d'humus dans un systeme agroforestier de sept ans en Suisse centrale. Agrar. Schweiz 8, 318–323.

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. Sustain. Dev. 35, 759–770. doi:10.1007/s13593-014-0261-2

Sutter, L., Herzog, F., Dietemann, V., Charrière, J.D., Albrecht, M., 2017. Nachfrage, Angebot und Wert der Insektenbestäubung in der Schweizer Landwirtschaft. Agrar. Schweiz 8, 332–339.

Szerencsits, E., Prasuhn, V., Churko, G., Herzog, F., Utiger, C., Zihlmann, U., Walter, T., Romang, H., 2018. Karte potenzieller Feucht-(Acker-) Flächen in der Schweiz. Agroscope Sci. 69.

Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger, T., 2016. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. Agric. Ecosyst. Environ. 230, 150–161. doi:10.1016/j.agee.2016.06.002

Upson, M.A., Burgess, P.J., 2013. Soil organic carbon and root distribution in a temperate arable agroforestry system. Plant Soil 373, 43–58. doi:10.1007/s11104-013-1733-x

Verchot, L.V., Van Noordwijk, M., Kandji, S.T., Tomich, T., Ong, C.K., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K., Palm, C., 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 12, 901–918.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.F., Ferrer, A., Peigné, J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. Agron. Sustain. Dev. 34, 1–20. doi:10.1007/s13593-013-0180-7

Wickham, H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. doi:10.1093/bioinformatics/btr406

Wolz, K.J., Branham, B.E., 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. doi:10.1016/j.agee.2018.02.024

Anschrift der Autoren

Sonja Kay & Felix Herzog
Agroscope,
Forschungsbereich Agrarökologie und Umwelt,
Forschungsgruppe Agrarlandschaft und Biodiversität,
Reckenholzstrasse 191,
CH-8046 Zürich,
E-Mail: sonja.kay@agroscope.admin.ch; felix.herzog@agroscope.admin.ch

Mareike Jäger
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften,
Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft,
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen,
Grüental,
CH-8820 Wädenswil,
E-Mail: mareike.jaeger@zhaw.ch