Sind Agroforstsysteme eine ökonomische Möglichkeit zur CO_2-neutralen Tierproduktion?

Simon Briner, Michael Hartmann und Bernard Lehmann, Institute for Environmental Decisions IED, ETH Zürich
Auskünfte: Simon Briner, E-Mail: briners@ethz.ch, Tel. + 41 44 632 53 93



Agroforstsysteme sind eine Möglichkeit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. (Foto: Ch. Dupraz, INRA)

Einleitung

Die Landwirtschaft trägt in der Schweiz ca. 11 % zu den gesamten nationalen Treibhausgasemissionen (THG) bei (Tab.1). Bezogen auf Methan und Lachgas beträgt der Anteil der Landwirtschaft gar 80 % respektive 78 %.

Verschiedene Vermeidungsstrategien von THG aus der Landwirtschaft sind in der Literatur beschrieben (z.B. UNFCCC 2008). In diesem Zusammenhang zu nennen sind neben der Verbesserung des Weidemanagements und verschiedenen technischen Massnahmen (z.B. Abdeckung der Güllegrube) auch die Agroforstwirtschaft, mit der die Kohlenstoff-Sequestrierung positiv beeinflusst werden kann (UNFCCC 2008; World Agroforestry Centre 2010). Im Fokus dieses Beitrages steht die Frage, ob die Emissionen eines landwirtschaftlichen Betriebes in der Schweiz durch ein Agroforstsystem kompensiert werden können – ob es möglich ist, Milch und Fleisch klimaneutral zu produzieren.

Charakteristika Agroforstwirtschaft

Ein agroforstwirtschaftliches System kann charakterisiert werden als «…absichtliche Kombination und das gemeinsame Management von verholzenden Dauerkul-

turen und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auf einer Fläche. Die landwirtschaftliche Komponente besteht aus Ackerkulturen [silvoarable] oder Grünland [silvopastorale].» (Agroforst 2009a). Agroforstsysteme können traditionell als Streuobstsystem (Herzog 1998) oder in modernen Systemen zur Produktion von Werthölzern (Furnierholz, bis 45 Jahre) und Energiehölzern (drei bis zehn Jahre) angelegt werden (Agroforst 2009b). In Agroforstsystemen gibt es sowohl positive als auch negative Interaktionen zwischen der Dauerkultur und der acker- oder futterbaulich genutzten Fläche (Tab. 2).

Agroforstsysteme können zu einer Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produktion, Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, Verminderung von Stickstoffverlusten, Verbesserung des Landschaftsbildes und zur Erhöhung der Biodiversität beitragen (Jose 2009; Malézieux *et al*. 2009; SAFE 2005).

Moderne Agroforstsysteme lassen sich gut an den Stand der landwirtschaftlichen Produktionstechnik anpassen. So orientiert sich der Abstand zwischen den Baumreihen an den Arbeitsbreiten vorhandener landwirtschaftlicher Maschinen beziehungsweise können natürliche Gegebenheiten bei Grünland genutzt werden (Agroforst 2009b; Malézieux *et al*. 2009). Aus ökonomischer Perspektive bieten Agroforstsysteme neben den jährlichen Einnahmen aus der Landwirtschaft auch Einnahmen aus den Hölzern und eventuell aus der Vermarktung von Umweltleistungen. Diese Einnahmen fallen allerdings zeitlich versetzt an, da es in Agroforstsystemen ähnlich wie im Obst- oder Weinbau ertrags- und damit einkommenslose Anfangsjahre gibt (Krummenacher *et al*. 2008; Agroforst 2009b).

Im Vergleich zu Ackerkulturen in Monokultur kann nach Jose (2009) die sequestrierte C-Menge in Agroforstsystemen durch Bäume oder Sträucher erhöht werden. Sequestrierter Kohlenstoff ist dabei die Differenz zwischen dem bei der Photosynthese aufgenommenen und dem durch die Respiration abgegebenen Kohlenstoff. Das Potential zur C-Sequestrierung hängt, wie bei ande- ›

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft trägt ungefähr 11 % zu den Treibhausgas Emissionen in der Schweiz bei. Eine Möglichkeit, die Klimabilanz der Landwirtschaft zu verbessern, stellen Agroforstsysteme dar. Agroforstsysteme sind eine Kombination einer verholzenden Dauerkultur mit einer Ackerkultur oder mit Grünland auf derselben Fläche. Ein Vorteil von Agroforstsystemen ist die Möglichkeit, CO_2 zu sequestrieren. Das CO_2 wird dabei im Holz der Dauerkultur sowie als Humusanreicherung im Boden gespeichert. Das Holz kann nach der Ernte entweder als Bau-/Möbelholz oder zur Substituierung von fossilen Energieträgern genutzt werden. In beiden Fällen wird der Ausstoss von Treibhausgasen reduziert. So kann ein Schweizer Betrieb, welcher Milch produziert oder Mutterkühe hält, seine CO_2-Emissionen mit Agroforstsystemen auf null reduzieren, ohne dabei die Produktion drastisch einzuschränken. Dabei entstehen in der durchgeführten Analyse durchschnittliche Mehrkosten pro Kilogramm Milch von mindestens 9 Rappen und Mehrkosten pro Kilogramm Fleisch von mindestens 80 Rappen. Sollen die Treibhausgasemissionen reduziert werden ohne die Produktion zu reduzieren, so entstehen Mehrkosten in der Höhe von zehn Rappen pro Kilogramm Milch und 90 Rappen pro Kilogramm Fleisch.

Tab. 1 | Treibhausgasemissionen der Schweiz 2007

	Mio. t CO_2-eq		in %
Emissionen Total	**51,27**		**100**
davon Landwirtschaft		5,35	10
Methan (CH_4) Total	**3,51**		**100**
davon Landwirtschaft		2,83	80
Lachgas (N_2O) Total	**3,24**		**100**
davon Landwirtschaft		2,52	78

Quelle: Swiss Greenhouse Gas Inventories (2009)

Tab. 2 | Positive und negative Interaktionen in Agroforstsystemen

Faktor	möglicher Vorteil	möglicher Nachteil
Beschattung	• Sonnenschutz Tiere • weniger Flächenaustrocknung	• verringertes/verzögertes Wachstum durch Lichtkonkurrenz
Windschutz	• Erosionsschutz • verringerte Wasserverdunstung • weniger mechanische Schäden	• verzögertes Abtrocknen auf feuchten Standorten
Nährstoffhaushalt	• Erschliessung tiefer gelegener Vorräte und Verfügbarmachung für landwirtschaftliche Kulturen über Blattstreu und Feinwurzeln • Nährstoffanreicherung durch Stickstoff-fixierende Baumarten	• Konkurrenz bei Überschneidung von Wurzelräumen und wenn Zeiten des grössten Nährstoffbedarfes parallel sind
Wassererosion	• bei Hanglagen durch Bäume und Baumstreifen	
Blattfall	• Anreicherung von Humus mit Düngeeffekt bei sich gut zersetzendem Laub • Erosionsschutz durch Mulch	• Behinderung von Winterkulturen durch dicke Laubschicht • verminderte Futterqualität

Quelle: nach Agroforst 2009b

ren Landnutzungssystemen auch, von diversen Faktoren ab. Zu nennen sind hier vor allem der C-Gehalt in bestehender Biomasse, im Boden sowie in den Holzprodukten, die Umtriebszeiten, die Artenzusammensetzung, die geografische Lage, Umweltfaktoren und die Managementpraxis (Jose 2009). Selbst in kleinräumigen Regionen kann die C-Sequestrierung grossen Variationen unterliegen. Je nach Ausgestaltung (Verbrennen, Düngen, Bodenbearbeitung, etc.) kann ein agroforstwirtschaftliches System jedoch auch eine Quelle von Treibhausgasen sein. Wird das anfallende Holz als Brennstoff verwendet, dann gelangt ein Grossteil des gebundenen Kohlenstoffs als Kohlendioxid wieder in die Atmosphäre. Durch die Nutzung von Holz können jedoch fossile Energieträger substituiert werden. Unter dem Strich wird deshalb mit der Energieholzproduktion der CO_2-Ausstoss gesenkt (Köhl *et al*. 2008). Mit einer Nutzung des Holzes als langlebiges Gut (z.B. Bau- oder Wertholz) wird der sequestrierte Kohlenstoff für eine längere Zeitspanne gebunden und kann damit seine klimaschädigende Wirkung nicht entfalten.

Methode

Krummenacher *et al*. (2008) verweisen in ihrem Beitrag darauf, dass es in der Schweiz nur wenige agroforstwirtschaftliche Analysen gibt. Da sich Agroforstbetriebe stark voneinander unterscheiden können, müssen solche Systeme auf jeden Betrieb speziell angepasst werden, weshalb die Untersuchung von Einzelbetrieben wichtig ist.

Mittels eines linearen mathematischen Optimierungsmodells wurde für jeweils einen Beispielbetrieb mit Milchproduktion beziehungsweise mit Mutterkuhhaltung analysiert, ob Agroforstsysteme eine Möglichkeit zur Kompensation landwirtschaftlicher THG in der Schweiz darstellen. Die Kennzahlen der modellierten Betriebe sind in Tabelle 3 beschrieben. Die Betriebe liegen in der Hügelregion auf etwa 700 Meter über Meer. Sie sind etwas grösser als die entsprechenden Referenzbetriebe der Zentralen Auswertung der ART (vgl. Roesch und Hausheer Schnider 2009).

Die Modellrechnungen basieren auf Daten aus dem Deckungsbeitrags-Katalog 2008 (agridea 2008) für Produktpreise und Betriebskosten sowie für die Erträge der Kulturen im Acker- und Futterbau.

Als Steuergrösse für die Arbeitsintensität in der Landwirtschaft wurden für die Arbeit Opportunitätskosten in der Höhe von fünf Franken pro Stunde angenommen. Massgebend für das Einkommen des Landwirts ist die Höhe der Zielfunktion, mit welcher das Einkommen maximiert wird.

Die Treibhausgasemissionen wurden nach den Richtlinien des IPCC berechnet, welche auf die Schweizer Verhältnisse angepasst wurden (Hediger 2004). Da auf 80 % der Schweizer Landwirtschaftsbetriebe die Güllebehälter abgedeckt sind (Peter *et al.* 2009), wurde dies auch für den modellierten Betrieb angenommen. Mit der Abdeckung können die Emissionen aus den Hofdüngerlagern zu relativ tiefen Kosten um 66 % reduziert werden. Andere Möglichkeiten, die Treibhausgasemissionen zu verringern, wurden in diesen Berechnungen nicht betrachtet, da sie in der Anwendung zu teuer sind (vgl.

Tab. 3 | Struktur der Modellbetriebe

		Milch	Mutterkuh
Pflanzenbau	Landwirtschaftliche Nutzfläche (ha)	22	22
	maximale Ackerfläche (ha)	5	5
Tierhaltung	Kühe (Tierplatz)	20	25
	Milchleistung (kg)	6500	0
	Aufzuchtrinder (Tierplatz/Kuhplatz)	0,7	0

Quelle: Roesch und Hausheer Schnider 2009; Eigene Annahmen

Peter *et al*. 2009). Im Modell wurden zwei verschiedene Systeme zur Sequestrierung von CO_2 implementiert. Unterschieden wird zwischen einem Agroforstsystem mit Pappeln und einem System mit schnellwachsenden Baumarten in Kurzumtriebsplantagen. Das Holz beider Systeme wird als Energieholz genutzt. Die Charakteristika der modellierten Systeme sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Das Energieholz wird nach der Ernte als Substitut für Heizöl oder andere fossile Energieträger verwendet. Bei der Substituierung liegt die Effizienz wegen der geringeren Energiedichte des Holzes jedoch nur bei 73 % (Köhl *et al*. 2008).

Für die Modellrechnungen wurde jeweils davon ausgegangen, dass sich der Betrieb in einem Gleichgewicht befindet. Das heisst, der Betrieb ist in einem Zustand, in welchem gleich viele Bäume gepflanzt wie abgeholzt werden.

Berechnet wurden bei der Milch- wie auch bei der Fleischproduktion jeweils zwei Szenarien. Im Szenario *Optimum* war die produzierte Menge der tierischen Produkte Teil der Optimierung. Die Betriebe hatten in diesem Szenario die Möglichkeit, die Produktion einzuschränken, um die Emissionen zu reduzieren. Eine Einschränkung der Produktion würde in der Realität jedoch durch eine gesteigerte Produktion anderer Betriebe oder durch vermehrte Importe ausgeglichen, wodurch die netto emittierte Menge an Treibhausgasen zumindest nicht abnehmen würde. Daher wurde in einem zweiten Szenario *Fix* die Produktionsmenge der tierischen Produkte auf den Ausgangswert fixiert.

Bei den Berechnungen wurden nur Emissionen berücksichtigt, welche auf dem Modellbetrieb entstehen. Bewertungen mittels Ökobilanzierung sowie in- und ausländische Vorläuferemissionen zur Produktion anderer Produktionsmittel (sog. graue Emissionen) liegen ausserhalb der hier betrachteten Systemgrenzen.

Tab. 4 | Charakteristika der modellierten Systeme

Merkmale	Agroforst Pappel		Kurzumtriebs-plantage
Anzahl Bäume pro ha	**50**	**113**	**10 000**
Ertragsreduktion (Durchschnitt über gesamte Periode, %)			
Acker-Winterkulturen und Grünland	30	40	100
Acker-Sommerkulturen	45	60	100
Umtriebszeit (Jahre)	20		4
Holzernte (t/Umtrieb)	100	140	48
CO_2-Sequestrierung (t CO_2/ha Jahr)	5,6	8,3	14
Holzpreis (CHF/t)	120		120
Kosten Pflanzgut und Fegeschutz (CHF/Baum)	20		0,32

Quelle: Burgess *et al.* 2005;Waldwirtschaft Schweiz 2009; Schlegel & Co. Gartenprodukte GmbH 2010; Köhl et al. 2008; Eigene Annahmen

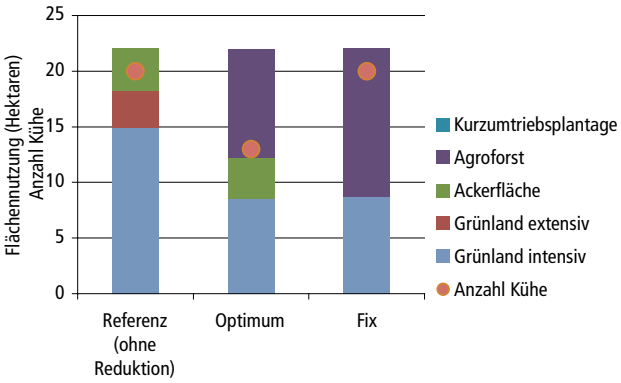


Abb. 1 | Entwicklung der Anzahl Milchkühe sowie der Flächennutzung unter dem Referenzszenario sowie den beiden Szenarien mit einer Reduktion der netto-Emissionen auf null.

Resultate und Diskussion

Milchproduktion

Im Referenzszenario ohne Reduktion emittiert der Milch produzierende Betrieb knapp 140 Tonnen CO_2-eq. pro Jahr. Davon stammen 40 % direkt aus der Verdauung der Tiere der Rest wird in der Hofdüngerlagerung und der Düngerausbringung freigesetzt. Wie in Abbildung 1 dargestellt ist, wird in diesem Szenario der grösste Teil der Fläche als intensives Grünland (inklusive Kunstwiese) genutzt. Etwas mehr als 7 % der Fläche wird als extensives Grünland genutzt.

Im Szenario *Optimum* wird die Anzahl der Milchkühe um ein Drittel auf noch 13 verringert. Da der grösste Teil der Treibhausgasemissionen direkt aus der Tierhaltung stammt, reduzieren sich die brutto ausgestossenen Treibhausgasemissionen ebenfalls um einen Drittel. Diese verbleibenden Treibhausgasemissionen werden durch die Kohlenstoff-Sequestrierung kompensiert. Dazu kommt in diesem Szenario auf knapp der Hälfte der Fläche Agroforst zum Einsatz. Aufgrund der Reduktion der Milchkühe, kann der Flächenanteil des intensiven Grünlandes teilweise substituiert werden mit Pappeln im Agroforstsystem kombiniert mit extensiv genutztem Grünland. Dies hat für den Landwirt den Vorteil, dass er zusätzliche Direktzahlungen für extensiv genutzte Wiesen erhält, was den Verlust teilweise ausgleicht, welcher durch die tieferen Graserträge verursacht wird. ›

Im Szenario *Fix* hingegen, in welchem die Produktionsmenge nicht zurückgehen darf, muss das Land intensiver genutzt werden, um die Tiere füttern und gleichzeitig die gesamte Menge Treibhausgase sequestrieren zu können. In diesem Szenario werden knapp zwei Drittel der Fläche als Agroforstsysteme genutzt. Dabei werden die Pappeln auf gut 10% der Fläche kombiniert mit extensivem und auf 50% kombiniert mit intensivem Grünland. Der Ackerbau muss in diesem System aufgegeben werden.

Kurzumtriebsplantagen kommen bei beiden Szenarien nicht in die Lösung. Diese könnten zwar pro Flächeneinheit mehr CO_2 sequestrieren, jedoch wird dadurch auch die Futterproduktion noch mehr eingeschränkt.

Die Reduktion der Treibhausgasemissionen verursacht für den Landwirt Kosten in der Form von Opportunitätskosten. Um genügend Treibhausgase sequestrieren zu können, wird der Landwirt in der Wahl der Nutzung seiner Landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie der Wahl der Tierzahl eingeschränkt. Es wird ihm zum Beispiel die Möglichkeit genommen, Ackerbau zu betreiben, was zu geringeren Einnahmen führen kann oder er muss die Tierzahl reduzieren, was ebenfalls zu geringeren Einnahmen führt.

In Abbildung 2 ist dargestellt, wie diese Kosten mit zunehmender Reduktion der netto-Treibhausgasemissionen ansteigen. Dabei ist zu sehen, dass die Grenzvermeidungskosten (GVK) beim Szenario *Fix* stärker ansteigen als im Szenario *Optimum*. Bei beiden Szenarien werden in einem ersten Schritt auf dem bestehenden extensiv genutzten Grünland Bäume gepflanzt, womit etwa ein Viertel der ausgestossenen Treibhausgase sequestriert werden kann. Dies verursacht relativ geringe GVK in der Höhe von 32 Franken pro Tonne

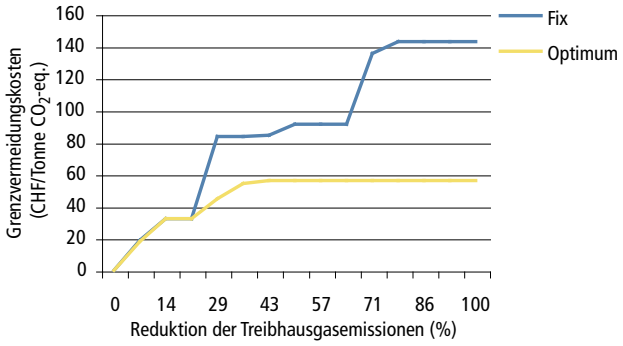


Abb. 2 | Grenzvermeidungskosten bei einer schrittweisen Reduktion der Treibhausgasemissionen in den Szenarien Fix und Optimum.

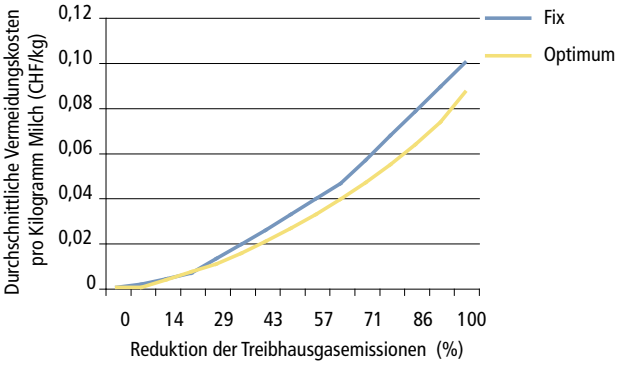


Abb. 3 | Durchschnittliche Vermeidungskosten pro Kilogramm Milch.

CO_2- eq. Danach wird im Szenario *Optimum* intensives Grünland in extensiven Agroforst umgewandelt. Da dabei die Futterproduktion zurückgeht, wird gleichzeitig die Tierzahl reduziert, was die Emissionen weiter vermindert. Dies verursacht GVK in der Höhe von etwa 58 Franken pro Tonne CO_2-eq. Zu diesem Preis können die Emissionen in diesem Szenario auf null reduziert werden.

Im Szenario *Fix* muss dieselbe Futtermenge produziert werden wie im Ausgangsszenario. Hier wird Ackerfläche zuerst durch Agroforst auf extensivem Grünland ersetzt. Dies kostet rund 80 Franken pro Tonne CO_2-eq. Nachdem die gesamte Ackerfläche in Agroforst umgewandelt wurde, werden auf intensivem Grünland, welches als Weide genutzt wird, Bäume gepflanzt. Um den Verlust der Futtermenge auszugleichen, muss gleichzeitig das Agroforstsystem mit extensiver Grünlandnutzung intensiviert werden. Diese Massnahmen verursachen GVK in der Höhe von etwa 140 Franken pro Tonne CO_2-eq.

Die durchschnittlichen Vermeidungskosten bezogen auf ein Kilogramm Milch sind für die Szenarien *Optimum* und *Fix* in Abbildung 3 dargestellt. Mit zunehmender Reduktion steigen bei beiden Szenarien die Kosten auf knapp zehn Rappen pro Kilogramm Milch bei einer vollständigen Reduktion der netto-Treibhausgasemissionen. Im Szenario *Fix* sind die gesamten Vermeidungskosten zwar höher als im Szenario *Optimum*, in diesem Szenario geht mit zunehmender Reduktion jedoch auch die produzierte Milchmenge zurück, was die Durchschnittskosten erhöht.

Die Höhe der Kosten, welche durch die Reduktion der Treibhausgase verursacht werden, hängt stark ab vom Wachstum der Pappeln im Agroforst und damit der Geschwindigkeit der Kohlenstoffsequestrierung. Reduziert man zum Beispiel die angenommene Wachstums-

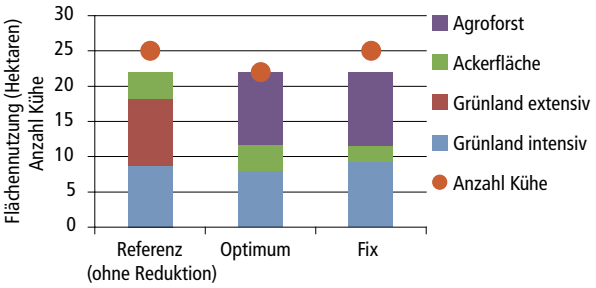


Abb. 4 | Flächennutzung und Tierzahl auf dem modellierten Mutterkuh-Betrieb im Ausgansszenario ohne Reduktion und den beiden Szenarien mit einer Reduktion der netto-Treibhausgasemissionen auf null.

leistung der Pappeln um 10 %, so verteuert sich die Reduktion im Szenario *Optimum* um 17 %. Im Szenario *Fix* ist bei dieser Annahme eine Reduktion der netto-Treibhausgasemissionen auf null nicht mehr möglich, da nicht gleichzeitig genügend Futter produziert und der Kohlenstoff sequestriert werden kann.

Mutterkuhhaltung

Der Mutterkuh-Betrieb stösst im Referenzszenario rund 80 Tonnen CO_2-eq. aus. In diesem Szenario werden gut 80 % der Fläche als Grünland und der Rest als offene Ackerfläche genutzt (Abb. 4). Mit der Reduktion der netto-Treibhausgasemissionen auf null wird in den Szenarien *Optimum* und *Fix* das gesamte extensiv-genutzte Grünland in Agroforst umgewandelt. Zusätzlich muss beim Szenario *Fix* noch ein Teil der Ackerfläche in Agroforst umgewandelt werden. Um dies zu verhindern, werden im Szenario *Optimum* die Tierzahl und damit auch die brutto-Treibhausgasemissionen um gut 10 % reduziert.

Auch dem Mutterkuh-Betrieb entstehen durch die Reduktion der Treibhausgasemissionen Kosten. Die Grenzvermeidungskosten sind dargestellt in Abbildung 5. In beiden Szenarien werden in einer ersten Phase Bäume auf extensivem Grünland gepflanzt. Damit können 70% der brutto-Emissionen zu GVK von rund 30 Franken pro Tonne CO_2-eq. sequestriert werden. Danach muss im Szenario *Fix* Ackerfläche in Agroforst umgewandelt werden, damit weiterhin genügend Futter zur Verfügung steht. Dies verursacht GVK in der Höhe von über 80 Franken pro Tonne CO_2-eq. Im Szenario *Optimum* wird – sobald das gesamte extensive Grünland in Agroforst umgewandelt wurde – die Tierzahl reduziert. Dies verursacht GVK in der Höhe von 55 Franken pro Tonne CO_2-eq. Verglichen mit den aktuellen Preisen für handelbare Emissionszertifikate von ca. 22 Franken pro Tonne CO_2-eq (ECX 2010), wäre der Handel mit Zertifikaten über gebundenen Kohlenstoff aus Agroforstsystemen zu teuer.

Die durchschnittlichen Vermeidungskosten bezogen auf ein Kilogramm Fleisch sind in Abbildung 6 dargestellt. Dabei liegen die Kosten im Szenario *Fix* mit 90 Rappen pro Kilogramm Schlachtgewicht wie bei der Milchproduktion etwas höher als beim Szenario *Optimum* mit 80 Rappen pro Kilogramm Schlachtgewicht. Ein Teil der höheren Gesamtkosten konnte jedoch auch hier durch die höhere Produktion ausgeglichen werden, wodurch sich die Differenz zwischen den beiden Szenarien verkleinert.

Die Durchschnittskosten pro Kilogramm Fleisch verändern sich relativ stark bei einer geringeren Sequestrierungsleistung der Pappeln. Bei einer Abnahme der jährlich sequestrierten CO_2-Menge um 10 % steigen die Durchschnittskosten in beiden Szenarien auf 1.30 Franken pro Kilogramm Schlachtgewicht.

Auf Grund der mit der Reduktion der Treibhausgase einhergehenden Extensivierung des Betriebes nimmt der Arbeitsaufwand im Szenario *Optimum* gegenüber dem Referenzszenario um 10% ab. Da ein Teil des Einkommens jedoch aus den Direktzahlungen stammt, welche ›

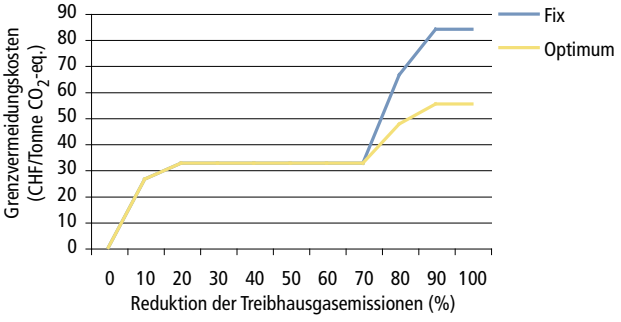


Abb. 5 | Entwicklung der Grenzvermeidungskosten bei zunehmender Reduktion der Treibhaus-gasemissionen.

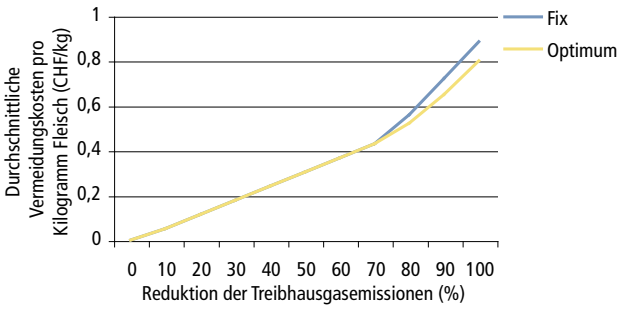


Abb. 6 | Durchschnittliche Vermeidungskosten pro Kilogramm Fleisch.

bei einer Extensivierung des Betriebes eher zu- als abnehmen, bleibt der Stundenlohn auch ohne Kompensationszahlungen in allen Szenarien gleich hoch. Geht man davon aus, dass der Landwirt seine Entscheidung von einem konstanten Stundenlohn abhängig macht und nicht von einem konstanten landwirtschaftlichen Einkommen, so müsste für das klimaneutral produzierte Fleisch im Szenario *Optimum* kein Zuschlag bezahlt werden. Beim Szenario *Fix* nimmt die Arbeitsbelastung leicht zu, da die Tierzahl gleich bleibt und Agroforstsysteme mehr Arbeit verursachen als landwirtschaftliche Kulturen ohne Bäume. Hier müsste die Kompensationszahlung sogar höher sein, wenn der Landwirt seinen Stundenlohn anstatt sein Einkommen optimiert.

Schlussfolgerungen

- Agroforstsysteme können einen Beitrag leisten, um die Produktion von Nahrungsmitteln klimafreundlicher zu machen.
- Für die Abschätzung der Möglichkeiten eines Agroforstsystems ist eine ganzheitliche Betrachtung der landwirtschaftlichen Systeme beziehungsweise Betriebe notwendig. Dabei sollten auch andere technische Möglichkeiten zur Reduktion der CO_2 Emissionen sowie weitere Vor- und Nachteile von Agroforstsystemen berücksichtigt werden.
- Für den modellierten Beispielbetrieb würde sich klimaneutral produzierte Milch um mindestens neun Rappen pro Kilogramm verteuern. Das Fleisch aus der Mutterkuhhaltung würde sich um mindestens 80 Rappen pro Kilogramm Schlachtgewicht verteuern.
- Die Kosten sind stark abhängig von der unterstellten Wachstumsleistung der Bäume im Agroforstsystem und der damit zusammenhängenden Möglichkeit zur Sequestrierung von CO_2.
- Verglichen mit den aktuellen Preisen für handelbare Emissionszertifikate von ca. 22 Franken pro Tonne CO_2-eq (ECX 2010), wäre der Handel mit Zertifikaten über gebundenen Kohlenstoff aus Agroforstsystemen entsprechend unseren Modellrechnungen zu teuer. ■

Literatur

- agridea 2008. Deckungsbeiträge 2008. agridea, Lindau.
- Agroforst, 2009a. Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung. Schlussbericht des Projektes agroforst (Projektlaufzeit April 2005 bis September 2008). Zugang: http://www.agroforst.unifreiburg.de/ergebnisse.php [28.4.2010].
- Agroforst, 2009b. Moderne Agroforstsystememit Werthölzern. Leitfaden für die Praxis. Im Rahmen des P».Zugang: http://www.agroforst.unifreiburg.de/ergebnisse.php [28.4.2010].
- Burgess P., Graves A., Palma J., Herzog F., Keesman K. & van der Werf W., 2005.Parameterisation of the Yield-SAFE model and its use to determine yields at the landscape test sites.Cranfield University, Institute of Water and Environment, Silsoe.
- European Climate Exchange (ECX), 2010. Market data snapshot. Zugang: http://www.ecx.eu/Market-data-snapshot [25.5.2010].
- Hediger W., 2004. Bestimmungsgründe und Entwicklung der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen und Kohlenstoff-Senken in der Schweiz. ETH Zürich, Zürich.
- Herzog F., 1998. Streuobst: a traditional agroforestry system as a model for agroforestry development in temperate Europe. *Agroforestry Systems* **42**, 61–80.
- Jose S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmentalbenefits: an overview. *Agroforestry Systems* **76**, 1–10.
- Krummenacher J., Maier B., Huber F. & Weibel F., 2008. Ökonomisches und ökologisches Potenzial der Agroforstwirtschaft. *Agrarforschung* **15** (3), 132 – 137.
- Köhl M., Frühwald A., Kenter B. & Olschofsky K., 2008. Potenzial und Dynamik der C-Sequestrierung in Wald und Holz. Zugang: www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/.../11.../6-Koehl.pdf [25.5.2010].
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S. & Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *AgronomyforSustainable Development* **29**, 43 – 62.
- Peter S., Hartmann M., Weber M., Lehmann B. & Hediger W., 2009. «THG 2020» - Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz. Schriftenreihe 2009/1 der Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie, ETH Zürich.
- Roesch A. & Hausheer Schnider J., 2009. Grundlagenbericht 2008. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
- SAFE, 2005. Silvoarable Agroforestry for Europe (SAFE). Synthesis of the SAFE project (August 2001-January 2005) (SAFE final report). Zugang: http://www1.montpellier.inra.fr/safe/index.php [28.4.2010].
- Schlegel & Co. Gartenprodukte GmbH, 2010. Pappel (Populusssp. Hybr.). Zugang: http://www.die-forstpflanze.de/Laubbaeume/Pappel:::5_50001_50048.html [25.5.2010].
- Swiss Greenhouse Gas Inventories, 2009. Annual submissions under the UNFCCC on GHG emissions and removals in Switzerland. Inventory 2007, 2009 submission. Zugang: http://www.bafu.admin.ch/climatereporting/00545/index.html?lang=en [26.4.2010].
- UNFCCC, 2008. Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector. Technical paper (FCCC/TP/2008/8). United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).
- Waldwirtschaft Schweiz, 2009. Zur Holzmarktkampagne 2009/2010. Zugang: http://www.wvs.ch/m/mandanten/159/download/09_1114_WH11_HM_AK2.pdf [25.5.2010].
- World Agroforestry Centre, 2010. Advancing carbon sequestration through agrofor-estry to enhance livelihoods while mitigating climate change. Zugang: http://www.worldagroforestry.org/research/grp5_climate_change/mitigation [28.4.2010].

Riassunto

Sono i sistemi agroforestali una soluzione economica per una produzione animale CO_2 neutrale?

L'agricoltura è responsabile dell'11 % ca. delle emissioni di CO_2 in Svizzera. I sistemi agroforestali costituiscono una soluzione per migliorare il bilancio climatico in agricoltura.

I sistemi agroforestali sono una combinazione sulla stessa parcella tra colture di legname con colture di pieno campo, oppure foraggiere. Un vantaggio dei sistemi agroforestali è la loro capacità di sequestrare la CO_2, per quindi fissarla e poi stoccarla nel legno della coltura perenne e nell'accumulo dell'Humus. Dopo essere stato raccolto il legno può essere utilizzato come legname da costruzione o carpenteria, oppure come sostituente alle energie fossili. In entrambi i casi l'emissione dei gas ad effetto serra è ridotta.

Grazie ai sistemi agroforestali un'azienda agricola svizzera, con produzione lattiera oppure allevamento di mucche nutrici, può raggiungere un bilancio neutro in CO_2, senza dover limitare drasticamente la propria produzione. La nostra analisi indica che i costi supplementari generati da questo sistema si attestano ad almeno 9 centesimi per chilogrammo di latte e ad almeno 80 centesimi per chilogrammo di carne prodotto. Se, invece, le emissioni dei gas a effetto serra devono essere ridotti senza alcuna limitazione nella produzione, i costi supplementari ammonterebbero a 10 centesimi per chilogrammo di latte e a 90 centesimi per chilogrammo di carne.

Summary

Is agroforestry an economic opportunity for carbon-neutral animal production?

In Switzerland, agriculture is responsible for about 11 % of the emitted greenhouse gases. Agroforestry systems may improve the climate balance of Swiss agriculture by sequestering carbon. Agroforestry systems are a combination of a lignifying permanent crop with a crop or with grassland on the same area. One advantage is their ability to sequester carbon, that is stored in the permanent crop's wood or as an enrichment of humus in the soils. After harvesting, the wood can be used as timber/furniture wood or as a substitute for fossil energy sources. In both cases, greenhouse gas emissions will be reduced. Applying this system to a Swiss farm specialized in milk production or suckler cows can reduce net greenhouse gas emissions to zero without reducing the animal production. In our analysis, this reduction generates additional costs of at least 9 centimes per kilogram milk or 80 centimes per kilogram meat. If the emissions shall be reduced without reducing production of milk or meat, additional costs of at least 10 centimes per kilogram milk or 90 centimes per kilogram meat are generated.

Key words: climate change, carbon-sequestration, agroforestry, animal production, carbon-neutral agriculture.