

Verhalten verschiedener Zwischenkulturen in einem Netzwerk von *On-Farm*-Versuchen

Camille Amossé¹, Jacques Dugon², André Chassot², Nicolas Courtois³, Jean-Daniel Etter⁴, Amélie Fietier⁵, Kaspar Grünig⁶, Werner Henggartner⁷, Hans Ramseier⁸, Nicolas Rossier⁹, Wolfgang Sturny¹⁰, Raphaël Wittwer¹¹, André Zimmermann¹², Bernard Jeangros¹ und Raphaël Charles¹

¹Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz; ²AGRIDEA, 1001 Lausanne, Schweiz

³AgriGenève, 1217 Meyrin, Schweiz; ⁴ProConseil, Prométerre, 1001 Lausanne, Schweiz

⁵Fondation Rurale Interjurassienne FRIJ, 2852 Courtételle, Schweiz; ⁶INFORAMA, 3052 Zollikofen, Schweiz

⁷Landwirtschaftliche Schule Strickhof, Fachbereich Futterbau, 8315 Lindau, Schweiz

⁸Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

⁹Institut agricole de l'Etat de Fribourg IAG, Centre de conseils agricoles, 1725 Posieux, Schweiz

¹⁰Amt für Landwirtschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, 3052 Zollikofen, Schweiz

¹¹Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH, 8046 Zürich, Schweiz

¹²Etat de Vaud, Service de l'agriculture SAGR, 1510 Moudon, Schweiz

Auskünfte: Dugon Jacques, E-Mail: jacques.dugon@agridea.ch



Besuch einer Versuchspartelle mit verschiedenen Pflanzenmischungen für den Zwischenkulturanbau 2014. Die Untersuchung dieser Mischungen stützte sich auf die Ergebnisse der nachfolgenden Studie.

Einleitung

Zur Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises müssen die Landwirtschaftsbetriebe den Boden nach einer Ernte im Sommer mit einer Winter-, Zwischen- oder Gründungskultur bedecken. Ziel ist der Schutz des Bodens vor Erosion und vor einer chemischen oder phy-

sikalischen Belastung. Der Ausdruck «Gründung» bezieht sich auf die Bodenfruchtbarkeit. Solche Zwischenkulturen sind mit zahlreichen Vorteilen verbunden (Hartwig und Ammon 2002; Destain *et al.* 2010; Scholberg *et al.* 2010; Collective 2013; Thomas 2013).

Im Gegensatz zu einer eigentlichen Zwischenkultur hat eine Bodenbedeckung im weiteren Sinne normaler-

weise keinen direkten ökonomischen Wert. Die genaue Bezifferung des Gewinns ist komplex, da viele Faktoren in nicht genau definierbarer Weise und langfristig eine Rolle spielen. Damit jedoch ein maximaler Nutzen aus der Bodenbedeckung gezogen werden kann (Schutz vor Erosion und vor einer chemischen oder physikalischen Belastung, Wachstumshemmung der Unkräuter, Rezyklierung der Nährstoffe, Verbesserung der Struktur des Bodens und der Biodiversität der Anbauflächen), ist es empfehlenswert, die Zwischenkultur genauso sorgfältig wie die Kultur einer für den Verkauf vorgesehenen Feldfrucht anzulegen. Die Einrichtung einer Bodenbedeckung kann kostspielig sein (Kosten für die Saat, Arbeitsaufwand).

Um die Funktionen der in der Schweiz am häufigsten angebauten Zwischenkulturen besser zu verstehen, wurde ein Netzwerk mit Feldversuchen eingerichtet. Dieses Netzwerk wurde von mehreren Beratungs- und Bildungseinrichtungen (siehe Liste der Autorinnen und Autoren) sowie von Agroscope und AGRIDEA im Rahmen der Interessengruppe «Couverts végétaux» der Plattform Ackerbau Schweiz (www.pag-ch.ch) gefördert und betreut.

Mit dieser Studie sollten die Beziehungen zwischen der Entwicklung verschiedener Zwischenkulturen und den Anbau- und pedoklimatischen Bedingungen der betreffenden Parzelle des Netzwerks genauer beschrieben werden. Das übergeordnete Ziel war es dabei, geeignete Pflanzenarten für eine Bodenbedeckung vorzuschlagen, die auf präzise Bedingungen des Betriebs, Bodens und des Klimas abgestimmt sind.

Material und Methoden

Versuchsanlage

Die Versuche betrafen Zwischenkulturen in den Jahren 2011 bis 2013 an elf Standorten entlang der Achse Genf-Zürich und im Jura mit 29 Kombinationen Standort x Jahr bei verschiedenen pedoklimatischen Bedingungen (Tab. 1). Die Bodenbedeckung wurde je nach Standort und Jahr im Hinblick auf eine lange Zwischenkultur vor einer Sommerkultur ausgesät (Tab. 2). Die meisten Zwischenkulturen wurden nach einem Halmgetreide angelegt.

Bei den getesteten Zwischenkulturen (Tab. 3) war eine Vielfalt von Pflanzenfamilien und Verhaltensweisen vertreten. Bei allen Arten wurde angenommen, dass sie bei den klimatischen Bedingungen der Schweiz frostempfindlich sind. Die Zwischenkulturen wurden in Streifen ohne Wiederholungen oder auf Mikroparzellen mit Wiederholungen gesät, je nach den am jeweiligen Standort verfügbaren Versuchsmitteln.

Zusammenfassung

Um das Verhalten von Zwischenkulturen bei verschiedenen Umweltbedingungen besser zu verstehen, wurde ein Netzwerk von Versuchspartnern entlang der Achse Genf-Zürich und im Jura eingerichtet. Einige der untersuchten Arten vermochten den Boden im Herbst schnell zu bedecken (z.B. Sareptasenf). Andere Arten produzierten eine bedeutende Biomasse oberirdischer Pflanzenteile (z.B. Sonnenblume). Wieder andere, im Herbst weniger leistungsfähige Arten, stellten eine gute Bodenbedeckung Ende Winter sicher, wie der Rauhafer. Mit einer multifaktoriellen Analyse konnten die Beziehungen zwischen den Leistungen der verschiedenen Zwischenkulturen und den Umweltbedingungen untersucht werden. Keine Art vereinigt alle über die gesamte Zwischenkultur erwünschten Eigenschaften, Mischungen verschiedener Arten sind jedoch vielversprechend.

Beobachtungen und Messungen

Für die Beobachtung der Zwischenkulturen wurde die Bedeckung des Bodens 10, 20, 30 und 40 Tage nach der Saat (TnS) visuell festgestellt. Die Bedeckung wurde auch am Ende des Winters (1. März) bei den Rückständen der Zwischenkulturen beurteilt, ebenso wie das Unkraut. Zwischenkultur und Unkraut wurden getrennt geerntet, um die frische oberflächliche Biomasse beim ersten Frost des Winters oder spätestens am 15. November festzustellen.

Datenanalyse

Die Datenanalysen erfolgten mit der Statistik-Software R (R Core Team 2014). Für die Daten zur Bedeckung des Bodens bei 30 TnS und am Ende des Winters sowie zur oberflächlichen Biomasse der Zwischenkultur und des Unkrauts beim ersten Frost wurden Varianzanalysen durchgeführt. Diese Analysen wurden mit dem Softwarepaket R nlme «Linear and Nonlinear Mixed Effects Models» vorgenommen (Pinheiro *et al.* 2014).

Über den Bodenbedeckungsgrad bei 10 bis 40 TnS konnte die Wachstumsdynamik der Zwischenkulturen modelliert werden. Diese Analysen erfolgten mit dem Softwarepaket R drc «Analysis of Dose-Response Curves» (Ritz and Streibig 2005). Als Indikator für die Wuchskraft der Zwischenkultur wurde aus diesen Modellierungen die Zeit abgeleitet, die für das Erreichen einer Bedeckung von 50 % ($T_{50\%}$) erforderlich war.

Tab. 1 | Pedologische und klimatische Eigenschaften der Versuchspartellen

Standort	Jahr	Boden			10 Tage vor der Saat			30 Tage nach der Saat			1. Frost ¹		
		Körnung	OrgS (%)	pH	Σ T (°C, Basis 5)	Σ N (mm)	N-ET (mm)	Σ T (°C, Basis 5)	Σ N (mm)	N-ET (mm)	Σ T (°C, Basis 5)	Σ N (mm)	N-ET (mm)
Aire-la-Ville	2011	lehmiger Ton	2	8	167	29	-17	437	115	-5	1519	262	-86
	2012	lehmig	2	6,5	153	16	-29	500	55	-73	1247	238	-30
	2013	lehmiger Ton	2,2	6,5	202	114	67	500	78	-43	1139	396	164
Changins	2011		3,2	7,3	119	30	-1	464	93	-19	1174	232	-31
	2012	toniger Lehm	2,5	7,3	175	8	-40	505	71	-48	986	227	18
	2013		2	7,4	200	103	57	466	53	-61	980	339	135
Aubonne	2012			KA	146	3	-47				1013	345	94
	2013	KA	KA	KA	180	89	41	-2	-2	-2	879	493	283
	2011				117	11	-26				912	136	-100
Pampigny	2012	KA	KA	KA	146	3	-47	-2	-2	-2	1093	349	72
	2013				180	89	41				934	493	268
	2011	sandiger Lehm	2,4	6,9	144	18	-21	407	53	-44	752	131	-44
Grange Verney	2012	lehmig	3,2	7,6	150	5	-41	451	74	-45	842	306	101
	2013	sandiger Lehm	2,5	7,5	147	25	-16	385	130	26	690	614	291
	2011	lehmig	3,2	5,9	136	29	-15	437	94	-36	827	181	-67
Grangeneuve	2012	lehmiger Sand	3,3	6,5	162	24	-19	419	115	32	764	299	171
	2013		3,5	7,8	150	29	-6	365	151	68	732	388	273
	2011		3,5	7,5	159	77	-5	418	222	25	697	536	26
Jura (Fregécourt)	2012	toniger Sand	2,5	7,7	126	35	1	333	67	-6	557	172	62
	2013				146	18	-27	474	79	-56	780	186	-43
	2011	sandiger Lehm			152	10	-43	369	106	12	596	247	96
Zollikofen	2012	lehmig	3,8	7	144	10	-41	295	112	31	-2	-2	-2
	2013	sandiger Lehm			157	36	-1	392	219	133	1200	458	206
	2011				175	20	-16	453	235	152	956	564	409
Reckenholz	2012	lehmiger Sand	2,5	6,5	187	72	26	371	118	16	725	335	161
	2013				157	36	-1	478	148	49	793	244	80
	2011	lehmig	5	7,7	175	20	-16	504	263	176	940	563	411
Lindau	2012	lehmiger Ton			187	72	26	462	148	21	856	454	247
	2013	lehmig	4	7,2									
	2011												

Abkürzungen: OrgS = Organische Substanz des Bodens; KA = keine Angabe; N-ET = Bilanz (Niederschläge - Evapotranspiration); Σ N = Summe der Niederschläge; Σ T = Summe der Temperaturen

¹Erster Frost je nach Standort x Jahr 54 bis 121 Tage nach der Saat.

²Zu diesem Zeitpunkt keine Beobachtung für diesen Versuch Standort x Jahr.

Tab. 2 | Anbauverfahren der Zwischenkulturen auf den verschiedenen Parzellen des Netzwerks während den drei Vegetationszyklen

Standort	Jahr	Vorkultur	Datum Aussaat	Bodenbearbeitung vor Aussaat	Intensität Bodenbearbeitung	Art der Aussaat	Stickstoff-Düngung	Schneckenbekämpfung
Aire la Ville	2011	Wintergerste	1.07.	keine	keine	Direktsaat	Ja	Nein
	2012	Winterweizen	18.07.			Direktsaat		Ja
	2013		2.08.			Direktsaat+ Walzen		Nein
Changins	2011	Winterweizen	29.07.	Pflug + Kreiselegge	tief	klassisch + Walzen	Ja	Ja
	2012		31.07.				Nein	Nein
	2013	Luzerne	6.08.			klassisch		
Aubonne	2012	Winterweizen	26.07.	Scheibenegge	mitteltief	Breitsaat	Nein	Nein
	2013		6.08.	keine	keine	Direktsaat		
Pampigny	2011	Winterweizen	1.08.	keine	keine	Direktsaat	KA	KA
	2012		2.07.					
	2013		3.08.					
GrangeVerney	2011	Winterweizen	18.08.	Scheibenegge	mitteltief	Breitsaat + Walzen	Ja	Ja
	2012		31.07.	Kreiselegge	oberflächlich	klassisch + Walzen	Nein	Nein
	2013	Winterroggen	15.08.	Grubber + Kreiselegge	mitteltief			
Grangeneuve	2011	Winterweizen	5.08.	Scheibenegge + Kreiselegge	mitteltief	klassisch + Walzen	Nein	Ja
	2012		4.08.				Ja	
	2013		14.08.					
Jura (Fregécourt)	2011	Winterweizen	24.08.	Grubber + Kreiselegge	mitteltief	klassisch	Nein	Ja
Jura (Courcelon)	2012	Sommertriticale	1.08.	Gänsefuss-Grubber	oberflächlich	Breitsaat	Ja	Nein
	2013		31.08.			Breitsaat + Walzen		Ja
Zollikofen	2011	Winterweizen	11.08.	Grubber	mitteltief	klassisch	Nein	Nein
	2012		17.08.	Grubber + Scheibenegge				Ja
	2013		23.08.	Grubber + Kreiselegge				Breitsaat
Reckenholz	2011	Wintergerste	12.07.	keine	keine	Direktsaat	Nein/Ja	Ja
	2012		2.08.	Fräse	oberflächlich	klassisch	Nein/Ja	
	2013		15.08.				Nein/Ja	
Lindau	2011	Sommergerste	18.08.	Scheibenegge	mitteltief	Breitsaat oder klassisch ¹	Nein	Nein
	2012	Winterweizen	3.08.	Pflug + Kreiselegge	tief		Ja	
	2013		8.08.				Nein	

Abkürzungen: KA = keine Angabe

¹Je nach Grösse der Samen

Die Beziehungen zwischen der Entwicklung der verschiedenen Zwischenkulturen und den pedoklimatischen Bedingungen (Tab. 1) beziehungsweise den Anbaubedingungen (Tab. 2) nach Standort x Jahr wurden mit der Methode der Redundanzanalyse (RDA) des Softwarepakets R vegan «Community Ecology Package» (Oksanen *et al.* 2013) untersucht. Mit dieser Methode lassen sich die signifikanten erklärenden Variablen bestimmen und die besten Korrelationen zwischen den Beobachtungsvariablen und den mehreren erklärenden Faktoren finden.

Resultate

Einfluss des Jahres und des Standorts

Das Verhalten der Zwischenkulturen war je nach Standort und Jahr sehr unterschiedlich (Abb. 1). Mit Ausnahme von Grangeneuve (Bedeckung und Biomasse), Aire-la-Ville (Bedeckung) und Pampigny (Biomasse) variierten die Ergebnisse von Jahr zu Jahr am selben Standort stark. Grangeneuve zeichnete sich durch eine geringere Variabilität nach Anbaujahr aus, mit durchschnittlichen Variationskoeffizienten (VarK) von 21 % (Bedeckung) und

Tab. 3 | Für die Bodenbedeckung getestete reine Arten und Mischungen

a) Reinsaaten		
Botanische Familie	Deutscher Name	Lateinischer Name
Asteraceae	Nigerpflanze (Rammtillkraut)	<i>Guizotia abyssinica</i> (L.f.) Cass.
	Sonnenblume	<i>Helianthus annuus</i> L.
Brassicaceae	Sareptasenf (oder Brauner Senf)	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.
	Leindotter	<i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz
	Daikonrettich	<i>Raphanus sativus longipinnatus</i> L.H.Bailey
Fabaceae	Saat-Platterbse	<i>Lathyrus sativus</i> L.
	Futtererbse	<i>Pisum sativum arvense</i> (L.) Asch. & Gräbn.
	Alexandrinerklee	<i>Trifolium alexandrinum</i> L.
	Futterwicke	<i>Vicia sativa</i> L.
Hydrophyllaceae	Phacelia	<i>Phacelia tanacetifolia</i> Bent.
Poaceae	Rauhafer	<i>Avena strigosa</i> Schreb.
b) Mischungen		
Rauhafer, Ackerbohne (<i>Vicia faba</i> L.), Phacelia, Futtererbse, Daikonrettich, Sonnenblume, Alexandrinerklee, Futterwicke (Misc. PAG) ¹		
Phacelia - Alexandrinerklee (Misc Phac.-Ak)		

¹2012 und 2013 gültige Liste. 2011 enthielt die Mischung Sareptasenf und Linse (*Lens culinaris* Medik.) statt Sonnenblume und Ackerbohne.

25 % (Biomasse), gegenüber 35 bis 67 % beziehungsweise 33 bis 84 % an den anderen Standorten. Die Bodenbedeckung in Changins war im Vergleich mit den anderen Situationen ebenfalls relativ konstant (VarK = 26 %). Diese geringere Variabilität bedeutet, dass die verschiedenen Zwischenkulturen hier im Vergleich zu Standorten mit grösseren jährlichen Unterschieden homogenere Leistungen erbringen.

Einfluss der Bodenbedeckungsart

Mit der Modellierung der Wachstumsdynamik der Zwischenkulturen konnte gezeigt werden, dass Sareptasenf

den Boden am schnellsten bedeckt (Abb. 2). Der durchschnittliche $T_{50\%}$ -Wert von Sareptasenf betrug 21,9 Tage. Die übrigen Zwischenkulturen mit schneller Bodenbedeckung erreichten eine 50 %-Bedeckung in 25,5 bis 27,0 Tagen. Es handelt sich um zwei Mischungen, Daikonrettich, Sonnenblume, Futtererbse und Phacelia. Zu den langsamsten Arten mit $T_{50\%}$ -Werten von 30 Tagen oder mehr gehörten Futterwicke, Alexandrinerklee, Saat-Platterbse und Rauhafer.

Nach Ablauf von 30 TnS waren die bezüglich Bodenbedeckung leistungsstärksten Arten noch dieselben: Sareptasenf, Daikonrettich, Futtererbse, Sonnenblume

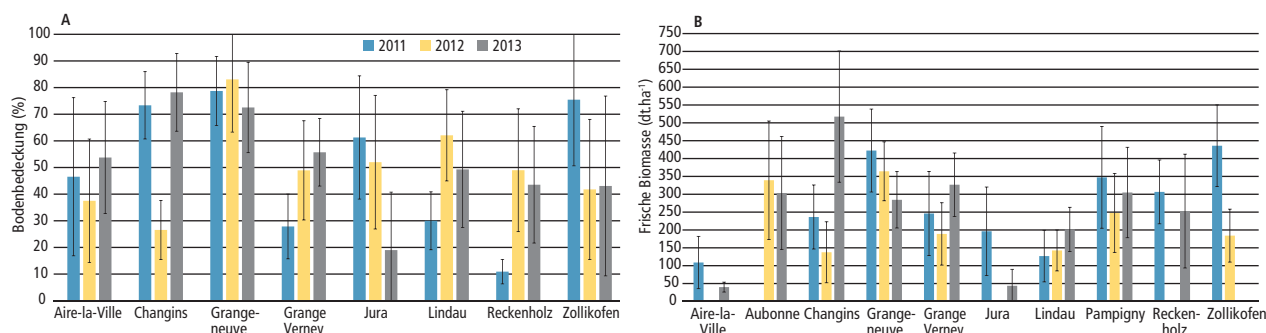


Abb. 1 | (A) Bodenbedeckungsgrad (%) 30 Tage nach der Saat und (B) frische oberirdische Biomasse der Zwischenkulturen (dt ha⁻¹) beim ersten Frost an den verschiedenen Standorten in den betreffenden Jahren im Durchschnitt aller Zwischenkulturen. Die Beobachtungen zur Bodenbedeckung fehlen für Aubonne und Pampigny und die Daten zur Biomasse für Aubonne im Jahr 2011, Aire-la-Ville, Jura und Reckenholz im Jahr 2012 sowie Zollikofen im Jahr 2013. Die Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen.

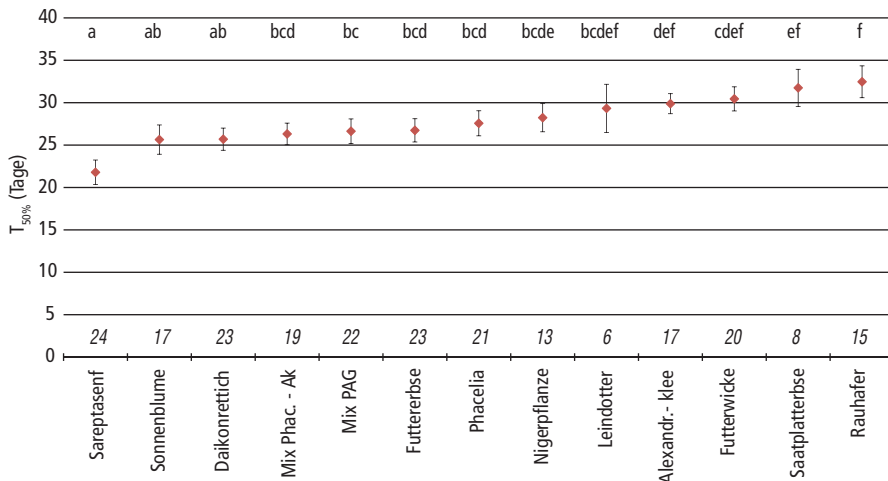


Abb. 2 | Anzahl erforderliche Tage einer Mischung/Art, um eine 50%ige Bodenbedeckung ($T_{50\%}$) zu erreichen. Die kursiven Zahlen geben die Anzahl Kombinationen Standort x Jahr an, für die Daten verfügbar sind. Die Balken entsprechen dem Standardfehler des Durchschnitts. Arten/Mischungen mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Signifikanzniveau $\alpha=5\%$).

und die Mischungen (Abb. 3). Bei den Arten mit der geringsten durchschnittlichen Bedeckung handelte es sich um Alexandrinerklee, Saat-Platterbse, Leindotter und Rauhafer.

Die Sonnenblume und Phacelia produzieren die höchste oberirdische Biomasse (≥ 285 dt FM ha^{-1}). Bei den am wenigsten produktiven Arten handelte es sich um Alexandrinerklee, Saat-Platterbse und Futterwicke sowie Rauhafer und Leindotter. Es besteht eine positive Korrelation ($r = 0,47$) zwischen dem Bodenbedeckungsgrad

und der frischen oberirdischen Biomasse beim ersten Frost für alle Zwischenkulturen bei der Gesamtheit der verfügbaren Kombinationen Standort x Jahr.

Unter den geprüften Arten bedecken die Rückstände der Futtererbse am Ende des Winters den Boden am besten (82 %, Abb. 4). Auch die Futterwicke deckt den Boden zu diesem Zeitpunkt gut ab (61 %), ebenso wie die Mischungen. Zu den Arten, deren Rückstände den Boden Ende Winter am wenigsten bedecken, zählen

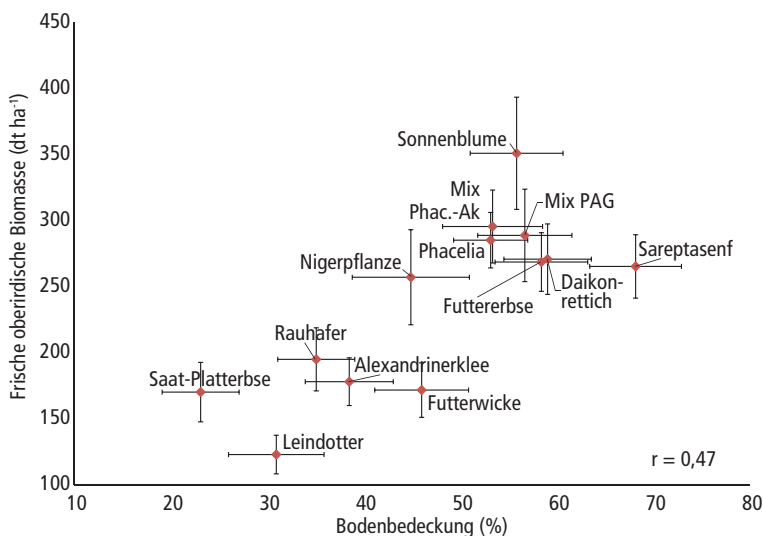


Abb. 3 | Frische oberirdische Biomasse der Arten/Mischungen (dt ha^{-1}) beim ersten Frost aufgetragen gegen den Bodenbedeckungsgrad (%) 30 Tage nach der Saat. Die Balken entsprechen dem Standardfehler des Durchschnitts. Um den Durchschnitt zu berechnen wurden pro Indikator 16 bis 25 Kombinationen Standort x Jahr für jede Art berücksichtigt.

Tab.4 | Signifikanz des Einflusses von Umweltfaktoren auf den Bodenbedeckungsgrad und die oberirdische Biomasse der untersuchten Arten/Mischungen im Herbst.

Signifikante Faktoren	Nicht-signifikante Faktoren
• Bodentextur	• Organische Substanz im Boden
• Datum der Aussaat	• pH des Bodens
• Bodenbearbeitung vor der Saat	• Schneckenbekämpfung
• Saattechnik	• Stickstoffdüngung
• kumulierte Wasserbilanz (N-ET) 10 TvS	• Walzen der Saat
• Temperatursumme beim 1. Frost	• Temperatursumme 10 TvS
	• kumulierte Wasserbilanz (N-ET) beim 1. Frost
	• Temperatursumme 30 TnS
	• kumulierte Wasserbilanz (N-ET) 30 TnS

Abkürzungen: ET = Evapotranspiration; TvS = Tage vor der Saat; TnS = Tage nach der Saat, N = Niederschläge.

Nigerpflanze und Sonnenblume, Sareptasenf, Daikonrettich und Leindotter. Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bodenbedeckungsgrad im Herbst und der Bedeckung durch die Rückstände Ende Winter.

Die Zwischenkulturen trugen signifikant zur Unkrautbekämpfung während des Herbsts und Ende Winter bei.

Dieser Beitrag war umso bedeutender, je grösser die Biomasse beim ersten Frost war und je besser der Boden Ende Winter durch die Rückstände bedeckt war (Daten nicht aufgeführt).

Verhalten der Zwischenkulturen nach Umweltbedingungen

Durch eine multifaktorielle Analyse konnten die relevanten Faktoren für den Bodenbedeckungsgrad der Zwischenkulturen 30 TnS und für die frische oberirdische Biomasse nach dem ersten Frost ermittelt werden (Tab. 4).

Die gute Bodenbedeckung 30 TnS der Arten Sareptasenf, Schwarzem Rettich, Futtererbse und Phacelia sowie der Mischungen korreliert positiv mit einer mittleren bis tiefen Bodenbearbeitung (Tab. 2), mit einer positiven Wasserbilanz zehn Tage vor der Saat und mit lehmigen Böden (Abb. 5). Die gute Leistungsfähigkeit der Arten mit hoher oberirdischer Biomasse beim ersten Frost (Sonnenblume und Nigerpflanze) korreliert positiv mit leichten Böden (sandiger Lehm oder lehmiger Sand) und mit einer mittleren Bodenbearbeitung. Die schlechte Leistungsfähigkeit von Futterwicke und Leindotter ist mit schwereren Böden verbunden (toniger Sand bis lehmiger Ton). Schliesslich hängt die schlechte Leistung von Leindotter, Rauhafer, Saat-Platterbse und Alexandriner- klee mit einer oberflächlichen Bodenbearbeitung oder dem Verzicht einer Bearbeitung des Bodens sowie mit einer Breitsaat zusammen.

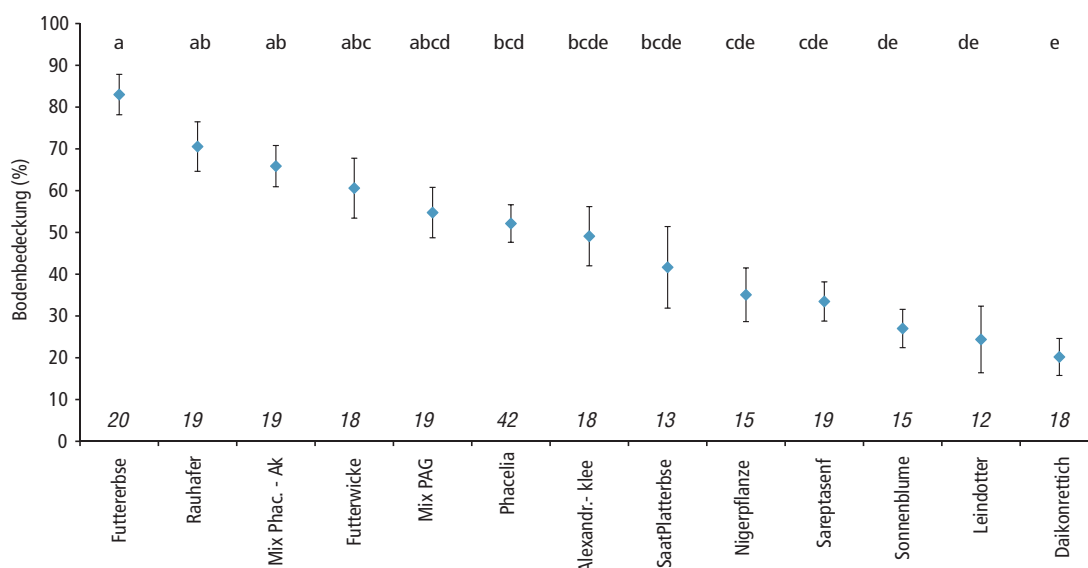


Abb. 4 | Bodenbedeckungsgrad der Rückstände der einzelnen Arten und Mischungen am Ende des Winters (1. März). Die kursiven Zahlen geben die Anzahl Kombinationen Standort x Jahr an, für die Daten verfügbar sind. Die Balken entsprechen dem Standardfehler des Durchschnitts. Arten/Mischungen mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Signifikanzniveau $\alpha=5\%$)

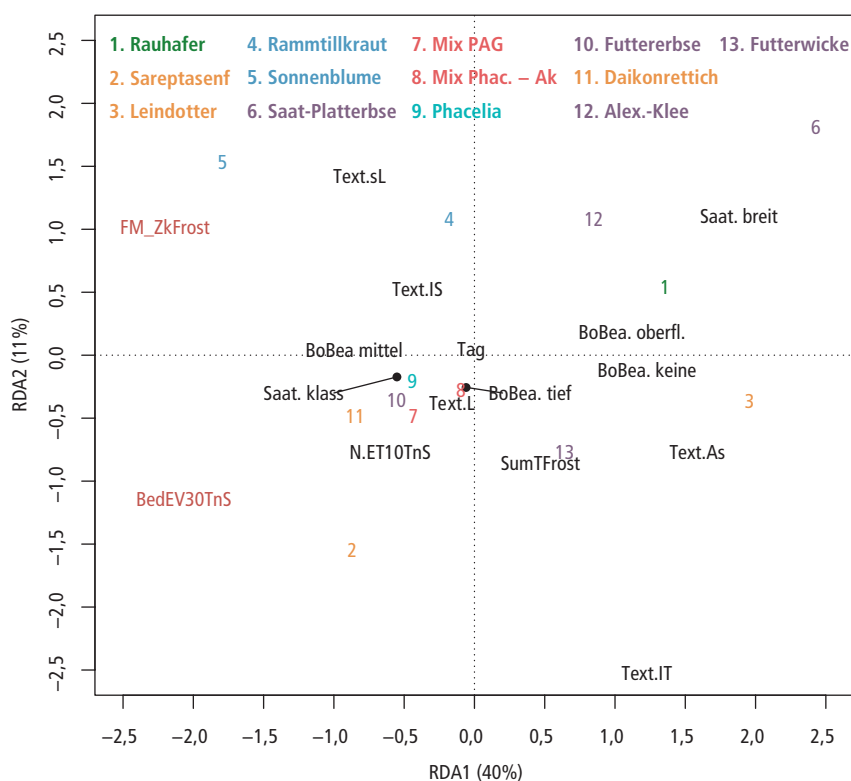


Abb. 5 | Biplot-Darstellung der Redundanzanalyse (RDA, R^2 angepasst = 48 %) der Leistungen von 13 Arten/Mischungen und der 6 Variablen zu den Anbaubedingungen und pedoklimatischen Bedingungen (17 Kombinationen Standort x Jahr, $n = 216$ Stichproben). Der Winkel zwischen den Verbindungen zweier Variablen mit dem Ursprung entspricht der Korrelation der beiden Variablen.

Abkürzungen:

Abhängige Variablen: BedZk30TnS = Bodenbedeckungsgrad der Zwischenkultur 30 Tage nach der Saat;

FM_ZkFrost = frische oberirdische Biomasse der Zwischenkultur beim ersten Frost

Unabhängige Variablen: Text. = Textur des Bodens; tS = toniger Sand; L = Lehm; IT = lehmiger Ton; IS = lehmiger Sand;

sL = sandiger Lehm; BoBea = Bodenbearbeitung vor der Aussaat der Zwischenkultur; mittel = mitteltiefe Bearbeitung;

tief = tiefe Bearbeitung; oberfl. = oberflächliche Bearbeitung; Saat = Saattechnik; klass. = klassische Saat; breit = Breitsaat;

N.ET10TnS = Bilanz (Niederschläge – Evapotranspiration) 10 Tage vor der Aussaat der Zwischenkultur; Tag = Datum der Aussaat

der Zwischenkultur; SumTFrost = Temperatursumme (Basis 5 °C) der Saat beim ersten Frost

Diskussion

Keine Reinsaat weist bei allen untersuchten Merkmalen Bedeckungsgeschwindigkeit, Bodenbedeckungsgrad und Biomasse im Herbst, Bodenbedeckung der Rückstände Ende Winter sowie Beitrag zur Unkrautbekämpfung durchgehend vorteilhafte Ergebnisse auf (Tab. 5). Über den gesamten Zeitraum betrachtet erreichen Artenmischungen (PAG und Phacelia + Alexandrinerklee) die besten Leistungen.

Tatsächlich können Artenmischungen verschiedene Defizite von Reinsaat bei sich verändernden Umweltbedingungen kompensieren. Mit dieser Studie konnte *a priori* getestet werden, welche der untersuchten Arten sich am besten ergänzen dürften. So sollte zum Beispiel eine Mischung mit Phacelia, Sareptasenf und Rauhafer die vorteilhaften Eigenschaften der schnellen und voll-

ständigen Bodenbedeckung von Sareptasenf, der grossen Biomasse der oberirdischen Pflanzenteile im Herbst von Phacelia und der hohen Bodenbedeckung durch Rückstände Ende Winter von Rauhafer auf sich vereinen. Durch die Kombination von Arten können ausserdem verschiedene ökologische Nischen bezüglich Boden, Nährstoffquellen oder Vegetationsetagen genutzt werden. Durch die symbiotische Stickstofffixierung haben Leguminosen beispielsweise gegenüber anderen Arten einen Vorteil auf stickstoffarmen Böden.

Bodenbedeckungen mit Pflanzen haben über den Nutzen einer Zwischenkultur im engeren Sinne hinaus einen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen, insbesondere in der nachfolgenden Kultur. Dieser Vorteil hängt jedoch von der Qualität der Rückstände und namentlich von deren Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N) ab. So ist zum Beispiel Rauhafer wegen der guten

Tab. 5 | Überblick zum Verhalten der verschiedenen Arten/Mischungen

Familie	Art	Bedeckungs- geschwindigkeit (T50%)	Bedeckung im Herbst	oberirdische Bio- masse im Herbst	Bedeckung im Winter	Unkraut- unterdrückung
Asteraceae	Nigerpflanze	langsam	mittel	mittel bis stark	schwach	schwach
	Sonnenblume	schnell	mittel bis stark	stark	schwach	schwach
Brassicaceae	Leindotter	langsam	schwach	schwach	schwach	schwach
	Sareptasenf	schnell	stark	mittel bis stark	schwach	stark
	Schw. Rettich	schnell	stark	mittel bis stark	schwach	mittel
Leguminosae	Saat-Platterbse	langsam	schwach	schwach	mittel	schwach
	Futtererbse	mittel	stark	mittel bis stark	stark	stark
	Alexandrinerklee	langsam	schwach	schwach	mittel	schwach
	Futterwicke	langsam	mittel	schwach	stark	mittel
Hydrophyllaceae	Phacelia	mittel	mittel bis stark	stark	mittel	mittel
Poaceae	Rauhafer	langsam	schwach	schwach	stark	stark
Mischungen	PAG	schnell	stark	stark	mittel	mittel
	Phacelia + Alexandrinerklee	schnell	mittel bis stark	stark	stark	mittel

Bodenbedeckung Ende Winter im Hinblick auf die Unkrautbekämpfung interessant, es kann jedoch bei der Einarbeitung der Rückstände zu Mineralisationsproblemen kommen. Da Rauhafer sehr reich an Kohlenstoffverbindungen ist, kann dies zu einer Stickstoffblockade im Boden führen. Dieser gebundene Stickstoff steht damit der nachfolgenden Kultur nicht mehr zur Verfügung. Da Leguminosen im Gegensatz dazu sehr stickstoffreich sind, werden Rückstände leichter abgebaut, ohne dass es zu einer Immobilisierung des Stickstoffs kommt.

Die multifaktorielle Analyse ist ein interessantes Werkzeug zur Beurteilung einer so grossen Vielfalt von Situationen wie in unserer Studie. Diese Art der Analyse kann jedoch nur einen Teil der beobachteten Variabilität erklären. Da neben den untersuchten Parametern eine Vielzahl weiterer Faktoren die Leistungen der Zwischenkulturen beeinflusst, sind die hier gezogenen Schlussfolgerungen zu relativieren.

Schlussfolgerungen

Durch das Netzwerk von Feldversuchen PAG-CH konnten zahlreiche Zwischenkulturen in einer umfangreichen Studie untersucht werden. Mit dieser Studie konnte die Bedeutung von Zwischenkulturen für eine Vielfalt von landwirtschaftlichen und pedoklimatischen Bedingungen in der Schweiz erneut gezeigt werden. Es konnten die Leistungen eines guten Dutzends von Arten genauer beschrieben und die Vorteile von Mischungen bestätigt werden. Dieses System ist ein interessantes und wichtiges Werkzeug zur Untersuchung innovativer Anbauverfahren. Obwohl dafür bedeutende Ressourcen erforderlich sind, sollten solche Systeme im Interesse der Schweizerischen Landwirtschaft institutionell und finanziell gefördert werden. ■

Dank

Die Autoren danken Swisseed, UFA Samen, Otto Hauenstein Samen AG, Eric Schweizer AG und Samen STEFFEN AG, welche die Umsetzung und die Auswertung dieser Versuche finanziell unterstützt haben.

Riassunto

Comportamento di diverse colture intermedie in una rete di esperimenti *on-farm*

Al fine di comprendere meglio il comportamento di alcune colture intermedie in presenza di diverse condizioni ambientali è stata realizzata una rete di parcelle di sperimentazione lungo l'asse Ginevra-Zurigo e nel Giura. Alcune delle specie studiate sono riuscite a coprire rapidamente il suolo in autunno (p. es. senape indiana). Altre hanno prodotto una significativa biomassa di parti aeree delle piante (p. es. girasole). Altre ancora, meno performanti in autunno, si sono rivelate delle buone colture di copertura alla fine dell'inverno, come l'avena strigosa. Attraverso un'analisi multifattoriale è stato possibile studiare le relazioni tra le caratteristiche delle diverse colture intermedie e le condizioni ambientali. Si è così potuta determinare una correlazione positiva tra il grado di copertura del suolo in autunno, una lavorazione del suolo medio-bassa e il bilancio idrico dieci giorni prima della semina delle colture intermedie. La biomassa aerea al momento del primo gelo dipende in linea di principio dal tipo di suolo: i terreni più leggeri favoriscono la produzione di una maggiore biomassa. Nessuna delle specie riunisce tutte le caratteristiche auspiccate per l'intera coltura intermedia, tuttavia si rivelano molto promettenti le combinazioni di diverse specie.

Literatur

- Collective, 2013. Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable. Éditions Quae, Versailles, France. 112 p.
- Destain J., Reuter V. & Goffart J., 2010. Les cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) et engrais verts : protection de l'environnement et intérêt agronomique. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 14, 73–78.
- Hartwig N. L., Ammon, H. U., 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science* 50, 688–699.
- Oksanen J., Blanchet F. G., Kindt R., Legendre P., Minchin P. F., O'Hara R. B., Simpson G. L., Solymos P., Stevens M. H. H. & Wagner H., 2013. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-10. Zugang: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html> [3. September 2015].

Summary

Behavior of different cover crops in a network of *on-farm* trials

A network of experimental fields in northern and western Switzerland was used to better understand the behavior of various cover crops in diversified environmental conditions. Several species were oriented towards soil cover in autumn (e.g. brown mustard). Others produced an important aerial biomass (e.g. sunflower). Some, with intermediate performance during autumn, had a good soil cover at the end of winter, as black oat for example. Multifactorial analysis allowed us to precise the relationship between cover crops performance and environmental and agronomical constraints. We identified positive correlations between soil covering in autumn and the sum of precipitations 10 days before sowing or intermediate tillage before cover crop sowing. Aerial biomass of cover crops at the time of the first frost was correlated with soil texture: lighter soils were more suitable for high aerial development. No species combined all the advantages expected from cover crops all along the fallow period but species mixtures offer the best opportunities.

Key words: green manure, multi-sites, species mixtures, crop residues.

- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S. & Sarkar D., 2014. nlme: Linear and Non-linear Mixed Effects Models. R package version 3.1-117. Zugang: <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/index.html> [3. September 2015].
- R Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ritz, C., Streibig, J.C., 2005. Bioassay Analysis using R. *Journal of Statistical Software* 12 (5), 1–22.
- Scholberg J. M. S., Dogliotti S., Leoni C., Cherr C. M., Zotarelli L. & Rosings W. A. H., 2010. Cover crops for sustainable agrosystems in the Americas. *In: Genetic Engineering*.
- Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming, Sustainable Agriculture Reviews (Ed. E. Lichtfouse). Springer Netherlands, 23–58.
- Thomas F. & Archambeaud M., 2013. Les couverts végétaux, gestion pratique de l'interculture, France Agricole, Paris, France. 306 p.