

Beurteilung von Leguminosen als Gründüngungspflanzen: Stickstoff und Begleitflora

Claude-Alain Gebhard¹, Lucie Büchi², Frank Liebisch³, Sokrat Sinaj², Hans Ramseier¹ und Raphaël Charles²

¹Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

²Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon, Schweiz

³Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, 8092 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Raphaël Charles, E-Mail: raphael.charles@agroscope.admin.ch, Tel. +41 22 363 46 59



Die Leguminosen bieten eine interessante Ergänzung in den Gemischen mit anderen Arten, die als Deckkulturen dienen, was einem breiten Fächer von agro-ökologischen Dienstleistungen zu Gute kommt.

Einleitung

Die vorliegende Studie bewertet das agronomische Potenzial von Leguminosen als Bodenbedecker bei Reinsaat und in Mischsaat. Es geht insbesondere darum, ihr Wachstum zu beschreiben sowie die Luftstickstoff-Fixierungsleistung zu quantifizieren, wenn sie als Zwischenkultur unter den Bedingungen des Schweizerischen Mittellandes angebaut werden. Im Laufe des 20. Jahrhunderts hat sich der Anteil der Leguminosen in den Fruchtfolgen ständig verringert, dies als Folge der Ent-

deckung des industriellen Haber-Bosch-Verfahrens zur Fixierung von Luftstickstoff und der daraus sich ergebenden Möglichkeit mineralische Stickstoff-Dünger herzustellen. Es ist jedoch seit der Antike bekannt, dass Leguminosen für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und für die Entwicklung effizienter Kultivierungssysteme vorteilhaft sind. Werden Leguminosen als Hauptkulturen in der Fruchtfolge weggelassen (Charles *et al.* 2008), können Leguminosen in Zwischenkulturen einen Gewinn bringen analog der Verwendung von Leguminosen in Kunstwiesen (Mosimann *et al.* 2012).

In der Schweiz ist der Einsatz von Gründüngungen in langen Zwischenperioden gemäss der Direktzahlungsverordnung obligatorisch. Ziele dabei sind die Reduktion von Nitratverlusten, Bodenerosion zu verhindern und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Diese agronomische Massnahme ist wirkungsvoll und kann durch zahlreiche andere für das Agro-Ökosystem nützliche Dienstleistungen ergänzt werden (Justes *et al.* 2012). In der Praxis sind Zwischenkulturen jedoch manchmal enttäuschend, da sie eher eine Antwort auf die Pflicht darstellen und kaum einer agronomischen Zielsetzung entsprechen. Späte Saaten sind vor allem bei Reinbeständen von Phazelia (*Phacelia tanacetifolia*) und Senf (*Sinapis arvensis*) zu beobachten. Die langfristige Erhaltung der organischen Substanz des Bodens durch Gründüngungen hat sich in einem Langzeitversuch als unbefriedigend herausgestellt. Dies wirft Fragen auf zu einer besseren Realisierung ihres Ab- und Umbaus im Boden, was mit dem Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis ihrer Biomasse im Zusammenhang steht (Maltas *et al.* 2012a). Derselbe Versuch hat einen begrenzten Stickstoffwert von Senf als Gründünger ergeben, was das Interesse an einer fundierteren Artenwahl und einer präziseren Bewirtschaftung unterstreicht (Maltas *et al.* 2012b). Leguminosen können in der Zwischenkultur den Stickstoffkreislauf wirkungsvoll verbessern. Die Angaben für die Düngungsrichtlinien (Sinaj *et al.* 2009) führen eine Reduktion von 20 bis 30 kg N/ha für Kulturen auf, welche auf eine Gründüngung mit Leguminosen folgen. Zudem ist festzuhalten, dass die Effizienz der Stickstoff-Fixierung bei den kultivierten Leguminosenarten stark variiert (Unkovich *et al.* 2008) und bei den meisten Leguminosenarten dazu wenig Kenntnisse vorliegen. Es ist daher angezeigt, diese spezifischen Unterschiede besser zu quantifizieren und sie im Kontext der Zwischenkulturen zu bewerten. Die Düngungsrichtlinien sehen auch eine Gabe von 30 kg N/ha vor, um eine gute Entwicklung der Gründüngungen zu gewährleisten (Sinjai *et al.* 2009). Diese Düngung kann für einige Situationen mit einer begrenzten Verfügbarkeit von Stickstoff berechtigt sein. Im übrigen kann sie aber durch Reinsaaten oder Leguminosen in Mischsaaten ersetzt werden, was sich günstig auf die Produktion von Biomasse auswirkt. Ein rasches Wachstum und eine reichliche Biomasseerzeugung durch die Zwischenkulturen sind unabdingbar für eine gute Bodenbedeckung, insbesondere wenn es darum geht, die Begleitflora ohne Herbizide in der Zwischenkultur in Schach zu halten (Melandar *et al.* 2013). Die Stärkung der Rolle, welche die Leguminosen in einer Zwischenkultur spielen, um die Effizienz des Stickstoffkreislaufes und die Bekämpfung der Begleitflora zu verbessern, erfordert ein besseres Verständnis des Verhal-

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden 27 Leguminosen als Bodenbedeckungspflanzen in Rein- und Mischkultur beurteilt. Ziel war es, deren Nutzen in Agro-Ökosystemen zu ermitteln. Die Resultate zeigen grosse Unterschiede im Verhalten der verschiedenen geprüften Arten. Die gebildete oberirdische Biomasse für die Zeitspanne von August bis zum ersten Frost lag zwischen 0,4 und 5,9 Tonnen Trockensubstanz pro Hektare. Es sind 377 bis 850 Gradtage nötig, um eine Bodenbedeckung von 50 % zu erreichen. Der durch die Leguminosen akkumulierte Stickstoff stammt vorwiegend aus der symbiotischen Stickstoff-Fixierung und beläuft sich von wenigen Kilogrammen bis zu 150 kg N/ha in drei Wachstumsmonaten. Die Konkurrenz-kraft der Leguminosen gegenüber der Begleitflora ist eng mit der Menge der erzeugten Biomasse korreliert ($R^2 = 0,93$). Sie ist verwandt mit der Fähigkeit der geprüften Leguminosen Bestandesgemeinschaften in Mischung mit Phazelia und Hafer zu bilden. Fünf Arten (Saat-Platterbse, Ackerbohne, Erbse, Zottelwicke, Futterwicke) sind besonders dominant und machen 80 % der Biomasse in Mischung mit Phazelia aus, beziehungsweise etwa 70 % in Mischung mit Hafer. Diese fünf Arten sind jene, welche am meisten Biomasse erzeugen, den Boden am schnellsten bedecken und am meisten Luftstickstoff fixieren. Zahlreiche weitere Leguminosen (Schabzigerklee, Linse, weisse Lupine, Soja, Alexandrinerklee, Perserklee, Inkarnatklee, Ungarische Wicke) sind weniger konkurrenzfähig und eignen sich so gut zur Ergänzung von Pflanzengemeinschaften.

tens der Arten als Bodenbedecker im Sommer. Es wurden Versuche angelegt, um das Wachstumsverhalten und die Stickstoff-Fixierungskapazität der Leguminosen besser zu kennen. Zudem soll ihre Konkurrenzfähigkeit gegenüber der unerwünschten Begleitflora und ihr Potenzial für den Aufbau von Pflanzengesellschaften besser verstanden werden.

Tab. 1 | Physikalisch - chemische Eigenschaften der Böden an den drei Versuchsstandorten

Versuchsanlage	Ton %	Sand %	pH	MO %	N _{min} kg N/ha
Changins, 2010	41	25	6,9	3,4	52
Changins, 2011	23	34	7,4	2,0	78
Zollikofen, 2011	20	47	7,7	4,0	124

Material und Methoden

Versuchsanlage

Der Artenvergleich beinhaltet 27 Leguminosen, zwei Nicht-Leguminosen und ein nicht gesätes Verfahren. Drei Feldversuche wurden 2010 und 2011 auf dem Versuchsgut Changins (Nyon 420 M.ü.M.) und 2011 auf dem Gutsbetrieb der landwirtschaftlichen Schule Rütli (Zollikofen, 544 M.ü.M.) angelegt. In Changins sind die Böden von einer mittleren Textur, mit einem pH im alkalischen Bereich und einer guten Versorgung mit organischer Substanz (Tab. 1). Im Jahr 2010 sind die Niederschläge vorwiegend gegen Ende des Vegetationszyklus gefallen, was zu einem kumulierten Wasserdefizit von 70 l/m² geführt hat (Tab. 2). Im Jahre 2011 gab es an beiden Versuchsstandorten regelmässige Niederschläge.

Die Pflanzenarten wurden anhand von randomisierten Blockversuchen mit drei Wiederholungen beurteilt. Um die Leguminosen auch in Mischbeständen zu studieren, wurde quer zu den Reinsaaten ein Streifen Phacelia *Phacelia tanacetifolia* (halbe Dosis, 5 kg/ha) und ein Streifen Hafer *Avena sativa* (halbe Dosis, 66 kg/ha) gesät. Diese beiden Arten dienen auch als Referenz für Nicht-Leguminosen. Die Saat der Kleinparzellen (10 m²) wurde nach der Ernte des Wintergetreides und einer Bodenbearbeitung mit Pflug (Stroh abgeführt) mit einer Sämaschine des Typs Plotman Wintersteiger anfangs August (Tab. 2) vorgenommen. Es wurden keine Inokulationen vorgenommen.

Beobachtungen und Messungen

Während des Pflanzenwachstums wurde der Grad der Bodenbedeckung durch die Pflanzen in regelmässigen Intervallen nach der Saat erhoben. Mit diesen Daten wurde die Wachstumsdynamik der Pflanzen modelliert. Dabei wurden die Gleichungen von Gompertz (Bodner et al. 2010), welche auf der Basis der Gradtage seit der Saat (Basis 0°C; Tab. 2) berechnet worden waren, angepasst. Die Analysen wurden mit dem Softwarepaket R drc «Analysis of dose-response curves» (Ritz und Streibig 2005) durchgeführt.

Die letzten Beobachtungen wurden beim Auftreten der ersten Herbstfröste gemacht (Tab. 2): Pflanzenhöhe, Anteil Begleitflora, Anteil jeder Leguminose in der Mischung mit Hafer und Phacelia, Ertrag der gebildeten Pflanzenmasse, mineralisierter Stickstoff (N_{min}) des Bodens unter nacktem Boden (0 – 90 cm).

Auf Grund der Feldbeobachtungen wurden Proben von 22 Pflanzenarten zurückbehalten, um den aus der Luft stammenden Anteil Stickstoff (N_{da}) nach der Methode des natürlich vorkommenden ¹⁵N (Unkovich et al. 2008) zu bestimmen (Tab. 3). Diese Methode erlaubt es, die Fähigkeit jeder Leguminosenart zur Stickstofffixierung zu charakterisieren. Die Methode beruht auf dem natürlichen Vorkommen im Boden von ¹⁵N, dessen Gehalt im Boden höher liegt als in der Luft. Dementsprechend ist der Gehalt in der Biomasse einer nicht Stickstoff fixierenden Pflanze, die ihren Stickstoff aus dem Boden aufnimmt, höher als jener in einer Pflanze, die Luftstickstoff fixiert. Die Methode vergleicht somit die Konzentration von ¹⁵N in einer nicht Luftstickstoff fixierenden Referenzpflanze mit jener in einer Leguminose. Die Methode erlaubt zwei Situationen der Stickstoffaufnahme bei der Leguminose zu unterscheiden: die Situation im Feld und die ausschliessliche Luftstickstofffixierung. Zu diesem Zweck wurde 2011 in Zollikofen ein Versuch unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt, bei welchem 22 Pflanzenarten in Töpfen unter Glashaushbedingungen kultiviert wurden. Das Substrat war mit symbiotischen Bakterien angereichert, die durch Auswaschen von Boden aus dem Feldversuch gewonnen worden waren.

Tab. 2 | Zeitpunkte der Saaten und Ernten sowie meteorologische Daten

Versuchsanlage	Saaten	Ernten	Temperatursumme nach der Saat			Niederschläge mm	Potenzielle Evapotranspiration mm
			Grad-Tage (Basis 0°C)				
			15 Tage	30 Tage	60 Tage		
	Date	Date					
Changins, 2010	04.08.	06.11.	291	570	1014	309	379
Changins, 2011	03.08.	10.11.	320	629	1151	354	368
Zollikofen, 2011	10.08.	08.11.	337	598	1030	353	353

Tab. 3 | Wichtige Merkmale der geprüften Leguminosen: oberirdische Biomasse am Ende des Vegetationszyklus, Bestandeshöhe, erforderliche Zeit bis der Boden zu 50 % bedeckt ist (t50), Gesamtstickstoff in der oberirdischen Biomasse (N_{tot}), Stickstoff aus der Luft als Mengenangabe (Nda) und als Anteil am Gesamtstickstoff (pNda), Bedeckungsgrad des Bodens durch die Begleitflora zum Zeitpunkt der Ernte, Anteil der Leguminosen in den Mischungen mit Hafer und Phacelia

	Arten	Biomasse t TS/ha	Höhe cm	t50 Grad-Tage	N _{tot} kg/ha	Nda kg/ha	pNda %	Begleit- flora %	Mischung Hafer %	Mischung Phacelia %	
1	<i>Cicer arietinum</i>	Kichererbse	1,1	46	454	19	3	14	40	21	43
2	<i>Glycine max</i>	Soja	2,8	46	599	69	16	23	29	41	52
3	<i>Lathyrus sativus</i>	Saat-Platterbse	3,5	40	423	145	126	86	5	67	93
4	<i>Lens culinaris</i>	Linse	3,2	29	418	102	75	74	13	48	44
5	<i>Lens culinaris cv.canada</i>	Linse cv. Canada	2,4	32	440	–	–	–	15	50	47
6	<i>Lotus corniculatus</i>	Gewöhnlicher Hornklee	0,5	10	652	–	–	–	58	8	7
7	<i>Lupinus albus</i>	Weisse Lupine	4,1	75	468	65	26	40	8	50	56
8	<i>Lupinus angustifolius</i>	Schmalblättrige Lupine	2,3	49	609	–	–	–	23	19	21
9	<i>Medicago lupulina</i>	Hopfen - Schneckenklee	1,1	14	587	–	–	–	38	15	17
10	<i>Medicago sativa</i>	Luzerne, Alfalfa	1,8	37	531	57	34	57	14	32	26
11	<i>Melilotus albus</i>	Weisser Steinklee	1,4	29	583	44	26	55	24	34	26
12	<i>Onobrychis viciifolia</i>	Futter - Esparsette	1	27	850	–	–	–	45	13	17
13	<i>Pisum sativum cv.Arvetica</i>	Futtererbse cv. Arvetica	4,2	71	414	–	–	–	1	94	96
14	<i>Pisum sativum cv.Hardy</i>	Eiweisserbse cv. Hardy	5,1	51	442	150	108	72	2	72	83
15	<i>Trifolium alexandrinum</i>	Alexandrinerklee	3,2	48	471	76	49	64	11	43	46
16	<i>Trifolium hybridum</i>	Schweden - Klee	1,2	23	552	–	–	–	32	24	24
17	<i>Trifolium incarnatum</i>	Inkarnat - Klee	3,2	32	457	94	73	76	17	41	45
18	<i>Trifolium pratense</i>	Wiesenklee, Rotklee	1,4	26	525	43	30	71	32	32	34
19	<i>Trifolium repens</i>	Weissklee	1,2	21	751	40	32	78	31	24	28
20	<i>Trifolium resupinatum</i>	Persischer Klee	2,7	37	423	81	65	82	16	42	46
21	<i>Trifolium subterraneum</i>	Erdklee	1,5	21	572	44	25	55	24	23	28
22	<i>Trigonella caerulea</i>	Schabziger - Klee	1,3	34	479	21	0	4	21	19	24
23	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Griechischer Bockshorn - Klee	2,2	41	573	48	15	34	16	33	52
24	<i>Vicia faba</i>	Ackerbohne	5,9	108	541	163	136	84	6	71	86
25	<i>Vicia pannonica</i>	Ungarische Wicke	2,5	31	485	102	87	86	19	41	43
26	<i>Vicia sativa</i>	Futterwicke. Saatwicke	4,4	43	420	171	127	75	3	77	87
27	<i>Vicia villosa</i>	Zottelwicke	3,8	36	377	163	143	87	4	73	85
28	<i>Avena sativa</i>	Saat - Hafer	4,1	79	515	49	0	0	4	–	–
29	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Phacelia	4,5	91	479	53	0	0	5	–	–
30	Nackter Boden	Nackter Boden	–	–	–	–	–	–	100	–	–
	n	29	–	29	22	22	22	30	27	27	
	p-value	< 0,001	–	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
	ppds 5%	0,5	–	55	18	13	18	10	8	9	
	ppds 1%	0,7	–	73	24	17	25	13	11	11	
	Changins 2010	2,3	31	588	74	54	60	24	41	51	
	Changins 2011	2,8	43	510	92	66	65	18	27	33	
	Zollikofen 2011	2,5	–	465	85	56	56	20	54	55	

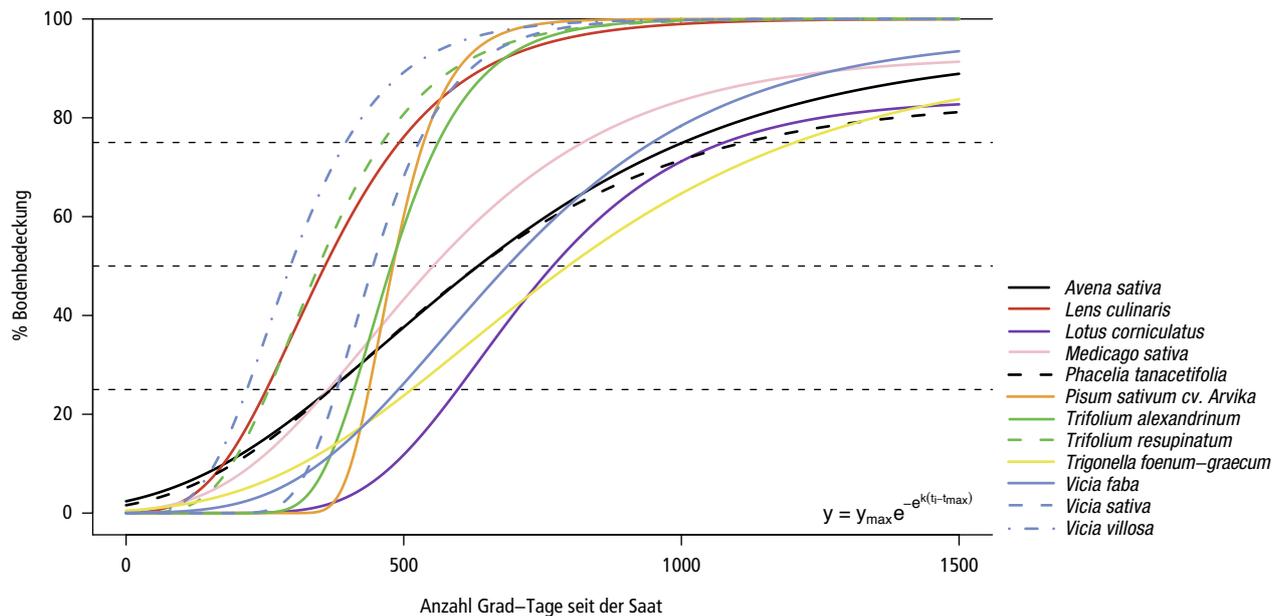


Abb. 1 | Dynamik des Bodenbedeckungsgrades in Abhängigkeit von der Zeit seit der Saat für eine Auswahl von Arten in Changins im Jahre 2010.

Die Analysen des Isotopes ^{15}N wurden mit dem Massenspektrometer des Labors «Isolab» an der ETHZ durchgeführt. Die Messungen wurden an der oberirdischen Biomasse vorgenommen, welche am Ende des Wachstumszyklus im Feld geerntet worden war, sowie auch an der Biomasse jener Pflanzenarten, die unter kontrollierten Bedingungen kultiviert worden waren.

Varianzanalysen

Multifaktorielle Varianzanalysen wurden für jede Variable vorgenommen und die entsprechenden ppds wurden berechnet (Gomez und Gomez 1984). Alle numerischen Analysen wurden mit dem Softwarepaket R 2.14.1 (R Development Core Team 2011) vorgenommen.

Resultate

Oberirdische Biomasse

Während der dreimonatigen Vegetationsdauer ist die Entwicklung des Biomasseertrages von einer Art zur anderen sehr unterschiedlich; sie reicht von 0,5 t TS/ha bis 5,9 t TS/ha (Tab. 3). In den meisten Fällen ist die Biomasseproduktion in beiden Versuchsjahren und an allen Versuchsstandorten relativ stabil geblieben. Die mehrjährigen Arten weisen im allgemeinen ein geringeres Wachstum auf als die einjährigen Arten. Zehn Leguminosen erreichen einen Ertrag von über 3,0 t TS/ha (Tab. 3). Einige davon zeigen vor allem ein Wachstum in die Höhe (Weisse Lupine, Erbse und Ackerbohne) während andere ein niedrigeres aber dichteres Blattwerk ausbilden (Saat-Platterbse, Linse, Perser- und Inkarnatkle, Wicken). Die

Futtererbse und die Saat-Platterbse neigen zur Lagerung und die lagernde Biomasse bei relativ feuchten Bedingungen (2011) zu Fäulnis. Die schwach entwickelten Arten haben unter Stickstoffmangel gelitten, da die symbiotischen Bakterien gefehlt haben (Soja, Kichererbse, Schabzigerklee), und sie wurden sogar teilweise durch Nagetiere zerstört (bei Soja durch Hasen).

Wachstumsdynamik

Einige Arten weisen ein schnelleres Wachstum auf als Phazelia und Hafer (Zeit bis 50% des Bodens bedeckt sind): Saat-Platterbse, Linse, Futtererbse, Perserklee, Saatwicke und Zottelwicke (Tab. 3). Die Unterschiede in der Wachstumsdynamik während der Etablierungsphase waren besonders ausgeprägt im Jahre 2010 in Changins, wo trockene Verhältnisse herrschten. Damit wurde besonders deutlich, welche Arten sich vorteilhafterweise für eine Ansaat im Sommer eignen: Linse, Futtererbse, Perserklee, Wicken und auch Alexandrinerklee (Abb. 1).

Aufnahme und Fixierung von Stickstoff

Der durch die Leguminosen akkumulierte Stickstoff (N_{tot}) stammt hauptsächlich von der symbiotischen Fixierung (N_{da}) (Tab. 3, Abb. 2). Die symbiotische Fixierung beläuft sich in drei Vegetationsmonaten auf wenige Kilos bis 150 kg N/ha und ist von Art zu Art sehr unterschiedlich. Die Aufnahme von Stickstoff aus dem Boden (N_{ds}) ergibt sich einerseits aus der Menge an verfügbarem Stickstoff in der Bodenlösung und andererseits aus der Absorptionsfähigkeit der Pflanze. Die Aufnahme aus dem Boden erreicht ein Maximum von 50 kg N/ha bei der Futterwi-

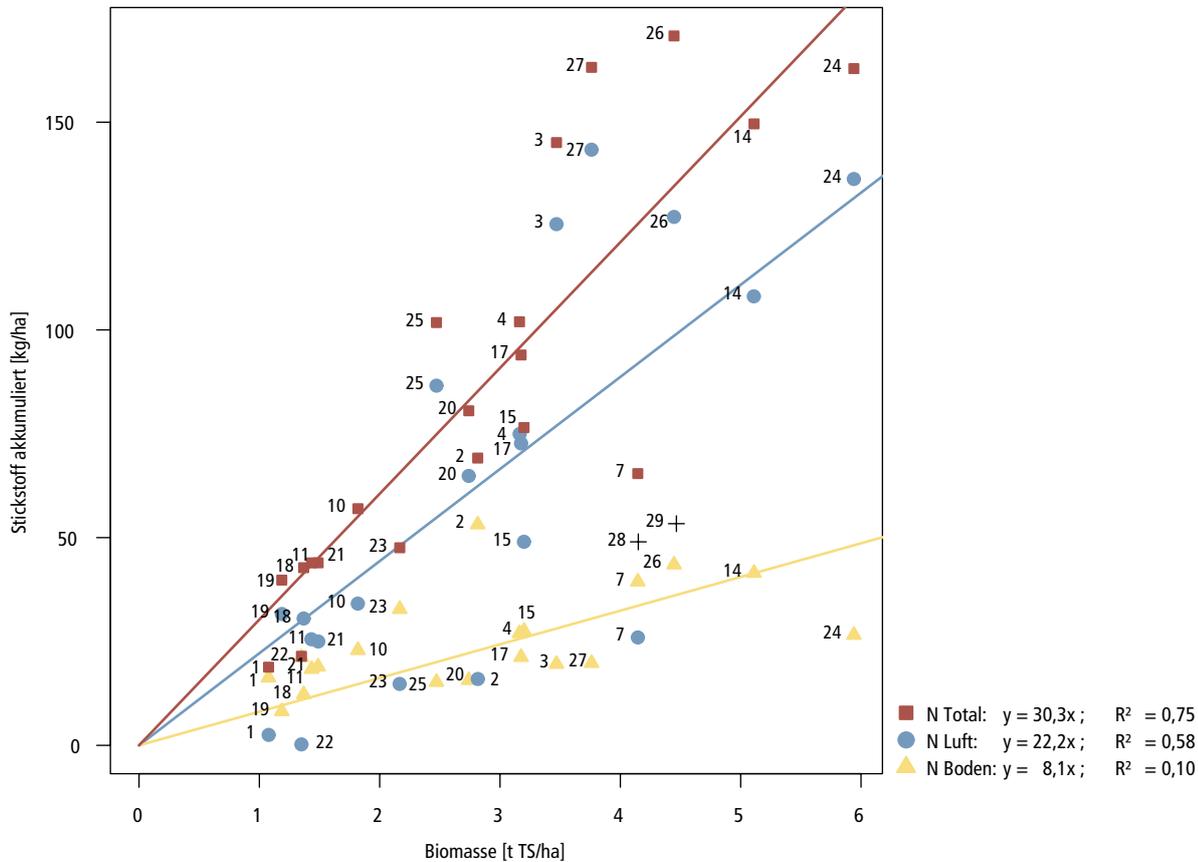


Abb. 2 | Absorbierter Stickstoff in Funktion der Leguminosenbiomasse: Menge an Gesamtstickstoff (rote Rechtecke), Stickstoffmenge, die aus der Luft stammt (blaue Kreise) und Stickstoffmenge, die aus dem Boden absorbiert wurde (gelbe Dreiecke). Nummern und Arten gemäss Tabelle 3. Mittelwerte der drei Versuche.

cke und der Erbse. Dieselbe Menge an Nds wird von Phazelia und Hafer akkumuliert, für welche $N_{ds} = N_{tot}$ ist (Abb.2), aber auch für Soja bei welcher N_{da} vernachlässigbar blieb, da die symbiotische Aktivität fehlte. Im Gegensatz dazu nimmt die Ackerbohne nur 27 kg N/ha aus dem Boden auf, ist aber sehr produktiv (5,9 t TS/ha) und weist ein N_{tot} von 163 kg N/ha auf.

Zwischen dem Wert N_{tot} und der Menge an Biomasse besteht eine gute Beziehung ($R^2 = 0,75$) (Abb. 2). Diese Beziehung beruht vor allem auf N_{da} ($R^2 = 0,58$), und weniger auf N_{ds} ($R^2 = 0,10$). Pro Einheit Biomasse wird eine Stickstoffmenge von 30 kg N/ t TS akkumuliert, wovon 22 kg aus der Luft und 8 kg aus dem Boden stammen (Abb. 2).

Die Ackerbohne und die Zottelwicke weisen die höchsten Stickstoffakkumulationsvermögen auf mit einem N_{tot} - Wert von 163 kg N/ha wovon der Anteil aus der Luft (pNda) 85% beträgt (Tab. 3). Die Futterwicke erreicht eine ähnliche Leistung mit einem N_{tot} - Wert von 171 kg N/ha und einem pNda - Wert von 75%. Mehrere Kleearten weisen eine ansehnliche symbiotische Leistung auf mit einem pNda - Wert von 70% und einem mittleren N_{tot} - Wert von 30 bis 70 kg N/ha.

An den Versuchsstandorten wurden analoge Leistungen erreicht mit einigen kleinen Unterschieden. Die Trockenheit in Changins von 2010 hat sich negativ auf die Bodenbedeckung (Abb. 1 und Tab. 3), die Biomasseproduktion sowie die Stickstoffakkumulation ausgewirkt, ohne jedoch den N_{da} - Prozentsatz zu schmälern. Im Jahre 2011 wiesen die Leguminosen in Changins ein besonders gutes Niveau der Stickstoffakkumulation auf (Tab. 3). Der pNda - Wert war tendenziell etwas tiefer in Zollikofen (9 kg N/ha). Dies kann in Bezug gesetzt werden zur hohen Bodenfruchtbarkeit an diesem Standort mit einem N_{min} von 124 kg N/ha (Tab. 1) im Verfahren unbedeckter Boden am Ende der Vegetationsdauer des Jahres 2011. In Changins lagen die N_{min} - Werte bei 80 kg N/ha im 2011 und bei 52 kg N/ha im Jahre 2010.

Einfluss auf die Begleitflora

Im Jahr 2010 setzte sich die Begleitflora in Changins vorwiegend zusammen aus Zurückgekrümmtem Fuchschwanz (*Amaranthus retroflexus*) und Weissem Gänsefuss (*Chenopodium album*). Dazu gesellen sich sekundäre

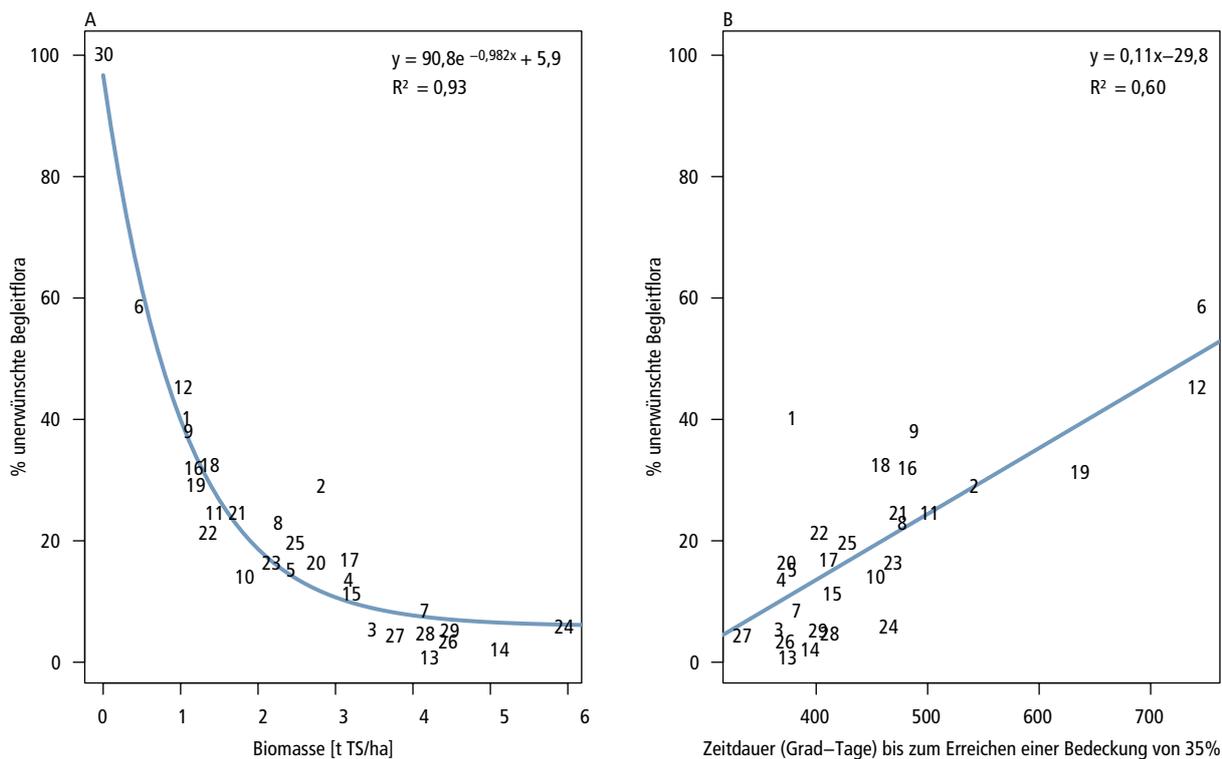


Abb. 3 | Anteil der Begleitflora an der Biomasse in Abhängigkeit von der Biomasse (A) der Leguminosen und der Zeit (B), die abzuwarten ist, bis der Boden zu 35 % durch die Leguminose bedeckt wird. Nummern und Arten gemäss Tabelle 3.

Arten wie der Floh-Knöterich (*Polygonum persicaria* = *Persicaria maculosa*), die rote Taubnessel (*Lamium purpureum* var. *purpureum*), das Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*) und die Rauhe Gänsedistel (*Sonchus asper*). Im Jahre 2011 trat Raps (*Brassica napus*) zudem in beiden Versuchsflächen sehr deutlich auf. Der Biomassertrag der Begleitflora belief sich in den nicht angesäten Parzellen mit nacktem Boden auf 0,98 t TS/ha (Mittelwert aus drei Versuchen). Der Anteil der Begleitflora verhält sich umgekehrt zur Biomasse der Leguminosen ($R^2 = 0,93$) (Abb. 3A). Um gegenüber der Begleitflora (< 15%) eine ausreichende Konkurrenz zu gewährleisten, braucht es eine Vegetationsdecke mit mehr als 3,5 t TS/ha. Die Anzahl Tage, die nötig sind, um 35% des Bodens zu bedecken, ist der beste Indikator für die Beziehung zwischen der Wachstumsdynamik der Leguminosen und dem Vorhandensein der Begleitflora ($R^2 = 0,6$) (Abb. 3B).

Leistung in Mischungen

In den Mischungen der Leguminosen mit Phazelie und Hafer werden die unterschiedlichen Fähigkeiten der Leguminosen zur Bildung von Pflanzengesellschaften sichtbar (Abb. 4A; Tab. 3). Fünf Arten (Saat-Platterbse, Ackerbohne,

Zottelwicke, Futterwicke, Erbse) sind besonders dominant und machen mehr als 80 % der Biomasse in Mischung mit Phazelie und ungefähr 70 % in Mischung mit Hafer aus. Die Futtererbse cv. Arvica ist ausgesprochen konkurrenzstark, macht sie doch mehr als 90 % der Biomasse in den beiden Mischungen aus. Eine Gruppe von Arten erweist sich als komplementär in dem sie 40 bis 50 % der Mischungen ausmachen (Griechischer Bockshornklee, Soja, Weisse Lupine, Alexandrinerklee, Ungarische Wicke, Perserklee, Inkarnatklee, Linse). Hafer ist gegenüber den Leguminosen ein wenig konkurrenzkräftiger als Phazelie (Abb. 4A). Im Jahre 2010 hat Phazelie von der Vergesellschaftung mit einer Leguminose mehr für ihr Wachstum der Biomasse profitiert als der Hafer (in Changins gemessen, Daten nicht dargestellt). Der Anteil der Leguminosen in den Pflanzengesellschaften korreliert gut mit der Konkurrenzfähigkeit gegenüber der Begleitflora ($R^2 = 0,89$) (Abb. 4B).

Diskussion

Zwischen den 27 studierten Leguminosenarten wurden relativ grosse Unterschiede im Wachstumsverhalten festgestellt, was erlaubt, verschiedene Verwendungen die-

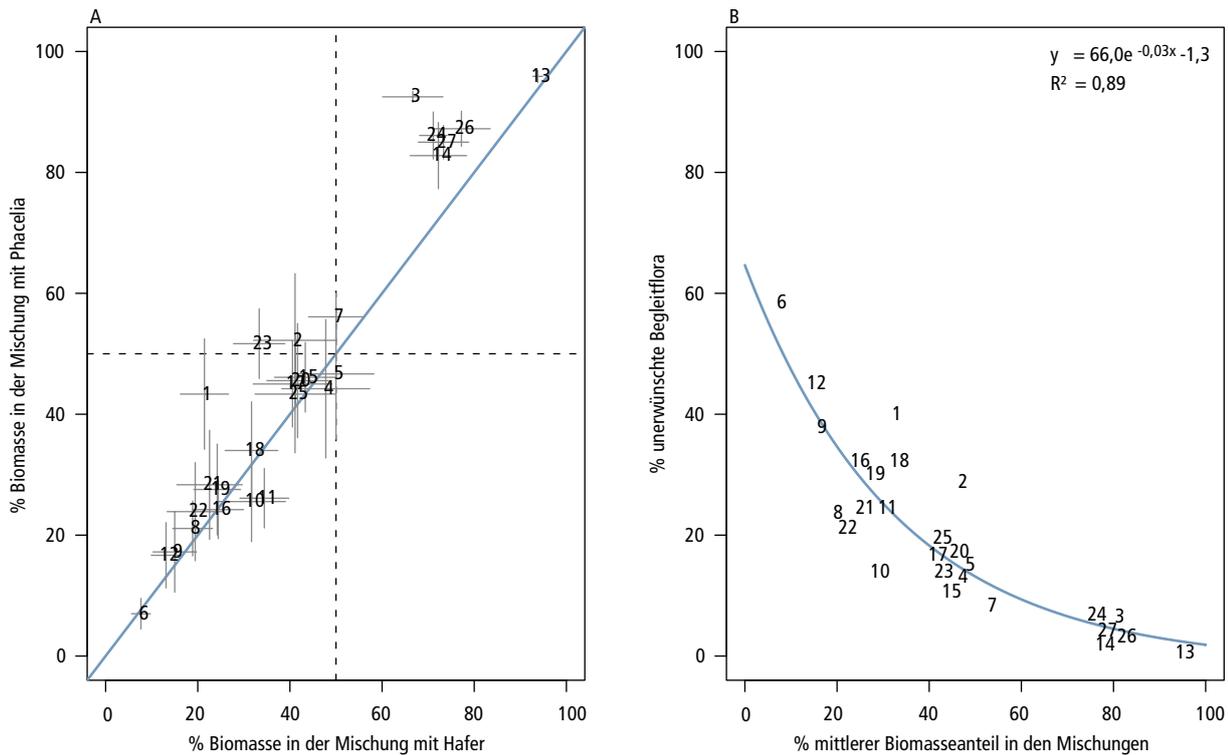


Abb. 4 | Kapazität der Leguminosen zur Vergesellschaftung. A. Anteil der Leguminose in Mischung mit Hafer und Phacelia (% der Biomasse +/- Standardfehler). B. Anteil der Begleitflora im reinen Leguminosenbestand in Abhängigkeit vom Anteil der Leguminose in den Mischungen mit Phacelia und Hafer. Nummern und Arten gemäss Tabelle 3.

ser Arten als Bodenbedecker vorzusehen. Die symbiotische Luftstickstofffixierung ist die von den Leguminosen hauptsächlich erwartete Funktion. Überdies lohnt es sich aber auch, ihre Funktion als Gründüngung in Reinkultur oder in Mischung sowie ihren Effekt auf die Unkraut-Begleitflora näher zu betrachten.

Stickstoff

Zu Beginn ihres Wachstums stellt Stickstoff aus dem Boden die erste N-Nahrungsquelle bei den Leguminosen dar. Die Resultate zeigen, dass gewisse Leguminosen fähig sind, aus dem Boden gleich viel Stickstoff aufzunehmen wie Nicht-Luftstickstoff fixierende Pflanzen. Dies liegt an ihrem beträchtlichen Wachstumspotenzial (Erbsen, Futterwicke) oder beim Fehlen der Symbiose an einer hohen Aufnahmekapazität aus dem Boden (Soja). Keine Leguminose hat jedoch mehr als die 50 kg N/ha aufgenommen, welche durch Phacelia und Hafer aufgenommen worden waren. Die symbiotische N-Fixierung hat in der oberirdischen Biomasse zu einer beträchtlichen Stickstoffakkumulation geführt, ähnlich jener, die in einem fruchtbaren Boden am Ende derselben Periode feststellbar waren (N_{min} von 120 kg N/ha in Zollikofen). Diese Stickstoffmengen aus der Luft sind umso bedeut-

samer als gewisse Leguminosen (Ackerbohne) eine bescheidene Fähigkeit aufweisen, Stickstoff aus dem Boden aufzunehmen. Innerhalb von drei Monaten hat die Ackerbohne eine Stickstoffmenge fixiert, welche sich mit jener in einer andern Studie vergleichen lässt, in welcher die Ackerbohne als Hauptkultur (sechs Monate Vegetationsdauer) angebaut worden war (Lopez-Bellido *et al.* 2006).

Die relative Ähnlichkeit der Luftstickstofffixierung an beiden Versuchsstandorten, trotz unterschiedlicher Witterungs- (2010 und 2011) und Bodenbedingungen (Changins und Zollikofen), unterstreicht die entscheidende Bedeutung, welche der Pflanzenart zukommt. Die Effizienz der gesamten Verwendung der Stickstoffquellen hängt einerseits von der N-Absorption der Leguminose aus dem Boden ab, andererseits aber auch von der Menge an fixiertem Luftstickstoff, von welchem die in der Fruchtfolge nachfolgenden Kulturen profitieren. Gegenwärtig wird in den Düngungsrichtlinien ein Maximum von 30 kg N/ha als abzugsberechtigt von der Düngung nach einer überwinterten Leguminose (Sinaj *et al.* 2009) angesehen, ohne jedoch die nachfolgenden Effekte dieses Elementes oder anderer mineralischer Elemente zu berücksichtigen. ➤

Der erwartete Effekt durch die Bodenbedeckung ist wichtig um die Rolle und die Auswahl der Leguminose zu präzisieren, sei es für die Verhinderung der Nitratauswaschung, sowie für den ins System fliessenden Beitrag an Stickstoff und organischer Substanz. Diese Thematik ist in vertiefter Weise durch eine wissenschaftliche Expertise behandelt worden, welche auch eine breite Literaturstudie beinhaltet (Justes *et al.* 2012). Die Leguminosen können wirkungsvoll verwendet werden, um Nitratverluste zu verringern, auch wenn ihre Effizienz zweimal schwächer ist als jene der Nicht-Leguminosen. Überdies haben sie einen positiven Effekt auf den Fruchtwechsel im Vergleich zu andern Gründüngungen, deren Wirkung oft schlecht genutzt wird (Malta *et al.* 2012b). Schliesslich beeinflusst das C/N Verhältnis die Mineralisation der Rückstände einer Gründüngung, insbesondere jener der Leguminosen.

Eignung für Pflanzenmischungen und Konkurrenzfähigkeit

Pflanzengesellschaften zählen zu den innovativen Lösungen um die Mehrfachfunktionen der Leguminosen zu optimieren. Leguminosen erfüllen wertvolle Funktionen als Gründüngungen oder als Mischungspartner in Gräser-Leguminosen-Mischungen (Mosimann *et al.* 2012). Die Tests mit Pflanzengesellschaften haben verschiedene Verhaltensmuster der Leguminosen aufgezeigt. Es gibt sehr konkurrenzstarke Leguminosenarten, die prädestiniert sind in einem Gemisch dominant zu sein (Futtererbse). Es gibt solche die eher einen ausgewogenen Mischungspartner abgeben (Alexandrinerklee) oder schwach konkurrenzfähige Arten, die eine untergeordnete Rolle als Mischungspartner spielen (zweijährige Arten). Im weiteren hat diese Studie gezeigt, dass Phazelia als Partner in Mischungen besser angepasst ist als Hafer. Phazelia dürfte etwas weniger konkurrenzstark sein, den verfügbaren Stickstoff besser nutzen oder noch eine Wechselwirkung mit der Pflanzengesellschaft aufweisen.

Die Analogie, welche zwischen der Eignung zur Mischung und der Konkurrenzfähigkeit gegenüber der Unkraut-Begleitflora aufgezeigt wurde, erlaubt eine kreuzweise Verwendung der Resultate. Die erzeugte Biomasse ergibt somit eine Information, welche für beide Funktionen relativ kohärent ist. Die Geschwindigkeit der Bodenbedeckung oder die Höhe der Pflanzen sind wichtige Charakteristika, welche die grosse Variabilität der Leguminosen belegen. Sie erlauben eine gezielte Verwendung jeder Art anzupeilen. Allerdings bleibt der Einsatz der Leguminosen gegen die Unkraut-Begleitflora umstritten, da während des Wachstums einerseits ein Konkurrenzeffekt auftritt (Stickstoff, Licht, Wasser), andererseits gibt es einen Effekt des Residualstickstoffs, der für die Begleitflora günstig ist (Charles *et al.* 2012).

Schlussfolgerungen

Die untersuchten Leguminosen haben sehr unterschiedliche Verhalten gezeigt in Bezug auf die Biomasseproduktion, die Bodenbedeckung, die Konkurrenzierung der Begleitflora sowie die symbiotische Luftstickstoff-Fixierung. Es konnten verschiedene Gruppen erkannt werden: eine Gruppe besteht aus sehr konkurrenzfähigen Arten, eine weitere umfasst Leguminosen, die zu ausgeglichenen Pflanzenbeständen beitragen, eine dritte Gruppe enthält Leguminosenarten, welche wenig geeignet sind die Funktion zur Bildung einer Vegetationsdecke zu übernehmen. Wie die Leguminosen in Mischungen einzusetzen sind und wie das Zusammenspiel der Arten in den Pflanzengesellschaften optimal genutzt werden kann muss noch erarbeitet werden. ■

Riassunto

Screening di leguminose per coperture vegetali: azoto e avventizie

Questo studio ha valutato 27 leguminose come coperture vegetali in purezza e in associazione con lo scopo di precisarne i servizi agro-ecosistemici. I risultati mostrano delle importanti variazioni del comportamento tra le diverse specie testate. La quantità di biomassa aerea formatasi dal mese di agosto fino al primo gelo si situa tra 0,4 e 5,9 t SS/ha. Sono necessari da 377 a 850 gradi giorno per raggiungere il 50 % di copertura del suolo. L'azoto accumulato dalle leguminose proviene principalmente dalla fissazione simbiotica e varia di qualche kilo a 150 kg N/ha in tre mesi di vegetazione. La capacità delle leguminose di contrastare le avventizie è strettamente correlata alla quantità di biomassa prodotta ($R^2=0,93$). Ella risulta simile alla facoltà d'associazione delle leguminose testate nelle miscele composte da facelia e avena. Cinque specie (cicerchia coltivata, fava, piselli, vecchia villosa e coltivata) sono particolarmente dominanti e compongono più dell'80 % della biomassa miscelata con facelia e ca. il 70 % con avena. Sono queste specie che producono più biomassa, che coprono il suolo più rapidamente e che fissano più azoto proveniente dall'aria. Numerose altre leguminose (fieno greco, lenticchie, lupino bianco, soia, trifoglio alessandrino, trifoglio persiano, trifoglio incarnato, vecchia d'Ungheria) sono meno concorrenziali e offrono di conseguenza una buona complementarità per delle associazioni di specie.

Literatur

- Bodner G., Himmelbauer M., Loiskandl W. & Kaul H., 2010. Improved evaluation of cover crop species by growth and root factors. *Agronomy for Sustainable Development* 30 (2), 455–464.
- Charles R., Bovet V., Bouttet D., Poivet K., Casta P. & Bengochea A., 2008. Quelles cultures de protéagineux pour la Suisse? *Revue suisse d'Agriculture* 40 (1), 17–23.
- Charles R., Montfort F. & Sarthou J. P., 2012. Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune. In: Justes et al., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires: conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Rapport d'étude, INRA (France).
- Gomez K. A. & Gomez A. A., 1984. Statistical procedures for agricultural research. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebise J., Savini I. & Réchauchère O., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires: conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services, écosystémiques. Rapport d'étude, INRA (France).
- López-Bellido L., López-Bellido R. J., Redondo R. & Benítez J., 2006. Faba bean nitrogen fixation in a wheat-based rotation under rainfed Mediterranean conditions: effect of tillage system. *Field Crops Research* 98, 253–260.

Summary

Screening of legumes as cover crops: nitrogen and weeds

This study evaluated 27 legumes as cover crops, sowed in pure or mixed stands, with the aim to outline their agrosystemic services. The results show important behavior variations among the different legumes. The amount of aerial biomass built from August until the first frost achieve between 0.4 and 5.9 t DM/ha. From 377 to 850 degrees-days are necessary to reach 50 % of soil cover. The nitrogen accumulated by the legumes is mainly due to symbiotic nitrogen fixation and vary from a few kg to 150 kg N/ha. The ability of legumes to compete with weeds is closely correlated with the amount of biomass produced ($R^2 = 0.93$). It is analogous to the aptitude of association tested on legumes in mixtures with oat and phacelia. Five species (grass pea, faba bean, hairy vetch, common vetch and pea) are found to be very dominant and reach more than 80 % of biomass in mixture with phacelia and about 70 % with oat. These species are also those producing the highest biomass, covering soil most rapidly, and fixing high quantity of nitrogen. Many other legumes (fenu-greek, lentil, white lupin, soybean, berseem clover, persian clover, crimson clover, hungarian vetch) show less competitive performance and offer a good complement for species associations.

Key words: legumes, cover crops, biological nitrogen fixation, weed control, intercropping.

- Maltas A., Oberholzer H., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012a. Langfristige Wirkung von organischen Düngern auf die Bodeneigenschaften. *Agrarforschung Schweiz* 3, 148–155.
- Maltas A., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012b. Ertrag und Stickstoffdüngung im Pflanzenbau: Langfristige Wirkung organischer Dünger. *Agrarforschung Schweiz* 3, 156–163.
- Melander B., Munier-Jolain N., Charles R., Wirth J., Schwarz J., van der Weide R., Bonin L., Jensen P. K. & Kudsk P., 2013. European perspectives on the adoption of nonchemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. *Weed Technology* 27, 231–240.
- Mosimann E., Frick R., Suter D., Rosenberg E., 2012. Standardmischungen für den Futterbau Revision 2013–2016. *Agrarforschung Schweiz* 3, 1–12.
- R Development Core Team, 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Zugang: <http://www.R-project.org/>.
- Ritz C. & Streibig J. C., 2005. Bioassay Analysis using R. *Journal of Statistical Software* 12 (5).
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung* 16 (2), 1–100.
- Unkovich M., 2008. Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra ACT.