

Zerstörungsfreie Methode zur Schätzung der Biomasse von Zwischenkulturen

Lucie Büchi, Pauline Mouly, Camille Amossé, Cindy Bally, Marina Wendling und Raphaël Charles
 Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz
 Auskünfte: Raphaël Charles, E-Mail: raphael.charles@agroscope.admin.ch



Zwischenkulturen anfangs November. Im Vordergrund eine Parzelle mit Phacelia; im Hintergrund eine Mischung von elf Arten, von denen sich an den Blüten Sonnenblumen, Gelbsenf (kleine gelbe Blüten) und Ackerbohne erkennen lassen.

Einleitung

Immer häufiger wird in der Fruchtfolge eine Zwischenkultur angebaut. Zwischenkulturen nehmen verschiedene wichtige Funktionen wahr, wie ein Schutz des Bodens vor Erosion und Oberflächenabfluss, ein Eintrag von organischer Substanz und Nährstoffen, eine Verbesserung der Bodenstruktur oder eine Unkrautunterdrückung (Thorup-Kristensen *et al.* 2003; Justes *et al.* 2013). Wie wirksam eine Zwischenkultur diese Funktionen wahrnehmen kann, hängt direkt von der Menge der produzierten Biomasse ab. Durch eine hohe Biomasse kann zum Beispiel das Wachstum von Unkraut wirksam unterdrückt werden (Charles *et al.* 2013). Über die Biomasse lässt sich auch die Nährstoffmenge bestimmen, die der nachfolgenden Kultur durch die Zwischenkultur zur Verfügung gestellt wird. Eine Schätzung durch die manuelle Ernte einer gegebenen Fläche ist jedoch destruktiv, langwierig und als Routineverfahren schlecht praktikierbar. Zerstörungsfreie und einfach umsetzbare Methoden sind deshalb sehr willkommen. Die meisten bereits bestehenden Methoden beruhen auf dem Zusammenhang der Biomasse einer Kultur mit ihrer Höhe und/oder räumlichen Dichte (Mosimann 2001; Lati *et al.* 2011; Bumgarner *et al.* 2012; Foster *et al.* 2012;

Muñoz *et al.* 2010; Jannoura *et al.* 2015). Diese Methoden gehen von der Hypothese aus, dass das Produkt aus räumlicher Dichte und Höhe eine dreidimensionale Grösse (von der Art eines Volumens) ergibt, die proportional zur produzierten Biomasse ist.

Die räumliche Dichte der Zwischenkultur wiederum wird oft geschätzt mit Hilfe des NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index* oder normalisierter differenzierter Vegetationsindex) oder des LAI (*Leaf Area Index* oder Blattflächenindex) (Foster *et al.* 2012; Muñoz *et al.* 2012; Jannoura *et al.* 2015). Diese Methoden sind in der Praxis jedoch nicht leicht anwendbar. Dagegen lässt sich der Bodenbedeckungsgrad, das heisst der Anteil des Bodens der bei vertikaler Projektion der Pflanzen auf den Boden bedeckt ist, einfach visuell vor Ort (Amossé *et al.* 2015) oder auf der Grundlage von Fotografien bestimmen (Lati *et al.* 2011; Bumgarner *et al.* 2012).

In dieser Studie untersuchten wir zwanzig verschiedene als Zwischenkulturen verwendete Reinsaatensorten. Ziel war es, die Biomasse einer Zwischenkultur zu schätzen, indem einzig ihre Höhe und der Bodenbedeckungsgrad gemessen wurden. Die so festgestellten Zusammenhänge wurden anschliessend bei zwei Mischungen und vier im selben Jahr angebauten Reinsorten, sowie bei sechs im folgenden Jahr kultivierten Arten getestet, um die Robustheit der festgestellten Zusammenhänge gegenüber Schwankungen von Standort zu Standort sowie von Jahr zu Jahr zu prüfen. Ausserdem wird eine praktische Anwendung dieser Schätzungen zur Einschätzung der Nährstoffmenge, die von der Zwischenkultur akkumuliert wird, vorgeschlagen.

Material und Methoden

Der Hauptversuch für diese Studie wurde im August 2013 bei Agroscope Changins (46° 24' N, 06° 14' E, 430 m) durchgeführt. An diesem Standort beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur 10,2 °C und die Niederschläge belaufen sich auf 999 mm pro Jahr (im Mittel 1981–2010). Der Boden besteht aus etwa 26% Ton und 47% Lehm.

Zwanzig verschiedene Reinsaatensorten und zwei Mischungen, bestehend aus vier Arten bzw. elf Arten (Tab. 1),

Tab. 1 | Steigung und y-Achsenabschnitt der Geraden nach linearer Regression zwischen Biomasse und Produkt aus Bodenbedeckungsgrad und Vegetationshöhe für die zwanzig als Zwischenkulturen verwendeten Arten, sowie für die Gesamtheit aller Arten. Die fett gedruckten Parameter unterscheiden sich signifikant von Null ($p < 0,05$), die schräg gedruckten Parameter leicht ($0,05 < p < 0,1$). Regressionsgerade: $B = \text{Steigung} \times C \times H + \text{Achsenabschnitt}$, mit B: Biomasse in kg/ha; C: Bodenbedeckungsgrad in%; H: Höhe in cm.

	Steigung	Achsenabschnitt	R ²
Spezifische Modelle			
Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i>)	0,37	836	0,95
Sareptasenf (<i>Brassica juncea</i>)	0,61	686	0,82
Rübsen (<i>Brassica rapa campestris</i>)	0,96	-23	0,90
Daikon Rettich (<i>Raphanus sativus longipinnatus</i>)	1,43	-264	0,89
Ölrettich (<i>Raphanus sativus</i>)	0,90	385	0,90
Ackerbohne (<i>Vicia faba</i>)	0,58	276	0,97
Linse (<i>Lens culinaris</i>)	0,78	128	0,99
Futtererbse (<i>Pisum sativum</i>)	0,83	78	0,96
Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	0,58	60	1,00
Futterwicke (<i>Vicia sativa</i>)	0,92	19	0,92
Rauhafer (<i>Avena strigosa</i>)	0,74	10	0,97
Kolbenhirse (<i>Setaria italica</i>)	0,56	28	0,95
Sudangras (<i>Sorghum sudanense</i>)	0,52	-48	0,90
Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>)	0,65	-348	0,84
Nigerpflanze (<i>Guizotia abyssinica</i>)	0,58	149	0,95
Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i>)	0,69	344	0,88
Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	0,61	-292	0,69
Lein (<i>Linum usitatissimum</i>)	0,57	403	0,94
Hanf (<i>Cannabis sativa</i>)	0,51	-251	0,85
Chia (<i>Salvia hispanica</i>)	0,47	101	0,98
Gesamtmodell	0,53	433	0,75

wurden anfangs August als Zwischenkultur nach Luzerne mit einer Sämaschine auf Parzellen von 10 m² ausgesät. Die Zwischenkulturen wurden kurz nach der Aussaat zweimal mit 15 mm Wasser bewässert, um einen optimalen Aufgang sicherzustellen. Es wurde kein Dünger eingesetzt. Der Versuch wurde in randomisierten Blöcken mit drei Wiederholungen angelegt.

Es erfolgten vier Biomasse-Entnahmen während des Zeitraums mit hohem Wachstum der Zwischenkulturen (23, 28, 35 und 48 Tage nach der Aussaat). Für jede Art wurde die Biomasse auf einer quadratischen Fläche von 0,5 m x 0,5 m manuell ebenerdig abgeschnitten und dann bei 55 °C während 72 Stunden getrocknet, um den

Zusammenfassung

In dieser Studie wird eine zerstörungsfreie Methode zur Schätzung der Biomasse von Zwischenkulturen auf der Grundlage einer Prüfung im Feld von Bodenbedeckungsgrad und Vegetationshöhe vorgestellt. Mit einer Bestimmung der Biomasse lässt sich der erwartete Nutzen der Zwischenkultur abschätzen, wie die Unkrautunterdrückung durch Konkurrenz, die Prävention der Bodenerosion und eine Auswaschung von Nitraten sowie die Zufuhr von Nährstoffen und organischer Substanz. Die aus den Daten eines Versuchs mit zwanzig verschiedenen Arten von Zwischenkulturen abgeleiteten linearen Modelle zeigen, dass das Produkt aus Bodenbedeckungsgrad und Vegetationshöhe ein sehr guter Prädiktor für die produzierte Biomasse ist. Ausserdem konnte mit einem Gesamtmodell, das die Daten aller untersuchten Arten berücksichtigt, die Biomasse korrekt vorhergesagt werden, die im folgenden Jahr in einem weiteren Versuch unter anderen Anbaubedingungen produziert wurde. Die Methode ist also ausreichend robust für eine Anwendung im Feld und die Schätzung mit Abweichungen von rund 20% genügend genau. Mit der Methode lassen sich auch die Menge der von der Zwischenkultur akkumulierten Nährstoffe und damit die potentiell verfügbare Nährstoffmenge für die nachfolgende Kultur ermitteln.

Ertrag an Trockenmasse zu bestimmen. Der Gehalt an Nährstoffen (Gesamtmenge N, P und K) wurde ebenfalls bestimmt. Zum Zeitpunkt der Entnahme wurden in jedem Quadrat die Bodenbedeckung und die Vegetationshöhe festgestellt. Die Bodenbedeckung wurde durch eine einfache visuelle Schätzung sowie aufgrund einer Fotografie ermittelt, die im Zentrum des Quadrats etwa 1 m über der Vegetation aufgenommen wurde. Die Fotografien wurden mit der Software Assess 2.0 (Lamari 2008) analysiert, unter Verwendung der Funktion zur automatischen Schätzung der Bodenbedeckung.

Es wurde eine lineare Regression durchgeführt zwischen der Trocken-Biomasse (in kg/ha) und dem Produkt zwischen Höhe (in cm) und dem Bodenbedeckungsgrad (in%) («Volumenindex»), und zwar für jede Art getrennt (spezifische Modelle), sowie für die Gesamtheit aller Arten (Gesamtmodell). Auch für die Biomasse aufgetragen gegen die Höhe allein sowie gegen die Bodenbedeckung allein wurde für die Gesamtheit der Arten eine Regressionsgerade errechnet. Die Analyse durch Fotografien sollte

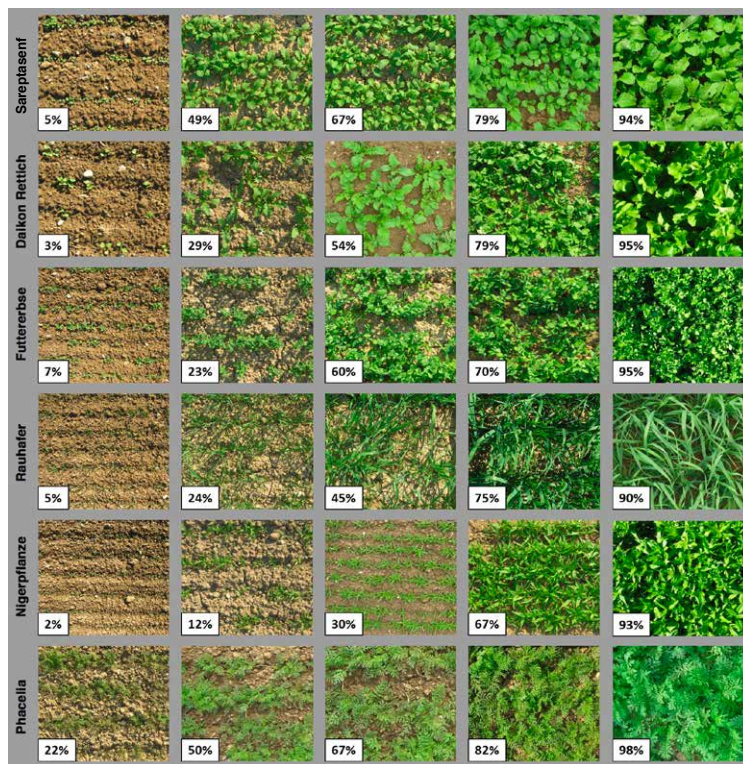


Abb. 1 | Tabelle mit Abstufungen des Bodenbedeckungsgrads. Verwendet wurden Fotografien, die im Rahmen dieser Studie von den sechs während beiden Versuchsjahren untersuchten Arten aufgenommen wurden.

eine objektive Ermittlung des Bodenbedeckungsgrads sicherstellen. Diese Methode wurde mit der visuellen Schätzung verglichen, um zusätzlich eine einfachere Methode zur Einschätzung der Bodenbedeckung zur Verfügung zu haben.

Das Gesamtmodell wurde anschliessend mit den beiden im gleichen Versuch gesäten Mischungen getestet. Die spezifischen Modelle und das Gesamtmodell wurden auch bei vier Arten getestet, die in einem angrenzenden Versuch im gleichen Jahr angesät wurden, sowie bei sechs Arten in einem Versuch im nachfolgenden Jahr in Changins.

Die Prognosequalität des Modells wurde geprüft i) mit Hilfe des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten zwischen den gemessenen und den prognostizierten Werten ii) durch die absolute Differenz zwischen den gemessenen und den prognostizierten Werten und iii) durch die relative Differenz zwischen diesen Werten (absolute Differenz geteilt durch den gemessenen Wert).

Resultate und Diskussion

Bodenbedeckungsgrad

Die visuelle Einschätzung des Bodenbedeckungsgrads korreliert im Allgemeinen gut mit der Berechnung auf der Grundlage von Fotografien (Korrelationskoeffizient

zwischen visueller und fotografischer Einschätzung $\rho=0,94$) und kann deshalb im Feld ebenfalls angewendet werden. Durch das vorgängige Üben mit Hilfe einer Tabelle mit Abstufungen des Bodenbedeckungsgrads (Abb. 1) konnte die Genauigkeit der visuellen Einschätzung durch die Beobachter verbessert werden (Gallegos Torell und Glimskär 2009).

Definition der Modelle

Für die Gesamtheit aller Arten (Gesamtmodell) ist die Regression zwischen Biomasse und Volumenindex (Produkt aus Bodenbedeckungsgrad und Vegetationshöhe der Zwischenkulturen) positiv und signifikant, mit $R^2 = 75\%$ (Abb. 2 und Tab. 1). Dieses Ergebnis ist besser als bei einer Regressionen mit der Vegetationshöhe allein ($R^2 = 68\%$) oder mit dem Bodenbedeckungsgrad allein ($R^2 = 49\%$). Damit ergibt die gleichzeitige Berücksichtigung beider Parameter eine bessere Einschätzung der Biomasse der Zwischenkultur. Auch wenn die lineare Regression insgesamt gute Ergebnisse zeigt, ist eine leichte Nichtlinearität bei den niedrigen Werten festzustellen.

Bei den Regressionen nach Art ist R^2 mit Werten zwischen 82% (Sareptasenf) und 99,6% (Alexandrinerklee; Abb. 3) im Allgemeinen hoch (Tab. 1), mit Ausnahme von Buchweizen ($R^2 = 69\%$). Die schlechte Übereinstimmung der Werte für Buchweizen mit der Regressionsgera-

den ist hauptsächlich auf die drei höchsten Biomasse-Beobachtungen zurückzuführen (letztes Entnahmedatum), bei denen der Volumenindex im Vergleich zu den anderen Beobachtungen nicht genügend hoch liegt (Abb. 3). Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass Buchweizen den Boden rasch bedeckt, sich aber mit der Zeit tendenziell legt. Damit wächst die Biomasse weiter, ohne dass die Höhe entsprechend zunimmt.

Die Steigung der Regressionsgerade variiert von Art zu Art beträchtlich (von 0,37 für Gelbsenf bis 1,43 für den Daikon Rettich; Tab. 1). Dies deutet darauf hin, dass die Beziehung zwischen Biomasse und Volumenindex artspezifisch ist. Die Steigung der Regressionsgeraden beschreibt die Beziehung zwischen Volumenindex und Biomasse. Sie kann deshalb für eine Schätzung der Dichte der Vegetation im dreidimensionalen Raum verwendet werden. Arten mit einer hohen Steigung (Daikon Rettich, Rüben, Futterwicke usw.) sind eher niederwüchsig und dicht, Arten mit niedriger Steigung (Gelbsenf, Hanf, Sudangras usw.) haben die Tendenz zu hohen Stängeln.

Validierung der Modelle

Mit dem Gesamtmodell lässt sich die Biomasse der beiden Mischungen insgesamt gut vorhersagen (Korrelationskoeffizient zwischen den gemessenen und prognostizierten Werten $\rho=0,79$; Abb. 4), mit einer durchschnittlichen absoluten Differenz von 718 kg/ha zwischen den mittleren gemessenen und prognostizierten Werten für die Biomasse (0,24 relativer Unterschied). Bei den drei höchsten gemessenen Werten für die Biomasse weicht die Vorhersage am weitesten ab und diese drei Werte tragen deshalb besonders stark zum Unterschied bei. Ohne Berücksichtigung dieser drei Werte fällt der absolute Unterschied zwischen gemessener und prognostizierter

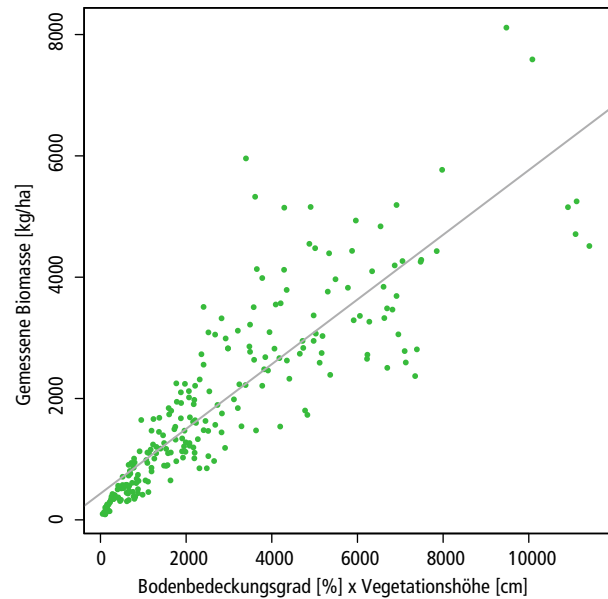


Abb. 2 | Beziehung zwischen der Biomasse und dem Produkt Bodenbedeckungsgrad x Vegetationshöhe (alle Arten gemischt). Die graue Linie entspricht der Regressionsgeraden zwischen diesen beiden Größen (siehe Tab. 1 für die Gleichung).

Biomasse auf 436 kg/ha (0,21 relativer Unterschied). Auch bei diesem Modell werden die Werte für eine grosse Biomasse am schlechtesten prognostiziert, wobei die Berechnung mit dem Volumenindex zu einer Unterschätzung der Biomasse führt. Diese Unterschätzung ist vermutlich auf die komplexe Architektur der Mischungen zurückzuführen, welche ein Wachstum der Biomasse ohne Zunahme der Vegetationshöhe oder des Bodenbedeckungsgrads ermöglicht, zum Beispiel durch das Wachstum der Arten in den unteren Schichten.

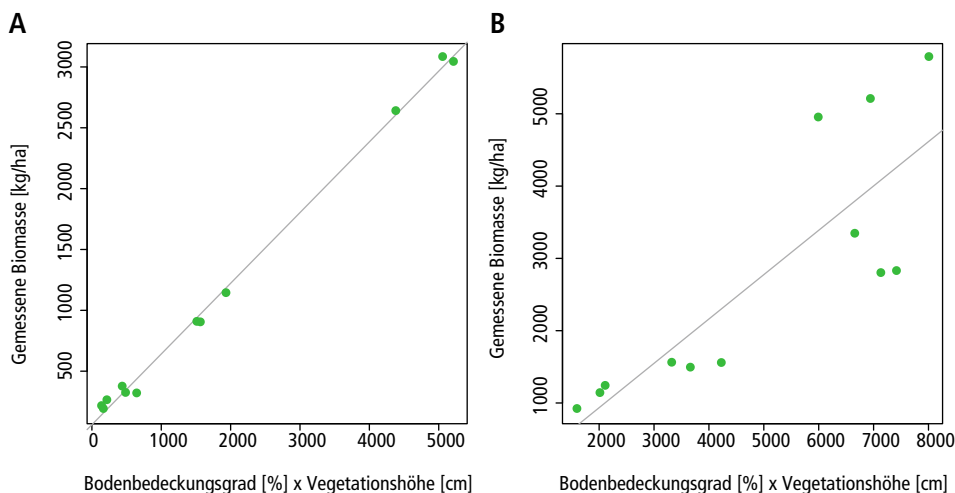


Abb. 3 | Beziehung zwischen Biomasse und Produkt aus Bodenbedeckungsgrad x Vegetationshöhe, für Alexandrinerklee (A) und Buchweizen (B). Die graue Linie entspricht der Regressionsgeraden zwischen diesen beiden Größen (siehe Tab. 1 für die Gleichung).

Die Modelle (Tab. 1) zur Vorhersage der produzierten Biomasse wurden auch bei vier Arten getestet, die bei einem anschliessenden Versuch im selben Jahr angesät wurden. Die Biomasse wurde 30 und 49 Tage nach der Aussaat gemessen, gleichzeitig mit der Vegetationshöhe und dem Bodenbedeckungsgrad. Höhe und Bodenbedeckung wurden für die gesamte Parzellenfläche von 10 m² als Ganzes geschätzt und nicht für Quadrate von 0,25 m² wie zuvor, da diese Schätzung im Feld einfacher durchzuführen ist. Aus demselben Grund wurde der Bodenbedeckungsgrad visuell und nicht aufgrund einer Fotografie eingeschätzt. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den gemessenen und den prognostizierten Werten sind sehr hoch und signifikant (Tab. 2). Für die vier Arten geben die spezifischen Modelle bessere Schätzungen der Biomasse als das Gesamtmodell (Abb. 5 und Tab. 2), mit einem relativ geringen Unterschied von 20% im Vergleich zur gemessenen Biomasse (Tab. 2).

Die in dieser Studie kalibrierten Modelle wurden auch in einem im folgenden Jahr durchgeführten Versuch geprüft. Sechs Arten wurden 2014 in einem Versuch angesät, mit dem der Einfluss der Saattiefe auf das Wachstum von Zwischenkulturen untersucht wurde. Biomasse, Vegetationshöhe und Bodenbedeckungsgrad (visuelle Einschätzung) der Zwischenkultur wurden am selben Datum 69 Tage nach der Aussaat festgestellt. Im Vergleich zum Versuch, mit dem die Modelle kalibriert wurden, fanden die Messungen damit erst spät statt (letzte Messung 48 Tage nach der Aussaat beim Versuch 2013).

Auch hier sind alle Korrelationskoeffizienten zwischen den gemessenen und prognostizierten Werten positiv

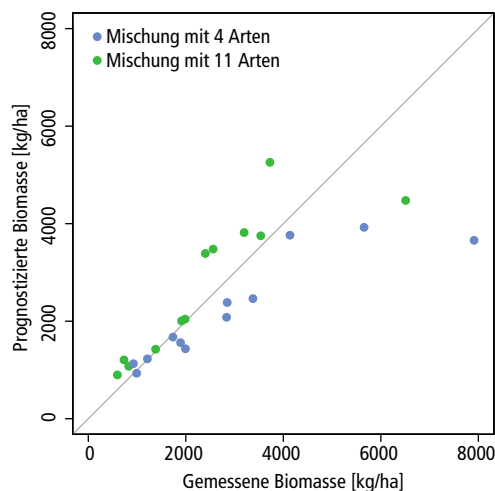


Abb. 4 | Beziehung zwischen der vom Modell prognostizierten Biomasse und der Biomasse, die bei zwei Mischungen mit mehreren Arten gemessen wurden (blaue Punkte: Mischung mit vier Arten, grüne Punkte: Mischung mit elf Arten). Die Punkte, die auf der grauen Geraden liegen, entsprechen Parzellen, für die das Modell die gemessene Biomasse perfekt vorhersagt.

und signifikant, ausser für die Futtererbse (Tab. 2). Da die Futtererbse den Boden schnell bedeckt, dabei aber relativ niedrig bleibt, lassen sich durch die späten Messungen des Bodenbedeckungsgrads die Variationen der Biomasse nicht korrekt erfassen. Bei den meisten Arten schätzt das Gesamtmodell die gemessene Biomasse am besten (Abb. 6 und Tab. 2), während die spezifischen Modelle zu einer Unterschätzung neigen (Abb. 6). Dies kann auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein. Da das Jahr 2014 ein

Tab. 2 | Absolute und relative Unterschiede zwischen den gemessenen Werten und den durch das Gesamtmodell und die spezifischen Modelle prognostizierten Werten, für vier im selben Jahr in einem weiteren Versuch angebaute Arten (n=6) und für sechs im folgenden Jahr angebaute Arten (n=40); Pearson-scher Korrelationskoeffizient zwischen den gemessenen und den prognostizierten Werten (gleiche Koeffizienten für spezifische Modelle und Gesamtmodell). Alle Korrelationskoeffizienten sind signifikant von Null verschieden (p<0,05), ausser jener für die Futtererbse 2014.

	Spezifische Modelle		Gesamtmodell		Korrelations-koeffizient
	absoluter Unterschied	relativer Unterschied	absoluter Unterschied	relativer Unterschied	
2013					
Sareptasenf	798	0,21	1237	0,29	0,94
Futtererbse	454	0,20	526	0,21	0,87
Rauhafer	584	0,24	819	0,25	0,98
Phacelia	359	0,13	651	0,17	0,98
2014					
Sareptasenf	586	0,29	384	0,19	0,71
Daikon Rettich	443	0,25	558	0,29	0,49
Futtererbse	919	0,48	384	0,21	-0,09
Rauhafer	898	0,39	467	0,22	0,84
Nigerpflanze	554	0,21	554	0,22	0,65
Phacelia	653	0,26	374	0,14	0,81

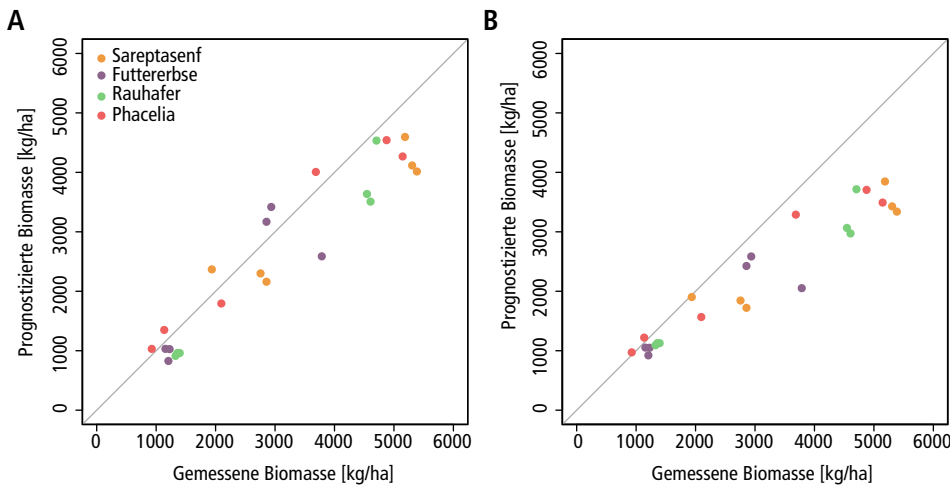


Abb. 5 | Gemessene Biomasse und mit den spezifischen Modellen (A) oder dem Gesamtmodell (B) prognostizierte Biomasse, für vier in einem anderen Versuch im selben Jahr untersuchte Arten.

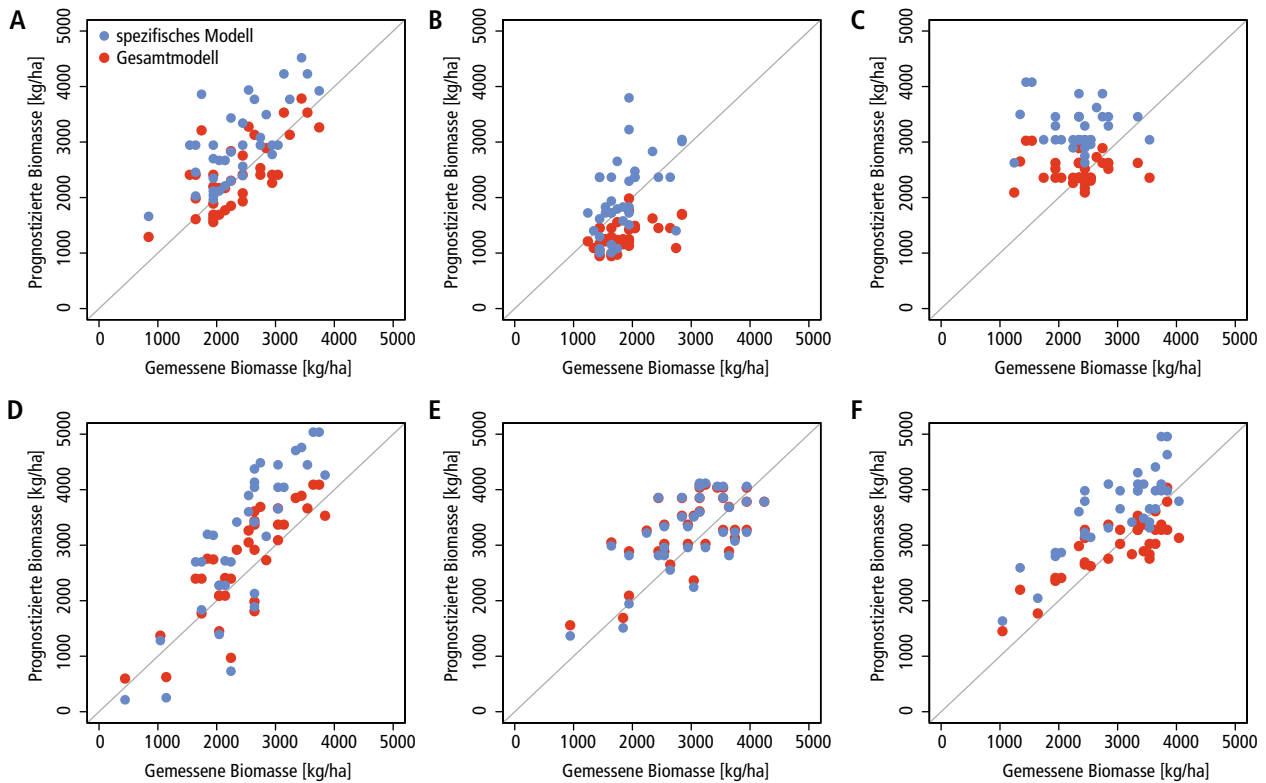


Abb. 6 | Gemessene Biomasse und mit den spezifischen Modellen oder mit dem Gesamtmodell prognostizierte Biomasse, für sechs Arten, die im Jahr nach dem für die Kalibrierung der Modelle verwendeten Versuch angebaut wurden. A: Sareptasenf; B: Daikon Rettich; C: Futtererbse; D: Rauhafer; E: Nigerpflanze; F: Phacelia.

für das Wachstum der Zwischenkulturen weniger günstiges Jahr war als 2013, wurde vermutlich eine geringere Biomasse bei gleichem Bedeckungsgrad und gleicher Vegetationshöhe produziert. Die unterschiedlichen Zeitpunkte der Biomassenentnahme bei den beiden Versuchen (viel spätere Messung im Versuch 2014) könnten ebenfalls eine Rolle spielen, da die Biomasse bei einigen Arten nach der Wachstumsspitze tendenziell abnimmt,

ohne dass dies gezwungenermassen eine Abnahme von Bodenbedeckungsgrad oder Vegetationshöhe zur Folge hat. Diese Ergebnisse zeigen, dass die spezifischen Modelle bei relativ «jungen», unter guten Bedingungen wachsenden Zwischenkulturen gute Vorhersagen liefern. Im Gegensatz dazu verhält sich das auf die Gesamtheit der Arten angepasste Modell robuster gegenüber den Unterschieden der Anbaubedingungen von Jahr zu Jahr. ➤

Tab. 3 | Nährstoffgehalt und C/N-Verhältnis, gemessen bei 20 Arten zum Zeitpunkt der letzten Biomasse-Entnahme im Rahmen dieser Studie (48 Tage nach Aussaat) und bei einer nachträglichen Entnahme (85 Tage nach Aussaat).

	N [g/kg]		P [g/kg]		K [g/kg]		C/N	
	48 TnA	85 TnA	48 TnA	85 TnA	48 TnA	85 TnA	48 TnA	85 TnA
Gelbsenf	19	13	2,7	2,2	30	21	24	35
Sareptasenf	21	17	3,1	2,8	38	34	20	27
Rübsen	23	20	4,3	5,4	45	38	18	21
Daikon Rettich	26	22	4,0	5,3	46	43	16	19
Ölrettich	22	16	3,9	3,9	45	39	19	28
Ackerbohne	40	22	3,8	3,5	25	25	11	21
Linse	42	35	5,0	5,1	30	31	11	14
Futtererbse	44	36	4,9	5,2	30	32	9	11
Alexandrinerklee	37	29	3,1	3,3	29	25	11	16
Futterwicke	45	36	4,1	4,0	29	33	10	12
Rauhafer	25	19	3,9	3,4	41	33	18	24
Kolbenhirse	33	20	3,3	2,5	45	36	13	22
Sudangras	27	18	3,7	3,6	33	27	17	26
Sonnenblume	22	15	3,1	2,9	37	25	20	30
Nigerpflanze	30	17	4,0	3,8	50	47	13	25
Phacelia	31	21	5,4	4,8	53	42	13	21
Buchweizen	23	16	3,2	2,7	28	11	19	29
Lein	34	21	4,3	3,5	30	25	14	22
Hanf	24	22	3,5	4,9	22	12	18	21
Chia	33	19	4,3	4,6	42	36	13	24

Eine Ausnahme bildet allerdings der Schwarze Rettich, dessen Biomasse über die beiden Jahre betrachtet vom spezifischen Modell besser geschätzt wird als vom Gesamtmodell (Abb. 6; Tab. 2). Dies ist wahrscheinlich auf die sehr spezifische Architektur des Schwarzen Rettichs zurückzuführen: Mit der sehr grossen Pfahlwurzel, die teilweise aus dem Boden ragt und deshalb zur oberirdischen Biomasse beiträgt, wird dieser Art ein spezifisches Modell besser gerecht.

Praktische Anwendung der Methode

Durch die Schätzung der Biomasse von Zwischenkulturen kann auch der Nutzen von Zwischenkulturen abgeschätzt werden, sei dies durch die Konkurrenzierung von Unkräutern oder durch den Schutz des Bodens vor Erosion usw. Für eine wirksame Unkrautunterdrückung

ist beispielsweise eine Biomasse von mindestens 35 dt/ha erforderlich (Charles *et al.* 2013).

Durch die Multiplikation der geschätzten Biomasse mit den Nährstoffkonzentrationen lässt sich ausserdem die dem Boden zugeführte Nährstoffmenge und organische Substanz ermitteln. Die Nährstoffkonzentrationen variieren beträchtlich mit dem Alter der Vegetation und den Umweltbedingungen. In Tabelle 3 sind die N-, P- und K-Konzentrationen der hier untersuchten Zwischenkulturen aufgeführt, die zu zwei Entnahmezeitpunkten gemessen wurden: bei der letzten in dieser Studie vorgenommenen Entnahme (48 Tage nach der Aussaat) und bei einer nachträglichen Entnahme, als die Biomasse einiger Arten bereits gealtert war (85 Tage nach der Aussaat). Das C/N-Verhältnis der Zwischenkultur bei deren Zerstörung ermöglicht eine Abschätzung der Geschwindigkeit, mit der die Pflanzen abgebaut werden, sowie der Menge der dabei freigesetzten Stickstoffverbindungen oder anderer Nährstoffe. Typischerweise werden 10% bis 50% des von Hülsenfrüchtlern aufgenommenen N bei deren Abbau freigesetzt, bei Kreuzblütlern beträgt dieser Anteil zwischen -10% bis +30% und bei Gräsern -20% bis +10% (Justes *et al.* 2013).

Schlussfolgerungen und Perspektiven

- Diese Studie zeigt, dass es möglich ist, die Biomasse einer Zwischenkultur mit Hilfe zweier leicht feststellbarer Grössen zu schätzen: Vegetationshöhe und Bodenbedeckungsgrad.
- Zur Schätzung der Biomasse einer Zwischenkultur zu Beginn des Anbaus oder während der Phase schnellen Wachstums und bei guten Anbaubedingungen können spezifische Modelle verwendet werden, die auf die jeweilige Art abgestimmt sind.
- Das Gesamtmodell scheint sich eher für weniger günstige Wachstumsbedingungen zum Beispiel gegen Ende der Vegetationsperiode zu eignen. Da die Kalibrierung der Modelle bei einem einzigen Standort stattfand, ist die Vorhersagequalität bei der Übertragung auf andere Standorte möglicherweise eingeschränkt.
- Mit der vorgestellten Methode lassen sich ausserdem zu zwei verschiedenen Zeitpunkten die Mengen der in der Biomasse akkumulierten Nährstoffe, die der nachfolgenden Kultur teilweise zur Verfügung stehen, zerstörungsfrei schätzen. ■

Dank

Diese Studie wurde teilweise finanziert vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung im Rahmen des NFP 68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden», Beitrag 406840-143063.

Riassunto

Metodo non distruttivo di valutazione della biomassa delle colture di copertura

Il presente studio presenta un metodo non distruttivo di valutazione della biomassa delle colture di copertura, basato sulla valutazione in campo della copertura del suolo e dell'altezza delle colture. La determinazione della biomassa è utile per quantificare i servizi attesi al momento dell'utilizzo delle colture di copertura, quali la lotta contro le malerbe, la prevenzione dell'erosione e della lisciviazione dei nitrati, l'apporto di nutrienti e di materia organica. Alcuni modelli lineari adattati ai dati di un esperimento comprendente venti specie diverse di colture di copertura mostrano che la copertura e l'altezza si rivelano validi dati per prevedere la biomassa prodotta. Inoltre, l'uso di un modello globale, adattato all'insieme delle specie studiate, ha consentito di predire correttamente la biomassa prodotta nell'ambito di un altro esperimento condotto l'anno seguente in presenza di condizioni colturali differenti. Il metodo è pertanto sufficientemente valido per essere utilizzato in campo, con una precisione nella valutazione della biomassa pari ad approssimativamente il 20 per cento. Permette altresì di stimare la quantità di nutrienti accumulati dalle colture di copertura e di valutare così la quantità di nutrienti potenzialmente disponibili per la coltura che seguirà.

Summary

Non-destructive method for estimating cover-crop biomass

This study presents a non-destructive method for estimating cover-crop biomass, based on field estimation of soil cover and cover height. The estimation of biomass allows to quantify expected services offered by cover crops, such as competition against weed, erosion and leaching reduction, input of nutrients and organic matter. Linear models were adjusted to the data of a field screening of 20 cover crop species. The results show that the product of soil cover and height is a good predictor of cover-crop biomass. In addition, the use of a global model, adjusted to all species together, allows to predict the biomass produced in the context of another trial set up the year after, with different cropping conditions. The developed method is thus sufficiently robust to be used on field data, with a precision in biomass estimation of approx. 20%. It also allows to estimate nutrient uptake by cover crops and assess the quantity of nutrients made available for the following crop.

Key words: cover crop, soil cover, crop height, biomass, nutrients.

Literatur

- Amossé C., Dugon J., Chassot A., Courtois N., Etter J.-D., Fietier A., Grünig K., Henggartner W., Ramseier H., Rossier N., Sturny W., Wittwer R., Zimmermann A., Jeangros B. & Charles R., 2015. Verhalten verschiedener Zwischenkulturen in einem Netzwerk von On-Farm-Versuchen. *Agrarforschung Schweiz* 6 (11–12), 524–533
- Bumgarner N. R., Miller W. S. & Kleinhenz M. D., 2012. Digital image analysis to supplement direct measures of lettuce biomass. *HortTechnology* 22, 547–555.
- Charles R., Wirth J., Büchi L., Sarthou J.-P. & Justes E., 2013. Couverts végétaux et allélopathie: Où en est la recherche ? *Techniques Culturelles Simplifiées* 71, 24–25.
- Foster A. J., Kakani V. G., Ge J. & Mosali J., 2012. Predicting biomass yield in bioenergy crop production systems using canopy NDVI. Proceedings from Sun Grant National Conference: Science for Biomass Feedstock Production and Utilization, New Orleans, LA. Zugang: www.sungrant.tennessee.edu/NatConference/
- Gallegos Torell A. & Glimskär A., 2009. Computer-aided calibration for visual estimation of vegetation cover. *Journal of Vegetation Science* 20, 973–983.
- Jannoura R., Brinkmann K., Uteau D., Bruns C. & Joergensen R. G., 2015. Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystems Engineering* 129, 341–351.
- 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., Tournebize J., Réchauchère O., Savini I., Barbier M. & Leiser H., 2013. Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable. Editions Quae, 105 p.
- Lamari L. 2008. Assess 2.0. Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. The American Phytopathological Society. ISBN 978-0-89054-369-6
- Lati R. N., Filin S. & Eizenberg H., 2011. Robust methods for measurement of leaf cover area and biomass from image data. *Weed Science* 59, 276–284.
- Mosimann E., 2001. Croissance des herbages. Méthodes de mesure et applications pratiques. *Revue suisse d'Agriculture* 33, 163–167.
- Muñoz J. D., Finley A. O., Gehl R. & Kravchenko S., 2010. Nonlinear hierarchical models for predicting cover crop biomass using normalized difference vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 114, 2833–2840.
- Thorup-Kristensen K., Magid J. & Jensen L. S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* 79, 227–302.