

Implikationen eines herbizidlosen Extenso-Weizenanbaus in der Schweiz

Thomas Böcker und Robert Finger

ETH Zürich, 8092 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Robert Finger, E-Mail: rofinger@ethz.ch



Der herbizidlose Weizenanbau wird bisher in der Schweiz trotz Förderung wenig praktiziert. In diesem Artikel werden Konsequenzen eines möglichen Herbizidverzichts untersucht. (Foto: Thomas Böcker, ETH Zürich)

Einleitung

Pflanzenschutz ist für die Bereitstellung von hochqualitativen Nahrungsmitteln essenziell. Jedoch birgt insbesondere der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM), trotz einer starken Regulierung, Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Dies löst in der Schweiz und vielen anderen Ländern intensive Debatten zu Verboten oder stärkeren Einschränkungen aus (Finger 2018). Durch das Extenso-Programm wurden in den letzten Jahrzehnten deutliche Reduktionen des PSM-Einsatzes realisiert. In der schweizerischen Getreideproduktion sind ca. 50 % der Fläche im Extenso-Programm (BLW 2016). Das heisst, es werden keine

Fungizide, Insektizide oder Wachstumsregulatoren eingesetzt. Herbizide dürfen jedoch weiterhin verwendet werden. Jedoch ist auch der Einsatz von Herbiziden im Zuge der Glyphosat-Debatte und darüber hinaus in die Kritik geraten (Böcker *et al.* 2018a; Richner *et al.* 2017). Es besteht aus gesellschaftlicher und privatwirtschaftlicher Perspektive daher ein Interesse, den Herbizideinsatz zu reduzieren. Auch von der Politik wird diese Produktionsform unterstützt, beispielsweise in der Schweiz durch Beiträge für Herbizidverzicht bei schonender Bodenbearbeitung.

Eine Herbizidreduktion im Extenso-Weizen ist relevant, da dies eine der wichtigsten Ackerkulturen in der Schweiz ist. Ein Herbizidverzicht im Extenso-Weizen ist zudem aus Sicht des Konsumenten und des Handels besonders interessant, weil so (bis auf die Beize) Nahrungsmittel ohne PSM-Einsatz vermarktet werden könnten. Ziel des hier vorliegenden Beitrages ist es zu untersuchen, welche Implikationen ein solcher Verzicht auf a) Glyphosat oder b) sogar auf alle Herbizide in der Extenso-Weizenproduktion bezüglich Deckungsbeiträge, Erträge und Pflanzenschutzstrategien hätte. Wir entwickeln ein räumlich hoch aufgelöstes bio-ökonomisches Modell, in dem Unkrautdruck und Pflanzenschutzstrategien detailliert abgebildet werden sowie optimale, d. h. nutzenmaximierende Entscheidungen der Landwirte ausgewählt werden können.

Material und Methoden

Zur Ermittlung der zu erwartenden Anpassung der Pflanzenschutzstrategien durch den Verzicht auf a) Glyphosat und b) alle Herbizide und die dadurch hervorgerufenen Implikationen für Erträge und Deckungsbeiträge wurde ein bio-ökonomisches Modell für den Extenso-Weizenanbau unter schweizerischen Umweltbedingungen entwickelt¹. Basierend auf der Methodik von Böcker *et al.* (2018a, b) besteht das Modell aus zwei Teilen: Im ersten, biologischen, Teil des Modells wird eine Produktionsfunktion des Winterweizens in Abhängigkeit vom Potenzialertrag, Unkrautvorkommen (Artenspektrum), Unkrautdruck und von Unkrautbekämpfungsstrategien räumlich explizit für alle Weizenanbaugebiete der Schweiz bestimmt. Pflanzenschutz wirkt dabei nicht ertragssteigernd, sondern schadensmindernd (Guan *et al.* 2005; Lichtenberg und Zilberman 1986; Hall und Norgaard 1973). In der Produktionsfunktion werden Vor- und Nachsaatstrategien zur Unkrautkontrolle sowie deren Interdependenzen berücksichtigt. Zudem wird die Ertragsvariabilität aufgrund des Unkrautdrucks, aber auch aufgrund der witterungsbedingten Variabilität des Potenzialertrags berücksichtigt.

Das Modell ist räumlich explizit und berücksichtigt, basierend auf der Bodeneignungskarte, alle potenziellen Getreideanbaugebiete (insgesamt 1166 Polygone). Es werden die 21 wichtigsten Unkrautarten im Weizenanbau berücksichtigt (Gehring 2003; Streit *et al.* 2003). Die Verbreitung dieser 21 Unkrautarten innerhalb der Schweiz wurde mit Daten zur Florakartierung der *Info*

Zusammenfassung ■ Verschiedene Akteure suchen nach Lösungen, um den Herbizideinsatz auf landwirtschaftlichen Betrieben zu reduzieren. Die Implikationen solcher Schritte sind jedoch oft unklar. Mit Hilfe eines bio-ökonomischen Modells analysieren wir in diesem Artikel, wie sich Pflanzenschutzstrategien, Erträge und Deckungsbeiträge im Schweizer Extenso-Winterweizenanbau bei einem Verzicht auf Glyphosat oder auf alle Herbizide verändern. Es zeigt sich, dass mechanische Unkrautbekämpfungsstrategien den Einsatz von Herbiziden gut substituieren können. Die Ressourceneffizienzbeiträge des Bundes für die schonende Bodenbearbeitung mit Herbizidverzicht reduzieren dabei Deckungsbeitragseinbussen deutlich, wenn nicht Mais oder Triticale als Vorfrucht angebaut oder die gesamte Ackerfläche gepflügt wird. Ertragseinbussen durch Herbizidverzicht werden durch die Wahl alternativer Strategien reduziert und betragen zwischen 0,8 und 1,6 dt/ha im Falle eines Glyphosatverzichts und zwischen 1,6 und 2,7 dt/ha im Falle eines totalen Herbizidverzichts, wobei einzelne Betriebe auch höhere Verluste verzeichnen würden. Ein kohärentes Set an Politikmassnahmen kann die Risiken des Pflanzenschutzmitteleinsatzes reduzieren, alternative Strategien stärken und so Trade-offs minimieren.

Flora (<https://www.infoflora.ch/>) abgeschätzt. Die Kartierung der Info Flora beruht auf Punktbeobachtungen der einzelnen Arten über mehrere Jahre (1995–2017), die für unsere Analyse in die berücksichtigten Polygone übertragen wurden. Jedes Unkraut hat dabei einen potenziellen Effekt (d. h. wenn Kultur unbehandelt) auf den Weizenanbau. Dieser Effekt wurde zum einen aus Versuchsdaten und der Literatur, aber auch aus eigenen Schätzungen bestimmt. Zu diesem Zweck werden Daten zu eingesetzten Unkrautbekämpfungsstrategien mittels Informationen der Zentralen Auswertung von Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI; z. B. Spycher *et al.* 2013) sowie Ertragsdaten von IP Suisse verwendet.

Im zweiten, ökonomischen Teil des Modells wird für jedes der 1166 Polygone eine nutzenmaximierende Unkrautbekämpfungsstrategie vor und nach der Saat bestimmt und die daraus resultierenden Erträge und der Deckungsbeitrag berechnet. Dabei wird dem Umstand

¹Das hier entwickelte Modell ist frei in der ETH Research Collection verfügbar (Böcker und Finger 2018).

Tab. 1 | Berechnung des Deckungsbeitrags (DB) im bio-ökonomischen Modell.

		Zeile
DB	= Erlös	a
	= Erwarteter Ertrag × Preis	
	+ Direktzahlungen (Versorgungssicherheit, Extenso, bodenschonende Verfahren), in Abhängigkeit von Zeile c und d	b
- Kosten	- Kosten für Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle vor der Saat	c
	- Kosten für Unkrautkontrolle nach der Saat	d
	- Kosten der Aussaat, in Abhängigkeit von Zeile c und d	e
	- Kosten für Düngung, in Abhängigkeit vom Ertrag	f
	- sonstige Kosten	g

Rechnung getragen, dass Landwirte eine Vielzahl an Unkrautbekämpfungsstrategien einsetzen können. Wir berücksichtigen total 140 verschiedene Unkrautbekämpfungsstrategien die sowohl momentan verbreitete aber auch derzeit weniger etablierte, aber potenziell relevante Alternativen beinhalten. Jeder dieser 140 Strategien wurde jeweils eine Effektivität gegen jede der 21 Unkrautarten zugeordnet. Die Effektivität der Strategien basiert auf Versuchsdaten und Literatur (z. B. Benker und Röhling 2018; Gehring und Thyssen 2016), erst in letzter Instanz wurden Herstellerinformationen zur Effektivität verwendet. Zudem wird jeder Unkrautbekämpfungsstrategie eine Kostenposition und ein Arbeitszeitbedarf zugeordnet (Fenaco 2018; Gazzarin 2017), wobei letzterer im Modell auch monetär bewertet wird. Es wird so simuliert, dass die Effektivität der eingesetzten Strategien gegen Kosten der Produktionsmittel, Maschinen und Arbeitsaufwand (und damit verbundene Arbeitskosten) abgewogen werden.² Insgesamt werden 26 verschiedene Vorsaat-Strategien berücksichtigt, darunter Glyphosatanwendung mit Direktsaat, Glyphosatanwendung mit Locker-/Mulchsaat, Pflugkombinationen, aber auch der Zwischenfruchtanbau mit Direktsaat (Streit 2016). Für die Wahl der Nachsaat-Strategie werden insgesamt 114 Möglichkeiten berücksichtigt. Dabei besteht ein Grossteil dieser Strategien aus einer (oder mehreren) Herbizidanwendung(en). Darüber hinaus sind auch Striegelanwendungen bzw. Kombinationen von Striegel und Herbiziden möglich sowie eine Untersaat berücksichtigt. Die im biologischen Teil berechneten Erträge mit den entstandenen Kosten der Unkrautbekämpfung werden schlussendlich in der Deckungsbeitragsrechnung be-

²In unserer Analyse wurde Arbeitszeit nicht als Restriktion berücksichtigt, sondern als Opportunitätskosten bewertet.

wertet und es wird jeweils eine nutzenmaximierende Vor- und Nachsaatstrategie ausgewählt. Die Zusammensetzung des Deckungsbeitrags in unseren Berechnungen ist in Tabelle 1 dargestellt. Neben den variablen Kosten verschiedener Pflanzenschutzstrategien werden auch deren Fixkosten berücksichtigt.

Als Erzeugerpreis nehmen wir, inklusive der IP-Suisse-Prämie, einen Wert von 58 CHF/dt an. Die Maschinenausrüstung wird gemäss Gazzarin (2017) und Boessinger et al. (2015) einheitlich vordefiniert. Eine Zusammenfassung ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Direktzahlungen setzten sich neben dem Produktionssystembeitrag für extensive Produktion (400 CHF/ha) und dem Versorgungssicherheitsbeitrag (1300 CHF/ha) aus den Ressourceneffizienzbeiträgen für schonende Bodenbearbeitung zusammen. Für die Direktsaat wird dabei ein Beitrag von 250 CHF/ha gezahlt, für Mulchsaat ein Beitrag von 150 CHF/ha. Falls bei diesen Verfahren und während der Anbauperiode auf Herbizide verzichtet wird, wird zusätzlich ein Beitrag von 400 CHF/ha gezahlt. Kantonale Sonderzahlungen werden in die-

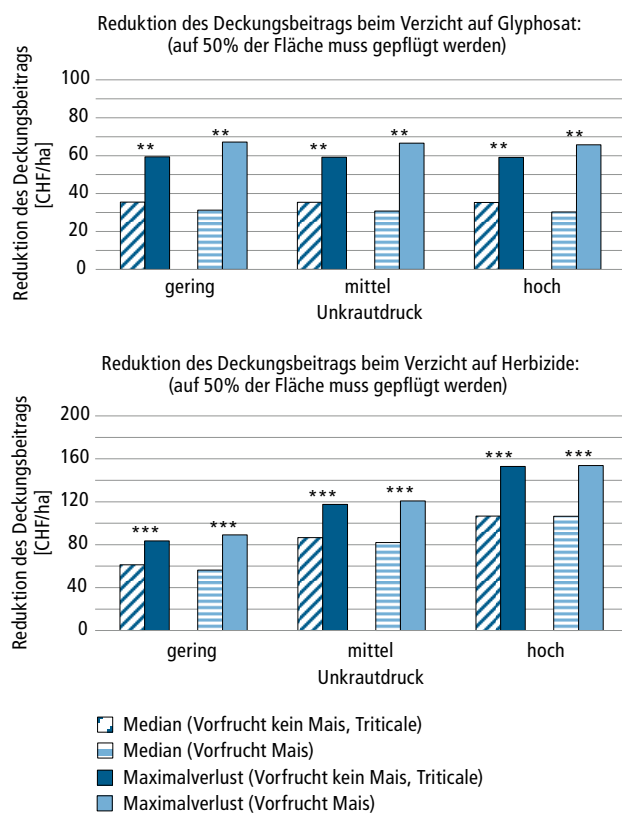


Abb. 1 | Mittlerer und maximaler Verlust des Deckungsbeitrags durch einen Glyphosat- und einen Herbizidverzicht ohne Berücksichtigung der schonenden Bodenbearbeitung (*, **, * und n. s. kennzeichnen die Signifikanzniveaus 1%, 0,1% und nicht signifikant mit Wilcoxon-Mann-Whitney-Test).**

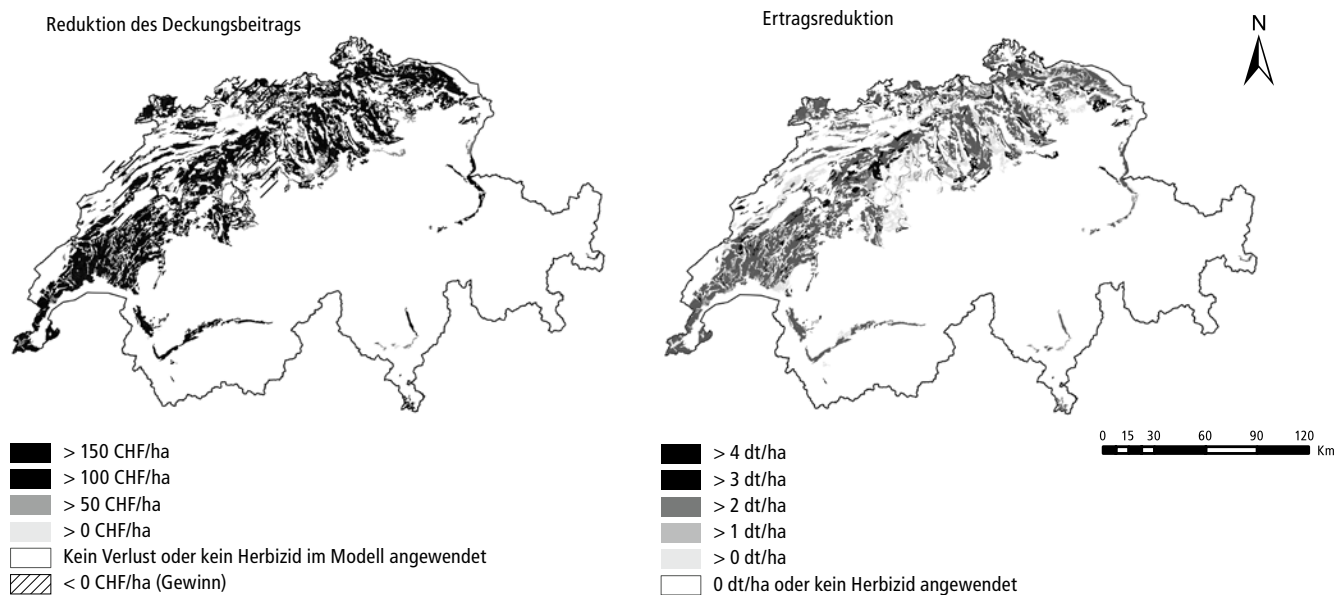


Abb. 2 | Räumliche Verteilung der Veränderungen ohne Berücksichtigung der schonenden Bodenbearbeitung. Szenario: Erzeugerpreis = 58 CHF/dt, hoher Unkrautdruck, Vorfrucht kein Mais oder Triticale, konventionelle Bodenbearbeitung in Vorjahren, kein Pflugeinsatz notwendig.

sen Berechnungen nicht einbezogen, um in der Analyse einheitliche politische Rahmenbedingungen zu gewährleisten.

Die Zielfunktion im Modell ist die Maximierung des Erwartungsnutzens (*Expected Utility*). Dieser hängt dabei vom erwarteten Deckungsbeitrag je Hektare (*DB*) sowie der Variabilität des Deckungsbeitrags (d. h. dem Risiko) und der Risikopräferenz des Landwirts ab. Die Berücksichtigung von Risiken ist relevant, da zum Zeitpunkt der Unkrautbekämpfung im Herbst und/oder Frühjahr der physische erzielte Ertrag im Sommer noch unbekannt ist. Landwirte verhalten sich dabei häufig risikoavers, so dass sie vor allem negative Schwankungen des Deckungsbeitrags vermeiden wollen (vgl. Meraner und Finger 2018). Die aus dem Modellierungsansatz resultierenden Strategiewahlen und damit verbundene Ertragsverluste und Kostensteigerungen durch Glyphosat- oder Herbizidverzicht sind daher keine Ad-hoc-Annahmen, sondern resultieren aus Anpassungsreaktionen der Landwirte und detaillierten Abbildungen des Zusammenhangs der 21 berücksichtigten Unkräuter, dem Weizenanbau und der Effektivität und Kosten der 160 Unkrautbekämpfungsstrategien.

In der Analyse unserer Fragestellung berücksichtigen wir zwei mögliche Alternativszenarien: a) Verzicht auf Glyphosat im Verfahren Extensio-Winterweizenanbau, b) Verzicht auf alle Herbizide im Extensio-Winterweizenanbau. In unserer Analyse simulieren wir zunächst ein Referenzszenario unter derzeitigen Rahmenbedingun-

gen (d. h. Glyphosateinsatz und Herbizideinsatz sind erlaubt) und danach jeweils die Alternativszenarien. Dabei werden verschiedene Varianten präsentiert, insbesondere mit und ohne Berücksichtigung der Ressourceneffizienzbeiträge sowie mit und ohne Berücksichtigung allfälliger Einschränkungen in der Bodenbearbeitung aufgrund der notwendigen Regulierung des *Fusarium*-Befalls und der Deoxynivalenol(DON)-Gehalte (Details im folgenden Abschnitt). Darüber hinaus werden Szenarien mit verschiedenem Unkrautdruck (tief, mittel, hoch) analysiert. Um die jeweiligen Szenarien bzw. Gruppen auf statistisch signifikante Unterschiede (z. B. hinsichtlich Erträgen, Deckungsbeiträgen) zu prüfen, verwenden wir einen Wilcoxon-Mann-Whitney-Test. Das hier entwickelte Modell ist eine detaillierte, aber stilisierte Grundlage, um die Auswirkungen eines Verzichts auf einen Glyphosat- oder Herbizideinsatz zu simulieren. Dieses Modell erlaubt es, Wirkungsmechanismen und Dimensionen von Implikationen aufzuzeigen, ist aber kein Prognosetool.

Resultate

Die Ergebnisse unserer Modellrechnungen werden in zwei Abschnitten dargestellt. Zunächst werden die Veränderungen eines Glyphosat- und Herbizidverzichts ohne Berücksichtigung der Ressourceneffizienzbeiträge für schonende Bodenbearbeitung dargestellt. Im zweiten Teil der Ergebnisse werden die Veränderungen mit

Tab. 2 | Annahmen bei der Maschinenausstattung und deren Kosten.

Aktivität	Subaktivität	Leistung (Lohn: 28 CHF/h)	Fixe Kosten	Variable Kosten (Diesel: 1.54 CHF/l)
Traktor (82 kW)		–	20.25 CHF/h	4.95 CHF/h + 9,84 l/h
Aktivitäten in Abhängigkeit der Unkrautkontrolle				
Grubber (3 m) ^a		1,40 ha/h	29.04 CHF/ha	6.82 CHF/ha
Kreislege mit Packerwalze (3 m) ^a		1,09 ha/h	67.20 CHF/ha	21.00 CHF/ha
Pflug (3-Schar) ^a		0,47 ha/h	65.57 CHF/ha	34.94 CHF/ha
Packerwalze (für Pflug)		–	17.67 CHF/ha	8.31 CHF/ha
Striegel (6 m)		3,95 ha/h	16.22 CHF/ha	4.01 CHF/ha
Spritze inkl. Vorbereitung (15 m)		3,58 ha/h	17.35 CHF/ha	5.88 CHF/ha
Andere Aktivitäten				
Sämaschine/Drille (3 m)		1,60 ha/h	42.10 CHF/ha	7.36 CHF/ha
Direktsämaschine (3 m)		1,50 ha/h	47.40 CHF/ha	21.60 CHF/ha
	Saatgut (höhere Kosten, wenn Striegel eingesetzt wird)		226.80 CHF/ha 252.00 CHF/ha	
Düngerstreuer (3×)		1,1 ha/h	6.60 CHF/ha	2.69 CHF/ha
	N ^b			1.60 CHF/kg
	P ₂ O ₅ ^b			1.43 CHF/kg
	K ^b			0.89 CHF/kg
Mähdrescher (4,8–5,2 m)		1,43 ha/h	235.34 CHF/h	69.83 CHF/h + 27,00 l/h
Schneidwerk (4,8–5,2 m)		–	37.14 CHF/h	12.19 CHF/h
Dreiseitenkipper (100 dt)		1 Ladung/h	0.40 CHF/dt	0.13 CHF/dt

Quellen: Gazzarin (2017); Boessinger *et al.* (2015).

^a Auf schweren Böden wird ein 30 % höherer Dieselverbrauch beim Pflug angenommen, auf leichten Böden ist er 30 % geringer. Für Grubber und Kreisleger liegt der Faktor bei 20 % (Böcker *et al.* 2018).

^b Nur die ertragsabhängigen Düngerkosten werden in den Berechnungen berücksichtigt. Wenn ein höherer Ertrag erzielt wird, entstehen somit höhere Düngerkosten. Andere Düngerkosten werden nicht berücksichtigt, da wir nicht wissen, welcher Nährstoffvorrat im Boden vorhanden ist, und welche Düngerart (Kunstdünger oder organischer Dünger) verwendet wird. Die hier relevante Differenz von Deckungsbeiträgen wird dadurch nicht beeinflusst.

Berücksichtigung der Ressourceneffizienzbeiträge für schonende Bodenbearbeitung präsentiert. Für beide Analysen (mit und ohne Beiträge) werden zwei Szenarien berücksichtigt. Im ersten Fall muss auf einem Teil der Fläche (Annahme 50 %) gepflügt werden, um den *Fusarium*-Befall und die Deoxynivalenol (DON)-Gehalte im Weizen niedrig zu halten. Dieses Szenario widerspiegelt auch die IP-Suisse Empfehlung, die Fläche bei Mais als Vorfrucht möglichst zu pflügen. Im zweiten Fall muss nicht gepflügt werden.

Ergebnisse ohne Beiträge für schonende Bodenbearbeitung

Ohne Berücksichtigung von Beiträgen zur schonenden Bodenbearbeitung und Einschränkungen im Herbizideinsatz ist in vielen Regionen die Direktsaat in Kombination mit einem Glyphosateinsatz nutzenmaximierend (Tab. 3). Gründe für den Glyphosateinsatz sind die hohe Effektivität der Unkrautkontrolle gepaart mit niedrigen

Kosten. Mechanische Strategien werden unter derzeitigen Bedingungen lediglich ausgewählt, wenn eine Restriktion zwingt, diese zu wählen (z. B. zur Bekämpfung von *Fusarium*). Falls auf Glyphosat verzichtet werden soll, ist jedoch eine mechanische Bodenbearbeitung die beste Alternative. Hauptsächlich wird dabei Mulchsaat angewendet, mit ein oder zwei flachen Bearbeitungsgängen (Details hier nicht präsentiert).

Als optimale Strategie nach der Saat wurde im Referenzszenario beinahe ausschliesslich der Herbizideinsatz (und keine mechanische Kontrolle) gewählt, wobei die Wirkstoffe Florasulam und Tritosulfuron dominieren (Tab. 4). Die Hauptgründe für die Wahl der Wirkstoffe liegen im günstigen Produktpreis sowie in der guten Wirkung (hohe Effektivität) gegen breitblättrige Unkräuter wie *Galium aparine* und *Stellaria media*. Bei einem Wegfall von Glyphosat lassen sich nur minimale Unterschiede bei der Unkrautbekämpfung nach der Saat beobachten. Bei einem Verzicht auf alle Herbizide wird

Tab. 3 | Angewendete Vorsaat-Strategien im Referenz-Szenario, Szenario mit Glyphosatverzicht und mit Herbizidverzicht (mittlerer Unkrautdruck, ohne Beiträge für schonende Bodenbearbeitung).

Szenario	Pflug: mind. 50 %			Pflug: kein Minimum		
	Referenz-szenario	Kein Glyphosat	Kein Herbizid	Referenz-szenario	Kein Glyphosat	Kein Herbizid
Direktsaat ohne Unkrautkontrolle	1,5 %	1,6 %	1,7 %	3,1 %	3,3 %	3,4 %
Zwischenfrucht mit Direktsaat	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Rein mechanische Kontrolle	50,3 %	98,4 %	98,3 %	0,5 %	96,7 %	96,6 %
Teilweise mechanisch	50,3 %	98,4 %	98,3 %	0,5 %	96,7 %	96,6 %
Keine Herbizide	51,8 %	100,0 %	100,0 %	3,6 %	100,0 %	100,0 %
Herbizid/Glyphosat	48,2 %	–	–	96,4 %	–	–

Die Prozentangaben beziehen sich hier auf die Anteile der räumlichen Einheiten, die analysiert werden.

hingegen der Herbizideinsatz zumeist mit ein bis drei Striegelanwendungen substituiert.

Abbildung 1 zeigt die Reduktion des Deckungsbeitrags jeweils für den Glyphosat- und den Herbizidverzicht. Dargestellt ist die Situation mit einem Pflichtanteil des Pfluges von 50 %. Der Median der Verluste eines Glyphosatverzichts liegt zwischen 30 und 36 CHF/ha, vereinzelt aber auch höher bei bis zu 67 CHF/ha. Wenn kein Pflug eingesetzt werden muss, steigen die Deckungsbeitragseinbussen durch einen Glyphosatverzicht (Median: 71 CHF/ha, Maximum: 119 CHF/ha), da Glyphosat im Referenzszenario wesentlich häufiger eingesetzt wurde (Tab. 3). Bei einem totalen Herbizidverzicht sind grössere Verluste erkennbar, insbesondere wenn ein höherer Unkrautdruck auftritt. Hier liegen die Deckungsbeitrags-einbussen im Median zwischen 56 und 107 CHF/ha, das Maximum steigt jedoch bis zu 192 CHF/ha an (wenn im Referenzszenario nicht gepflügt werden muss).

Die Ertragsverluste liegen nach unseren Berechnungen im Median zwischen 0,8 und 1,6 dt/ha im Falle eines Glyphosatverzichts und zwischen 1,6 und 2,7 dt/ha im Falle eines Herbizidverzichts. Durch die Substitution von Herbiziden mit mechanischer Unkrautkontrolle können Verluste also drastisch reduziert werden (würde jedoch keine Unkrautkontrolle nach der Saat stattfinden, was jedoch nicht die optimale Strategie ist, zeigen unsere Modellrechnungen, hier nicht präsentiert, dass Verluste von bis zu 1 t/ha sowie 360 CHF/ha auftreten). In Abbildung 2 wird die räumliche Verteilung der Ertragsverluste für das Szenario des Herbizidverzichts grafisch dargestellt.

Ergebnisse mit Beiträgen für schonende Bodenbearbeitung

Bei Berücksichtigung der Ressourceneffizienzbeiträge für schonende Bodenbearbeitung ändern sich die Resultate je nach betrachtetem Szenario stark. Wenn

eine andere Kultur als Mais oder Triticale als Vorfrucht angebaut wird (Weizen auf Weizen sollte unter ackerbaulichen Gesichtspunkten vermieden werden), ist ein Herbizidverzicht in den meisten Regionen bereits unter bestehenden Bedingungen lohnenswert (Abb. 3). Wir

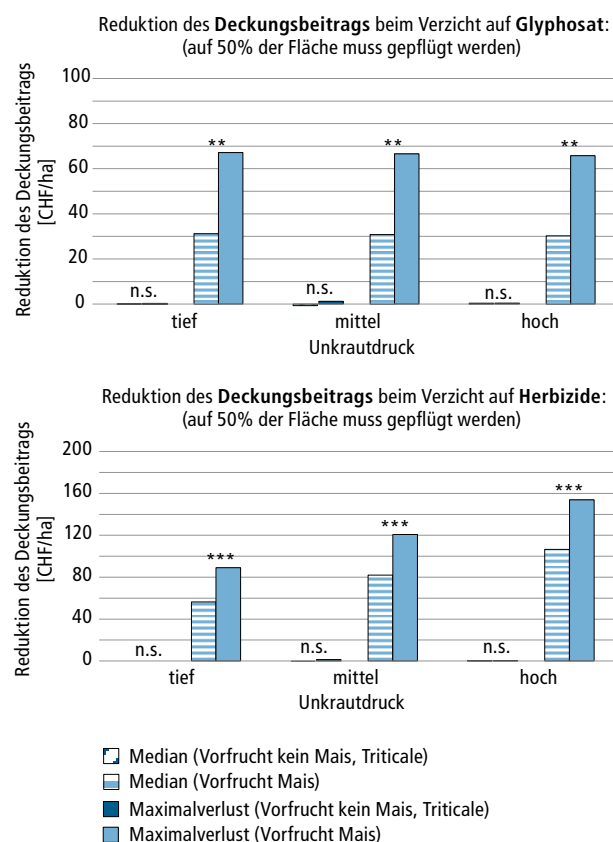


Abb. 3 | Mittlerer und Maximaler Verlust des Deckungsbeitrags durch einen Glyphosat- und einen Herbizidverzicht mit Berücksichtigung der schonenden Bodenbearbeitung (*, **, * und n. s. kennzeichnen die Signifikanzniveaus 1 %, 0,1 % und nicht signifikant mit Wilcoxon-Mann-Whitney-Test).**

Tab. 4 | Angewendete Nachsaat-Strategien im Referenz-Szenario, Szenario mit Glyphosatverzicht und mit Herbizidverzicht (mittlerer Unkrautdruck, ohne Beiträge für schonende Bodenbearbeitung).

Szenario	Pflug: mind. 50 %			Pflug: kein Minimum		
	Referenzszenario	Kein Glyphosat	Kein Herbizid	Referenzszenario	Kein Glyphosat	Kein Herbizid
Keine Nachsaat-Kontrolle	2,8%	2,8%	6,1 %	3,1 %	3,2 %	6,2 %
Untersaat	0,0%	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	0,0 %
Rein mechanische Kontrolle	0,0%	0,0 %	93,9%	0,0%	0,0 %	93,8%
Teilweise mechanisch	0,0%	0,0 %	93,9%	0,0%	0,0 %	93,8%
Keine Herbizide	2,8%	2,8 %	100,0%	3,1 %	3,2 %	100,0%
Herbizide	97,2 %	97,2 %	–	96,9%	96,8%	–
Diflufenican	7,5%	7,4 %	–	7,4%	7,3 %	–
Florasulam	89,5%	89,5 %	–	89,3%	89,3 %	–
Flufenacet	2,1%	2,1 %	–	2,1%	2,1 %	–
Pendimethalin	0,1%	0,1 %	–	0,1%	0,1 %	–
Pinoxaden	0,6%	0,6 %	–	0,6%	0,6 %	–
Tritosulfuron	89,0%	89,1 %	–	88,9%	88,9 %	–
Andere	0,0%	0,0 %	–	0,0%	0,0 %	–

Die Prozentangaben beziehen sich hier auf die Anteile der räumlichen Einheiten, die analysiert werden.

diskutieren die Differenz zwischen Modellresultat und der beobachteten realen Situation am Ende des Beitrags im Detail. Optimale Strategien sind dabei insbesondere Mulchsaat mit ein oder zwei mechanischen Bodenbearbeitungsgängen sowie ein bis drei Striegeldurchgängen, sodass zusätzlich zur Extenso-Prämie Anspruch auf Ressourceneffizienzbeiträge in Höhe von weiteren 550 CHF/ha besteht. Landwirtschaftliche Betriebe könnten also bei einer Umstellung zur herbizidfreien Produktion mit Mulch- oder auch mit Direktsaat höhere Deckungsbeiträge erwirtschaften. Nur in Einzelfällen entstehen Deckungsbeitragseinbussen von einigen wenigen Franken.

Falls Mais oder Triticale als Vorfrucht angebaut wird, entfallen die Ressourceneffizienzbeiträge jedoch und es ergibt sich ein ähnliches Bild wie im ersten Teil der Ergebnisse (Abb. 3). Durch einen Verzicht auf Glyphosat beobachten wir einen Durchschnittsverlust von 30–35 CHF/ha, im Maximum treten aber Verluste von bis zu 67 CHF/ha auf. Hier ist zu berücksichtigen, dass sowieso auf einem Teil der Fläche gepflügt werden muss (insbesondere bei Mais als Vorfrucht), was im Modell berücksichtigt wurde. Im Fall eines gesamten Herbizidverzichts treten im Modell Maximalverluste von 154–166 CHF/ha auf. Im Median liegen die Verluste jedoch tiefer (Abb. 3).

Diskussion und Schlussfolgerungen

Unsere Analyse zeigt, dass die potenziellen Verluste durch einen kompletten Herbizidverzicht in der Extenso-Weizenproduktion unter unseren Modellannahmen bei maximal 200 CHF/ha liegen. Bei einem Verzicht nur auf Glyphosat wurden Verluste von bis zu 120 CHF/ha errechnet. Wenn jedoch eine andere Kultur als Mais oder Triticale als Vorfrucht angebaut wurde, gleichen die Ressourceneffizienzbeiträge für schonende Bodenbearbeitung die Verluste aus.

Allerdings nehmen derzeit nur wenige landwirtschaftliche Betriebe die Ressourceneffizienzbeiträge für Herbizidverzicht bei schonender Bodenbearbeitung in Anspruch. Mehrere Gründe könnten dazu beitragen. Zum Beispiel könnte ein erhöhtes Ertragsausfallrisiko auf einzelnen Flächen ein Grund sein. Des Weiteren könnte die Sorge einer zu starken Verunkrautung in der Folgekultur ein weiterer Grund sein. Um dies zu analysieren, wäre jedoch ein Pflanzenschutz-Modell für die ganze Fruchtfolge notwendig, was ausserhalb des Rahmens dieses Projektes steht. Zudem ist die Produktion eines glyphosat- oder herbizidfreien Weizens nicht notwendigerweise an den Herbizideinsatz in Folgekulturen gekoppelt. Des Weiteren könnte der fortlaufende Herbizideinsatz auf die fehlende Maschinenausstattung zur mechani-

schen Unkrautbekämpfung (z. B. Striegel) zurückzuführen sein. Auch die Koppelung des Herbizidverzichts an die Direktsaat oder Mulchsaat spielt eine wichtige Rolle, da Landwirte hierfür neue, spezielle Maschinen anschaffen müssten oder auf einen Lohnunternehmer angewiesen wären. Hier sind viele Betriebe jedoch zögerlich und scheuen hohe Investitionskosten bzw. höhere Kosten für die Verfahren. Neben den üblichen Risikoquellen (z. B. Markt, Produktion) spielen auch Technologie- und Politikrisiken eine Rolle. Das Technologierisiko ist vorhanden, da heute erworbene Maschinen zur Unkrautkontrolle in den nächsten Jahren bereits wieder veraltet sein können, z. B. da zeitnah neue, effektivere und effizientere Technologien auf den Markt kommen. Politikrisiken betreffen zum Beispiel das Programm des Bundes zur Herbizidreduktion im Rahmen der Ressourceneffizienzbeiträge. Dieses ist zunächst zeitlich auf fünf Jahre begrenzt, die Abschreibungsdauer von Maschinen zur Unkrautbekämpfung beträgt hingegen 15 Jahre (Gazzarin 2017). Dies kreierte institutionelle Unsicherheit, welche die Investition weniger attraktiv macht. Jedoch auch wenn wir in unseren Analysen die Optionen der mechanischen Unkrautbekämpfung nach der Saat aus dem Strategiemix ausschliessen, bleibt aufgrund der Ressourceneffizienzbeiträge der Herbizidverzicht in Kombination mit Mulchsaat in den meisten Fällen lohnenswert (wenn Mais oder Triticale nicht die Vorfrucht ist).

Um den Anteil der landwirtschaftlichen Betriebe zu erhöhen, die ohne Herbizide wirtschaften, sollte eine Kombination an Massnahmen berücksichtigt werden. Aus den hier präsentierten und diskutierten Resultaten ergeben sich folgende mögliche Massnahmen:

- Die Beiträge zur schonenden Bodenbearbeitung sollten eine Planungssicherheit beinhalten, die Investitionen in mechanische Unkrautbekämpfungsverfahren attraktiver macht. Eine Möglichkeit wäre die Erhöhung des Standards des Extenso-Programms, das den Verzicht auf Herbizide (sowie ggf. den Verzicht auf Beize) einschliesst, oder die Einführung eines entsprechenden Extenso-Plus-Programms.
- Eine schrittweise Umsetzung des Herbizidverzichts, z. B. beginnend mit dem Glyphosatverzicht und darauffolgend in Folgejahren ein gesamter Herbizidverzicht, kann die Akzeptanz und Erfahrung landwirtschaftlicher Betriebe mit den neuen Verfahren erhöhen. Auch sollten Transparenz und Planungssicherheit im Vordergrund stehen.
- Eine Entschädigungszahlung der nachgelagerten Stufe kann ebenfalls (oder ergänzend) einen Beitrag leisten, dass Betriebe (auch mit Triticale oder Mais

vor Winterweizen in der Fruchtfolge) zum Herbizidverzicht motiviert werden und in neue Technologie investieren.

Die Frage einer möglichen Herbizidreduktion in der Schweizer Extenso-Weizenproduktion kann und darf jedoch nicht losgelöst vom grösseren Kontext der Diskussion um PSM in der Schweizer Landwirtschaft stattfinden. Im Gegenteil, dies ist einer der möglichen Teilschritte einer kohärenten Gesamtstrategie hin zu einer Risikoreduktion, wie sie auch im Aktionsplan PSM formuliert ist. In diesem Kontext könnten auch höhere Kosten für Herbizide (und andere PSM), die deren externe Effekte in Form einer Lenkungsabgabe internalisieren (z. B. Finger *et al.* 2017), die Attraktivität mechanischer Verfahren zusätzlich erhöhen. Zudem kann eine gezielte Investitionsförderung sinnvoll sein, um die Ausstattung mit Maschinen zur mechanischen Unkrautkontrolle zu erhöhen. Sinnvollerweise sollten dabei Anreize zur gemeinsamen Nutzung von Maschinen gesetzt werden. Einnahmen einer Lenkungsabgabe können hier zielgerichtet eingesetzt werden. Ein kohärentes Set an Politikmassnahmen kann so alternative Strategien stärken und damit Trade-offs zwischen Einkommen, Ertrag und Risiken des Pflanzenschutzmitteleinsatzes minimieren. Breite Verbote von Herbiziden könnten hingegen Handlungsspielräume reduzieren (z. B. bzgl. Resistenzen; siehe u. a. Finger 2018) aber auch Potenziale neuer Technologien zum effektiveren Herbizideinsatz (z. B. mittels Robotern oder anderer Präzisionslandwirtschaftstechnologien; siehe u. a. Walter *et al.* 2017) verunmöglichen. ■

Dank

Wir danken der JOWA, IP Suisse, Bernhard Streit, Simon Briner und Niklas Möhring für inhaltliche Unterstützung und konstruktives Feedback sowie Agroscope, InfoFlora, IP Suisse und dem Bundesamt für Statistik für die Bereitstellung hier verwendeter Daten.

Literatur

- Benker M. & Röhling D., 2018. Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster.
- BLW, 2016. Agrarbericht 2016. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern.
- Boessinger M., Dietiker D., Droz P., Dugon J., Graf S., Hanhart J. *et al.*, 2015. Deckungsbeiträge – Ausgabe 2015 – Getreide, Hackfrüchte, übrige Ackerkulturen, Futterbau, Spezialkulturen, Tierhaltung. AGRIDEA, Lindau und Lausanne.
- Böcker T., Britz W. & Finger R., 2018a. Modelling the Effects of a Glyphosate Ban on Weed Management in Silage Maize Production. *Ecological Economics* **145**, 182–193.
- Böcker T., Britz W., Möhring N. & Finger R., 2018b. An economic and environmental assessment of a glyphosate ban for the example of maize production. Eingereicht.
- Böcker T. & Finger R., 2018. Bio-economic model on weed control in cultivation of wheat. Herbicide free wheat production in Switzerland (HerbiFree). Research Collection ETH Zürich. Zugang: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/278419> [14.8.18].
- Fenaco (Hrsg.), 2018. Zielsortiment 2018 – Pflanzenbehandlungsmittel im Acker- und Futterbau. Fenaco Genossenschaft, Bern.
- Finger R., 2018. Take a holistic view when making pesticide policies stricter. *Nature* **556** (7700), 174.
- Finger R., Möhring N., Dalhaus T. & Böcker T., 2017. Revisiting pesticide taxation schemes. *Ecological Economics* **134**, 263–266.
- Gazzarin C., 2017. Maschinenkosten 2017. Agroscope Transfer Nr. 190, Agroscope, Ettenhausen.
- Gehring K., 2003. Unkrautbekämpfung im Getreidebau. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.
- Gehring K. & Thyssen S., 2016. Informationen zu Getreideherbiziden für die Frühjahrswendung 2016. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising-Weihenstephan.
- Guan Z., Oude Lansink A., van Ittersum M. & Wossink A., 2005. Damage control inputs: a comparison of conventional and organic farming systems. *European Review of Agricultural Economics* **32**, 167–189.
- Hall D.C. & Norgaard R.B., 1973. On the timing and application of pesticides. *American Journal of Agricultural Economics* **55**, 198–201.
- Lichtenberg E. & Zilberman D., 1986. The econometrics of damage control: why specification matters. *American Journal of Agricultural Economics* **68**, 261–273.
- Meraner M. & Finger R., 2017. Risk perceptions, preferences and management strategies: evidence from a case study using German livestock farmers. *Journal of Risk Research*, Zugang: <https://doi.org/10.1080/13669877.2017.1351476>.
- Richner N., Holderegger R., Linder H.P. & Walter T., 2017. Dramatic decline in the Swiss arable flora since the 1920s. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **241**, 179–192.
- Spycher S., Badertscher R. & Daniel O., 2013. Indikatoren für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* **4** (4), 192–199.
- Streit B., Rieger S.B., Stamp P. & Richner W., 2003. Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *Weed Research* **43**, 20–32.
- Streit B., 2016. Meilenstein im Ackerbau: Unkraut bekämpfen ohne Glyphosat. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Bern.
- Walter A., Finger R., Huber R. & Buchmann N., 2017. Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **114** (24), 6148–6150.

Riassunto**Implicazioni di una coltivazione di frumento estensiva in Svizzera**

Vari attori cercano soluzioni per ridurre l'utilizzo di erbicidi nelle aziende agricole. Le implicazioni di tali passi sono tuttavia spesso ignote. Con l'aiuto di un modello bioeconomico analizziamo in questo articolo come le strategie di protezione dei vegetali, i ricavi e i contributi di copertura nella coltivazione di frumento estensiva invernale svizzera cambiano in seguito alla rinuncia al glifosato o a tutti gli erbicidi. Emerge che le strategie di lotta meccanica contro le malerbe possono sostituire in modo ottimale l'applicazione di erbicidi. I contributi per l'efficienza delle risorse della Confederazione per la lavorazione rispettosa del suolo con rinuncia a erbicidi diminuiscono in modo significativo le perdite di contributi di copertura, se non si coltiva mais o triticale quale coltura precedente oppure se l'intera superficie campicola viene arata. Le perdite di ricavo derivanti dalla rinuncia agli erbicidi sono ridotte tramite la scelta di strategie alternative e sono pari a 0,8–1,6 ha/t nel caso della rinuncia al glifosato e a 1,6–2,7 t/ha nel caso della rinuncia totale agli erbicidi, benché alcune aziende registrerebbero anche perdite più elevate. Un piano coerente di misure politiche può ridurre i rischi relativi all'utilizzo di prodotti fitosanitari, rafforzare le strategie alternative e ridurre al minimo i compromessi.

Summary**Implications of herbicide-free Extenso wheat cultivation in Switzerland**

Various stakeholders are searching for ways to reduce herbicide use on farms. The implications of such measures, however, are often unknown. This article makes use of a bio-economic model to analyse how plant-protection strategies, yields and contribution margins change in Swiss Extenso winter-wheat cultivation if i) neither glyphosate and ii) nor other herbicides are used. Mechanical weed-control strategies are shown to be a sufficient substitute for herbicides. Here, federal government resource efficiency payments for reduced tillage without herbicide use go some way towards offsetting any reduction in the contribution margin, provided that neither maize nor triticale is grown as a previous crop. Yield losses due to non-use of herbicides are lower owing to the alternative weed-control strategies pursued by farmers, and stand at between 0.8 and 1.6 dt/ha where glyphosate use is dispensed with, and between 1.6 and 2.7 dt/ha where herbicide use is dispensed with completely, although individual farms would record higher losses. A coherent set of policy measures could reduce risks from pesticide use and strengthen alternative strategies, thereby minimising trade-offs.

Key words: herbicides, winter wheat, extensive production, output damage control, Extenso, Switzerland.