

# Umwelt

## Vergleichsökobilanz bei Direktsaat und Pflug

Britta Schaller, Thomas Nemecek, Bernhard Streit und Urs Zihlmann, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich

Andreas Chervet und Wolfgang G. Sturny, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Rütli, CH-3052 Zollikofen

Auskünfte: Andreas Chervet, E-Mail: andreas.chervet@vol.be.ch, Fax +41 31 910 53 49, Tel. +41 31 910 53 38

### Zusammenfassung

Seit 1994 werden am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) auf einem mittelschweren Boden die beiden Anbausysteme «Direktsaat» (DS) und «Pflug» (PF) innerhalb einer Ackerfruchtfolge ohne Bracheperioden miteinander verglichen. Von der Fruchtfolgeperiode 1999 bis 2005 wurden mittels Ökobilanz die Umweltwirkungen der beiden Systeme berechnet.

Die Berechnungen zeigen, dass mit dem Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung im System DS die Umweltwirkungen des Ressourcen-, Nährstoff- und Schadstoffmanagements im Ackerbau sowohl bezogen auf eine Hektare Ackerfläche und Jahr als auch bezogen auf ein Kilogramm geerntete Trockensubstanz vermindert werden. Positive Veränderungen zugunsten des Systems DS lassen sich ebenfalls bei der Beurteilung der Bodenqualität feststellen. Die Auswirkungen des leicht erhöhten Bedarfs an Herbiziden im System DS gilt es weiter abzuklären; die Beeinflussung des Schadstoffmanagements in beiden Systemen erweist sich als stark abhängig von der Wahl der eingesetzten Wirkstoffe.

Modellartig durchgeführte Berechnungen mit verschiedenen Hangneigungen zeigen, dass das Risiko für Bodenerosion und Phosphor-Abschwemmung im System DS bis zu einer Neigung von 18 % konstant tief bleibt; dagegen nimmt das Abschwemmungsrisiko im System PF mit steigender Hangneigung markant zu.

**Abb. 1. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker am Inforama Rütli in Zollikofen, Luftaufnahme vom 29.06.2004. (Foto: Gabriela Brändle, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)**

Anhand der Daten der Fruchtfolgeperiode von 1999 bis 2005 sind auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (Kasten, Abb. 1 und 2) die Umweltwirkungen der beiden Anbausysteme «Direktsaat» (DS) und «Pflug»

(PF) mit der SALCA-Methodik (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) berechnet worden (Gaillard *et al.* 2006). Damit können entsprechend der ISO-Norm 14040 (ISO 1997) die potenziellen Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Produktionssysteme

umfassend bewertet werden. Betrachtet werden drei Bereiche:

- Ressourcenmanagement: Energiebedarf, Ozonbildungs- und Treibhauspotenzial,

- Nährstoffmanagement: Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial,

- Schadstoffmanagement terrestrische und aquatische Toxizität beziehungsweise Human-toxizität.

Die zur SALCA-Methodik gehörende Umweltwirkung «Biodiversität» wurde nicht analysiert, dagegen die «Bodenqualität» (Oberholzer *et al.* 2006).

Die Grenze des Produktionssystem wird hierbei gemäss Nemecek *et al.* (2005) am Hofator gezogen. Sie beinhaltet mit Ausnahme der Trocknung des Ernteguts keine Weiterverarbeitung der Produkte. Nicht diskutiert wird die Umweltwirkung «terrestrische Toxizität», weil sich hier die Resultate von drei verschiedenen Bilanzierungsmethoden (CST95, EDIP97, CML01) widersprechen.

### Produktionsdaten

Die wichtigsten ökobilanzrelevanten Produktionsdaten der beiden Anbausysteme sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Pro Hektare Anbaufläche und Jahr waren die Trockensubstanzerträge (TS) im System DS bei leicht höherem Mineraleinsatz rund 4 % höher als im System PF. Unter Einbezug der Gründüngung er-



hielt das System DS 4,1 kg/ha und Jahr mehr Stickstoff-Mineraldünger (Chervet *et al.* 2005). Während sich die Phosphor-Mineraldüngung ( $P_2O_5$ ) der beiden Systeme lediglich um 0,8 kg/ha und Fruchtfolgejahr unterschied, wurden identische Kalium-Mineraldüngergaben ( $K_2O$ ) verabreicht. Die ausgebrachten Düngermengen liegen in beiden Systemen bei allen drei Hauptnährstoffen weit unter der empfohlenen Normdüngung der Eidgenössischen Forschungsanstalten. Diese Tatsache ist bei  $P_2O_5$  und  $K_2O$  durch die hohen Bodenvorräte, bei Stickstoff (N) durch den Leguminosenanbau zu begründen.

Da im System DS die Bodenbearbeitung durch Pflug und Egge wegfällt, konnten gegenüber dem System PF rund 15 % der Maschineneinsätze im Feld eingespart werden, wodurch die Anzahl Überfahrten pro Hektare um 50 % reduziert wurde. Zudem fielen im System DS rund 80 % weniger Tage mit erhöhtem Erosionsrisiko an.

Wegen entfallener Bodenbearbeitung erfolgten die Regulierungen der Gründüngung und

### Systemvergleich «Oberacker»

Im Ackerbau müssen vermehrt extensive, konservierende Bodenbearbeitungssysteme in die Praxis umgesetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig sicherzustellen (Schweizerische Eidgenossenschaft 1983) und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Im August 1994 wurde am Inforama Rütli in Zollikofen BE ein Feldversuch angelegt, in welchem die Vor- und Nachteile inklusive mögliche Problemlösungen eines Direktsaat- und eines Pflugsystems aufgezeigt werden sollten (Abb. 1). Dieser als Streifenversuch konzipierte Vergleich ohne Wiederholungen liegt auf einer tiefgründigen, grundfeuchten Braunerde mit einem Tonanteil von 15 % und einem Humusgehalt von 3 % (Chervet *et al.* 2001). Sechs nebeneinander liegende Fruchtfolgeparzellen à 14 Aren werden je zur Hälfte direkt bestellt beziehungsweise gepflügt (Abb. 2). Die aktuelle Fruchtfolge Silomais (SM) – Wintergerste (WG) / Gründüngung (GD) mit Kreuzblütlern – Zuckerrüben (ZR) – Winterweizen (WW) / GD – Eiweisserbsen (EE) / GD – Winterroggen (WR) / GD, wie sie auch auf einem viehlosen Ackerbaubetrieb möglich ist, wird nach IP-Suisse Richtlinien bewirtschaftet. Die Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion des Kantons Bern (ASP) und das Inforama Rütli betreuen die Demonstrationsfläche. Neben agronomischen Erhebungen werden auch bodenphysikalische, -biologische und -chemische Parameter erfasst. Ein Teil der Untersuchungen wird von der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft (SHL) in Zollikofen und der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) durchgeführt. Dies ist die sechste Veröffentlichung einer mehrteiligen Artikelserie, mit der in loser Folge über den Systemvergleich Oberacker informiert wird.

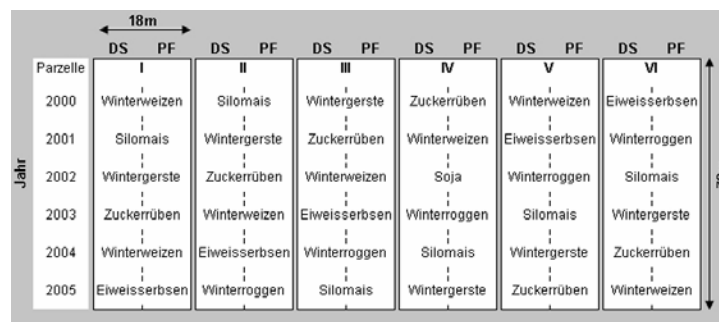


Abb. 2. Versuchsplan mit Fruchtfolge von Herbst 1999 bis 2005 (DS = System Direktsaat; PF = System Pflug). Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen.

der unerwünschten Flora im System DS in der Regel mit nicht-selektiven Herbiziden. Die übliche Unkrautbekämpfung in der Kultur war in beiden Systemen

beinahe identisch. Durchschnittlich wurden im System DS pro Hektare Anbaufläche und Jahr 1,2 kg mehr Herbizidwirkstoffe ausgebracht.

Tab. 1. Mittelwerte der Produktionsdaten pro Hektare Anbaufläche und Jahr der Anbausysteme Direktsaat (DS) und Pflug (PF) inklusive Gründüngungen. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen (1999 bis 2005).

	DS	PF
vom Feld abgeführter Naturalertrag (t TS)	10,1	9,7
N-Mineraldüngung (kg N) <sup>1</sup> nur Hauptkulturen (in % der Normdüngung)	58,8 (63%)	56,2 (57%)
N-Mineraldüngung (kg N) <sup>1</sup> inkl. Gründüngungen (in % der Normdüngung)	61,8 (60%)	57,7 (53%)
P-Mineraldüngung (kg $P_2O_5$ ) <sup>2</sup> (in % der Normdüngung)	28,3 (34%)	27,5 (33%)
K-Mineraldüngung (kg $K_2O$ ) <sup>3</sup> (in % der Normdüngung)	16,7 (9%)	16,7 (9%)
Maschineneinsätze im Feld	7,5	8,8
Anzahl Überfahrten	152	310
Bodenbearbeitungseinsätze vor Aussaat der Gründüngung (Zapfwellenege)	-	0,6
Bodenbearbeitungseinsätze vor Aussaat der Hauptkultur (Pflug bzw. Zapfwellenege)	-	2
Durchgänge Feldspritze (Vorsaat oder Vorlauf)	0,5	-
Durchgänge Feldspritze (Nachauflauf)	1,3	1,4
Pflanzenschutzmittel (kg Wirkstoff) <sup>4</sup>	3,2	2
Tage mit erhöhtem Erosionsrisiko <sup>5</sup>	13	68

<sup>1</sup> Normdüngung gem. FAL und RAC (2001), ohne Ertragskorrekturen: nur Hauptkulturen 93 kg N (inkl. Gründüngungen 107 kg N)

<sup>2</sup> Normdüngung gem. FAL und RAC (2001), ohne Ertragskorrekturen: 84 kg  $P_2O_5$

<sup>3</sup> Normdüngung gem. FAL und RAC (2001), ohne Ertragskorrekturen: 178 kg  $K_2O$

<sup>4</sup> Fungizide und Insektizide werden keine appliziert.

<sup>5</sup> Erfasst wurden die Anzahl Tage zwischen der Bodenbearbeitung und einem Bodenbedeckungsgrad von 10 % (Prasuhn und Grünig 2001).

## Umweltwirkungen im Überblick

In Tabelle 2 sind sämtliche beurteilten Umweltwirkungen beider Systeme in absoluten Zahlen sowie relativ (System PF = 100 %) aufgeführt. In den eingefärbten Zellen werden die Unterschiede des Systemvergleichs, entsprechend dem Interpretationsschema von Nemecek *et al.* (2005), als «günstiger» eingestuft und bei fehlender Einfärbung als «ähnlich», das heisst «tendenziell günstiger aber nicht gesichert». Die Beurteilung aller Umweltwirkungen fällt im System DS im Vergleich zum System PF tendenziell günstiger (nicht gesichert) bis günstiger aus.

## Energiebedarf

Die Umweltwirkung Energiebedarf wird im System DS um durchschnittlich 1,3 GJ-Äquivalent pro Hektare und Jahr günstiger beurteilt als im System PF (Tab. 2). Diese Differenz entspricht einer Einsparung von 36 Litern Diesel-Äquivalent pro Hektare Anbaufläche und Jahr.

Der gesamte Energiebedarf setzt sich zusammen aus dem Energiebedarf, welcher benötigt wird für den «Einsatz von Maschinen» (M) inklusive deren Herstellung, sowie aus der Herstellungsenergie der eingesetzten «Produktionsmittel» (P) wie Pflanzenschutzmittel, Mi-

neraldünger, Saatgut sowie Energieträger für Abflammen und Trocknen. Während im System PF der Energiebedarf für M beziehungsweise P fast gleich hoch ist, werden im System DS vom totalen Energiebedarf 64 % für P und 36 % für M benötigt (Abb. 3). Der höhere Anteil für P im System DS ist infolge entfallener Bodenbearbeitung durch einen leicht erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie leicht höhere Mineraldüngergaben zu erklären. In beiden Systemen benötigt die Herstellung des Mineraldüngers am meisten Energie, gefolgt von der Herstellung und dem Einsatz der Erntemaschinen. Der drittgrösste Anteil im System PF betrifft die Bodenbearbeitung, die im System DS entfällt.

In Abbildung 3 ist das energieaufwändige Trocknen der sehr feucht geernteten und einmalig im Jahr 2002 angebauten Soja miteinbezogen. Dafür wurde, gemessen am Gesamtenergiebedarf, im System DS ein Anteil von 3 % und im System PF von 2 % benötigt. Für die übrigen Dreschkulturen war der Trocknungsanteil pro Parzelle und Jahr gering: Bei total 23 abgeernteten Parzellen liegt der Durchschnitt im System DS bei 0,2 % und im System PF bei 0,1 %.

Abflammeinsätze erfolgten im System DS drei- und im System

PF zwei Mal und benötigten einen wesentlichen Anteil am Gesamtenergiebedarf der jeweiligen Fruchtfolge.

Die in Abbildung 3 getrennt aufgeführten Energiebedarfsanteile von M und P wurden in Abbildung 4 zusammengefasst und für jede Hauptkultur (ohne Soja) einzeln dargestellt. Den geringsten Energiebedarf pro Hektare Anbaufläche und Jahr weisen die Kulturen Winterroggen und Eiweisserbsen auf; im Gegensatz zu den anderen Kulturen wurden sie wenig oder nicht gedüngt. Im Jahr 2002 wurde auf allen sechs Parzellen eine Grunddüngung mit Phosphor und Kalium durchgeführt. Deshalb erscheint der Energiebedarf dieser Massnahme zwar anteilmässig zu einem Sechstel beim Winterroggen, nicht aber bei den Eiweisserbsen, da ausnahmsweise in diesem Jahr Soja angebaut wurde.

Den günstigsten Energiebedarf pro Kilogramm geerntete TS weisen die Kulturen Silomais und Zuckerrüben dank ihren hohen Biomasseerträgen auf, gefolgt von den wenig oder nicht gedüngten Winterroggen und Eiweisserbsen.

## Ozonbildungspotenzial

Die Umweltwirkung Ozonbildungspotenzial beschreibt die Bildung von bodennahem Ozon (Sommersmog). Dieser Prozess

**Tab. 2. Umweltwirkungen der Anbausysteme Direktsaat (DS) und Pflug (PF) inklusive Gründüngungen. Mittelwerte pro Hektare Anbaufläche und Jahr oder pro Kilogramm geerntete TS. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen (1999 bis 2005).**

Management-Bereich	Umweltwirkung	Einheit	pro ha und Jahr		relativ (PF = 100%)	pro t TS		relativ (PF = 100%)
			DS	PF		DS	PF	
Ressourcen- Management	Energiebedarf	MJ-Äq.	14'747	16'050	92	1'459	1'655	88
	Ozonbildungspotenzial	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Äq.	0,485	0,595	82	0,05	0,06	78
	Treibhauspotenzial	kg CO <sub>2</sub> -Äq.	2'070	2'141	97	205	221	93
Nährstoff- Management	Eutrophierungspotenzial	kg N-Äq.	45	48	93	4,47	4,99	90
	Versauerungspotenzial	kg SO <sub>2</sub> -Äq.	13,2	14,13	93	1,3	1,5	87
Schadstoff- Management	Aquatische Ökotoxizität	AÖP <sup>1</sup>	840'749	1'006'119	84	83'163	103'714	80
	Humantoxizität	HTP <sup>2</sup>	517	716	72	51	74	69

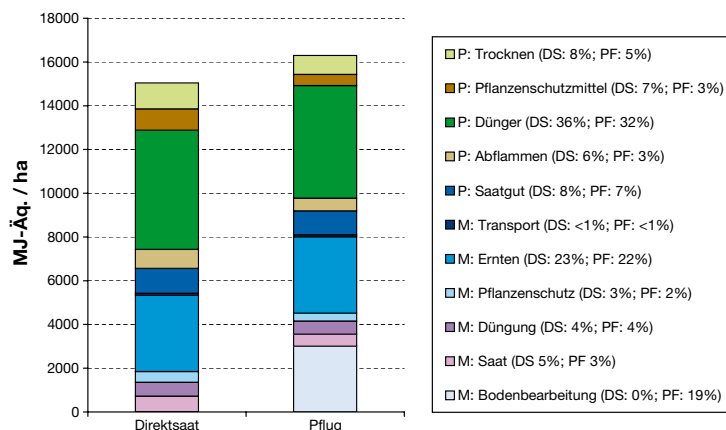
<sup>1</sup> AÖP = aquatisches Ökotoxizitätspotenzial; <sup>2</sup> HTP = Humantoxizitätspotenzial

wird in erster Linie durch die Verbrennung von Treib- und Brennstoffen gefördert. Am meisten Ozon wird in beiden Systemen durch die Ernte gebildet, gefolgt von der Mineraldüngung und im System PF von der Bodenbearbeitung. Infolge entfallener Bodenbearbeitung weist das System DS beim Ozonbildungspotenzial eine günstigere Umweltwirkung sowohl pro Hektare Anbaufläche und Jahr als auch pro Kilogramm geerntete TS auf (Tab. 2).

Vergleicht man das Ozonbildungspotenzial der verschiedenen Kulturen, sind dieselben Rangfolgen festzustellen wie beim Energiebedarf: Der Winterroggen weist die günstigste, die Zuckerrübe die ungünstigste Umweltwirkung auf. Pro Kilogramm geerntete TS hingegen ist diese Umweltwirkung bei den ertragsstarken Kulturen Silomais und Zuckerrüben am günstigsten.

### Treibhauspotenzial

Die Umweltwirkung Treibhauspotenzial wird in Ackerbausystemen vor allem durch die Freisetzung von Lachgas als Folge der N-Düngung und von Kohlendioxid durch die Verbrennung von Treibstoffen beeinflusst. Sowohl pro Hektare Anbaufläche und Jahr als auch pro Kilogramm geerntete TS wird eine tendenziell günstige



re Beurteilung (nicht gesichert) zugunsten des Systems DS berechnet (Tab. 2).

Aufgrund der ausgebrachten N-Mineraldüngermenge weisen in beiden Systemen die am intensivsten gedüngten Kulturen Silomais und Winterweizen pro Hektare Anbaufläche und Jahr im Vergleich zu den wenig oder nicht gedüngten Kulturen Winterroggen und Eiweisserbsen ein etwa drei Mal höheres Treibhauspotenzial auf. Pro Kilogramm geerntete TS werden die ertragsschwächeren Kulturen Winterweizen und -gerste am ungünstigsten beurteilt.

### Eutrophierung und Versauerung

Das Eutrophierungspotenzial gibt Auskunft über die unerwünschte Anreicherung von Stickstoff und Phosphor in empfindlichen Ökosystemen wie Seen, Hochmoore, und Magerwiesen. Der grösste

Anteil dieser Umweltwirkung entstammt wasserlöslichem Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Das Versauerungspotenzial wird zur Hauptsache durch Ammoniakverluste ( $\text{NH}_3$ ) bestimmt. Sowohl pro Hektare Anbaufläche und Jahr als auch pro Kilogramm geerntete TS werden beide Umweltwirkungen im System DS tendenziell günstiger (nicht gesichert) beurteilt als im Vergleichssystem PF (Tab. 2).

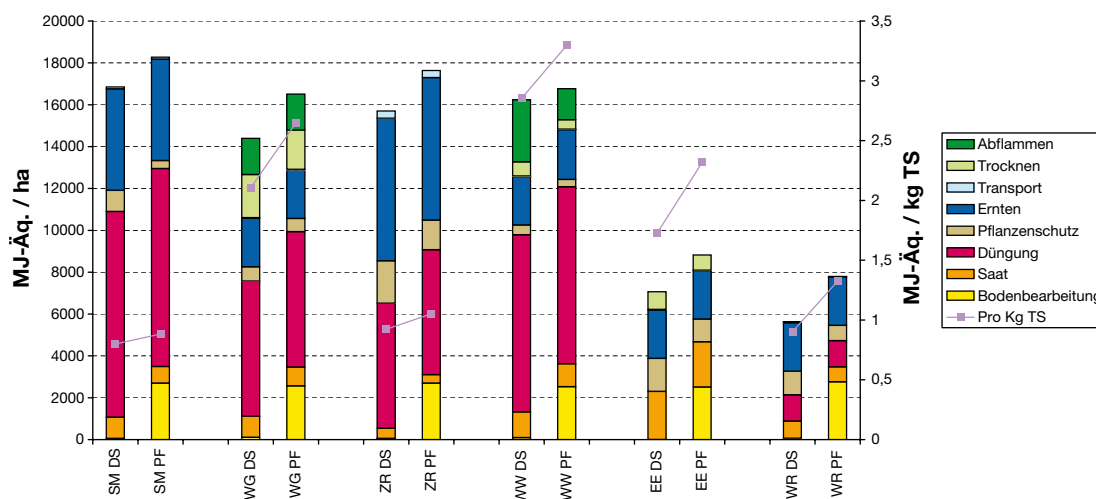
Die mittellintensiv gedüngte, aber ertragsstarke Kultur der Zuckerrüben wird bei beiden Umweltwirkungen in Bezug auf ein Kilogramm geerntete TS am günstigsten beurteilt, ebenso beim Eutrophierungspotenzial in Bezug auf eine Hektare Anbaufläche und Jahr.

### Schadstoffmanagement

Die durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu rund 50 % beeinflusste Umweltwir-

**Abb. 3. Bedarf an nicht-erneuerbaren Energieressourcen der Anbausysteme Direktsaat (DS) und Pflug (PF) inklusive Gründüngungen. Mittelwerte pro Hektare Anbaufläche und Jahr. Die Prozentangaben berechnen sich aus dem Gesamtenergiebedarf des jeweiligen Anbausystems; Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen (1999 bis 2005).**

**P = Produktionsmittel  
M = Einsatz von  
Maschinen**



**Abb. 4. Bedarf an nicht-erneuerbaren Energieressourcen der Anbausysteme Direktsaat (DS) und Pflug (DS) ohne Gründüngungen; Mittelwerte der einzelnen Kulturen. Auf der linken Achse ist der Bedarf pro Hektare Anbaufläche und Jahr (Säulen), auf der rechten pro Kilogramm TS (Linien) dargestellt; Abkürzungen siehe Kasten. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen (1999 bis 2005).**



kung aquatisches Ökotoxizitätspotenzial wird im System DS im Mittel pro Hektare Anbaufläche und Jahr um 16 % und pro Kilogramm geerntete TS um 20 % tiefer, das heisst tendenziell günstiger (nicht gesichert), beurteilt als im System PF (Tab. 2).

Die einzelnen Kulturen unterscheiden sich in ihren Toxizitätspotenzialen deutlich. Beispielsweise weisen Silomais und Eiweisserbsen wegen der verwendeten Pflanzenschutzmittel Mikado, Gallant und Urlac eine zwei- bis drei Mal höhere Toxizität auf als Winterweizen und Winterroggen. Da die Toxizitätsdaten dieser Wirkstoffe noch nicht bekannt sind, werden sie als «unspezifisch» erfasst und erhalten dadurch eine ungünstigere Bewertung als beispielsweise die in Getreidekulturen eingesetzten Wirkstoffe Isoproturon, Metamitron, Ethofumesate oder Phendimethalin. Mit dem Einbezug von möglichst vielen Wirkstoffen kann die Methode jedoch fortlaufend verbessert werden.

Auch die Umweltwirkung Humantoxizität wird zu 45 % im System DS und zu 50 % im System PF durch die eingesetzten Pflanzenschutzmittel beeinflusst. Sowohl pro Hektare Anbaufläche und Jahr als auch pro Kilogramm geerntete TS wird diese Umweltwirkung im System DS deutlich günstiger beurteilt als im System PF (Tab. 2).

Bei der Rangfolge der Kulturen weisen die Eiweisserbsen

gefolgt von Winterweizen und Winterroggen im System DS, sowie Eiweisserbsen gefolgt von Zuckerrüben und Silomais im System PF eine weit geringere Humantoxizität auf als Wintergerste. Dies gilt für beide Systeme. Bei der Betrachtung pro Kilogramm geerntete TS ergeben sich bei den ertragsstarken Kulturen Silomais und Zuckerrüben die günstigsten und bei der Wintergerste aufgrund der eingesetzten Wirkstoffe wie zum Beispiel Carfentrazone, Fenoxaprop die ungünstigsten Umweltwirkungen.

### Bodenqualität

In beiden Systemen waren mit Ausnahme der Bodenbearbeitung alle wichtigen, die Umweltwirkung Bodenqualität beeinflussenden Produktionsfaktoren (Fruchtfolge, Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz) fast identisch. Deshalb werden von den neun untersuchten Indikatoren in beiden Systemen deren sechs mit Hilfe des Interpretationsschemas von Oberholzer *et al.* (2006) als «keine relevanten Veränderungen» beurteilt und fehlen in Tabelle 3. Es sind dies pflanzennutzbare Gründigkeit, Schwermetall- und  $C_{org}$ -Gehalt, organische Schadstoffe und mikrobielle Aktivität beziehungsweise Biomasse.

Der Indikator Regenwurmbiomasse wird im System DS als stark positiv bewertet, dies im Gegensatz zum System PF; dort kann infolge der regelmässigen Bodenbearbeitungseinsätze kei-

ne relevante Veränderung festgestellt werden. Vermutlich aus dem gleichen Grund sind beim Indikator Grobporenvolumen Veränderungen festzustellen, die im System DS stark positiv, im System PF leicht positiv sind. In beiden Systemen lässt sich beim Indikator Aggregatstabilität eine leicht positive Veränderung ausmachen.

### Abschätzung des Erosionsrisikos

Die Dauerbeobachtungsfläche Oberacker befindet sich auf einer Parzelle ohne Hangneigung. Um das Erosionsrisiko in hügeligem Gelände abzuschätzen, wurden mit den bereits verwendeten Daten Modellrechnungen mit verschiedenen Hangneigungen durchgeführt. Diese zeigen, dass die Erosion im System DS weder bei 5 % noch bei 18 % Hangneigung zu einem Problem wird. Im System PF dagegen erhöht sich der potenzielle Feinerdeverlust bei 5 % Hangneigung von praktisch Null auf 0,87 mm/ha und Jahr bei 18 % Hangneigung. Demgegenüber bleibt das P-Abschwemmungsrisiko im System DS selbst bei starker Hanglage konstant sehr tief, während es im System PF bei einem Gefälle von 18 % auf 4,6 kg P/ha und Jahr ansteigt.

### Schlussfolgerungen

Am Fallbeispiel Oberacker kann aufgezeigt werden, dass mit einem auf das Anbausystem DS umgestellten Ackerbau, das heisst mit dem Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung wie Pflügen und Eggen, alle Umweltwirkungen der gerechneten Ökobilanz im Vergleich mit dem System PF tendenziell günstiger (nicht gesichert) bis günstiger beurteilt werden. Gleichzeitig wird die Bodenqualität bei einigen der untersuchten Indikatoren verbessert, und Modellrechnungen belegen eine Verringerung des Risikos für Feinerde- beziehungs-

**Tab. 3. Wirkung der Bewirtschaftung der Anbausysteme Direktsaat (DS) und Pflug (PF) auf die Bodenqualität. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollkofen (1999 bis 2005).**

Anbausystem	Direktsaat					Pflug				
Indikator	--	-	0	+	++	--	-	0	+	++
Regenwurmbiomasse					++			0		
Grobporenvolumen					++				+	
Aggregatstabilität				+					+	

Bewertung der Bodenqualitätsindikatoren: -- = stark negative Veränderung, - = leicht negative Veränderung, 0 = keine relevante Veränderung, + = leicht positive Veränderung, ++ = stark positive Veränderung

weise Phosphorabschwemmung bei Hanglagen.

Grösser als der Einfluss der Bodenbearbeitung, insbesondere auf die Umweltwirkungen des Ressourcenmanagements, ist allerdings der Einfluss der Mineraldüngung. Erfolgt die Beurteilung flächenbezogen, werden die nicht oder wenig gedüngten Kulturen wie Eiweisserbsen und Winterroggen günstiger bewertet als die stärker gedüngten. Bei der ertragsbezogenen Betrachtungsweise werden hingegen die ertragsstarken Kulturen wie Zuckerrüben und Silomais am günstigsten beurteilt.

Die Umweltwirkungen des Schadstoffmanagements werden am entscheidendsten durch die gewählten Wirkstoffe der Pflanzenschutzmittel (selektive Herbizide) beziehungsweise deren Wirkungsbeurteilung je nach angewendeter Methodik geprägt.

## Literatur

■ Chervet A., Maurer C., Sturny W. G. & Müller M., 2001. Direktsaat im Praxisversuch; Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* 8 (1), 12-17.

■ Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. & Tschannen S., 2005. Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich. *Agrarforschung* 12 (5), 184-189.

■ Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Reckenholz (FAL) & Eidg. Forschungsanstalt für Pflanzenbau Changins (RAC), 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. *Agrarforschung* 8 (6), 80 S.

■ Gaillard G., Freiermuth R., Baumgartner D., Calanca P. L., Jeanneret P., Nemecek T., Oberholzer H. R., Prasuhn V., Richner W. & Weisskopf P., 2006. Methode zur Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Systeme. Schriftenreihe der ART. In Vorbereitung.

■ ISO, 1997. ISO 14040 – Umweltmanagement/Ökobilanz, 14 S.

■ Nemecek T., Huguenin-Elie O., Dubois D. & Gaillard G., 2005. Ökobilanzierung von Anbausystemen im Schweizerischen Acker- und Futterbau. Schriftenreihe der FAL 58, 155 S.

■ Oberholzer H.-R., Weisskopf P., Gaillard G., Weiss F. & Freiermuth R., 2006. Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen - SALCA-BQ. Bericht Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 69S.

■ Prasuhn V. & Grünig K., 2001. Evaluation der Ökomassnahmen. Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Schriftenreihe der FAL 37, 152 S.

■ Schweizerische Eidgenossenschaft, 1983. Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). Systematische Sammlung des Bundesrechts, SR-Nr. 814.01

## RÉSUMÉ

### Bilan écologique comparatif du semis direct et du labour

Les systèmes de culture avec labour (LA) ou en semis direct (SD) sont comparés depuis 1994 sur un sol mi-lourd de l'Inforama Rütli, Zollikofen (BE), dans le cadre d'une rotation de grandes cultures sans périodes de jachère. Les effets des deux systèmes sur l'environnement ont été calculés sous la forme d'un bilan écologique pour la période de culture 1999 à 2005.

Les calculs ont pris en compte la gestion des ressources, des nutriments et des pollutions. Le système SD, qui évite tout travail du sol, peut être considéré comme favorable par rapport au système LA, dans lequel un travail du sol intervient régulièrement. Ceci vaut que la comparaison soit faite par rapport à la surface agricole ou par rapport aux rendements en matière sèche. Un effet positif a aussi été obtenu quant à la qualité du sol. Il s'agit de suivre les effets un peu accrus du besoin en herbicides dans le système SD; les effets polluants des deux systèmes sont toutefois très dépendants du choix des matières actives.

Les risques d'érosion et d'entraînement du P ont été estimés à l'aide d'un modèle de calcul prenant en compte l'inclinaison du terrain. Jusqu'à une pente de 18 %, les risques sont toujours faibles dans le système SD, mais l'entraînement augmente fortement avec la pente dans le système LA.

## SUMMARY

### Life cycle assessment of a system under no-tillage and ploughing

No-tillage and conventional plough tillage have been compared on a soil of medium heavy texture in a crop rotation without fallow period at the Inforama Ruetti in Zollikofen (Berne) since 1994. For the crop rotation period from 1999 to 2005 the environmental impact of both systems was calculated via life cycle assessment.

With regard to resources, nutrients and pollutant management, the environmental impact of the no-tillage system is more favourable than the conventional system involving periodical tillage operations, both per hectare of arable land and annum, and per kilogram of harvested dry matter. For the no-tillage system positive changes were also found in the assessment of soil quality. It is essential to follow up the impacts of the slightly higher herbicide requirement characterizing the no-tillage system. In both systems, however, pollutant management is strongly influenced by the choice of the active ingredient applied.

According to model calculations in which slope gradient was varied, the risk of soil erosion and P-runoff remained constantly low up to a gradient of 18 % in the no-tillage system. In contrast, the risk of runoff increased steeply with increasing slope gradient in the conventional tillage system.

**Key words:** Life cycle assessment, energy demand, ecotoxicity, tillage system, no-tillage