

Umwelt

Direktsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese

Wolfgang G. Sturny¹, Andreas Chervet¹, Claudia Maurer-Troxler¹, Lorenz Ramseier¹, Moritz Müller², Roland Schafffüttel³, Walter Richner³, Bernhard Streit³, Peter Weisskopf³ und Urs Zihlmann³

¹Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern LANAT, Rütli, CH-3052 Zollikofen

²Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, CH-3052 Zollikofen

³Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich

Auskünfte: Wolfgang G. Sturny, E-Mail: wolfgang.sturny@vol.be.ch, Tel. +41 31 910 53 33, Fax +41 31 910 53 49

Zusammenfassung

Seit 1994 werden auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) die beiden Anbausysteme «Direktsaat» (DS) und «Pflug» (PF) innerhalb einer Ackerfruchtfolge mit ausschliesslich mineralischer Düngung und ohne Bracheperioden verglichen. Der schwach humose sandige Lehm ist ein tiefgründiger, nährstoffreicher Boden.

Die bisherigen Untersuchungen belegen, dass ein langjährig kontinuierliches DS-System eine Alternative zum herkömmlichen PF-System darstellt: Es ist in der agronomischen Anwendung praxisreif, bewirkt einen biologisch aktiven, strukturstabilen und somit tragfähigen Boden, reduziert das Erosionsrisiko und die Anzahl Überfahrten, vermindert den Treibstoffverbrauch und weist insgesamt eine günstigere Ökobilanz auf. Im Vergleich zum PF-System werden nach siebenjähriger Umstellungszeit im DS-System dank mehr konserviertem Bodenwasser und kontinuierlicherer Nachlieferung sowie besserer N-Effizienz leicht höhere Pflanzenerträge mit vergleichbarer Qualität geerntet – dies bei einer N-Düngemenge, die in beiden Anbausystemen nur rund 60 % der Normdüngung entspricht.

In den kommenden Jahren sollen beide Systeme durch vermehrten Anbau von Leguminosen, ammoniumbasierte N-Düngung, reduzierte Glyphosatanwendung bei DS sowie reduzierte Bearbeitungsintensität bei PF noch energiesparender und umweltschonender im Praxisversuch erprobt werden.

Der weltweite Abbau des Grenzschatzes für Agrarprodukte nach der WTO-Uruguay-Runde leitete in der Schweiz 1993 eine Agrarreform ein. Diese hatte mit der Einführung eines mehr-

heitlich flächenbezogenen Direktzahlungs-systems, welches auf ökologischen Anforderungen basiert, eine Trennung von Preis- und Einkommenspolitik zur Folge.

Kasten 1: Definition des Direktsaatsystems

Direktsaat («no-tillage») ist ein Anbausystem, bei dem das Saatgut – ohne vorherige Bodenbearbeitung – direkt in den unbearbeiteten, mit Pflanzen(-resten) bedeckten Boden abgelegt wird. Mittels speziellen Scheiben-, Meissel- oder Kreuzschlitz-Säscharen («Cross Slot») wird lediglich ein Schlitz im Boden geöffnet und nach der Saatgutablage geschlossen. Beim Sävorgang werden höchstens 50% der Bodenoberfläche bewegt. Hilfsmittel wie (Mikro-) Nährstoffe können gleichzeitig in den Boden eingebracht werden.

Ähnlich dem Dauergrünland beruht der Erfolg eines langjährig kontinuierlichen Direktsaatsystems auf dem dauerhaften Verzicht auf Bodenbewegung, der permanenten Bodenbedeckung, der verringerten mechanischen Bodenbeanspruchung sowie der verbesserten Wasserkonservierung, Stickstoff- und Energieeffizienz (Sturny *et al.* 2001).

Parallel dazu wird seither im Bodenschutz des Kantons Bern auf die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit – speziell der Bodenstruktur – grosses Gewicht gelegt. Bodenuntersuchungen zeigten oftmals eine ungünstige Entwicklung der Bodenstruktur mit sichtbaren Folgeschäden wie Verdichtung, Verschlammung und Erosion, die von der einseitig ertragsorientierten Rationalisierung der landwirtschaftlichen Produktion herrühren. Die stetig steigenden Einsatzgewichte der Zugfahrzeuge und Landmaschinen sowie die wiederholten intensiven Bodenbearbeitungsmassnahmen führten zu immer höheren physikalischen Bodenbeanspruchungen (Schwarz *et al.* 2007). Als Lösungsansatz wurde ein konservierendes Bodennutzungssystem gesucht, das im Vergleich zu herkömmlichen pflugbasierten Bearbeitungsverfahren einen geringeren Einsatz von Arbeitskraft und Kapital erfordert. Die Direktsaat, ein in Amerika und Ozeanien verbreitetes Anbausystem ohne jegliche Bodenbearbeitung, war 1994 in Europa noch kaum bekannt (Kasten 1). Es schien aber für die Sicherstellung der Bodenfruchtbarkeit am besten geeignet. Die technische Realisierbarkeit und die Praxistauglichkeit dieses Anbausystems unter schweizerischen Verhältnissen werden seither auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“ in Zollikofen untersucht und mit dem PF-System verglichen (Abb. 1, Kasten 2).



Abb. 1. Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen; Luftaufnahme vom 29. Juni 2004 (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope ART)

Seit 2001 wird in dieser Zeitschrift über Ergebnisse der ersten beiden Fruchtfolgeperioden des Systemvergleichs DS versus PF berichtet (siehe Literaturverzeichnis). Der vorliegende Artikel fasst die bisherigen Erkenntnisse in konzentrierter Form zusammen und formuliert im Ausblick die Schlussfolgerungen für eine weitere, möglichst Ressourcen schonende Bewirtschaftung.

Pflanzenschutz

Bei identischem Aufwand an Nachauflaufherbiziden wurde bisher in beiden Anbausystemen ein gleich hoher Druck der *Begleitflora* festgestellt. Während sich nach einer Bodenbearbeitung insbesondere Dikotyledonen und Lichtkeimer etablieren, sind es in den mulchbedeckten DS-Parzellen Monokotyledonen.

Die im Vergleich zum PF-System fehlende Bodenbearbeitung im DS-System erfordert eine ganzheitliche Vorsaatstrategie zur Kontrolle der Begleitflora, da deren regelmässige mechanische Bekämpfung entfällt. Faktoren wie Fruchtfolge (konsequenter Wechsel zwischen Halm- und Blattfrucht), Gründüngung (permanente Bodenbedeckung und -durchwurzelung), ein der heu-

Kasten 2: Systemvergleich «Oberacker»

Im Ackerbau müssen vermehrt extensive, pfluglose Anbausysteme in die Praxis umgesetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht zu gewährleisten und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Im August 1994 wurde am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) auf der Parzelle «Oberacker» ein Feldversuch angelegt, in welchem die Vor- und Nachteile eines Direktsaat- beziehungsweise Pflug-Systems aufgezeigt und Lösungsansätze für erkannte Probleme entwickelt werden sollen (Abb. 1).

Dieser im Streifendesign angelegte Systemvergleich ohne Wiederholungen findet auf einer tiefgründigen, grundfeuchten Braunerde statt, die im Oberboden einen Tonanteil von 15 % und einen Humusgehalt von 3 % hat (Chervet *et al.* 2001). Sechs nebeneinander liegende Fruchtfolgeschläge à 14 Aren werden je zur Hälfte direkt angesät (DS) beziehungsweise gepflügt und konventionell bestellt (PF). Die sechsjährige Fruchtfolge, wie sie auch auf einem viehlosen Ackerbaubetrieb möglich ist, besteht aus Winterweizen/GD – Sommerweisserbsen/GD – Winterroggen/GD – Silomais – Wintergerste/GD – Zuckerrüben (GD = Gründüngung mit hohem Kreuzblütleranteil). Der Anbau aller Kulturpflanzen erfolgt unter «Extensio»-Vorgaben.

Betreut wird die Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» von der Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern und vom Inforama Rütli. Neben agronomischen Erhebungen werden im Rahmen des kantonalen Bodenbeobachtungsprogramms (KABO) bodenphysikalische, -biologische und -chemische Parameter erfasst. Ein Teil der Untersuchungen wird von der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft SHL in Zollikofen, ein anderer Teil von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART in Zürich durchgeführt.



Abb. 2. Die Direktsaat der Gründüngung erfolgt in das im Hochschnitt gedroschene, gleichmässig verteilte und noch brüchige Stroh des gleichentags geernteten Getreides.

tigen Technik angepasstes Management der Ernterückstände (Strohhäcksler und Spreuverteiler am Mähdrescher) sowie chemische Bekämpfungsmassnahmen ermöglichen bei optimaler Abstimmung die Unterdrückung der unerwünschten Flora. Auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» wurde diese Strategie laufend verbessert. Mittlerweile werden das Getreide im Hochschnitt gedroschen und unverzüglich die Folgekultur oder eine möglichst hoch wachsende Gründüngung angesät. Die Gründüngungen werden so gewählt, dass diese den Boden auch noch nach der DS der darauf folgenden Hauptkulturen bedecken. So erfolgt zum Beispiel die DS von Zuckerrüben in durch Frosteinwirkung abgestorbene Ölrettich- beziehungsweise Sareptasenbestände, und Silomais wird direkt in blühende Rübsenbestände gesät. Um den Glyphosataufwand zu vermindern werden winterharte Gründüngungsbestände nach der DS der Hauptkultur mechanisch reguliert (Reinhard *et al.* 2001).

Generell konnte bei DS kein erhöhter *Krankheitsdruck* festge-

stellt werden, dagegen ein geringerer Cercosporabefall der Zuckerrüben. Das von DS-Kritikern befürchtete erhöhte Risiko von Mykotoxinbildung bei pfluglosem Anbau von Wintergetreide nach Mais konnte eingedämmt werden, indem die Fruchtfolge systemangepasst umgestellt, Maisstroh und -stoppeln vor der nachfolgenden Getreideaussaat fein säuberlich zerkleinert (dezimiert auch Maiszünslerlarven) sowie nur wenig fusariumanfällige Sorten verwendet wurden. Seit 1999 werden sämtliche Getreideproben auf die Pilzgifte Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) hin untersucht. Bei keiner der bisher analysierten Proben wurde der Schweizer Toleranzwert von 1 mg/kg (entsprechend 1000 ppb) in Müllereiprodukten überschritten. Seitdem die Silomais-Stoppeln gemulcht werden, liegen die Analysenwerte der Wintergerste-Körner sogar unter der chemischen Nachweisgrenze von 12 ppb (Chervet *et al.* 2005).

In Bezug auf *Schädlinge* führen die fehlende Bodenbearbeitung sowie die Mulchdecke im DS-Sy-

stem zu günstigen Unterschlupfmöglichkeiten für Schnecken und damit auch zu einem erhöhten Befallsrisiko. Andererseits wurde ein geringerer Zünslerbefall der Maispflanzen in den DS-Parzellen festgestellt.

Bodenleben

Durch die Bodenbearbeitung in den PF-Parzellen werden die Wasser und Luft leitenden Regenwurmgänge im Oberboden regelmässig zerstört, und die grossen Regenwürmer können – sofern sie sich nicht in tieferen Bodenschichten aufhalten – verletzt oder gar getötet werden. Dagegen bleiben in den DS-Parzellen die Gänge der dort zahlreicher auftretenden Regenwürmer als kontinuierliche Transportbahnen für Wasser und darin gelöste Stoffe sowie für Luft erhalten – auch nach Befahrungen. Durch die Umstellung auf das DS-System verdoppelte sich die Regenwurmpopulation. So beträgt der Anteil der für die Drainage des Bodens wichtigen grossen tiefgrabenden Regenwürmer – insbesondere von *Lumbricus terrestris* – bei PF 25 %, bei DS dagegen über 50 %. Deren stabiles Gangsystem ist der Hauptgrund dafür, dass Wasser im DS-Boden rund dreimal rascher infiltriert als im gepflügten Boden (Chervet *et al.* 2001; Maurer-Troxler *et al.* 2005).

Die grosse Regenwurmpopulation im DS-System garantiert auch – in Zusammenarbeit mit anderen Bodenorganismen, insbesondere den Mikroorganismen – die Einmischung des Pflanzenmaterials in den Boden und die rasche Umsetzung der darin enthaltenen Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen.

Gefügeeigenschaften des Bodens

Beim Beurteilen von Spatenproben fällt auf, dass der Boden im System PF infolge von Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung ausgeprägter geschichtet

und im Oberboden deutlich lockerer ist als der unbearbeitete DS-Boden. Er weist häufig eine verschlammte Bodenoberfläche, eine Strohmatratze an der Bearbeitungsgrenze und eine verschmierte beziehungsweise verdichtete Pflugsohle auf (Chervet *et al.* 2001).

Die 1999 unter zu nassen Bodenverhältnissen durchgeführte Zuckerrübenerte verursachte Verdichtungen bis in den Unterboden. Die von 2000 bis 2004 auf dieser Parzelle getätigten bodenphysikalischen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der *Gefügebau* des Unterbodens seither in beiden Anbausystemen stetig verbessert hat, nicht zuletzt wohl auch dank der häufig trockenen Sommerwitterung. Der Gefügebau in den Unterböden des DS- und PF-Systems war vergleichbar – erstaunlicherweise jeweils meist deutlich günstiger als in den Oberböden. Im Oberboden zeigte sich in zwei von fünf Jahren ein lockererer Gefügebau im PF-System, währenddem das Unterbodengefüge im DS-System in zwei von fünf Jahren günstiger war als im PF-System.

Hingegen ist die *Gefügestabilität* des DS-Oberbodens und somit seine Tragfähigkeit in vier von fünf Jahren erheblich grösser als im PF-System. Dort sind die Oberböden wegen den jährlich wiederholten ganzflächigen Lockerungsmassnahmen stärkeren Stabilitätsschwankungen unterworfen (Van der Veer *et al.* 2005; Weisskopf *et al.* 2005).

Die eher günstigeren Gefügeeigenschaften des DS-Systems dürften einerseits auf den stabileren DS-Oberboden mit besserem Druckabbau und andererseits auf die nur halb so vielen Überfahrten in diesem Anbausystem zurückzuführen sein. Im Weiteren wurde der PF-Unterboden vermutlich durch das bis 2002 praktizierte herkömmliche

Pflügen stärker beansprucht, bei dem die Traktorräder auf dem Furchengrund laufen.

Bodenerosion

Die grössere Stabilität der Bodenteilchen und ihr zusätzlicher Schutz durch die oberflächennahen Pflanzenreste, die mit den Wurzeln noch im Boden verankert sind, wirkt der physikalischen Kraft der Regentropfen entgegen, so dass die Verschlämmungsgefahr beim DS-Boden markant geringer ist als beim PF-Boden. Dieser Umstand dürfte mit den fehlenden Bodenlockerungsmassnahmen, mit der im DS-System stärkeren Anreicherung organischer Substanzen in der obersten Bodenschicht sowie mit einem intensiveren, ungestörten Lebensverbau der Bodenaggregate zusammenhängen. Zudem verringern die zahlreichen kontinuierlichen Regenwurmgänge das Erosionsrisiko durch rasches Ableiten von Oberflächenwasser erheblich. Im PF-System werden die Ernterückstände dagegen in die Ackerkrume eingearbeitet beziehungsweise vergraben. Deshalb ist die überlockerte Bodenoberfläche der gepflügten Parzellen von der Aussaat bis zum Reihenschluss der Kultur oftmals während Monaten der Witterung beinahe schutzlos ausgesetzt (Chervet *et al.* 2005; Chervet *et al.* 2006). Eigene Modellrechnungen zeigen für DS denn auch eine massive Abnahme des Abschwemmriskos für Feinerde, Humus und Nährstoffe, insbesondere Phosphor (Schaller *et al.* 2006).

Wassergehalt des Bodens

Beim DS-System geht während Starkniederschlägen nur wenig Wasser durch Oberflächenabfluss verloren. Nach Trockenperioden verteilt sich das mit den ersten Niederschlägen eindringende Wasser im direkt gesäten Boden rasch über das gesamte Profil, während im gepflügten Boden die kontinuierliche Wassereinsickerung durch die Pflugsoh-

le gestört wird. Die permanente Mulchdecke auf der DS-Bodenoberfläche bremsst die Wucht der Regentropfen und vermindert die Verdunstung. Zudem ist der kapillare Wasseraufstieg im DS-System besser, da er nicht durch «Schichtsprünge» wie im PF-Boden gestört wird. Im Vergleich zum PF-System steht den Kulturen bei DS so über längere Zeit mehr pflanzennutzbare Wasser zur Verfügung. Folglich tritt im DS-System Wasserstress sowohl für Pflanzen als auch für Bodenorganismen weniger ausgeprägt beziehungsweise erst später auf als im PF-System. Diese bessere Wasserversorgung bewirkt zudem eine kontinuierlichere und länger anhaltende Mineralisierung von organisch gebundenen Nährstoffen und ermöglicht den Pflanzen, Nährstoffe während längerer Zeit aufzunehmen (Chervet *et al.* 2006).

Kohlenstoffgehalt des Bodens

Nach elf Versuchsjahren wurden im DS-System die höchsten Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) erwartungsgemäss in den obersten 5 cm des Bodens gemessen. Sie nehmen nach unten kontinuierlich ab, da die Pflanzenreste an der Bodenoberfläche verrotten und nicht durch Bearbeitung tiefer eingemischt oder gar vergraben werden. Anders im PF-System, wo die Gehalte an C_{org} in den obersten 30 cm ausgeglichen sind. Zwischen 30 und 40 cm Tiefe befindet sich mehr C_{org} im gepflügten als im direkt gesäten Boden. Dies dürfte dadurch zu erklären sein, dass beim Pflügen der grösste Teil der Ernterückstände auf die Pflugsohle zu liegen kommt und dort nur langsam abgebaut wird (Zihlmann *et al.* 2001; Müller *et al.* 2007).

Der Gesamtgehalt an C_{org} über alle beprobten Bodentiefen ist in beiden Anbausystemen auf ähnlichem Niveau. Zwar liegen unter

Kasten 3: Ausblick «Oberacker»

Nach der Auswertung aller Untersuchungen in den ersten zwei sechsjährigen Fruchtfolgeperioden haben die Projektverantwortlichen im Sommer/Herbst 2006 – zu Beginn der dritten Fruchtfolgeperiode – folgende Anpassungen bei den zwei Systemen vorgenommen:

- Neue Fruchtfolge in beiden Anbausystemen: Winterweizen/GD – Mais – Ackerbohnen – Wintergerste/GD – Zuckerrüben – Eiweisserbsen/GD (GD = frostempfindliche Gründüngung mit hohem Leguminosenanteil).
- Im PF-System wird künftig eine flache Furche (10 bis 15 cm tief) mit dem Onland-Pflug gezogen. Auf die übliche Saatbettbereitung mit einem Zapfwellengerät wird ganz verzichtet. Es wird höchstens ein Zwischenrad-Frontpacker am Traktor bei der Saat mit DS-Maschinen in die raue Pflugfurche eingesetzt.
- Zur Regulierung der hoch wachsenden Gründüngungsbestände wird künftig im DS-System, wenn immer möglich, eine (Messer-)Walze eingesetzt, damit auf den Glyphosateinsatz teilweise oder ganz verzichtet werden kann. Winterharte Gründüngungen werden nicht mehr angebaut.
- Speziell bei Mais und Zuckerrüben wird durch Einsatz von Direktsämaschinen mit Cross Slot-Särschar eine Verbesserung punkto Ablagegenauigkeit von Saatgut und (Mikro-)Nährstoffen erwartet, verbunden mit geringerem Risiko für Lachgasbildung (Zihlmann *et al.* 2007).
- Die N-Düngung wird in beiden Anbausystemen – insbesondere zu Wintergetreide – mit dem CULTAN-Verfahren (= Controlled Uptake Long Term Ammonia Nutrition) ergänzt. Mittels Sternrädern wird eine Ammoniumsulfat-Lösung als Düngerdepot in den Boden injiziert, die verlustarm von den Pflanzen aufgenommen werden soll. Als Nebeneffekt sollen die Pflanzenbestände gesünder bleiben und ihre Konkurrenzkraft gegenüber der Begleitflora erhöht werden.

DS die Gehalte in 0 bis 20 cm Tiefe meist höher als in den PF-Böden, doch wird dies durch die fast durchwegs höheren Werte in den tieferen Schichten des gepflügten Bodens kompensiert.

Die Hypothese, dass Böden unter DS als C-Senke dienen, kann mit den vorliegenden Untersuchungen nach elf Versuchsjahren (noch) nicht bestätigt werden. Allerdings verursacht das DS-System wegen des markant geringeren Treibstoffverbrauchs auch einen wesentlich geringeren CO₂-Ausstoss als das PF-System (Schaller *et al.* 2006).

Stickstoffdynamik im Boden

Bei ähnlich hoher gesamter Nachlieferung von mineralischem Stickstoff (N) verläuft die N-Mineralisierung unter DS kontinuierlicher und dauert im Verlauf der Vegetationsperiode länger an als unter PF. Die seit 1998 durchgeführten N-Untersuchungen belegen, dass sich dies vor allem beim direkt gesäten Getreide in einer höheren Ertragsleistung pro gedüngte N-Einheit auswirkt. Bei Zuckerrüben und Mais variiert die

N-Nachlieferung witterungsbedingt von Jahr zu Jahr ziemlich stark. So verzögert sie sich bei DS gegenüber PF in kühlen Frühjahren stärker als in milden. Beschleunigte N-Freisetzungen nach der Saat wurden bei Zuckerrüben und Mais sowie bei Winterroggen nach Eiweisserbsen unter PF beobachtet, wodurch in diesen Perioden auch das N-Verlustrisiko durch Auswaschung ansteigt.

Wegen der Gefahr von Nitrat- auswaschung sollten Mais und Zuckerrüben in beiden Systemen keine zu hohen N-Gaben zur Saat erhalten. Nach der Umstellungsphase von PF zu DS und nach der Einführung einer Leguminose in die Fruchtfolge konnte ab Herbst 2001 in beiden Anbausystemen die verabreichte N-Düngemenge gegenüber der Norm um rund 40 % reduziert werden. Die auf 50 bis 60 kg/ha und Jahr reduzierte N-Gesamtmenge kann bei DS-Zuckerrüben in einer Unterfuss-Startgabe erfolgen, bei PF sind nach wie vor zwei N-Gaben zu empfehlen (Zihlmann *et al.* 2001; Zihlmann *et al.* 2006).

Phosphorgehalt des Bodens

Trotz der seit 1995 realisierten 60%igen Reduktion der P-Düngegaben gegenüber der Norm ist der Versuchsboden mit pflanzenverfügbarem Phosphor (P) angereichert. Dies gilt insbesondere für die obersten 30 cm, mit leicht höheren Gehalten im PF-System. Die tendenzmässig höchsten P-Gehalte wurden unter DS in der Schicht zwischen 15 und 20 cm, unter PF zwischen 20 und 30 cm Tiefe gemessen.

Zwischen 30 und 40 cm Bodentiefe werden deutlich tiefere Werte gemessen. Hier liegen die P-Gehalte im PF-System klar höher als im DS-System: Mit dem Unterpflügen der Ernterrückstände gelangt ein Teil der Nährstoffe in tiefere Schichten (Zihlmann *et al.* 2001; Müller *et al.* 2008).

Kaliumgehalt des Bodens

Beim pflanzenverfügbaren Kalium (K) ist nach elf Versuchsjahren im DS-System die starke Anreicherung in den obersten 5 cm des Bodens augenfällig, dies trotz einer Reduktion der K-Düngegaben um 80 % gegenüber der Norm in beiden Anbausystemen. Mit zunehmender Bodentiefe nehmen die K-Werte kontinuierlich ab.

Im PF-System ist diese Differenzierung weit weniger ausgeprägt: Die K-Verteilung in den obersten 30 cm ist relativ gleichförmig, in 30 bis 40 cm Tiefe werden – wie schon bei P – höhere K-Gehalte gemessen als bei DS (Zihlmann *et al.* 2001; Müller *et al.* 2008).

Pflanzenerträge

Im DS-System wird das Saatgut mittels spezieller Särscharen direkt in den unbearbeiteten, mit Pflanzen(-resten) bedeckten Boden abgelegt. Aufgrund einer in den ersten Jahren noch nicht ausgereiften Sätechnik sowie wegen vermehrtem

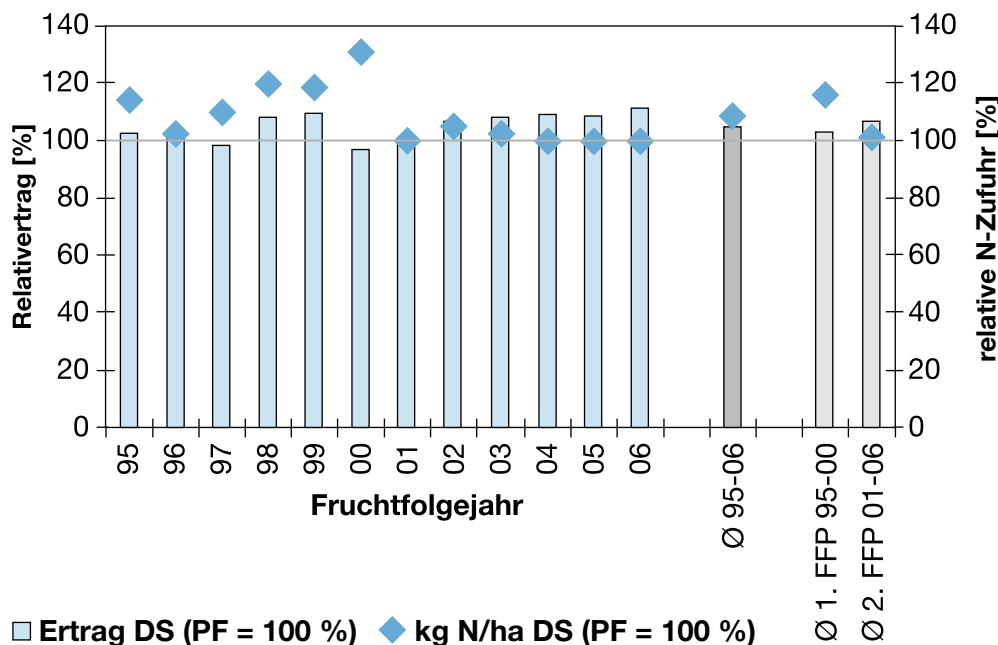
Schneckenfrass wies das DS-System im Vergleich zum PF-System oft einen geringeren Feldaufgang auf. Dank des kompensatorischen Wachstums, das allen Kulturpflanzen eigen ist, sowie wegen der leicht erhöhten, auf N_{\min} basierenden N-Gaben, konnten die am Anfang geringeren Bestandesdichten bis zur Ernte ertragsmässig meistens ausgeglichen werden (Reinhard *et al.* 2001).

Mit Beginn der zweiten Fruchtfolgeperiode (2001-2006) waren technische Fortschritte bei der Sätechnik erzielt sowie weitere Erfahrungen mit der Handhabung von DS-Systemen gesammelt worden; ausserdem näherten sich die DS-Böden nach der mehrjährigen Umstellungsphase einem neuen «Gleichgewichtszustand». Diese Umstände führten in den folgenden sechs Jahren im DS-System zu (statistisch nicht auszuwertenden) Mehrerträgen von bis zu 10% bei den zur Totreife gedroschenen Getreide- und Eiweisspflanzen, mit vergleichbarer Qualität. Demgegenüber waren die Silomais- und Zuckerrüben erträge nur geringfügig höher als im PF-System.

Wird der Relativertrag in Abhängigkeit von der relativen N-Düngung dargestellt, so war in der zweiten Fruchtfolgeperiode die N-Effizienz im DS-System erhöht (Abb. 3). Ab dem siebten Versuchsjahr übertrafen die Relativerträge im DS-System jene im PF-System beständig – dies bei einer ab dem neunten Versuchsjahr für beide Anbausysteme identischen N-Zufuhr durch die Düngung (Chervet *et al.* 2005).

Ökobilanz positiv für DS-System

Aufgrund der aus Grunddaten des Systemvergleich «Oberacker» berechneten Ökobilanz für die Fruchtfolgeperiode 1999-2005



können alle Umweltwirkungen eines auf DS umgestellten Ackerbausystems gegenüber dem PF-System als «tendenziell günstiger» bis «günstiger» beurteilt werden (Schaller *et al.* 2006). Der Energiebedarf reduzierte sich beispielsweise um 10%, was 36 Liter Dieseläquivalenten pro Hektare und Jahr entspricht. Das Ozonbildungspotenzial ist gar um 20% günstiger. Gleichzeitig wird die Bodenqualität bei einigen der untersuchten Parameter wie beispielsweise Grobporenvolumen und Regenwurmbiomasse verbessert.

Beim Ressourcen- und Nährstoffmanagement ist allerdings der Einfluss der energieintensiven Mineraldüngung grösser als jener der Bodenbearbeitung. Erfolgt die Beurteilung flächenbezogen (pro Hektare und Jahr), werden die nicht oder wenig gedüngten Kulturen wie Eiweisserbsen und Winterroggen günstiger bewertet als die stärker gedüngten. Bei der ertragsbezogenen Betrachtungsweise (pro Kilogramm geerntete Trockensubstanz) werden hingegen die ertragsstarken Kulturen wie Zuckerrüben und Silomais am günstigsten beurteilt.

Die Umweltwirkungen des Schadstoffmanagements werden entscheidend durch die mit den Pflanzenschutzmitteln ausgebrachten Wirkstoffe (vor allem selektive Herbizide) geprägt. Deren Wirkungsbeurteilungen variieren allerdings je nach angewandeter Ökobilanzierungs-Methodik sehr stark.

Wirtschaftlichkeit des Systemvergleichs

Bisherige Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen lassen den Schluss zu, dass mit einer Umstellung auf das DS-System vor allem im kleinflächigen Ackerbaubetrieb, im Nebenerwerbsbetrieb und in Betrieben, welche vor grösseren Ersatzinvestitionen stehen (Bodenbearbeitungsgeräte/-maschinen und Traktoren), betriebswirtschaftlich sehr vorteilhafte Kostensenkungspotenziale erreicht werden können (Steingruber *et al.* 2001).

Die Wirtschaftlichkeit des DS-Systems wird zurzeit auf Stufe «Vollkosten Ackerbau» anhand eines Praxisbetriebes über eine mehrjährige Umstellungszeit untersucht.

Abb. 2. Relativerträge und relative N-Zufuhr durch Düngung bei Direktsaat (DS) und Pflug (PF) im Systemvergleich; Durchschnitt von sechs Fruchtfolgeschlägen. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker/Rütti in Zollikofen (1. Fruchtfolgeperiode (FFP): 1995-2000, 2. FFP: 2001-2006)

Kasten 4: 3. Bericht des UNO-Klimarates (www.ipcc.ch)

Der Weltklimabericht 2007 listet Möglichkeiten auf, wie neben anderen Massnahmen die Landwirtschaft den Ausstoss von Treibhausgasen bis 2030 vermindern kann:

- Verbesserte Landnutzung, um die Speicherkapazität der Böden für Kohlendioxid zu erhöhen
- Wiederherstellung von degradierten Flächen
- Verminderung des Ausstosses von Lachgas durch gezieltere Anwendung von Stickstoffdüngern
- Ersatz von fossilen durch pflanzliche Energieträger, effizientere Energienutzung
- Verbesserung der Erträge

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Resultate der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» belegen, dass unter den Standortverhältnissen des Versuches ein langjährig kontinuierliches DS-System eine echte Alternative zum herkömmlichen PF-System darstellt. In der agronomischen Anwendung ist die DS inzwischen praxisreif, bewirkt einen strukturstabilen, biologisch aktiven und somit tragfähigen Boden, reduziert das Erosionsrisiko, die Anzahl Überfahrten sowie den Treibstoffverbrauch und weist günstigere Umweltwirkungen auf. Im Vergleich zum PF-System werden im DS-System nach siebenjähriger Umstellungszeit dank mehr gespeichertem Bodenwasser und kontinuierlicherer Nachlieferung sowie besserer N-Effizienz leicht höhere Pflanzenerträge mit vergleichbarer Qualität geerntet – bei einer N-Düngemenge, die in beiden Anbausystemen nur rund 60 % der Normdüngung entspricht.

DS ermöglicht eine nachhaltige Bodennutzung, indem sie natürliche Ressourcen schont, indem sie die Produktionskosten inklusive der externen und Energiekosten verringert und indem sie ökonomisch sowie sozial tragbar ist. Ackerbausysteme der Zukunft sollten auf einer möglichst geringen Zufuhr an nicht-erneuerbaren Energieträgern basieren und

dabei die einfallende Sonnenenergie optimal durch die Pflanzen ausnutzen (Kasten 3).

■ Hat ein Boden nach mehrjähriger Umstellungsphase auf DS ein neues Gleichgewicht erreicht, kann auf seine Bearbeitung ganz verzichtet werden. Von diesem Nutzungssystem ausgenommen sind zurzeit noch der Kartoffel- und Gemüsebau.

■ Um die energieintensive N-Mineraldüngung zu reduzieren, wird durch den vermehrten Anbau von Leguminosen als Hauptkultur oder in Gründüngungsmengen eine verstärkte biologische N-Fixierung sowie eine effizientere N-Nutzung durch die Pflanzenbestände angestrebt.

■ In einer bezüglich Umweltwirkungen optimierten Fruchtfolge folgen nach ertragsstarken Kulturen wie Mais und Zuckerrüben Kulturen mit einem bescheideneren Nährstoffbedarf wie Leguminosen.

■ N-Verluste in die Atmosphäre (Lachgas) und ins Grundwasser (Nitrat) sollen künftig mittels einer ammoniumbasierten N-Düngungsstrategie vermindert werden.

In den kommenden Jahren wird sich der Anstieg der Energiepreise zunehmend auf die landwirtschaftlichen Produktionskosten auswirken. Das DS-System als

energiesparende Bodennutzung birgt diesbezüglich noch ein nicht ausgeschöpftes Potenzial. Kommt hinzu, dass mit einem ganzheitlich optimierten DS-System durch weniger Auswaschung beziehungsweise reduzierten Oberflächenabfluss zum Gewässerschutz sowie durch geringere Emissionen zur Luftreinigung beitragen (Schaller *et al.* 2006). Schliesslich könnte bei einer Klimaerwärmung das Wasser immer öfter zum limitierenden Wachstumsfaktor werden. Auch hier bringt die DS markante Vorteile mit sich – Themen, mit denen sich auch der UNO-Klimarat auseinandersetzt (Kasten 4).

Dies sind wichtige Gründe, weshalb der Kanton Bern bereits seit einem Jahrzehnt Landwirte mit finanziellen Anreizen bei der Umstellung auf DS unterstützt: Die mit der Einführung der DS verbundenen ökonomischen Mehraufwendungen (z. B. Maschinenanschaffungen) beziehungsweise Ertragseinbussen sollen in Anbetracht der mit diesem Anbausystem möglichen ökologischen Mehrleistungen in einer Übergangsphase abgegolten werden.

Literatur

■ Chervet A., Maurer-Troxler 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.

■ Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G., Weisskopf P., Zihlmann U., Müller M. & Schafflützel R., 2006. Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* 13(4), 162-169.

■ Maurer-Troxler C., Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. & Oberholzer H.-R., 2005. Bodenbiologie nach 10 Jahren Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* 12(10), 460-465.

- Müller M., Chervet A., Schafflützel R., Sturny W. G., Weisskopf P. & Zihlmann U., 2007. Humusgehalte des Bodens nach 11 Jahren Direktsaat. (in Vorbereitung)
- Müller M., Chervet A., Schafflützel R., Sturny W. G., Weisskopf P. & Zihlmann U., 2008. P- und K-Gehalte des Bodens nach 11 Jahren Direktsaat. (in Vorbereitung)
- Reinhard, H., Chervet A. & Sturny W. G., 2001. Direktsaat im Praxisversuch. Erträge der Kulturen (1995-1999). *Agrarforschung* 8(1), 6-11.
- Schaller B., Nemecek T., Streit B., Zihlmann U., Chervet A. & Sturny W. G., 2006. Vergleichsöko-bilanz bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* 13(11-12), 464-469.
- Schwarz R., Chervet A., Hofer P., Sturny W. G. & Zuber M., 2007. Kanton Bern fördert Ressourcen schonenden Ackerbau. *Agrarforschung* 14(3), 102-107.
- Steingruber, E. & Hofer, P., 2001. Direktsaat im Praxisversuch. Wirtschaftlichkeit. *Agrarforschung* 8(1), 23-28.
- Sturny W. G., Hofer P., Chervet A. & Providoli I., 2001. Direktsaat im Praxisversuch. Erfahrungen und Beobachtungen. *Agrarforschung* 8(1), I-VI. (Merkblatt in Heftmitte)
- Van der Veer S., Meyer M., Chervet A., Sturny W. G. & Weisskopf P., 2005. Physikalische Bodenbelastungen bei der Zuckerrüben-ernte. *Agrarforschung* 12(10), 472-477.
- Weisskopf P., Zihlmann U., Chervet A. & Sturny W. G., 2005. Entwicklung des Bodengefüges bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* 12(8), 362-367.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Müller M., Schafflützel R., Chervet A. & Sturny W. G., 2001. Direktsaat im Praxisversuch. Einfluss auf die Nährstoff- und Humusgehalte im Boden. *Agrarforschung* 8(1), 18-22.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Müller M., Schafflützel R., Chervet A. & Sturny W. G., 2006. Stickstoffdynamik im Boden bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* 13(5), 198-203.
- Zihlmann U., Chervet A. & Müller M., 2007. N-Düngung bei Mais-Direktsaat. *UFA-Revue* 4, 38-40.

RÉSUMÉ

Comparaison du semis direct et du labour: une synthèse

Les systèmes de culture avec labour (LA) ou en semis direct (SD) sont comparés depuis 1994 sur la parcelle de suivi à long terme «Oberacker» de l'Inforama Rütli à Zollikofen (BE). Cette comparaison se fait dans une rotation de grandes cultures sans jachère, avec une fumure exclusivement minérale et sur un sol profond, riche en nutriments et de type limon sableux faiblement humique.

Les observations faites jusqu'ici montrent que le système SD pratiqué de manière continue constitue une alternative sérieuse au système LA traditionnel. Sa pratique est agronomiquement au point, il conduit à un sol biologiquement actif, à structure stable et donc à bonne portance, il réduit le risque d'érosion et le nombre de passages de machines, diminue la consommation de carburant et présente dans l'ensemble un meilleur bilan écologique. Après une période d'adaptation de sept ans, le système SD livre des rendements un peu plus élevés et de qualité semblable au système LA. Ceci est attribué à une meilleure économie de l'eau, qui est de ce fait plus régulièrement disponible, ainsi qu'à une meilleure efficacité de l'azote, les deux variantes ne recevant que 60% des normes de fumure N.

Ces prochaines années, cet essai pratique sera poursuivi tout en améliorant ses bilans énergétique et écologique par une proportion accrue de légumineuses, une fumure N sous forme d'ammonium, ainsi qu'une diminution des traitements au glyphosate (système SD), respectivement de l'intensité du travail du sol (système LA).

SUMMARY

Comparison of no-tillage and conventional plough tillage – a synthesis

No-tillage and conventional plough tillage have been compared in a crop rotation without fallow period and application of mineral fertilizer only, in the long-term field trial «Oberacker» at the Inforama Ruetti in Zollikofen (Berne) since 1994. The slightly humic sandy loam is a deep and nutrient-rich soil.

The results obtained so far show continuous no-tillage of long duration to be an alternative to traditional plough tillage: no-tillage is ready to be put into agronomical practice, it leads to a biologically active soil of stable structure and thus of high load capacity, reduces the risk of soil erosion, the number of vehicle crossings and the consumption of fuel and presents an overall more favourable life cycle assessment. After a seven-year conversion period, slightly higher plant yields of comparable quality were obtained in no-tillage, due to more soil water being preserved and continually delivered to plant roots, as well as to a higher N-efficiency. In both cropping systems only about 60% of the standard amounts of N-fertilizer were applied.

In the coming years both systems shall be tested further and optimised with regard to environmental sustainability and energy consumption by introducing more legume crops, applying ammonium-based N-fertilizer, and by reducing the application of glyphosate in no-tillage and the tillage intensity in conventional plough tillage.

Key words: Soil water, soil structure, soil biology, yield, life cycle assessment, tillage system, no-tillage