

Stickstoffdynamik bei Boden-separierung im Kartoffelanbau

Urs ZIHLMANN und Peter WEISSKOPF, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich
 Auskünfte: Urs Zihlmann, e-mail: urs.zihlmann@fal.admin.ch, Fax +41 (0) 1 377 72 01, Tel. +41 (0) 377 71 11

In einer Kalkbraunerde, die zur Schollenbildung neigt, untersuchten wir, wie sich die Bodenseparierungstechnik im Kartoffelanbau auf die Stickstoffdynamik auswirkt. Dazu wurden der N-Gehalt im Bodenwasser mit Saugkerzen beprobt und bodenphysikalische Messungen sowie Ertragserhebungen durchgeführt. In den Kartoffeldämmen mit Bodenseparierung zeigte sich ein ähnliches N-Mineralisierungspotential wie im herkömmlichen Anbauverfahren.

Die Bodenseparierungstechnik für den Kartoffelanbau wurde in Schottland entwickelt. Sie hat zum Ziel, auf steinigem oder zur Schollenbildung neigenden Böden grössere Steine und Schollen auszusieben und diese in ein Band zwischen die Kartoffeldämme abzulegen (Abb. 1). Dadurch erreicht man praktisch stein- und schollenfreie Dämme, die eine schonende und vor allem arbeitssparende Kartoffelernte ermöglichen (Spiess *et al.* 1992).

Untersuchungen der Eidgenössischen Forschungsanstalten Reckenholz und Tänikon zeigten, dass beim Separieren unter trockenen Bedingungen das Bodengefüge nicht sichtbar stärker beeinflusst wird als bei herkömmlicher Bearbeitung mit zapfwelgenreibenden Geräten. Schäden am Bodengefüge - vor allem in den Ablagebändern - traten auf, wenn Boden in sehr feuchtem Zustand separiert wurde. In feinsand- und schluffreichen Böden des westlichen Mittellandes konnte eine erhöhte Erosionsanfälligkeit separierter Dämme beobachtet werden (Zihlmann *et al.* 1996a und 1996b). Noch nicht abschätzbar sind die Auswirkungen von wiederholtem Separieren auf die Bodenstruktur.

Aus Sicht des Bodenschutzes gab es aber weitere Bedenken bezüglich Bodenseparierung: befürchtet wurde die Beeinträchtigung des Bodenlebens, insbesondere der Regenwürmer, und die Intensivierung der Stickstoff-Mineralisierung mit Erhöhung des N-Auswaschungsrisikos. Um diese Fragen abzuklären, wurde 1996 in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) ein Feldversuch durchgeführt. Wie sich die Bodenseparierung auf Regenwürmer ausgewirkt hat, ist bei Pfiffner (1998) nachzulesen.

Versuchsstandort und Bewirtschaftung

Der Versuchsstandort ist in Tabelle 1 bodenkundlich charakterisiert. Die im Untergrund vergleyte Kalkbraunerde neigt wegen des Tongehaltes von 30 % zur Schollenbildung.

Die Niederschlagsverteilung im Versuchsjahr 1996 geht aus Tabelle 2 hervor.

Tab. 1. Bodenverhältnisse des Versuchsstandortes

Ort	Aufbau und Zusammensetzung des Bodens
Hedingen	Gleyige, tiefgründige Kalkbraunerde; schwach humoser Lehm bis toniger Lehm, steinarm; bröckeliges Gefüge

Das Mittel der Jahresniederschläge an diesem Standort beträgt 1078 mm, wobei rund 700 mm im Sommerhalbjahr (April-September) fallen.

Angaben zu Vorkultur, Bodenbearbeitung, N-Düngung usw. sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Saugkerzentechnik und N_{min}-Methode

Zur generellen Überprüfung der Auswirkungen unterschiedlicher Anbau- und Düngungsverfahren auf die N-Dynamik im Boden werden einerseits die N_{min}-Methode (Entnahme von Bodenproben) und andererseits die Saugkerzentechnik (Entnahme von Bodenwasser) eingesetzt (Nievergelt und Weisskopf 1993). Aus den Kartoffeldämmen und den darunterliegenden Bodenschichten wurde mit Hilfe von Saugkerzen von Anfang Mai bis zur Ernte Mitte September alle ein bis zwei Wochen Bodenlösung aus den Tiefen 12, 32, 62 und 97 cm (ab Dammoberkante) entnommen und darin die N-Konzentration (Nitrat- und Ammonium-N) bestimmt.



Abb. 1. Auf einem Querförderband gelangen die ausgesiebten Steine und Schollen vom Separator in die vorgängig vom Beefformer gezogenen Furchen. Aus jedem separierten Beet von 1.50 m Breite werden anschliessend zwei Kartoffeldämme geformt. (Foto: Gabriela Brändle, FAL)

Tab. 2. Niederschläge 1996 am Versuchsstandort (Messstation Zwillikon, 2 km südlich; Angaben in mm)

Periode	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1. - 10.			7	27	20	109	75	0				
11. - 20.			27	78	12	0	41	19				
21. - 30./31.			20	52	60	45	33	21				
1. - 30./31.	10	56	34	54	157	92	154	149	40	86	100	68

Tab. 3. Bewirtschaftung des Versuchsstandortes (Vorkultur 1995: Wintergerste; anschliessend Ansaat Kunstwiese)

1996	Verfahren mit herkömmlicher Bodenbearbeitung	Verfahren mit Bodenseparierung
14. März		60 kg N/ha in Kunstwiese (SM 200)
6. Mai		Silieren
7. Mai		Pflug, 3-scharig
7. Mai		Beeformer
8. Mai	2 mal Kreiselegge	Keilzinkenegge, Separator
8. Mai		Setzen und 43 kg N/ha
7. Juni		49 kg N/ha
11. September		Ernte

Pro Tiefe waren je vier Saugkerzen eingebaut, bei denen jeweils 24 Stunden vor der Entnahme der Bodenlösung ein Unterdruck von etwa 800 hPa angelegt wurde. Die gleichzeitige Messung des volumetrischen Wassergehaltes in den vier Beprobungstiefen mittels TDR-Technik (siehe Kasten) ermöglichte dann die Berechnung der gesamten im Bodenwasser gespeicherten N-Menge. Durch Interpolation dieser Werte konnte anschliessend die N-Verteilung über das gesamte Bodenprofil während der ganzen Versuchsdauer dargestellt werden.

Um die N-Ausgangswerte in der Vorkultur Kunstwiese zu kennen, wurde diese ab

TDR-Technik

Mit der TDR-Technik, auch «Kabelradar» genannt, wird direkt im Feld der Wassergehalt des Bodens bestimmt. Dabei nutzt man die Tatsache, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Boden sehr stark durch dessen Wassergehalt bestimmt wird. Mit Hilfe eines kombinierten Impulsgenerators und -analysators werden hochfrequente Impulse durch den Boden geschickt und deren Laufzeiten über bestimmte Messstrecken (Sonden) festgehalten. Je grösser der Wassergehalt, desto länger sind diese Laufzeiten. Aufgrund von Berechnungsmodellen kann aus den Laufzeiten direkt der volumetrische Wassergehalt des Bodens abgeleitet werden.

Ende März bis zum Pflügen Anfang Mai in gleicher Weise beprobt wie nachher die zwei Kartoffelanbauverfahren. Um die Entwicklung der N-Werte nach der Kartoffelernte überprüfen zu können, fanden Anfang November N_{min}-Beprobungen in der Nachkultur Wintergerste statt.

Zur Bestimmung von Porenverteilung, Lagerungsdichte usw. wurden bei beiden Verfahren in den vier Messtiefen Zylinderproben entnommen. In je vier Flächen zu 7,5 m² wurden Ertragshebungen durchgeführt.

Verlauf des N-Gehaltes im Bodenwasser

In Abbildung 2 sind die im Bodenwasser gemessenen N-Gehalte für die drei Bodenschichten 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 100

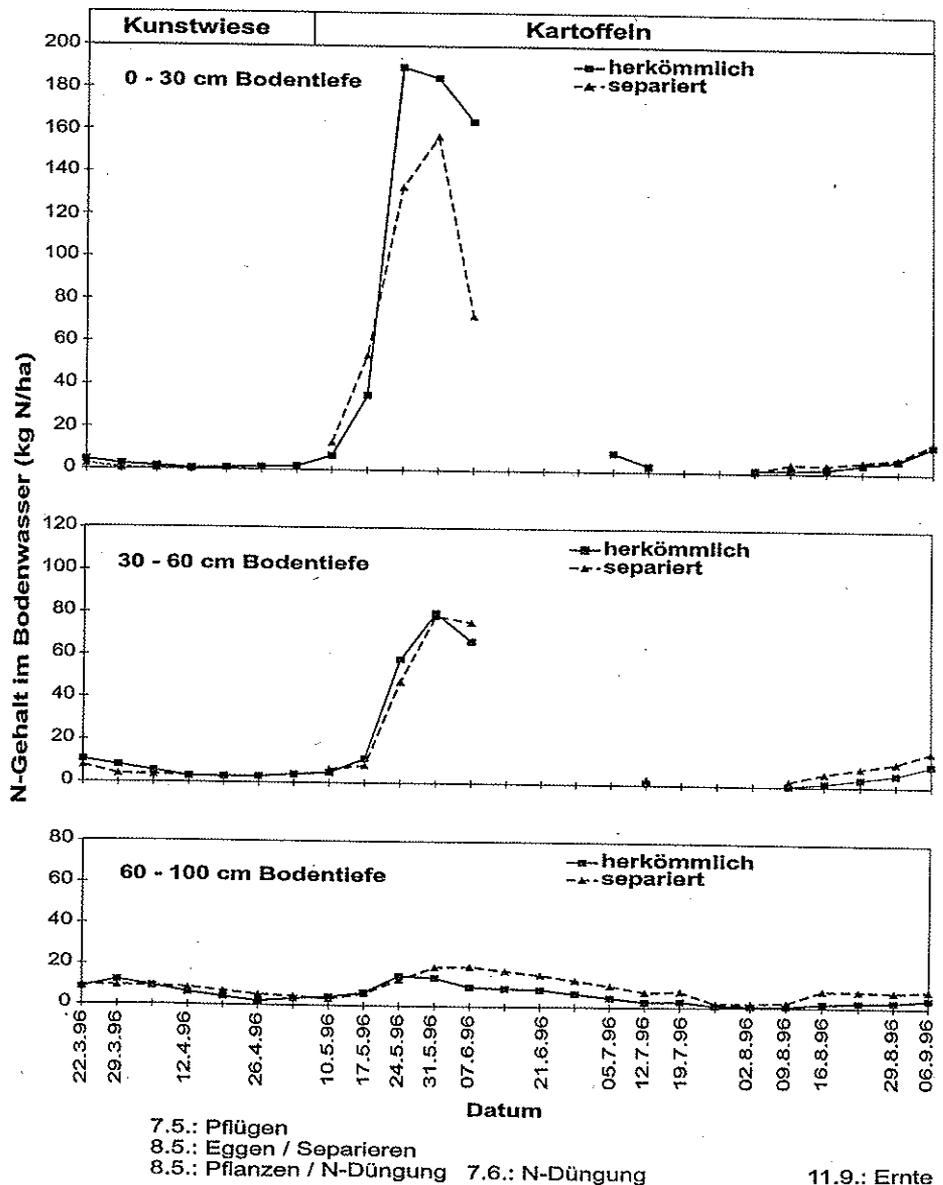


Abb. 2. Verlauf des N-Gehaltes (kg N/ha) im Bodenwasser in den Bodenschichten 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 100 cm bei herkömmlichem Kartoffelanbau (2x Kreiselegge) und beim Einsatz der Separierungstechnik. Bestimmung mit Hilfe der Saugkerzen- und TDR-Technik im und unter dem Kartoffeldamm.

cm dargestellt. Die «Lücken» in den Schichten 0 - 30 und 30 - 60 cm sind durch die Trockenperioden bedingt, in denen kein Bodenwasser entnommen werden konnte. In der nach der Vorkultur Wintergerste (1995) als Zwischenbegrünung angelegten Kunstwiese (Italienisch Raigras-Klee-Mischung) wurden vor dem Pflügen die üblichen tiefen N-Gehalte (max. 25 kg N/ha) gemessen. Wegen ihres hohen N-Bedarfes und dank der intensiven Durchwurzelung entzog die Kunstwiese dem Boden laufend den mineralischen Stickstoff.

Nach dem Umpflügen der Kunstwiese und der intensiven Pflanzbettbereitung stieg der N-Gehalt im **Oberboden** (0 - 30 cm) in beiden Verfahren jeweils massiv an. Der Maximalwert - 190 kg N/ha beim herkömmlichen und knapp 160 kg N/ha beim separierten Verfahren - wurde zwei bis drei Wochen nach dem Pflanzen der Kartoffeln erreicht. Dieser extreme Anstieg des N-Gehaltes in kürzester Zeit ist der intensiven N-Mineralisierung in den stark gelockerten und entsprechend gut durchlüfteten Kartoffeldämmen sowie der N-Düngung zuzuschreiben. Dass dabei das herkömmliche Verfahren mit zweimaligem Einsatz der Kreiselege einen etwas höheren Maximalwert als das Separierungsverfahren erreichte, könnte teilweise auf das Aussieben von Rotkleeurzeln und bewurzelten Grasstopfeln beim Separieren zurückzuführen sein. Diese Pflanzenteile gelangten in die Ablagebänder und trugen im Kartoffeldamm nicht mehr zur N-Mineralisierung bei. Das Aussieben dieser Pflanzenteile hatte auch zur Folge, dass die separierten Dämme weniger durch Wiederaustrieb der Grasstopfeln verunkrauteten als die nicht separierten. In den ersten vier Wochen nach dem Pflanzen der Kartoffeln stieg der N-Gehalt auch im **Unterboden** (30 - 60 cm Bodentiefe) in beiden Verfahren auf etwa 80 kg N/ha an. In dieser Bodenschicht war der Kurvenverlauf bei beiden Verfahren praktisch identisch.

Die tiefen N-Gehalte im Bodenwasser anfangs Juli in 0 - 60 cm Bodentiefe zeugen in dieser Periode vom intensiven N-Entzug der Kartoffeln aus dieser Bodenschicht (Walther 1996). Dass es in der entsprechenden Periode kaum zu N-Verlagerungen in den Untergrund kam, zeigten auch die Messwerte im beprobten **Untergrund** (60 - 100 cm Bodentiefe). In dieser Schicht, die grösstenteils ausserhalb des Wurzelwerks der Kartoffeln lag, stieg die N-Menge im Bodenwasser in

Tab. 4. Kartoffelerträge in kg/a (Sorte: Bintje)

Sortierung	Verfahren mit herkömmlicher Bodenbearbeitung	Verfahren mit Bodenseparierung	t-Test (Student)
35,0 - 42,5 mm	81	101	n.s.
42,5 - 70,0 mm	291	311	n.s.
35 - 70 mm relativ	372 100%	412 111%	**

n.s. = kein Unterschied ** = $p < 0,01$

Tab. 5. Grobporenvolumen ($pF < 2$) und Lagerungsdichte (g/cm^3) im Kartoffeldamm am Ende des Hauptwachstums der Knollen (Stadium 90); Medianwerte

Bodentiefe (ab Dammoberkante)	Verfahren mit herkömmlicher Bodenbearbeitung		Verfahren mit Bodenseparierung	
	Grobporenvolumen Vol.%	Lagerungsdichte g/cm^3	Grobporenvolumen Vol.%	Lagerungsdichte g/cm^3
12 cm	22	0,99	27	0,92
32 cm	11	1,27	14	1,12

beiden Verfahren während der gesamten Untersuchungsdauer nie über 20 kg N/ha an. Hauptgrund dafür war sicherlich der grosse Wasserverbrauch der Kartoffeln (Nievergelt 1994). Dadurch bildete sich nur eine geringe Sickerwassermenge, die kaum zu Nitratverlagerungen führte.

Ab August stiegen die N-Gehalte im Wurzelraum der absterbenden Kartoffelpflanzen wieder an. Der fehlende Pflanzenentzug und die Förderung der N-Mineralisierung durch die Kartoffelernte liess dann die N_{min} -Werte in der Nachkultur Wintergerste anfangs November auf 140 kg N/ha im herkömmlichen und 117 kg N/ha im separierten Feldteil ansteigen.

Leicht höhere Erträge bei Separierung

Die Ertragshebungen (Tab. 4) zeigten einen günstigen Effekt der Bodenseparierung. Im separierten Feldteil wurden rund 10 % mehr verkaufsfähige Knollen von 35 bis 70 mm geerntet als im herkömmlich bearbeiteten. Die höheren Erträge im separierten Verfahren sind wahrscheinlich auf die bessere Durchlüftung (höheres Grobporenvolumen) und die grössere Lockerheit (geringere Lagerungsdichte) der separierten Dämme zurückzuführen (Tab. 5). Dadurch hatten die Kartoffelknollen im separierten Verfahren günstigere Wachstumsbedingungen.

Kaum Unterschiede in der N-Mineralisierung

Die Separierungstechnik im Kartoffelanbau ermöglicht eine arbeitssparende Ernte. Je trockener der Boden und je größer

das Separieren, umso weniger wird die Bodenstruktur beansprucht. Die vom FiBL durchgeführte Feldstudie hat allerdings gezeigt, dass die Regenwürmer durch die Bodenseparierung stärker geschädigt werden als beim herkömmlichen Anbauverfahren. Die Erträge an verkaufsfähigen Kartoffeln waren im separierten Verfahren dagegen rund 10 % höher als im herkömmlichen.

Trotz nur einjähriger Resultate lässt sich erkennen, dass die N-Dynamik in separierten Kartoffeldämmen an diesem Standort nicht grundsätzlich anders verlief als in unseparierten. Walther (1998) konnte mit vergleichenden N_{min} -Messungen in separierten und herkömmlich bearbeiteten Kartoffelfeldern diesen Sachverhalt weitgehend bestätigen. Aufgrund dieser Ergebnisse bestehen kaum verfahrensbedingte Unterschiede in Bezug auf die N-Mineralisierung, und es muss in separierten Feldern auch nicht mit einem erhöhten N-Auswaschungsrisiko gerechnet werden. Ebenso kann beim Einsatz der Separierungstechnik die im herkömmlichen Kartoffelanbau bewährte N-Düngungsstrategie (Walther 1996) angewendet werden.

DANK

Wir danken dem beteiligten Landwirt Hans Hagenbuch sowie Lukas Pfiffner und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern vom FiBL für ihr grosses Engagement.

LITERATUR

■ Nievergelt J., 1994. Kartoffeln gezielt beregnen. *UFA-Revue* Nr. 6, 19-22.

- Nievergelt J. und Weisskopf P., 1993. Bestimmung des mineralischen Stickstoff-Gehaltes von Böden; Charakterisierung von drei Beprobungsmethoden. *Bull. Bodenkundl. Ges. Schweiz* 17, 57-60.
- Pfiffner L., 1998. Bodenseparierung Kartoffelanbau: Effekte auf Regenwürmer? *Agrarforschung* 5 (10), 455-458.
- Spiess E., Näf E., Ammann H. und Heusser J., 1992. Bodenseparierung im Kartoffelbau. FAT-Bericht Nr. 422, 13 S.
- Walther U., 1996. N-Aufnahme durch Kartoffeln und N_{min} -Gehalte des Bodens. *Agrarforschung* 3 (2), 61-64.
- Walther U., 1998. Mündl. Mitteilung.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Anken T. und Rüttimann M., 1996a. Bodenseparieren beim Kartoffelanbau. *Bull. Bodenkundl. Ges. Schweiz* 20, 25-28.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Anken T. und Rüttimann M., 1996b. Böden durch Separieren mehr beansprucht? *Landfreund* Nr. 12, 31-35.

SUMMARY

Soil nitrogen dynamics after stone and clod windrowing (soil separation technique) in potato fields

We compared the effect of this new technique and of traditional seed bed preparation on soil nitrogen dynamics. The soil in this trial tended to stay in clods after seed bed preparation with a rotary harrow (traditional method). With the stone and clod windrowing technique, both clods and stones were separated from the fine soil before planting and laid in bands between the rows. Suction cups were used as soil water samplers to determine the nitrate and ammonium content in the soil water. Nitrogen mineralization was similar with the two cultivation methods. The stone and clod windrowing technique increased the potato yield by 11%.

KEY WORDS: potato cropping system, stone and clod windrowing, soil water sampling, nitrogen, suction cups

RÉSUMÉ

Dynamique de l'azote après tamisage (séparation du sol) en culture de pommes de terre

Pour en savoir plus sur la dynamique de l'azote, nous avons comparé les effets de la nouvelle technique de tamisage avec la préparation traditionnelle. Dans notre essai, le sol choisit avait tendance à former des grumeaux en préparation traditionnelle (herse rotative). Par le tamisage, les grumeaux et les pierres sont séparés des parties fines du sol et déversés dans l'entre billon. Pour mesurer le nitrate et l'ammonium dans la solution du sol, nous avons utilisé des bougies poreuses. Nous n'avons pas constaté de grandes différences concernant la minéralisation de l'azote entre les deux techniques de préparation du sol. Le tamisage a eu un effet positif sur le rendement (+11%).

UMWELT



Bodenseparierung Kartoffelanbau: Effekte auf Regenwurmfauna?

Lukas PFIFFNER, Gruppe Nützlingsförderung und Pflanzenschutz, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse, CH-5070 Frick
 Auskünfte: Lukas Pfiffner, e-mail: lukas.pfiffner@fibl.ch, Fax +41 (0)62 865 72 73, Tel. +41 (0)62 865 72 72

Mit der Technik der Bodenseparierung wird im Kartoffelanbau ein zusätzlicher, grosser Eingriff in das Bodenleben vorgenommen. Es bestehen beträchtliche Wissenslücken bezüglich den Auswirkungen auf wesentliche umweltrelevante Parameter wie Bodentiere, Stickstoffmineralisierung, Verschlämmungs-, Erosions-, Verdichtungsneigung und Bodenstruktur. Die Effekte der Bodenseparierung auf die Regenwürmer wurden deshalb im Rahmen einer 2-jährigen Feldstudie untersucht. Sie hat gezeigt, dass die Regenwürmer dadurch stärker geschädigt werden als mit dem herkömmlichen Anbauverfahren.

Die Bodenbearbeitung bedeutet immer einen tiefgreifenden Eingriff in das Bodenleben. Neben der Fruchtfolge, der Düngung und dem Pflanzenschutz stellt sie eine der zentralen Einflussgrössen dar. Grössere Bodentiere, insbesondere die Regenwürmer, werden vor allem durch rotierende Bodenbearbeitungsgeräte (z.B. Bodenfräse) und den Pflug beeinträchtigt. Pfluglose Verfahren und Minimalbodenbearbeitung schädigen hingegen die Bodenfauna deutlich weniger (Wyss und Glasstetter 1992; Maillard und Cuendet 1997). Auch in Obstanlagen wurden Effekte unterschiedlicher Bodenpflegeverfahren auf die Regenwürmer festgestellt (Hauser und Pfiffner 1997). Wichtige Bodenfunk-

tionen, die durch die Regenwürmer beeinflusst werden, wie z.B. der Abbau der organischen Substanz (Friebe und Henke 1992) oder die Wasserinfiltration (Willoughby *et al.* 1997) werden bei bodenschonenden Verfahren weniger beeinträchtigt. Generell beeinflusst die Anbautechnik und -intensität (biologisch, integriert oder konventionell) das Vorkommen von Regenwürmern (Pfiffner *et al.* 1993; Pfiffner und Mäder 1997) oder nützlichen Gliedertieren (Pfiffner 1997) wesentlich.

Warum Bodenseparierung?

Die Technik der Bodenseparierung wurde in Schottland entwickelt. Sie wird heute

hauptsächlich von Produzenten eingesetzt, bei denen der Kartoffelanbau ein wichtiger Betriebszweig ist. Steine und Schollen der obersten Bodenschicht werden von der Feinerde abgetrennt und neben dem Damm in einem Band bis etwa 20 bis 25 cm Tiefe separat abgelegt. Das Ziel ist, eine rationellere Ernte auf skeletthaltigen oder zur Schollenbildung neigenden Böden und eine Verminderung der Beschädigung des Erntegutes. Die Verfahrenskosten fallen bei stark beimengungshaltigen Böden erst bei Anbauflächen über 4 ha günstiger aus als beim herkömmlichen Anbau. Im Direktvergleich konnte in bisherigen Untersuchungen kein Einfluss auf den Knollenertrag festgestellt werden. Technische und arbeitswirtschaftliche Details werden im FAT-Bericht 422 umfassend erläutert (Spiess *et al.* 1992).

Mögliche Probleme

Durch die Separierung wird der Boden entmischt und die Bodenstruktur stärker beansprucht (Rollbänder), was das Verschlämmungsrisiko vor allem bei leichte-