

# IP- und Bio-Produktion: Ökobilanzierung über eine Fruchtfolge

Thomas ALFÖLDI und Otto SCHMID, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), CH-5070 Frick  
 Gérard GAILLARD, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT),  
 CH-8356 Tänikon  
 David DUBOIS, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL),  
 CH-8046 Zürich  
 Auskünfte: Thomas Alföldi, e-mail: thomas.alfoldi@fibl.ch, Fax +41 (0)62 865 72 73, Tel. +41 (0)62 865 72 31

**In den vergangenen Jahren wurde die Methode der Ökobilanzierung weiterentwickelt und an die Bedürfnisse der Landwirtschaft angepasst. Mit vergleichenden Ökobilanzen wurden bereits bisher die Umweltauswirkungen der biologischen und integrierten Anbauweise erfasst. Diese Arbeiten beschränken sich jedoch auf die Ebene der Einzelkultur. Im vorliegenden Beitrag stellen wir vergleichende Ökobilanzen über eine ganze Fruchtfolgeperiode vor, die wir im Rahmen eines langjährigen Vergleichsversuches (DOK-Versuch) durchführten. Unter diesen Bedingungen schnitt das organisch-biologische Verfahren ökologisch besser ab als das konventionelle/integrierte.**

Bestrebungen, die Grundlagen zur Ökobilanzierung international zu vereinheitlichen, sind im Gang (Audsley *et al.* 1997; Olsson 1998). In der Schweiz wurden Ökobilanzen auf den Ebenen Anbauverfahren, Betrieb und für den gesamten landwirtschaftlichen Sektor durchgeführt. Auf Verfahrensebene wurden die Umweltwirkungen nachwachsender Rohstoffe abgeschätzt (Wolfensberger und Dinkel 1997) sowie intensiver, integrierter und biologischer Weizenanbau miteinander verglichen (Gaillard und Hausheer 1997; Gaillard und Hausheer 1999). Auf der Ebene der Einzelbetriebe analysierte Rossier (1998) die Umweltwirkungen von 13 Landwirtschaftsbetrieben in der Westschweiz. Für den gesamten landwirtschaftlichen Sektor berechnete Rossier (1995) eine Ökobilanz.

hen in der Düngung und im Pflanzenschutz (Abb. 1). Die Fruchtfolge ist im DOK-Versuch für alle Verfahren gleich und umfasste zwischen 1985 und 1991: Kartoffeln, Winterweizen, Randen, Winterweizen, Wintergerste und zwei Jahre Klee gras. Beiden Anbausystemen wird der gleiche Tierbesatz von 1,2 DGVE<sup>1</sup> pro Hektare zugrunde gelegt, das heisst für die ganze Fruchtfolge stehen beiden Verfahren 80 t Mist und 200 m<sup>3</sup> Gülle zur Verfügung. Die Verteilung der Hofdünger ist jedoch unterschiedlich: Das integrierte Verfahren bringt den Mist zu den Hackfrüchten und die Gülle auf das Klee gras aus. Zusätzlich zu den Hofdüngern erfolgt eine Ergänzung mit mineralischen Düngern. Das Getreide wird ausschliesslich

mineralisch gedüngt und erhält keine Hofdünger. Im organisch-biologischen Verfahren werden die zur Verfügung stehenden Hofdüngermengen auf sämtliche Kulturen verteilt, die einzelnen Gaben sind dadurch tiefer als im integrierten Verfahren. Weitere Angaben zum DOK-Versuch finden sich bei Dubois *et al.* (1999).

Unser Hauptinteresse liegt im Vergleich der Auswirkungen über eine ganze Fruchtfolge. Die Hauptzielgruppe unserer Arbeit sind Landwirtinnen und Landwirte. Die Grenzen der untersuchten Produktionssysteme schliessen den Anbau auf dem Feld bis und mit Ernte über den gesamten Zeitraum der siebenjährigen Fruchtfolge ein. Die zur Herstellung der Produktionsmittel vorgelagerten Bereiche wurden berücksichtigt. Als funktionelle Einheit diente der Trockensubstanz-Ertrag.

Das Arbeitsjournal des DOK-Versuchs diente als Grundlage für das Produktionsinventar. Die Arbeitszeit und der Maschineneinsatz wurden mit Hilfe des FAT-Arbeitsvoranschlags (Näf 1996) und der FAT-Liste der Maschinenkosten (Amman 1996) rechnerisch ermittelt. Die Berechnung der Sachbilanz erfolgte mit Hilfe der Umweltdaten und Berechnungsverfahren von Gaillard *et al.* (1997) für die indirek-

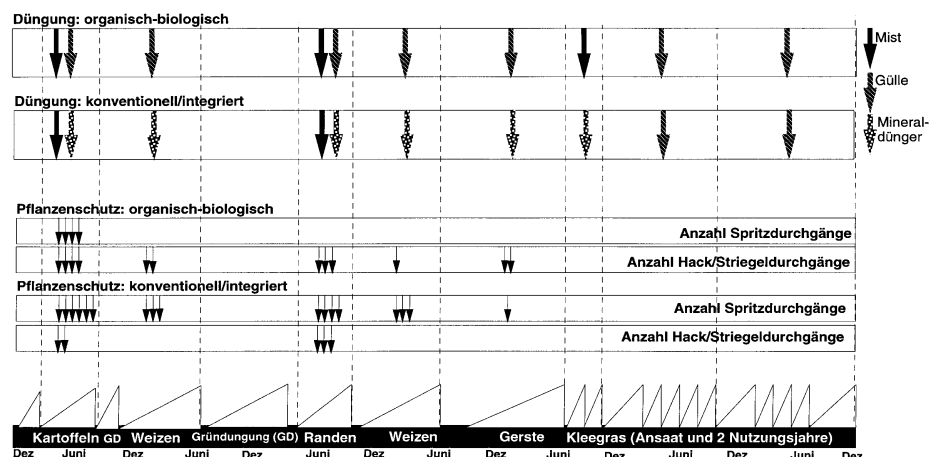
<sup>1</sup> Düngergrössvieleinheiten.

## Die Ökobilanz umfasst vier Schritte

Gemäss ISO 14040 (1997) umfasst eine Ökobilanz die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, die Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Auswertung der Ergebnisse. Weitere Angaben zur Methode finden sich bei Zimmermann und Gaillard (1997).

Die vorliegende vergleichende Ökobilanz biologisch und integrierter Bewirtschaftung berücksichtigt erstmals die gesamte Fruchtfolge. Die Datenbasis zu Anbau und Erträgen liefern das organisch-biologische (O2) und das konventionelle/integrierte Verfahren (K2) aus dem DOK-Versuch. Die wesentlichen Unterschiede zwischen diesen beiden Verfahren beste-

### Hauptunterschiede im DOK-Versuch: Düngung und Pflanzenschutz



**Abb 1. Die wichtigsten Unterschiede der beiden Verfahren organisch-biologisch (O2) und konventionell/integriert (K2) bezüglich Düngung und Pflanzenschutz im Verlauf der siebenjährigen Fruchtfolgeperiode im DOK-Versuch (1985-1991).**

ten Emissionen und von Wolfensberger und Dinkel (1997) für die Emissionen auf dem Feld. Mangels einer geeigneten Methode für alle Kulturen wurde die potenzielle Nitratauswaschung nicht bestimmt. Zurzeit bestehen noch keine allgemein anerkannten Methoden für die Zuordnung von Sachbilanzdaten zu spezifischen potenziellen Umweltwirkungen. Die Wirkungsabschätzung wurde gemäss Gaillard und Hausheer (1997) durchgeführt. Die Auswertung der berechneten Umweltwirkungen und deren Unterteilung in fünf Klassen (sehr günstig/sehr ungünstig, günstig/ungünstig, vergleichbar) erfolgte gemäss Wolfensberger und Dinkel (1997). Eine Aggregation der verschiedenen Umweltkategorien wurde nicht durchgeführt.

### Produktionsinventar charakterisiert Anbausysteme

Tabelle 1 fasst die wichtigsten Kenngrößen der beiden untersuchten Anbausysteme zusammen. Über die siebenjährige Fruchtfolge wurden auf den biologisch gedüngten Parzellen rund 40 % weniger Gesamtstickstoff, 50 % weniger Phosphor und 45 % weniger Kalium ausgebracht. Diese Unterschiede erklären sich damit, dass beide Anbausysteme die gleiche Menge Hofdünger ausbringen, im integrierten System aber aufgrund der Bodenanalysen zusätzlich noch mit mineralischen Handelsdüngern auf die 1,2fache Normdüngung ergänzt wurde. Beim Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln treten erwartungsgemäss deutliche Unterschiede auf, da im biologischen Verfahren nur bei Kartoffeln Kupfer gegen Krautfäule eingesetzt wird. Die Hälfte der Wirkstoffmenge im integrierten Verfahren wird bei den Kartoffeln

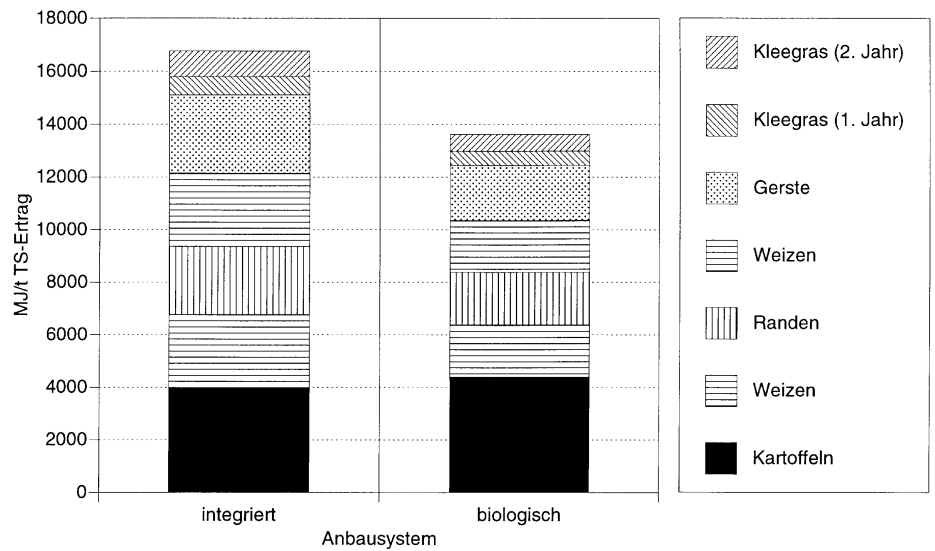


Abb 2. Verbrauch nicht erneuerbarer Energieressourcen pro Tonne Ertrag (TS) für die beiden Verfahren organisch-biologisch und konventionell/integriert für die Kulturen der siebenjährigen Fruchtfolgeperiode im DOK-Versuch (1985-1991).

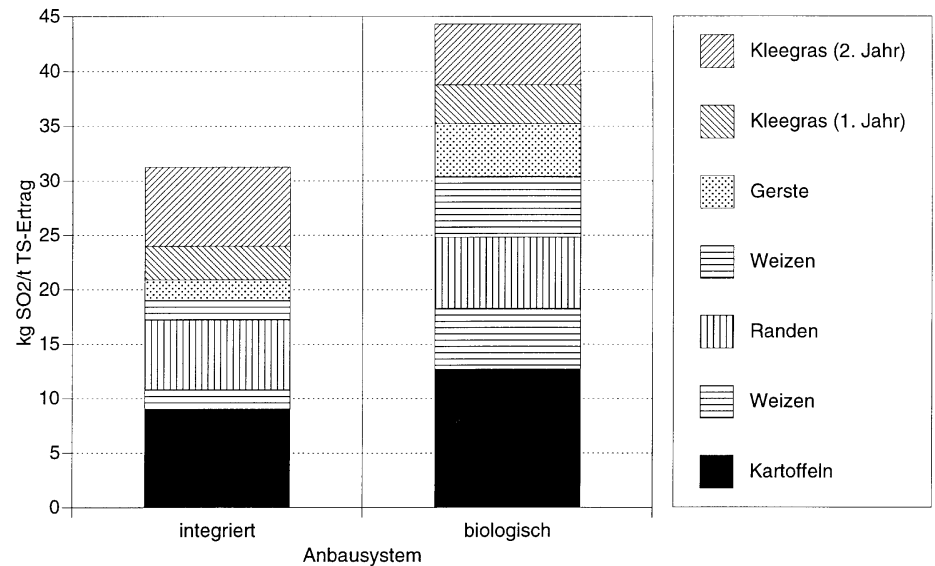


Abb 3. Potenzielle Versauerung der Ökosysteme pro Tonne Ertrag (TS) für die beiden Verfahren organisch-biologisch und konventionell/integriert für die Kulturen der siebenjährigen Fruchtfolgeperiode im DOK-Versuch (1985-1991).

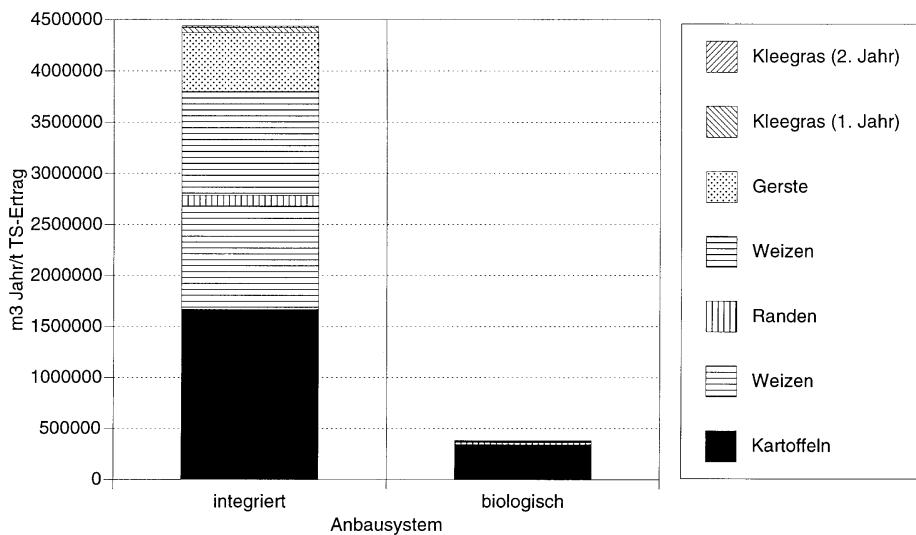
Tab. 1. Zusammenfassendes Produktionsinventar von zwei ausgewählten Anbausystemen des DOK-Versuchs: organisch-biologisch (O2) und konventionell/integriert (K2) über die gesamte Fruchtfolgeperiode (1985-1991)

Kenngrösse	Einheit	Anbausystem	
		organisch-biologisch	konventionell/integriert
Nährstoffinput	kg N/ha	760	1307
	kg P/ha	166	329
	kg K/ha	902	1640
Wirkstoffe	kg/ha	1,5	42
Dieserverbrauch	l/ha	808	924
Ertrag (Mittel aller Kulturen)	%	81	100
Kartoffeln	%	66	100
Randen	%	75	100
Winterweizen	%	81	100
Wintergerste	%	75	100
Kleegras (1. Jahr)	%	94	100
Kleegras (2. Jahr)	%	85	100

ausgebracht, der Rest verteilt sich zu ungefähr gleichen Teilen auf die beiden Weizenanbaujahre und die Rote Beete. Der rund 13 % tiefere Treibstoffverbrauch des Bioverfahrens ist auf den tieferen Verbrauch in den zwei Kleegrasanbaujahren (weniger Gülle ausgebracht) sowie im Weizen- und Randenanbau zurückzuführen. Die Ertragsunterschiede zwischen den beiden Anbausystemen sind bei Kartoffeln deutlich, bei Kleegras weniger ausgeprägt.

### Unterschiede bei einzelnen Umweltkategorien

Im Folgenden wird die Wirkungsabschätzung für drei ausgewählte Umweltkatego-



**Abb. 4. Potenzielle Bodentoxizität pro Tonne Ertrag (TS) für die beiden Verfahren organisch-biologisch und konventionell/integriert für die Kulturen der siebenjährigen Fruchtfolgeperiode im DOK-Versuch (1985-1991).**

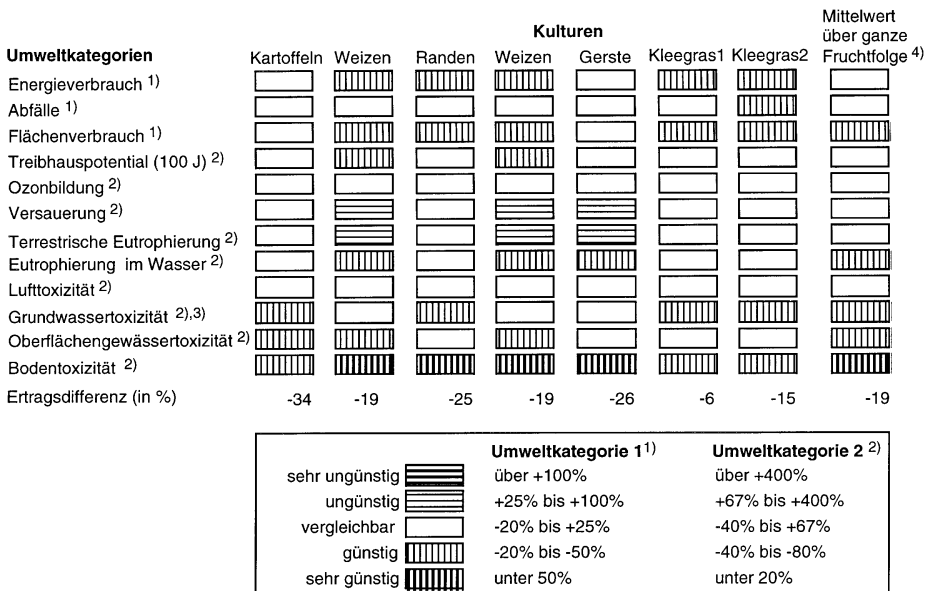
rien vorgestellt: «Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieressourcen», «potenzielle Versauerung des Ökosystems» sowie «potenzielle Bodentoxizität». Mit Ausnahme der Kartoffeln ist der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieressourcen pro Tonne Ernteertrag im Bioanbau in allen Kulturen im DOK-Versuch tiefer als in der integrierten Variante (Abb. 2). Über alle Kulturen der Fruchtfolge beträgt der Unterschied 20 %, bezogen auf

die Fläche 35 %. Die Analyse des Energieverbrauchs zeigt, dass das Bioverfahren aufgrund der tieferen Erträge bei den Positionen Infrastruktur (Gebäude und Maschinen) und beim Treibstoff einen etwas höheren Verbrauch aufweist. Bei den Inputmitteln (Dünger, Pflanzenschutzmittel) hingegen schneidet es deutlich besser ab. Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit früheren Berechnungen zum Energieverbrauch im DOK-Versuch überein (Al-

földi *et al.* 1995). Das günstigere Abschneiden des biologischen Weizenanbaus im Vergleich zur Studie von Gaillard und Hausheer (1999) ist auf deren Ertragsannahmen zurückzuführen.

Die potenzielle Versauerung des Ökosystems wird zur Hauptsache durch die Emissionen von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Stickoxyd (NO<sub>x</sub>) verursacht. NH<sub>3</sub> entsteht beim Ausbringen von Gülle und Mist, NO<sub>x</sub> beim Verbrennen fossiler Energieträger. Da beide Anbausysteme die gleiche Menge an Hofdünger ausbringen und nur einen geringfügigen Unterschied im Dieserverbrauch ausweisen, sind die Werte pro Hektare für beide Systeme etwa gleich. Aufgrund des tieferen Ertragsniveaus entstehen im Bioverfahren jedoch rund 30 % mehr SO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Tonne Ertrag als bei der integrierten Variante (Abb. 3).

Haupteinflussfaktoren bei der Berechnung der potenziellen Bodentoxizität sind der Eintrag an Schwermetallen (z.B. Chrom in Thomasmehl) sowie die Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln. Das organisch-biologische Verfahren schneidet in dieser Umweltkategorie deutlich günstiger ab als das integrierte Verfahren (Abb. 4). In den organisch-biologisch angebaute Kulturen trägt nur der Kupfereinsatz im Kartoffelanbau zur Bodentoxizität bei. Während bei Getreide die Gewichtungsfaktoren aus der Arbeit von Gaillard und Hausheer (1997) übernommen werden konnten, mussten für die bei Kartoffeln und Rote Beete eingesetzten Wirkstoffe mangels spezifischer Angaben durchschnittliche Gewichtungsfaktoren verwendet werden. Die Ergebnisse für diese Kulturen sind deshalb mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.



**Abb. 5. Wirkungsabschätzung der Stoff- und Energieflüsse von zwei ausgewählten Anbausystemen des DOK-Versuchs: Abweichung des organisch-biologischen Verfahrens (O2) vom konventionell/integrierten Verfahren (K2) für die einzelnen Kulturen sowie über die gesamte Fruchtfolgeperiode (1985-1991)**

Anmerkungen:

- 1) Umweltkategorie mit sicherer Datenbasis
- 2) Umweltkategorie mit weniger sicherer Datenbasis
- 3) Beschränkte Aussagekraft für die Grundwassertoxizität, da die potenzielle Nitratauswaschung nicht berücksichtigt wurde
- 4) Aus der Summe der Einzelwerte pro Kultur und Verfahren wird die prozentuale Abweichung des Verfahrens O2 von K2 berechnet

### Wie sind die Unterschiede zu werten?

Die in der Sachbilanz berechneten Unterschiede zwischen den beiden Anbausystemen werden in der Wirkungsabschätzung hinsichtlich ihrer potenziellen Umweltwirkungen beurteilt. Die Umweltauswirkungen des organisch-biologischen Verfahrens im Vergleich zum integrierten Verfahren wurden gemäss Wolfensberger und Dinkel (1997) in fünf Klassen eingeteilt (Abb. 5). Diese Einteilung erfolgte aufgrund der prozentualen Abweichung in der Wirkungsabschätzung. Unterschieden wurde zudem zwischen Umweltkategorien, für welche eine sichere Datenbasis besteht (Energie-

verbrauch, Abfälle, Flächenverbrauch) und solchen, für welche die Datenbasis weniger gesichert ist. Über die gesamte Fruchtfolge betrachtet, sind die Umweltauswirkungen des organisch-biologischen Verfahrens für die Umweltkategorien Flächenverbrauch, Wassereutrophierung, Oberflächentoxizität sowie Grundwassertoxizität im Vergleich zur integrierten Variante als günstiger einzustufen. Bezüglich Bodentoxizität ist das organisch-biologische Anbausystem als sehr günstig zu werten, während bei den übrigen Kategorien die Ergebnisse aus der Wirkungsabschätzung als vergleichbar angesehen werden müssen. Das organisch-biologische Verfahren schneidet in den Kategorien Versauerung und terrestrische Eutrophierung für den Getreideanbau ungünstiger ab als die integrierte Variante.

## Einbezug der ganzen Fruchtfolge ist wichtig

Bei der Beurteilung der potenziellen Umweltwirkungen unterschiedlicher Anbausysteme ist es besonders wichtig, die ganze Fruchtfolge zu berücksichtigen. Im Gegensatz zu Produktökobilanzen einzelner Kulturen, die sich in erster Linie an die Verarbeiter sowie Konsumentinnen und Konsumenten richten, geht eine auf die ganze Fruchtfolge bezogene Bilanzierung auf die Bedürfnisse der Landwirtschaft und der Politik ein. Auftretende Unterschiede werden im Kontext des ganzen Anbauverfahrens situiert. Zudem spielen die Vergleichsbedingungen der untersuchten Verfahren eine sehr wichtige Rolle, in erster Linie die Annahmen bezüglich Ertrag und Düngung. In der vorliegenden Studie wurde dem integrierten und dem biologischen Anbau der gleiche Tierbesatz, das heisst die gleiche auszubringende Hofdüngermenge, zugrunde gelegt, wie dies im DOK-Versuch der Fall war und auch auf die Praxis der schweizerischen IP- und Biobetriebe zutrifft. Somit wurden umweltrelevante Unterschiede bei mehreren Umweltkategorien (Versauerung, Eutrophierung usw.) auf einem Minimum gehalten. Anders gesagt: Diese Arbeit berücksichtigt nicht, dass sich in der Praxis biologische und integrierte Anbausysteme auch bezüglich Fruchtfolgen und einzelnen Bewirtschaftungsmassnahmen stärker unterscheiden können als dies im DOK-Versuch der Fall ist. Aus diesen Gründen ist es wichtig, weitere Ökobilanzen auf vergleichbaren Praxisbetrieben

durchzuführen. Die Wahl der funktionalen Einheit ist für das Ergebnis einer Ökobilanz von entscheidender Bedeutung. Die hier gewählte Einheit des Trockenstanz-Ertrags erscheint uns für den Systemvergleich über verschiedene Kulturen eine zielkonforme Bezugsgrösse. Um den vorliegenden Vergleich zu vervollständigen, müssten die Umweltbereiche Bodenqualität, Biodiversität und Landschaft in die Wirkungsabschätzung einbezogen werden. Diese Bereiche sind sowohl aus Sicht des Biolandbaus als auch aus Sicht der Ökologie von grosser Bedeutung. Abschliessend lässt sich jedoch festhalten, dass unter den Rahmenbedingungen des DOK-Versuchs das organisch-biologische Verfahren ökologisch besser abschneidet als das konventionell/integrierte Verfahren.

## LITERATUR

- Alföldi T., Spiess E., Niggli U. und Besson J.-M., 1995. DOK-Versuch: vergleichende Langzeituntersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell. IV.: Aufwand und Ertrag: Energiebilanzen, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. *Schweiz. Landw. Fo. Sonderheft DOK*, Nr. 2, 1-16.
- Amman H., 1996. Maschinenkosten 1997. FAT-Berichte 485, Hrsg.: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), 36 S.
- Audsley E., Alber S., Clift R., Cowell S., Crettaz P., Gaillard G., Hausheer J., Jolliet O., Kleijn R., Mortensen B., Pearce D., Roger E., Teulon H., Weidema B. and van Zeijts H., 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. Final report of a EU concerted action. Silsoe Research Institute, IATE, Centre for Environmental Strategy, EPFL, FAT, CML, Institut for product development, Ecobilan SA. 101 S. und Anhänge.
- Dubois D., Gunst L., Fried P., Stauffer W., Spiess E., Mäder P., Alföldi T., Fliessbach A., Frei R. und Niggli U., 1999. DOK-Versuch: Ertragsentwicklung und Energieeffizienz. *Agrarforschung* 6 (2), 71-74.
- Gaillard G., Crettaz P. und Hausheer J., 1997. Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs im Pflanzenbau. Schriftenreihe der FAT 46, 45 S.
- Gaillard G. und Hausheer J., 1997. Ökobilanz des Weizenanbaus: Vergleich der intensiven, der integrierten und der biologischen Produktion. In: VDLUFA Schriftenreihe 46, Kongressband 1997 Leipzig, Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft, 447-450.
- Gaillard G. und Hausheer J., 1999. Ökobilanz des Weizenanbaus. *Agrarforschung* 6 (1), 37-40.
- ISO, 1997. Produkt-Ökobilanz: Prinzipien und allgemeine Anforderungen, EN ISO 14040, 13 S.
- Näf E., 1996. Arbeitsvoranschlag - Datenkatalog für den Arbeitszeitbedarf der landwirtschaftlichen

Arbeiten. Hrsg.: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT).

- Rossier D., 1995. Méthodologie pour un écobilan global de l'agriculture suisse. unveröffentlichte Diplomarbeit, EPFL, 36 p.
- Rossier D., 1998. Adaptation de la méthode écobilan pour la gestion environnementale de l'exploitation agricole. SRVA - service romand de vulgarisation agricole (ed), Lausanne, 49 p. und Anhänge.
- Olsson P., 1998. LCAnet Food Newsletter, Information from the LCA Network on Foods, No. 2, 4 p.
- Wolfensberger U. und Dinkel F., 1997. Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993-1996. Vergleichende Betrachtung von Produkten aus ausgewählten NWR und entsprechenden konventionellen Produkten bezüglich Umweltauswirkungen und Wirtschaftlichkeit. FAT und Carbotech, im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft, Bern, 230 p.
- Zimmermann A. und Gaillard G., 1997. Ökobilanz und MIPS: Vergleich zweier Umweltmasse. *Agrarforschung* 4 (9), 369-372.

## RÉSUMÉ

### Bilan écologique de la production végétale intégrée et organique

Un bilan écologique des modes de production biologique et intégrée a été établi. Les données pour les intrants et les rendements proviennent de l'essai DOC, qui depuis 1978 compare différents systèmes de production. Les calculs considèrent la rotation culturale toute entière (pommes de terre, blé, betterave, blé, orge et trèfle sur deux ans). L'impact environnemental du système de production biologique pour les catégories «occupation du sol», «eutrophisation aquatique» et «toxicité» est favorable comparé à celui du système de production intégrée. Pour les autres catégories environnementales, les différences entre les modes de production étudiés ne sont pas significatives.

## SUMMARY

### Life cycle assessment of integrated and organic crop production

An environmental life cycle assessment for organic and integrated farming systems was carried out. The data of inputs and yields were taken from the DOC-trial, in which farming systems are compared since 1978. The entire crop rotation (potatoes, wheat, beetroot, wheat, barley and two years of grass-clover) was included in the calculations. The organic farming system shows a more favourable environmental impact compared to the integrated farming system in the categories of land use, water eutrophication and in different categories of toxicity. In regard of the other environmental categories, the differences between the farming systems are not relevant.

**KEY WORDS:** life cycle assessment, crop rotation, organic farming, integrated farming