

DOK-Versuch: Ertragsentwicklung und Energieeffizienz

David DUBOIS, Lucie GUNST und Padruot M. FRIED, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich,
Werner STAUFFER und Ernst SPIESS, (FAL), Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld, CH-3003 Bern
Paul MÄDER, Thomas ALFÖLDI, Andreas FLIESSBACH, Robert FREI und Urs NIGGLI, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), CH-5070 Frick
Auskünfte: David Dubois, e-mail: david.dubois@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 71 11

Im DOK-Versuch werden seit 1978 zwei biologische und ein konventionelles Anbausystem unter einheitlichen Standortbedingungen verglichen. Die mehrjährigen Erhebungen liefern aktuelle Erkenntnisse, wie sich die Umstellung auf Biolandbau oder eine Reduktion der Anbauintensität längerfristig auf Ertrag, Bodenfruchtbarkeit und Umwelt auswirken kann.

Zu Beginn des DOK-Versuches standen der wissenschaftliche Nachweis der Machbarkeit des Biolandbaus sowie Abklärungen zu Langzeitwirkungen auf den Boden im Vordergrund. Dazu wurde in einem Feldversuch ein biologisch-dynamisches (D), ein organisch-biologisches (O) und ein konventionelles (K) Anbausystem mit je zwei Düngungsstufen angelegt. Zusätzlich besteht ein ungedüngtes Verfahren und seit 1985 ein konventionelles System mit ausschliesslich mineralischer Düngung (M2). Versuchsort ist Therwil (BL). Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 9,0°C und die Niederschlagsmenge liegt bei 792 mm pro Jahr. Die Versuchsanlage umfasst 96 Teilparzellen von je 5 m x 20 m Grösse, angeordnet in vier Wiederholungen auf einer skelettfreien Parabraunerde aus Löss (Abb. 1). Die Fruchtfolge läuft auf drei Teilschlägen zeitlich verschoben, so dass jedes Fruchtfolgeglied innert einer Fruchtfolgeperiode dreimal angebaut wird. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der drei Systeme der Bodennutzung unter identischen Umweltbedingungen. Im vorliegenden Artikel werden das Versuchskonzept beschrieben und ausgewählte Resultate zu Erträgen und zur Energieeffizienz zusammengefasst.

Hauptunterschiede bei Düngung und Pflanzenschutz

Die Fruchtfolge ist siebenjährig und bei allen Anbausystemen gleich: 1. Kartoffeln, 2. Winterweizen, 3. Weisskohl oder Randen, 4. Winterweizen, 5. Wintergerste, 6. und 7. Klee gras (StM 330). In der dritten Fruchtfolgeperiode wurde die Wintergerste durch ein drittes Jahr Kunstwiese (StM 430) ersetzt. Die Anbausysteme in diesem Versuch unterscheiden sich

nicht bezüglich Sortenwahl und kaum in der Bearbeitung des Bodens. Die Hauptunterschiede zwischen den verglichenen Systemen liegen in Menge und Form der Düngung und im Pflanzenschutz (Tab. 1). Zu beachten ist, dass die Düngung der verschiedenen Anbausysteme nicht mengenäquivalent festgelegt wurde. Die biologischen und das konventionelle Verfahren K2 erhielten gleichviel Hofdünger (bis 1991 1,2, danach 1,4 Düngergrossvieheinheiten pro Hektare). Im Verfahren K2 wurde jedoch zusätzlich Mineraldünger gemäss den Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau ausgebracht (Anonym 1977; Walther *et al.* 1987; Walther *et al.* 1994). Auch das Verfahren O erhielt in begrenztem Ausmass Ergänzungsdünger. Um den Einfluss der Düngung vertieft abzuklären, wurde jedes

Anbausystem bei seiner systemtypischen (D2, O2, K2) und der halben Düngermenge (D1, O1, K1) durchgeführt. Die 2. Düngungsstufe des konventionellen Verfahrens (K2) ist mittelintensiv und entspricht dem heutigen Integrierten Anbau eines Ackerbaubetriebes mit Viehwirtschaft. Im Durchschnitt der drei Fruchtfolgeperioden wurden bei den Bioparzellen 17 bis 54 % weniger Gesamtstickstoff, rund 40 % weniger Phosphor und etwa 50 % weniger Kalium gedüngt als beim konventionellen Verfahren (Tab. 2). Die Gaben an mineralischem Stickstoff (Ammonium oder Nitrat) waren auf den biologisch bewirtschafteten Parzellen etwa 65 % geringer als im Verfahren K2. Für die meisten Kulturen (Tab. 3) lagen sie beim konventionellen System auf dem Niveau der IP-Pilotbetriebe (Hausheer *et al.* 1998). Nur im Winterweizen erfolgte die Stickstoffdüngung im DOK-Versuch zurückhaltender. Wie erwartet war die Anzahl Pestizideinsätze im konventionellen Anbau von Kartoffeln am höchsten. In den biologi-



Abb. 1. Anlage des DOK-Feldversuches in Therwil (BL). (Foto Hättenschwiler)

Tab. 1. Hauptunterschiede der verglichenen Anbausysteme des DOK-Versuches

| Massnahmen | Anbausysteme | | | |
|------------------------|---|-------------------------------|---|---|
| | D2 biologisch-dynamisch | O2 organisch-biologisch | K2 konventionell mit Hofdünger | M2 konventionell, nur Mineraldünger ab 1985 |
| Düngung: | | | | |
| Menge der Hofdünger | 1,2 DGVE/ha, ab 1992 1,4 DGVE/ ha | | | – |
| Form der Hofdünger | Mistkompost und Gülle | Rottemist und belüftete Gülle | Stapelmist und Gülle | – |
| Mineraldünger | keine | geringe Menge | zur Ergänzung bis zur Düngungsnorm ¹ | volle Gabe gemäss Düngungsnorm ¹ |
| Pflanzenschutz: | | | | |
| Unkrautbekämpfung | mechanisch, zum Teil jäten | | Herbizide, zum Teil mechanisch | |
| Pilzbekämpfung | indirekt | zum Teil Kupfer | Fungizide nach Schadschwelle | |
| Schädlingsbekämpfung | Pflanzenextrakte, biologische Kontrolle | | Insektizide nach Schadschwelle | |
| CCC, Krautabbrennen | nein, zum Teil Abflammen | | ja | ja |

¹bis 1991 wurde 1,2 mal die Normdüngung gedüngt.
DGVE: Düngergrossvieheinheiten

Tab. 2. Durchschnittliche Nährstoffgaben in den Anbausystemen des DOK-Versuches während der drei Fruchtfolgeperioden (kg N, P, K pro Hektare und Jahr)

| Fruchtfolgeperiode | Gesamtstickstoff | | | | mineralischer Stickstoff | | | | Phosphor (P) | | | | Kalium (K) | | | |
|--------------------|------------------|-----|-----|-----|--------------------------|----|-----|-----|--------------|----|----|----|------------|-----|-----|-----|
| | D2 | O2 | K2 | M2 | D2 | O2 | K2 | M2 | D2 | O2 | K2 | M2 | D2 | O2 | K2 | M2 |
| 1. | 109 | 106 | 131 | 0 | 46 | 39 | 83 | 0 | 27 | 32 | 49 | 0 | 128 | 125 | 264 | 0 |
| 2. | 100 | 93 | 144 | 105 | 26 | 31 | 89 | 105 | 30 | 27 | 44 | 46 | 112 | 123 | 247 | 226 |
| 3. | 89 | 79 | 172 | 145 | 30 | 24 | 116 | 145 | 16 | 24 | 35 | 37 | 234 | 146 | 293 | 280 |

Tab. 3. Mittlerer Input und Anzahl Anwendungen ausgewählter Hilfsstoffe pro Jahr für den Anbau von Kartoffeln, Weizen und Klee gras in verschiedenen Anbausystemen des DOK-Versuches 1978 bis 1998

| | Kartoffeln | | | | Winterweizen | | | | Klee gras | | | |
|--|------------|-----|-----|-----|--------------|----|-----|-----|-----------|----|-----|-----|
| | D2 | O2 | K2 | M2 | D2 | O2 | K2 | M2 | D2 | O2 | K2 | M2 |
| Ammonium- und Nitratstickstoff (kg N/ha) | 23 | 31 | 111 | 134 | 20 | 16 | 57 | 71 | 47 | 50 | 111 | 167 |
| Anzahl Anwendungen: | | | | | | | | | | | | |
| ■ Herbizide | 0 | 0 | 1,3 | 1,3 | 0 | 0 | 1,0 | 1,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ■ Fungizide inkl. Kupfer | 0 | 1,8 | 4,9 | 4,9 | 0 | 0 | 1,1 | 1,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ■ Insektizide | 0,9 | 0,8 | 1,9 | 1,9 | 0 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ■ andere Mittel | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ■ inkl. CCC | | | | | | | | | | | | |
| ■ Pestizide insgesamt | 0,9 | 2,6 | 9,0 | 9,0 | 0 | 0 | 3,1 | 3,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ■ Biopräparate* | 15 | 3 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |

*Biodynamische Feldpräparate in homöopathischer Dosis sowie *Bacillus thuringiensis*.

schen Verfahren wurden in den Hackfrüchten und im Getreidebau eine deutlich geringere Anzahl Anwendungen von Pflanzenbehandlungsmitteln und etwas mehr mechanische Unkrautbekämpfungsmass-

nahmen durchgeführt. Die Kunstwiesen wurden in allen Anbausystemen gleich behandelt, da an diesem Standort Wiesenunkräuter wie zum Beispiel Blacken weitgehend fehlten.

Verlauf der Erträge nach Umstellung

Die **Kartoffelerträge** reagierten bereits während der ersten sieben Jahre nach Umstellung deutlich auf die reduzierte Düngungs- und Pflanzenschutzintensität der biologischen Verfahren. Gegenüber der praxisüblichen Düngungsstufe des konventionellen Verfahrens (K2) wurden bei O2 und D2 27 % und 38 % geringere Erträge an marktfähigen Knollen erzielt (Abb. 2a). Bei halbiertem Düngung (K1) gab es im konventionellen Verfahren 7 % weniger Ertrag, womit sich die Erträge der zwei konventionellen Verfahren statistisch signifikant von denjenigen der biologischen Verfahren abhoben.

Mit fortschreitender Versuchsdauer variierten die mittleren Knollenerträge im praxisüblich gedüngten Verfahren K2 nur wenig. In den Verfahren mit geringerer Düngung gingen sie hingegen weiter zurück. Dies führte zu einer deutlichen Abstufung zwischen den Anbausystemen, wobei K2 und M2 die höchsten Erträge, K1 mittlere und D2 und O2 um 50 % geringere Erträge an marktfähigen Kartoffeln erbrachten. Geringeres Knollenwachstum und eine kleinere Sortierausbeute, vor allem infolge kleinerer Knollen, haben zu diesen Unterschieden geführt. Die mittleren Erträge bei D2 waren in der 1. und 2. Fruchtfolgeperiode etwas geringer als bei O2. Während der 3. Fruchtfolgeperiode hingegen erzielte das D2-Verfahren höhere Erträge. Dies wird damit erklärt, dass aufgrund eines neuen Hofdüngerlieferanten bei diesem System mehr Kalium gedüngt wurde (Tab. 2).

Für **Winterweizen** zeigten die Anbausysteme während der ersten sieben Versuchsjahre nur geringe Ertragsunterschiede (Abb. 2b). Den höchsten Ertrag produzierte die konventionelle Bewirtschaftung bei halber Düngung (K1), da bei K2 zu Versuchsbeginn wiederholte Ertragsverluste infolge Lagerung auftraten.

In der zweiten und dritten Versuchsperiode erzielte K2 im Durchschnitt bessere, im Landesvergleich aber nur mittlere Erträge. Die Erträge der biologischen Verfahren fielen in der zweiten Versuchsperiode sowohl absolut wie relativ (minus 20 %) geringer aus als bei allen konventionellen Verfahren (K1, K2, M2). Mit der allgemeinen Erhöhung der Hofdüngergaben und anderen Winterweizensorten gleichen sich diese Unterschiede in der dritten Versuchsperiode etwas aus. Die beiden Bioverfahren ergaben dann im DOK-Ver-

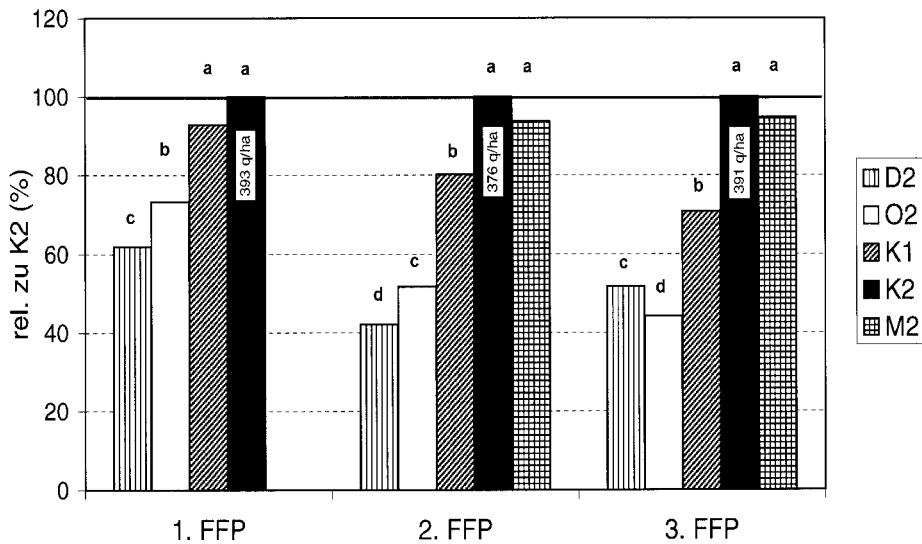


Abb. 2a. Relative mittlere Erträge marktfähiger Kartoffeln verschiedener Verfahren im DOK-Versuch (K2 = 100 %) während der ersten drei Fruchtfolgeperioden (FFP); (Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, p=0,05 nach Newman und Keuls).

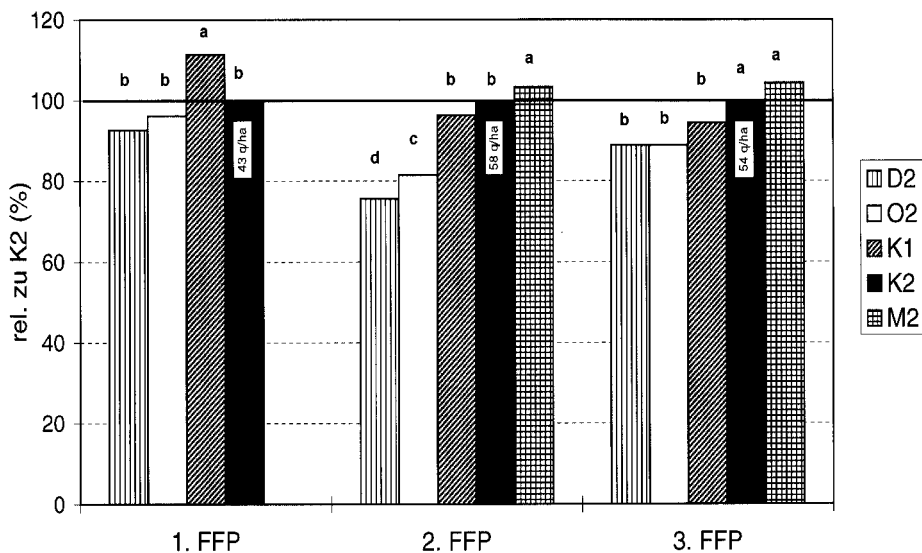


Abb. 2b. Relative mittlere Erträge von Winterweizen (mit 86 % TS) verschiedener Verfahren im DOK-Versuch (K2 = 100 %).

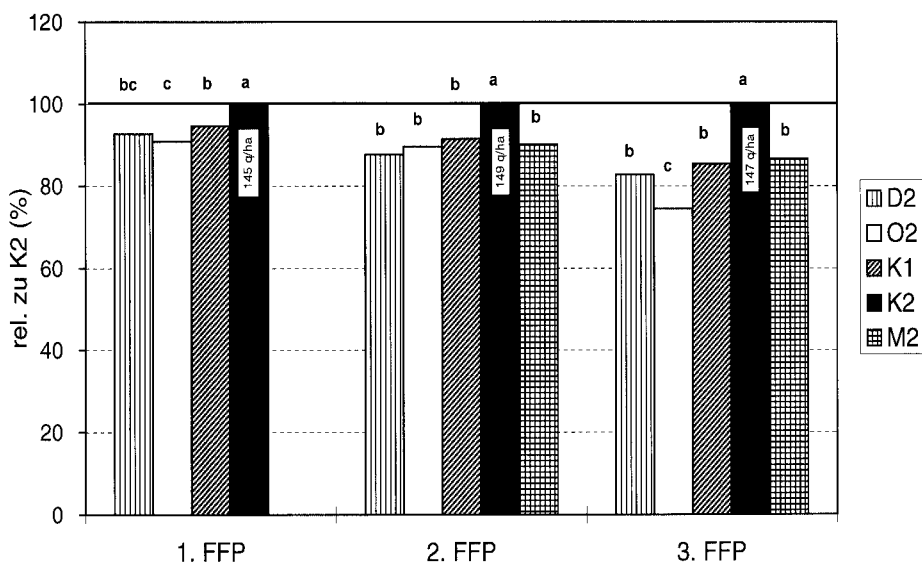


Abb. 2c. Relative mittlere Kleeerträge (mittlere TS-Erträge des 1. und 2. Hauptnutzungsjahres) verschiedener Verfahren im DOK-Versuch (K2 = 100 %).

sich 11 % tiefere Durchschnittserträge als das Verfahren K2.

Am langsamsten reagierten die Erträge der **Kleegrasansaat**en auf die Umstellung auf verschiedene Anbausysteme (Abb. 2c). In der ersten Fruchtfolgeperiode betrug der Minderertrag der biologisch bewirtschafteten Parzellen gegenüber K2 weniger als 10 %. Wie beim weniger gedüngten Verfahren K1, vergrößerte sich diese Ertragsdifferenz bis zur dritten Fruchtfolgeperiode und erreichte für D2 und O2 17 % und 25 %. Dabei waren die Unterschiede zwischen den Anbausystemen im ersten Hauptnutzungsjahr meist geringer als im zweiten. Die zwei biologischen Verfahren unterschieden sich untereinander nicht, ausser in der dritten Fruchtfolgeperiode, wo D2 deutlich höhere und O2 geringere Kaliumgaben erhielt.

Die Ertragsstabilität der drei Kulturen, berechnet als Variationskoeffizient der Erträge, war in den konventionellen Verfahren über die zweite und dritte Versuchsperiode meist besser, zum Teil ähnlich wie in den biologischen Verfahren. Auf welchem Niveau sich die Erträge bei biologischer Bewirtschaftung einpendeln werden, müssen künftige Erhebungen zeigen.

Die Ertragsergebnisse zeigen, dass die Umstellung auf biologischen Landbau im Futterbau aus pflanzenbaulicher Sicht einfacher ist als bei gewissen Acker- und Spezialkulturen. Für das betriebswirtschaftliche Ergebnis spielen neben der Ertragshöhe jedoch auch die Produktionskosten und die Direktzahlungsbeiträge eine Rolle.

Energieeffizienz

Die Effizienz der Nutzung der Ressourcen ist ein wichtiger Indikator für die Nachhaltigkeit eines Anbausystemes. Deshalb wurde der Energieverbrauch pro Tonne Erntegut der einzelnen Kulturen bei verschiedenen Bewirtschaftungsverfahren ermittelt. Die Berechnungen beruhen auf den Angaben von Gaillard *et al.* 1997. Berücksichtigt wurde der Energieaufwand für die Produktion auf dem Feld bis und mit Ernte sowie für die Bereitstellung der verwendeten Hilfsstoffe und Maschinen. Stellvertretend für die zwei biologischen Systeme wird nur O2 dargestellt. Der grösste Energieinput erfolgte im Kartoffelbau (Abb. 3). Pro Tonne Knollen wurde bei biologischer Bewirtschaftung ein höherer Energieverbrauch als bei kon-

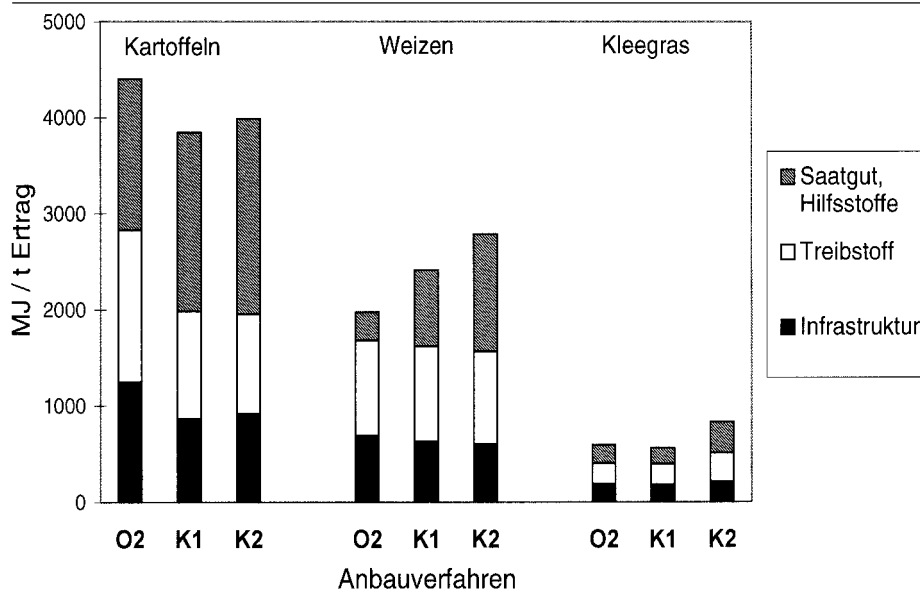


Abb. 3. Energieverbrauch pro Tonne Trockensubstanzertrag ausgewählter Verfahren im DOK-Versuch (2. Fruchtfolgeperiode, nach Alföldi unpubliziert und Gaillard 1997).

ventionellem Anbau festgestellt. Dies ist vor allem auf den deutlich höheren Ertrag des konventionellen Systems zurückzuführen. Im Anbau von Winterweizen, Klee gras und der restlichen zwei Kulturen der Fruchtfolge war die Rangfolge der Anbausysteme bezüglich Energieeffizienz hingegen umgekehrt. Das Verfahren K2 hatte sich bei diesen Kulturen durch einen höheren Energieaufwand auszeichnet. Dies beruhte vor allem auf dem grösseren Einsatz von Hilfsmitteln, besonders mineralischer Stickstoffdünger. In einer ähnlichen Studie über den Weizenanbau fand Gaillard (in Audsley *et al.* 1997) hingegen bei höheren Weizenenerträgen für die integrierte Produktion (60 q/ha) eine bessere Energieeffizienz als beim Bioanbau. Dies zeigt, dass eine Extensivierung, unabhängig vom Anbausystem, nur so lange die Energieeffizienz erhöht, als damit keine übermässige Ertragsreduktion einhergeht.

Neben diesen Untersuchungen zu Erträgen und Ressourceneffizienz werden im DOK-Versuch zahlreiche weitere Erhebungen durchgeführt. Über die Auswirkungen der verschiedenen Anbausysteme auf Aspekte der Bodenfruchtbarkeit und der belebten Umwelt wird demnächst berichtet.

DANK

Wir danken allen Beteiligten für die wertvolle Arbeit bei der Versuchsdurchführung, den Analysen und Erhebungen im DOK-Versuch.

LITERATUR

- Anonym, 1977. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. *Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft* 2, 72, 33-49.
- 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.
- Hausheer J., Schaffner D., Keller L., Freyer B., Mullhauser G., Hilfiker J. und Zimmermann A., 1998. Ökologische und produktionstechnische Entwicklung landwirtschaftlicher Pilotbetriebe 1991 bis 1998. Schlussbericht der Nationalen Projektgruppe Öko-Pilotbetriebe. Druck: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT).
- Gaillard G., Crettaz P. und Hausheer J., 1997. Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs im Pflanzenbau. Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik 46,1-45.
- Walther U., Ryser J.P., Flisch R. und Siegenthaler A., 1987. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Landwirtschaftliche Beratungszentrale 8307 Lindau.
- Walther U., Menzi H., Ryser J.P., Flisch R., Jeangros B., Kessler W., Maillard A., Siegenthaler A. und Vuilloud P., 1994. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung* 1 (7), 3-40.

RÉSUMÉ

Essai-DOC: rendements et efficacité de l'énergie

Entre 1978 et 1998 nous avons comparé dans l'essai DOC à Therwil (Bâle-campagne), sur un luvisol sur loess, les systèmes d'exploitation

bio-dynamique, bio-organique et conventionnel. Dans les systèmes «bio», l'apport d'engrais (N, P, K) était de 50 % inférieur par rapport au système conventionnel. Après conversion aux systèmes «bio», les rendements en pommes de terre commercialisables ont fortement chuté. Pendant la première rotation des cultures d'une durée de sept ans, ils étaient tombés à 70 %, puis à 50 % par rapport au système conventionnel. La chute des rendements en blé et des prairies artificielles fut plus lente. Pendant la deuxième et la troisième rotation des cultures, les rendements en blé des systèmes «bio» ont atteint 80 % et 90 % du système conventionnel. Les rendements des prairies artificielles dans les systèmes «bio» sont restés au niveau de 90 % durant la seconde rotation des cultures. Ils ont baissé dans la troisième rotation à 75 % pour le système bio-organique et à 83 % pour le système bio-dynamique, toujours par rapport au système conventionnel. Dans les systèmes «bio», l'apport d'énergie directe et indirecte par tonne de rendement a été plus élevé que dans le système conventionnel pour la production de pommes de terres, mais plus faibles pour la production de blé et des prairies artificielles.

SUMMARY

DOC-trial: yields and energy use efficiency

Between 1978 and 1998 a bio-dynamic, a bio-organic and a conventional farming system were compared in the DOC-field-trial on a luvisol on Loess at Therwil, Switzerland. Nutrient input (N, P, K) in organic systems was about 50 % lower than in the conventional system. Yields of marketable potatoes showed the strongest reduction after conversion to organic farming. During the first 7-year crop rotation period potato yields decreased to 70 % and later on to 50 % of the yield of the conventional system. For wheat and clover-grass yield decrease in the organic systems was more slowly. In the second and third crop rotation the organic systems produced about 80 % respectively 90 % of the wheat yields of the conventional system. Clover-grass yields of organic systems remained at 90 % in the second period but decreased to 75 % in the organic and 83 % in the biodynamic system in the third crop rotation period. In organic systems direct and indirect energy use to produce one ton of crop was higher for potatoes, but lower for winterwheat and clover-grass than in the conventional system.

KEY WORDS: organic farming, long-term comparison, yields, efficiency