



0 0 0

Schriftenreihe der FAL 52 / Les cahiers de la FAL 52

# INTEGRIERTER UND BIOLOGISCHER ANBAU IM VERGLEICH – ANBAUSYSTEMVERSUCH BURGRAIN

Resultate aus 12 Jahren Forschung (1991–2002)



 **agroscope**

FAL RECKENHOLZ

Forschung für Landwirtschaft und Natur

### Impressum

ISSN	1421-4393 Schriftenreihe der FAL
ISBN	3-905608-73-1
Herausgeberin	Agroscope FAL Reckenholz Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich Tel. +41 (0)44 377 71 11, Fax +41 (0)44 377 72 01 info@fal.admin.ch, www.reckenholz.ch
Fachredaktion	Urs Zihlmann und David Dubois, Agroscope FAL Reckenholz Ruedi Tschachtli, Landw. Bildungs- und Beratungszentrum CH-6170 Schüpfheim
Redaktion	Gregor Klaus, CH-4467 Rothenfluh Denise Tschamper, Agroscope FAL Reckenholz
Gestaltung	Ursus Kaufmann, Agroscope FAL Reckenholz
Preis	CHF 30.00 / € 20.00; inkl. MWSt
Copyright	Agroscope FAL Reckenholz 2004

## Inhalt

Vorwort	3
Zusammenfassung und Ausblick	4
Résumé et perspectives	9
Summary and prospects	14
<b>Zur Geschichte des Anbausystemversuchs Burgrain</b>	<b>19</b>
Padruot M. Fried	
<b>Standort- und Versuchsbeschreibung</b>	<b>23</b>
Urs Zihlmann und Ruedi Tschachtli	
<b>Ertrag und Qualität der Ackerkulturen</b>	<b>28</b>
Ruedi Tschachtli, David Dubois und Padruot M. Fried	
<b>Ertragsstabilität der Ackerkulturen</b>	<b>34</b>
Ruedi Tschachtli, David Dubois und Urs Zihlmann	
<b>Ertrag und Qualität der Kunstwiesen</b>	<b>37</b>
David Dubois, Ruedi Tschachtli, Hansueli Briner und Lucie Gunst	
<b>Produzentenpreise entscheidend für ökonomischen Erfolg</b>	<b>42</b>
Ruedi Tschachtli, David Dubois und Helmut Ammann	
<b>Standort- und Kultureffekte prägen das Bodengefüge</b>	<b>48</b>
Urs Zihlmann, Ruedi Tschachtli und Peter Weisskopf	
<b>Das Auf und Ab der Regenwurmfauna</b>	<b>53</b>
Werner Jossi, Anna Valenta, Ruedi Tschachtli, Urs Zihlmann und David Dubois	
<b>Mikrobiologische Eigenschaften des Bodens</b>	<b>59</b>
Hans-Rudolf Oberholzer	
<b>Dynamik des mineralischen Bodenstickstoffs in Ackerkulturen</b>	<b>65</b>
Walter Richner, Ernst Brack, Ruedi Tschachtli und Ulrich Walther	
<b>Dynamik der Unkrautpopulationen</b>	<b>70</b>
Bernhard Streit, Caroline Scherrer und Ruedi Tschachtli	
<b>Einfluss der Bewirtschaftung auf die Nützlingsfauna</b>	<b>76</b>
Werner Jossi, Ruth Bruderer, Anna Valenta, Christian Schweizer, Caroline Scherrer, Siegfried Keller und David Dubois	
<b>Floristische und faunistische Aspekte vergraster Brachestreifen</b>	<b>82</b>
Lisa Eggenschwiler, Sibylle Studer, Werner Jossi und Katja Jacot	
<b>Energie- und Ökobilanzen über eine Fruchtfolge</b>	<b>86</b>
Thomas Nemecek, David Dubois und Lucie Gunst	

## Vorwort

Die schweizerische Landwirtschaft steht vor grossen Herausforderungen. Rund 60% der im Inland konsumierten Lebensmittel werden von nur noch 3% der Bevölkerung produziert. Ausserdem pflegen die Landwirte 40% der Landesfläche und halten damit wertvolle Kulturlandschaften offen. Diese Aktivitäten finden unter dem zunehmenden Druck einer immer stärker werdenden Liberalisierung der Agrarmärkte statt. Gleichzeitig stellt die Gesellschaft aber hohe Anforderungen an die landwirtschaftlichen Produktionsprozesse sowie an Qualität und Sicherheit der erzeugten Produkte.

Die Landwirtschaftspolitik und die Landwirtschaft haben auf diese neuen Anforderungen reagiert. Seit 1993 werden die Integrierte Produktion (IP) und der Biolandbau in der Schweiz grossflächig umgesetzt. Der Einsatz von chemischen Hilfsstoffen erfolgt gezielter und ist rückläufig. Fast die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz wird heute nach dem für Direktzahlungen erforderlichen ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) bewirtschaftet, ein Zehntel davon gemäss den Richtlinien des biologischen Landbaus. Wie steht es aber um die Ertrags- und Umweltleistungen dieser Bewirtschaftungsformen? Und wie kann die Extensivierung der Bewirtschaftung im Kontext einer nachhaltigen Landwirtschaft beurteilt werden?

Um solche Fragen beantworten zu können, haben die Eidgenössischen Forschungsanstalten Agroscope FAL Reckenholz und Agroscope FAT Tänikon und die land-

wirtschaftliche Beratung des Kantons Luzern in grosser Voraussicht bereits 1991 mit dem Projekt Burgrain einen Anbausystemvergleich gestartet. Die Untersuchung auf einem gemischtwirtschaftlichen Betrieb in der Zentralschweiz zeichnet sich vor allem durch die grossflächige praxisnahe Bewirtschaftung und die Betrachtung unterschiedlich intensiver Ackerbausysteme mit all ihren Wechsel- und Langzeitwirkungen aus. Dank der interdisziplinären Zusammenarbeit verschiedener Forschungsgruppen konnte ein erweitertes Verständnis der untersuchten Anbausysteme hinsichtlich Produktions- und Qualitätsaspekten sowie ausgewählten Umweltparametern erarbeitet werden. Der Anbausystemversuch Burgrain dient zudem als Demonstrations- und Ausbildungsobjekt für zahlreiche Besuchergruppen und Schüler und ist Plattform für den Wissensaustausch zwischen Beratung und angewandter Forschung. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle für ihre Unterstützung und die gute Zusammenarbeit ganz herzlich gedankt.

Die vorliegende Schriftenreihe fasst einen Grossteil der Forschungsergebnisse des Projekts Burgrain zusammen. Sie enthält zum Teil unerwartete, aber auch ermutigende Erkenntnisse und soll einen Beitrag zur weiteren Diskussion über die Nachhaltigkeit der Schweizer Landwirtschaft leisten – einerseits zur Anerkennung der erbrachten Leistungen, andererseits aber auch als Grundlage für zukünftige Optimierungsmassnahmen.

November 2004

Agroscope FAL Reckenholz  
Eidgenössische Forschungsanstalt  
für Agrarökologie und Landbau



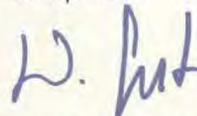
Paul Steffen, Direktor

Agroscope FAT Tänikon  
Eidgenössische Forschungsanstalt  
für Agrarwirtschaft und Landtechnik



Walter Meier, Direktor

Kanton Luzern  
Landwirtschaftliches Bildungs-  
und Beratungszentrum (LBBZ)  
Schüpfheim



Walter Gut, Direktor

## Zusammenfassung und Ausblick

Auf dem gemischtwirtschaftlichen Betrieb Burgrain des landwirtschaftlichen Bildungs- und Beratungszentrums LBBZ Schüpfheim in Alberswil bei Willisau (LU) haben die Eidgenössischen Forschungsanstalten Agroscope FAL Reckenholz und Agroscope FAT Tänikon zusammen mit der landwirtschaftlichen Beratung des Kantons Luzern 1991 einen praxisnahen Anbausystemversuch gestartet. Unter den Bedingungen der integrierten Produktion und des ökologischen Leistungsnachweises sollte die mehrjährige Machbarkeit eines extensiven Nährstoffeinsatzes und Pflanzenschutzes im Ackerbau auf 12 Parzellen überprüft sowie Ertrags-, Umwelt- und ökonomische Leistungen von drei unterschiedlich intensiven Anbausystemen quantifiziert werden. Dazu wurde jede Parzelle in drei Streifen zu je 0,65 Hektaren unterteilt. Dies erlaubte den direkten Vergleich der drei Anbausysteme *IPintensiv* (ein integriertes, eher intensives Anbausystem), *IPextensiv* (ein integriertes, eher extensives Anbausystem) sowie Bio (bis 1996 ein bioähnliches Low-Input-System; seit 1997 ein biologisches Anbausystem) im Rahmen zweier sechsjähriger Fruchtfolgen. Der Versuch wurde auch als wertvolles Lehr- und Demonstrations-Objekt genutzt.

**Tabelle 1. Stärke-/Schwächeprofil der drei Anbausysteme am Standort Burgrain**  
(ackerbaubetonte Fruchtfolge, Periode 1997 bis 2002)

Kriterium	Kultur/Parameter	<i>IPintensiv</i>	<i>IPextensiv</i>	Bio
Naturalertrag	Getreide	++(+)	++	+(+)
	Kartoffeln, Mais, Kunstwiesen*	+++	++(+)	++(+)
Qualität und Marktwarenanteil	Getreide	++(+)	++	++
	Kartoffeln	++	+(+)	+(+)
	Mais, Kunstwiesen	+++	+++	+++
Ertragsstabilität	Ackerkulturen	+++	++(+)	++
Deckungsbeitrag	Ackerkulturen	++	++	+++
Arbeitsaufwand	Ackerkulturen	++(+)	++	+(+)
	Kunstwiesen	+++	+++	+
Boden	Gefügequalität	++(+)	++(+)	++(+)
	Mikrobiologische Aktivität*	+++	+++	+++
Begleitflora	Vielfalt	++	++	++(+)
	Unkrautdruck	+++	++(+)	++
Fauna	Regenwurm-Biomasse*	++(+)	+++	+++
	Laufkäfervorkommen in Ackerkulturen	++	++	++(+)
Ökobilanzierung	Energieverbrauch und andere Umweltwirkungen* (flächen- u. produktbezogen)	++	+++	+++

+++ günstiger Wert    ++ mittlerer Wert    + ungünstiger Wert

\*Im Vergleich zu anderen Schweizer Ackerstandorten wurden am Standort Burgrain besonders günstige Werte ermittelt.

Die Ergebnisse der Ertrags- und Umwelleistungen der drei Anbausysteme sind in Tabelle 1 vergleichend dargestellt. Die Erhebung dieser Parameter erfolgte auf sechs Parzellen mit mittelschweren, tiefgründigen Böden innerhalb der Kulturabfolge Kartoffeln (Senf als Nachbegrünung) – Winterweizen (anschliessend überwinterndes Zwischenfutter) – Körnermais – Sommergerste – zweijährige Kunstwiese. Tendenziell zeichnete sich *IPintensiv* durch höhere Erträge und eine stabilere Qualität aus. Dank höheren Produzentenpreisen und Direktzahlungen des Bundes erzielte Bio aber bei allen vier Ackerkulturen die besten

Deckungsbeiträge. Die Produktionskosten in Bio waren ähnlich wie in *IPintensiv*. Bezüglich der Umweltwirkungen (z.B. Vorkommen und Artenzahlen der Regenwürmer und Laufkäfer) zeigten alle Anbausysteme günstige Werte, die aber in *IPextensiv* und Bio oft etwas besser lagen. Bei einigen Umweltparametern (z.B. bodenmikrobiologische Aktivität) wurden im Vergleich zu anderen Ackerstandorten in der Schweiz überdurchschnittlich hohe Werte gemessen. *IPextensiv* lag bei vielen Umweltparametern zwischen den beiden anderen Systemen oder nahe bei Bio. Die untersuchten Bodenparameter zeigten bis jetzt kaum Unterschiede zwischen den drei Anbausystemen.

### **Ertrags- und Qualitätsunterschiede**

Die Ertragseinbusse im Mittel aller Ackerkulturen (Periode 1997 bis 2002) betrug in *IPextensiv* gegenüber *IPintensiv* 14%, in Bio gegenüber *IPintensiv* 19%, wobei die Ertragsunterschiede mit zunehmender Versuchsdauer grösser wurden. Der unterschiedliche Schutz vor Pilzkrankheiten und Lagerung führte an diesem niederschlagsreichen Standort beim Getreide (v.a. bei Sommer- und Wintergerste) zu deutlichen Ertragsunterschieden von bis zu 30% zwischen den Anbausystemen. Die Verwendung krankheitsresistenter Getreidesorten (v.a. bei Winterweizen) trug dazu bei, dass die Ertragsunterschiede zwischen den Anbausystemen nicht noch grösser ausfielen. Trotz unterschiedlicher Anbauintensität zeigten sich keine nennenswerten Unterschiede im Eiweissgehalt der Getreidekörner. Hingegen war das Weizen- und vor allem das Gerste-Hektolitergewicht in *IPintensiv* fast immer höher als in *IPextensiv* und Bio. Bei Mais, Kartoffeln und Kunstwiese wurden nur geringe Ertrags- und kaum Qualitätsunterschiede zwischen den Anbausystemen festgestellt.

### **Bio-Anbau mit ökonomischen Vorteilen...**

Die ökonomischen Ergebnisse der einzelnen Anbausysteme wurden im Laufe des Versuchs zunehmend von den sinkenden IP-Produzentenpreisen sowie von den 1993 eingeführten Direktzahlungen des Bundes beeinflusst. In der Periode 1997 bis 2002 führten hohe Preise für Bio-Produkte dazu, dass der mittlere Deckungsbeitrag pro Hektare im Bio-Anbau im Mittel der Kulturen Kartoffeln, Winterweizen, Körnermais und Sommergerste um 3475 Franken höher als in *IPintensiv* und um 3617 Franken höher als in *IPextensiv* lag. Die ökonomischen Vorteile des Bio-Ackerbaus auf Burgrain kommen – bei nur mässig tieferen Erträgen als im IP-Anbau – vor allem durch höhere Produzentenpreise und Direktzahlungen zustande. Dank geringerer Produktionskosten sowie Extensio-Beiträgen und Label-Preisboni für die extensive Produktion erzielte *IPextensiv* einen ähnlichen Deckungsbeitrag wie *IPintensiv*. Einzig beim Winterweizen mit IP-Suisse-Label wurde ein höherer Deckungsbeitrag als in *IPintensiv* erzielt.

### **...aber mit grösserem Arbeitsaufwand**

Den günstigen ökonomischen Ergebnissen des Bio-Ackerbaus stehen auf einem gemischt-wirtschaftlichen Betrieb zusätzliche Arbeiten und strengere Vorschriften (z.B. Tierhaltung, Futtermittelzukauf) gegenüber. Bezogen auf alle vier Ackerkulturen verursachte der biologische Anbau 11% mehr Arbeit als *IPintensiv*. Gleichzeitig mussten 44 Stunden pro Hektare und Jahr für das Stechen von Blacken in den Bio-Kunstwiesen aufgewendet werden. Diese Mehrarbeit führt zusammen mit dem hohen Tierbesatz in Verbindung mit Nährstoffimport (v.a. in Form von Futtermitteln) und den strengeren Produktionsanforderungen in der Tierhaltung dazu, dass viele Betriebsleiter in der Region auf eine Umstellung auf den biologischen Landbau verzichten – trotz der gegenwärtig sehr guten Preise für Bio-Ackerprodukte.

## Geringe Unterschiede bei der Bodenqualität

Die Gefügequalität und die mikrobiologischen Parameter des Bodens waren stark abhängig von der Bodenzusammensetzung der Parzellen, der Art der angebauten Kultur und dem Bodenzustand zum Zeitpunkt der Bearbeitung. Wegen ähnlicher Bearbeitungsintensität und Hofdüngergaben in allen Anbausystemen blieben die Unterschiede in der Bodenqualität aber gering. Generell wurden auf Burgrain sehr hohe bodenmikrobiologische Kennwerte gemessen. Die Reduktion der Hofdüngergaben im Vergleich zur Bewirtschaftung vor Versuchsbeginn führte im Laufe des Versuchs zu einer Verringerung der bodenmikrobiologischen Atmung.

## Mehr Nützlinge bei extensivem Anbau

In *IPintensiv* wurde zu Beginn des Versuchs eine geringere Regenwurm-Besiedelung festgestellt. Mit dem Verzicht auf ältere, regenwurmtoxische Pestizide in *IPintensiv* konnte eine deutliche Verbesserung erreicht werden. Trotzdem lag die gesamte mittlere Regenwurm-Biomasse auch in der Periode 1997 bis 2002 in Bio 13% und in *IPextensiv* 12% über jener von *IPintensiv*. Die im Oberboden lebenden Regenwurmart und der tiefe Gänge grabende Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) scheinen von der stärkeren Verunkrautung in den Bio- und *IPextensiv*-Parzellen und dem dadurch besseren Futterangebot im Vergleich zu *IPintensiv* zu profitieren. Während der vierjährigen Ackernutzung nahm die Regenwurm-Population in allen Anbausystemen – vermutlich als Folge des Pflügens – jeweils um mehr als die Hälfte ab, worauf sie sich in der zweijährigen Kunstwiese wieder bis zum Höchstwert von durchschnittlich 340 Würmern pro Quadratmeter erhöhte.

Auch die Laufkäfer, Kurzflügler und Spinnen, unter denen sich viele Nützlingsarten befinden, wiesen in den *IPextensiv*- und Bio-Ackerflächen meistens höhere Aktivitätsdichten auf als in den *IPintensiv*-Parzellen. Durch die Anlage von Buntbrachen konnte die Artenzahl bei den Laufkäfern zusätzlich etwas erhöht werden. So lebten beispielsweise 12 der 53 vorkommenden Arten vor allem in den Buntbrachen. Allerdings vergrasteten diese Streifen auf den nährstoffreichen Böden des Betriebs Burgrain innerhalb kurzer Zeit. In den dichten Kulturbeständen und Buntbrachen wurden keine Arten der Roten Liste festgestellt.

## Extensiver Anbau mit guter Ökobilanz

Die Energie- und Ökobilanz über die gesamte Fruchtfolge wurde nur wenig vom (verhältnismäßig geringen) Einsatz von Mineraldüngern und Pestiziden beeinflusst. Für die Umwelt relevant waren dagegen die Hofdüngerausbringung, die Bodenbearbeitung und der Maschineneinsatz. Da diese Faktoren bei den drei Anbausystemen ähnlich waren, fielen die Unterschiede in der Ökobilanzierung nur geringfügig aus. Zudem führten die fruchtbaren Böden auf Burgrain dazu, dass der Ressourceneinsatz (z.B. kein Gebrauch von phosphor- und kaliumhaltigen Mineraldüngern) gegenüber andern Standorten relativ niedrig blieb. Der extensive Hilfsstoffeinsatz in *IPextensiv* und Bio brachte bei den meisten Umweltwirkungen Vorteile. Sowohl bei flächen- (pro Hektare) als auch bei produktbezogener (pro Kilogramm geernteter Trockensubstanz) Ökobilanzierung lag das Optimum je nach betrachteter Umweltwirkung bei *IPextensiv* oder bei Bio. Pro Kilogramm produzierte Erntetrockensubstanz war der Verbrauch an fossilen Energiequellen für Anbau und Ernte (inkl. Bereitstellung von Hilfsstoffen und Maschinen) im biologischen Anbau am geringsten. Vor allem mit einer reduzierten Bodenbearbeitung und einer Verringerung des Hofdüngereinsatzes könnten am Standort Burgrain einige der Umweltbelastungen weiter verringert werden.

## Fruchtbare Böden dämpfen den Einfluss der Düngung

Der Jahresniederschlag von etwa 1100 mm, die eher intensive Hofdüngerwirtschaft vor Versuchsbeginn und die fruchtbaren Burgrain-Böden prägten den Versuch in vielerlei Hinsicht. Wegen des grossen Stickstoffmineralisierungs-Potenzials der Böden und der verlustarmen Hofdüngerausbringung wirkten sich die Unterschiede bei der Düngerform (Mist, Gülle, Stickstoff-Mineraldünger) und der zugeführten Stickstoffmenge (IP*extensiv*-Ackerkulturen 74% und Bio-Ackerbau 61% von IP*intensiv*) nur wenig auf die Ertragshöhe bei den Ackerkulturen und Kunstwiesen aus. In den zu Vergleichszwecken ungedüngten Teilflächen auf Burgrain wurden in den Ackerkulturen Ertragseinbussen von 10 (Winterweizen) bis 30% (Kartoffeln) je nach Kultur und Parzelle gemessen.

## Auswirkungen eines extensivierten Pflanzenschutzes

Pro Ackerkultur wurden im Mittel in IP*intensiv* 3,3, in IP*extensiv* 1,2 und in Bio 0,6 Einsätze mit Pflanzenschutzmitteln durchgeführt. Trotz effizienter Geräte und Erfahrung des Betriebsleiters führte die in den IP*extensiv*-Parzellen zeitweilige und im Bio-Anbau ausschliessliche mechanische Unkrautregulierung zu einem stärkeren Unkrautbesatz, einem grösseren Unkraut-Samenvorrat im Boden und einer höheren Artenvielfalt im Vergleich zu den konsequent herbizidbehandelten IP*intensiv*-Flächen. Unkrautbedingte Ertragseinbussen in den Bio-Parzellen gab es aber kaum; mit der Zunahme von Problemarten wie der Gemeinen Quecke könnte sich diese Situation allerdings verschärfen. Mittels Direktsaat der Bio-Kunstwiesen konnte das Problem mit neu keimenden Blacken in diesen Ansaaten deutlich entschärft und dadurch der Arbeitsaufwand für das Stechen der Blacken verringert werden.

Trotz teilweisem oder gänzlichem Herbizidverzicht in IP*extensiv* oder Bio wurden keine seltenen Arten der Ackerbegleitflora festgestellt. Zum einen verhindern die nährstoffreichen Böden und die dichten Pflanzenbestände, dass sich seltene Ackerunkräuter etablieren konnten. Zum anderen waren solche Unkräuter zu Versuchsbeginn in den Parzellen oder in der näheren Umgebung kaum vorhanden.

## Wichtiges «Bodengespür» des Bewirtschafters

Die Kunstwiesen zeigten als angesäte Mischkultur mit stickstofffixierenden Kleearten und minimalem Pflanzenschutzbedarf wie erwartet geringe Ertrags- und Qualitätsunterschiede zwischen den Anbausystemen. Bei der Trockensubstanz-Produktion über die gesamte Fruchtfolge wirkten sie deshalb ausgleichend zwischen den Anbausystemen. Auch beim Bodengefüge ergab sich eine ausgleichende Wirkung – allerdings nicht nur im positiven Sinn. Die oberste Bodenschicht unter der Kunstwiese wies als Folge der intensiven Befahrung durchwegs ein dichtes Gefüge auf – dies trotz der starken Zunahme des Regenwurm-besatzes auf bis zu 340 Würmer pro Quadratmeter während der zweijährigen Kunstwiese. Unabhängig vom Anbausystem hatte das Fingerspitzengefühl des Betriebsleiters im Umgang mit dem Boden (z.B. Abschätzung der Bodenfeuchte vor Bearbeitungseingriffen, bodendruckmindernde Ausrüstung der Maschinen) einen grossen Einfluss auf die Qualität des Bodengefüges.

## Ausblick

Der Anbausystemversuch Burgrain, der bisher wertvolle Forschungsergebnisse im Bereich nachhaltige Landwirtschaft geliefert hat, wird in leicht geänderter Form weitergeführt. In der neuen Fruchtfolge ab 2003 werden Mais – Winterweizen – Raps – Wintergerste – zweijährige Kunstwiese angebaut. Die zwei Anbausysteme IP*intensiv* und Bio werden wie bisher

mehrheitlich mit Pflugbewirtschaftung (Onland) und ähnlicher Anbauintensität weitergeführt und miteinander verglichen und dienen der angewandten Forschung und Ausbildung. Diese Weiterführung erlaubt es, mögliche Langzeiteffekte – beispielsweise im Bereich Boden oder Unkraut – zu ermitteln und bei negativen Veränderungen Gegenstrategien zu entwickeln und zu testen.

In den IP*extensiv*-Teilflächen startete 2003 eine Weiterentwicklung des bisherigen Anbausystems in Richtung extensivem, bodenschonendem Ackerbau. Bei der schrittweisen Umstellung auf mehrheitlich pfluglose Bewirtschaftung (Mulchsaat) in den IP*extensiv*-Teilflächen interessieren vor allem die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit und auf verschiedene Umweltparameter (inkl. Ökobilanz).

## Fazit

Der Anbausystemversuch Burgrain hat gezeigt, dass unter Beachtung pflanzenbaulicher Grundsätze eine Qualitätsproduktion auch bei extensivem oder biologischem Ackerbau möglich ist. Einige Umweltparameter werden dadurch sogar positiv beeinflusst (Tab. 1). Allerdings müssen folgende Elemente berücksichtigt werden:

- geeignete Standortverhältnisse (Klima, Boden, Hangneigung)
- gut ausgebildetes Bewirtschaftungspersonal
- optimales Zusammenwirken von Tierhaltung und Pflanzenproduktion (angepasster Viehbesatz bzw. Hofdüngeranfall, Kunstwiesen in der Fruchtfolge)
- Einhaltung einer optimalen, standortangepassten Fruchtfolge
- schonendes Befahren und Bearbeiten des Bodens
- Einsatz resistenter oder toleranter Sorten in Bezug auf Krankheiten und Schädlinge
- Vermeidung extremer Früh- oder Spätsaaten
- standort- und pflanzenangepasste Düngung sowie verlustarme Ausbringung der Hof- und Mineraldünger
- Verwendung ökotoxikologisch unbedenklicher Pflanzenschutzmittel
- nicht zu dichte, standfeste Getreidebestände

Ein Grossteil dieser Elemente war auf dem gemischtwirtschaftlichen Betrieb Burgrain in allen Anbausystemen gegeben. Im Sinn einer nachhaltigen Pflanzenproduktion sind diese und ähnliche Massnahmen auch in Zukunft als Grundpfeiler in allen Anbausystemen konsequent anzuwenden. Die diesbezüglichen Bemühungen der landwirtschaftlichen Praxis sollten durch Forschung, Beratung, Agrarpolitik und Konsumentenschaft unterstützt und gefördert werden.

## Résumé et perspectives

Les stations fédérales de recherche Agroscope FAL Reckenholz et Agroscope FAT Tänikon, associées au service de vulgarisation agricole du canton de Lucerne, ont mis en place à partir de 1991 un essai comparatif de systèmes de production sur l'exploitation mixte de Burgrain – appartenant au centre de formation et de vulgarisation agricole (LBBZ) de Schöpfheim – à Alberswil près de Willisau (LU). Le but était de suivre la faisabilité d'une fumure et d'une protection phytosanitaire extensives, conformes aux conditions de la production intégrée et aux prestations écologiques requises, sur douze parcelles de grandes cultures. Il s'agissait d'autre part de quantifier les performances de productivité, environnementales et économiques, de trois systèmes de production d'intensité différentes. Chaque parcelle a été subdivisée en trois bandes de 0,65 hectare chacune, ceci afin de permettre, sur deux cycles de rotation complets de six ans, une comparaison directe des trois modes d'exploitation: *Plintensif* (mode d'exploitation en production intégrée [PI] plutôt intensive), *Plextensif* (mode d'exploitation en production intégrée plutôt extensive) et bio (jusqu'en 1996 sous la forme d'un système de low input similaire au bio et, depuis 1997, production

**Tableau 1. Profil des forces/faiblesses des trois systèmes de production sur le site de Burgrain**  
(rotation des cultures orientée grandes cultures, période de 1997 à 2002)

Critère	Culture/Paramètre	<i>Plintensif</i>	<i>Plextensif</i>	Bio
Rendement brut	Céréales	++(+)	++	+(+)
	Pommes de terre, Maïs, Prairie artificielle*	+++	++(+)	++(+)
Qualité et proportion de marchandise commercialisable	Céréales	++(+)	++	++
	Pommes de terre Maïs, Prairies artificielles	++	+(+)	+(+)
Stabilité du rendement	Grandes cultures	+++	+++	+++
	Grandes cultures	+++	++(+)	++
Marge brute	Grandes cultures	++	++	+++
Charge de travail	Grandes cultures	++(+)	++	+(+)
	Prairie artificielle	+++	+++	+
Sols	Qualité structurale	++(+)	++(+)	++(+)
	Activité microbiologique*	+++	+++	+++
Flore compagne	Diversité	++	++	++(+)
	Pression de mauvaises herbes	+++	++(+)	++
Faune	Biomasse de vers de terre*	++(+)	+++	+++
	Présence de carabes dans les grandes cultures	++	++	++(+)
Ecobilan	Consommation d'énergie et autres impacts environnementaux* (rapportés à la surface et au produit)	++	+++	+++

+++ valeur favorable      ++ valeur moyenne      + valeur défavorable

\*Par comparaison avec d'autres régions de grandes cultures de Suisse, les valeurs relevées au Burgrain sont particulièrement favorables.

bio conforme). L'essai s'est aussi révélé précieux comme objet de démonstration et d'enseignement.

Les résultats comparés de la productivité et des performances environnementales des trois systèmes de production sont présentés dans le tableau 1. Le relevé de ces paramètres a été effectué sur six parcelles de sol mi-lourd et profond avec la rotation suivante: pommes de terre (suivie d'un engrais vert moutarde) – blé d'automne (suivi d'une culture dérobée hivernante) – maïs grain – orge de printemps – deux ans de prairie artificielle. *Plintensif*

se distingue par une tendance à des rendements supérieurs et à une qualité plus régulière. Grâce à des prix de vente plus élevés et aux paiements directs de la confédération, les meilleures marges brutes pour les quatre cultures sont obtenues par le bio. Les coûts de production du bio se sont révélés comparables à ceux de la variante *Plintensif*. En ce qui concerne les incidences sur l'environnement (p. ex. présence et diversité des espèces des vers de terre et des carabes), les valeurs étaient favorables dans tous les systèmes, avec toutefois une situation souvent un peu meilleure dans le bio ou la *Plintensif*. Pour certains paramètres environnementaux (p. ex. activité microbiologique du sol), on a pu mesurer des valeurs largement supérieures à la moyenne suisse. *Plintensif* s'est souvent retrouvé soit à mi-chemin entre les deux autres modes de production soit très proche du bio quant aux paramètres environnementaux. Pour l'instant, les paramètres du sol examinés n'ont mis en évidence pratiquement aucune différence entre les trois systèmes.

### Différences de rendement et de qualité

Sur la moyenne de toutes les cultures (période de 1997 à 2002), les pertes de rendement se sont chiffrées comme suit: 14% pour *Plintensif* par rapport à *Plintensif*, 19% pour le bio par rapport à *Plintensif*. A noter que les écarts de rendement ont augmenté avec la durée de l'essai. Dans cette région aux fortes précipitations, les différentes formes de lutte contre les maladies fongiques ont entraîné pour les céréales (surtout orge d'automne ou de printemps) des différences de rendement entre les systèmes de production pouvant atteindre 30%. L'utilisation de variétés de céréales résistantes aux maladies (principalement pour le blé d'automne) a permis de les minimiser. Les différentes intensités de production n'ont pas eu de répercussion significative sur le niveau des teneurs en protéines des céréales. En revanche, le poids à l'hectolitre du blé et surtout de l'orge a pratiquement toujours été plus élevé pour *Plintensif* que pour *Plintensif* ou bio. Pour le maïs, les pommes de terre et les prairies artificielles, les différences de rendement et de qualité sont demeurées minimales entre les différents systèmes de production.

### Avantages économiques pour la culture bio...

Les résultats économiques des différents systèmes de production ont été influencés par la baisse des prix de produits PI ainsi que par les paiements directs introduits dès 1993, en cours d'essai, par la confédération. Pour la période 1997 à 2002, les prix plus élevés des produits bio ont fait que, pour la moyenne des cultures de pommes de terre, blé d'automne, maïs grain et orge de printemps, la marge brute s'est révélée pour le bio supérieure de 3474 francs à celle de la variante *Plintensif*, et de 3617 francs à celle de la variante *Plintensif*. Avec des rendements qui n'ont été que légèrement inférieurs à ceux des cultures PI, la culture biologique bénéficie d'avantages économiques qui s'expliquent essentiellement par des prix et des paiements directs plus élevés. Grâce à des coûts de production plus faibles, aux primes extenso et aux bonus des labels pour la production extensive, *Plintensif* a dégagé des marges brutes comparables à *Plintensif*. Il n'y a que pour le blé d'automne avec label PI-Suisse que *Plintensif* a dégagé une marge brute supérieure.

### ...mais au prix d'un surcroît de travail

Les résultats économiques favorables des cultures bio sont contrebalancés par la charge de travail supplémentaire qu'elles entraînent ainsi que par des prescriptions plus rigoureuses (p. ex. production animale, achat de fourrage) sur une exploitation mixte. Sur la moyenne des quatre grandes cultures, la production biologique a engendré un surcroît de travail de 11% par rapport à *Plintensif*. Il a fallu en outre y ajouter 44 heures par hectare et par année pour arracher les rumex dans les prairies artificielles bio. Associée à la densité de bétail

élevée et aux importations de nutriments qu'elle implique (essentiellement sous forme de fourrage) ainsi qu'aux prescriptions plus rigoureuses pour la production du bétail, cette charge de travail supplémentaire explique que, malgré les très bons prix offerts actuellement pour les produits des cultures bio, nombre d'exploitants de la région renoncent à passer à la production biologique.

### Peu de différence pour la qualité du sol

La qualité structurale et les paramètres microbiologiques du sol sont apparus très fortement dépendants de la composition des sols des différentes parcelles, du type de culture et de l'état du sol au moment de le travailler. Du fait des similitudes au niveau de l'intensité de travail du sol et des apports d'engrais de ferme dans tous les systèmes de production, les différences de qualité du sol sont restées faibles. D'une façon générale, on a pu mesurer à Burgrain des valeurs d'activité microbiologique du sol très élevées. La réduction des apports en engrais de ferme par rapport à ce qu'ils étaient avant la mise en place de l'essai a engendré au fil des ans une réduction de l'activité respiratoire microbiologique des sols.

### Plus d'auxiliaires en production extensive

On a pu constater au début de l'essai une densité de vers de terre plus faible pour *Plintensif*. Le fait de renoncer aux anciens pesticides, toxiques pour les vers de terre, a permis d'observer une nette amélioration dans la variante *Plintensif*. Néanmoins, la biomasse moyenne totale des vers de terre du système *Plintensif* est restée pour la période 1997 à 2002 13% inférieure à celle du bio et 12% inférieure à celle de la *Plextensif*. Les variétés de vers de terre qui vivent dans les couches superficielles du sol et les vers de terre qui creusent de profondes galeries (*Lumbricus terrestris*) semblent profiter de la plus forte densité de mauvaises herbes présentes dans les cultures bio et *Plextensif* et de l'apport nutritif supérieur qu'elles représentent par rapport au système *Plintensif*. Dans tous les systèmes de production, la population de vers de terre a diminué de plus de la moitié durant les quatre années de grandes cultures – ceci vraisemblablement une conséquence du labour – avant de revenir à sa valeur moyenne maximale de 340 vers par mètre carré au bout des deux ans de prairie artificielle.

Les carabes, staphilinidés et araignées, parmi lesquels on retrouve de nombreux auxiliaires précieux, ont présenté des densités d'activité importantes dans les systèmes bio ou *Plextensif*, plus faibles dans les parcelles *Plintensif*. La mise en place de jachères florales a permis d'augmenter le nombre de variétés des carabes. Ainsi par exemple, 12 des 53 espèces recensées vivaient essentiellement dans les jachères florales. A relever toutefois que, sur les sols riches en éléments nutritifs du Burgrain, ces bandes se sont rapidement transformées en herbe. Aucune espèce de la liste rouge n'a été repérée dans les parcelles cultivées ou les jachères florales.

### Ecobilan favorable pour la production extensive

Le bilan d'énergie et de substance sur l'ensemble de la rotation n'a été que peu influencé par le recours (en proportion faible) aux engrais minéraux et aux pesticides. En revanche, les apports d'engrais de ferme, le travail du sol et l'emploi des machines se sont révélés significatifs pour l'environnement. Du fait que ces facteurs sont similaires pour les trois systèmes de production, les différences sont très faibles au niveau des écobilans. De plus, les sols fertiles du Burgrain ont fait que les ressources employées (p. ex. aucune utilisation d'engrais minéraux contenant du phosphore ou du potassium) sont restées relativement faibles par rapport à d'autres régions. Le recours très limité aux agents de production pour les variantes bio ou *Plextensif* représente ainsi le principal avantage écologique. Que l'on

fasse l'écobilan en rapport avec la surface (par hectare) ou le produit (par kg de matière sèche récoltée), l'optimum se situe dans le bio ou la *Plextensif*, selon le paramètre de performance environnementale considéré. Par kilogramme de matière sèche récoltée, c'est en production bio que l'utilisation de sources d'énergie fossile pour la culture et la récolte (y compris la préparation des agents de culture et des machines) est la plus faible. Les caractéristiques du site de Burgrain permettraient de réduire encore l'impact environnemental par un travail du sol réduit et une réduction des apports d'engrais de ferme.

### Des sols fertiles atténuent l'effet de la fumure

Les précipitations annuelles de 1100 mm environ, les apports d'engrais de ferme plutôt intensifs avant la mise en place de l'essai et les sols fertiles du Burgrain ont influencé l'essai à plusieurs titres. Du fait du potentiel élevé de minéralisation de l'azote des sols et des apports d'engrais de ferme qui n'engendrent que peu de pertes, les différences de forme de fumure (fumier, lisier, engrais azotés) et les quantités d'azote apportées (grandes cultures *Plextensif* 74%, et grandes cultures bio 61% des apports *Plintensif*) n'ont entraîné que peu de répercussions sur le rendement des grandes cultures et des prairies artificielles. Des parties de parcelles du Burgrain n'ont reçu aucune fumure, afin de servir de bases de comparaison. On y a observé des pertes de rendement entre 10% (blé d'automne) et 30% (pommes de terre) selon la culture et les parcelles.

### Incidences d'une protection phytosanitaire extensifiée

La moyenne des traitements phytosanitaires par culture s'est élevée à 3,3 pour *Plintensif*, 1,2 pour *Plextensif* et 0,6 pour la production bio. Malgré le recours à des engins plus efficaces et malgré l'expérience du chef d'exploitation, le fait d'utiliser partiellement (pour *Plextensif*) ou exclusivement (pour la production bio) des moyens mécaniques pour lutter contre les adventices a engendré la constitution d'un stock semencier de mauvaises herbes dans les sols ainsi qu'une plus grande diversité des espèces que dans le système *Plintensif*, dans lequel on pouvait appliquer des traitements herbicides de façon conséquente. On n'a toutefois pratiquement pas observé de pertes de rendement dues aux adventices dans le mode de production bio; la situation pourrait toutefois devenir plus critique avec le temps, notamment à cause de l'augmentation des espèces problématiques comme le chiendent. Grâce au semis direct des prairies artificielles bio, la problématique des nouveaux rumex germant dans ce type de semis a été nettement atténuée, de même que le travail subséquent d'arrachage.

Malgré la suppression partielle ou totale des herbicides pour *Plextensif* ou bio, on n'a pas pu observer l'apparition d'espèces rares de la flore adventice. La teneur en éléments fertilisants des sols et la densité des populations végétales cultivées ont empêché que des espèces rares puissent s'établir et, d'autre part, de telles espèces n'étaient guère présentes dans les parcelles ou leurs environs au moment du début de l'essai.

### Importance du «doigté sol» de l'exploitant

Comme on pouvait s'y attendre, les prairies artificielles semées avec des variétés de trèfle fixant bien l'azote et nécessitant un minimum d'interventions phytosanitaires n'ont présenté que des différences de rendement minimales entre les trois systèmes de production. Au plan de la production de matière sèche sur l'entier de la rotation, les prairies artificielles ont donc eu un effet régulateur entre les différentes variantes. Sur la structure du sol également, on a observé un effet égalisateur – mais pas forcément dans le sens positif. La couche supérieure du sol sous les prairies artificielles présentait systématiquement une structure très compactée du fait des passages multiples – et ceci malgré la forte augmentation de la popula-

tion de vers de terre, jusqu'à 340 vers par mètre carré au fil des deux ans en prairie artificielle. Indépendamment du système de production, la sensibilité de l'exploitant dans la manière de traiter son sol (p. ex. estimation du taux d'humidité avant certaines interventions, équipement des machines permettant de réduire la pression au sol) a exercé une influence majeure sur la qualité structurale du sol.

## Perspectives

Après avoir fourni de précieux résultats de recherche en matière d'agriculture durable, l'essai comparatif de systèmes de production de Burgrain va être poursuivi sous une forme légèrement modifiée. La nouvelle rotation des cultures mise en place depuis 2003 se présente comme suit: maïs – blé d'automne – colza – orge d'automne – deux ans de prairie artificielle. Les deux modes de production *Plintensif* et bio continueront d'être travaillés comme jusque-là principalement à la charrue (onland) et avec une intensité de culture similaire afin d'être comparés entre eux et de servir à la recherche et à la formation appliquées. La poursuite de ces deux variantes permettra également de mettre en évidence d'éventuels effets à long terme – par exemple dans le domaine du sol ou des adventices – ainsi que de développer et de tester des stratégies de lutte en cas d'évolution négative.

Sur les surfaces *Plexensif* en revanche, et ce à partir de 2003, on a fait évoluer le système de production appliqué jusqu'alors, lui donnant une orientation plus extensive et ménageant davantage le sol. Ceci permettra d'évaluer les répercussions sur la rentabilité et sur divers paramètres environnementaux (écobilan compris) d'une transition progressive vers un mode d'exploitation essentiellement sans labour (semis sous litière) sur les parcelles *Plexensif*.

## Conclusion

L'essai comparatif de systèmes de production de Burgrain a démontré qu'il est aussi possible d'obtenir une production de qualité en production extensive ou biologique, ceci pour autant que l'on respecte certains principes de gestion des cultures. Quelques paramètres environnementaux seront même influencés positivement par de telles approches (tableau 1). Il faut en outre prendre les éléments suivants en considération:

- Conditions locales appropriées (climat, sol, pente)
- Qualification suffisante du personnel d'exploitation
- Combinaison optimale entre production animale et végétale (densité de bétail et production d'engrais de ferme adaptées, prairies artificielles dans la rotation des cultures)
- Maintien d'une rotation des cultures optimale, adaptée aux conditions locales
- Passage d'engins et travail du sol ménageant du sol
- Recours à des variétés résistantes ou tolérantes aux maladies et aux ravageurs
- Renoncement aux semis excessivement précoces ou tardifs
- Fumure adaptée aux conditions locales et aux cultures, assurant des apports d'engrais de ferme ou minéraux avec un minimum de pertes
- Utilisation de produits phytosanitaires irréprochables d'un point de vue écotoxicologique
- Cultures de céréales pas trop denses, résistantes à la verse.

Une grande partie de ces éléments étaient réunis dans tous les systèmes de culture des essais conduits sur le domaine de l'exploitation mixte de Burgrain. Dans l'optique d'une production végétale durable, il faudra à l'avenir continuer à considérer ces mesures ainsi que d'autres mesures analogues comme des exigences de base à respecter impérativement dans tous les systèmes de production. Les efforts accomplis dans ce sens par les exploitations agricoles méritent absolument d'être soutenus et encouragés par la recherche, la vulgarisation, la politique agricole et les consommateurs.

## Summary and prospects

The Swiss Federal Research Stations Agroscope FAL Reckenholz and Agroscope FAT Tännikon, in cooperation with the Agricultural Extension Service of the Canton of Lucerne, launched in 1991 a farming system comparison on the Burgrain experimental farm of the Schüpffheim Agricultural Training and Extension Service (LBBZ) at Alberswil near Willisau (LU). The aim was to investigate the long-term feasibility of farming systems characterised by extensive nutrient input and extensive plant protection, thereby complying with the requirements of integrated production and the «ökologischer Leistungsnachweis» programme (direct payment programme linked to a proof of ecological performance). The trial was conducted on 12 arable plots. It quantified the yield, as well as the environmental and economic performance of three farming systems of different degrees of intensity. Each plot was divided into three strips of 0.65 hectares each. This permitted a direct comparison of the following three farming systems within two six-year crop rotations: *IPintensiv* (an integrated, more intensive farming system), *IPextensiv* (an integrated, more extensive farming system) and Bio (until 1996, a low-input system similar to organic; since 1997, an organic farming system). The experiment also served for teaching and demonstration purposes.

**Table 1. Strength/weakness profile for the three farming systems at the Burgrain site (period 1997 – 2002)**

Criterion	Crop/Parameter	<i>IPintensiv</i>	<i>IPextensiv</i>	Bio
Crop yields	Cereals	++(+)	++	+(+)
	Potatoes, maize, temporary ley*	+++	++(+)	++(+)
Quality and share of cash crops	Cereals	++(+)	++	++
	Potatoes	++	+(+)	+(+)
	Maize, temporary ley	+++	+++	+++
Stability of yield	Arable crops	+++	++(+)	++
Gross margin	Arable crops	++	++	+++
Labour input	Arable crops	++(+)	++	+(+)
	Temporary ley	+++	+++	+
Soil	Texture quality	++(+)	++(+)	++(+)
	Microbiological activity*	+++	+++	+++
Weeds	Diversity	++	++	++(+)
	Weed density	+++	++(+)	++
Fauna	Earthworm biomass*	++(+)	+++	+++
	Presence of ground beetles in arable crops	++	++	++(+)
Life cycle assessment	Energy consumption and other environmental impacts* (by area and product)	++	+++	+++

+++ Favourable value    ++ Average value    + Unfavourable value

\*Values determined at the Burgrain site were particularly favourable compared to other farming areas of Switzerland.

Table 1 shows a comparison of the yields and environmental impacts of the three farming systems. These parameters were recorded on six plots with loamy soils in the following crop rotation: potatoes (followed by white mustard as cover crop) – winter wheat (followed by overwintering clover grass) – grain maize – spring barley and two years of temporary ley. *IPintensiv* tended to be characterised by higher yields and more stable quality. However, due to higher product prices and direct payments by the Federal government, Bio achieved the best gross margins for all four arable crops. Production costs were similar for Bio and for

*IPintensiv*. In terms of environmental impact (e.g. population and species counts of earthworms and ground beetles), all the farming systems produced favourable values, though *IPextensiv* and Bio often achieved somewhat better results. Higher than average values were measured for some environmental parameters (e.g. soil microbiological activity) in comparison to other farming areas in Switzerland. *IPextensiv* lay between the other two systems or closer to Bio for several environmental parameters. The soil parameters investigated have to date shown scarcely any differences between the three farming systems.

### **Yield and quality differences**

For the period from 1997 to 2002 average yields for all arable crops were 14% lower for *IPextensiv* compared to *IPintensiv* and 19% lower for Bio compared to *IPintensiv*, with yield differences increasing as the trial continued. In this region of heavy precipitation, differences in protection from fungal infections and lodging caused significant differences in yield in the case of cereal (in particular in spring and winter barley) of up to 30% between the farming systems. Use of disease-resistant cereal varieties (in particular in the case of winter wheat) helped to prevent even greater differences in yield occurring between the farming systems. Despite the differences in cultivation intensity there were no appreciable differences in grain protein content. On the other hand, the hectolitre weight of wheat and especially barley was almost always higher for *IPintensiv* than for *IPextensiv* and Bio. With maize, potatoes and temporary ley, only slight variations in yield and very few in quality were observed between the farming systems.

### **Organic farming with economic advantages...**

The economic results for the individual farming systems were increasingly influenced in the course of the trial by falling prices for IP products and the direct payments introduced in 1993. Over the 1997 – 2002 period, high prices for organic products led to the average gross margin per hectare in organic farming being CHF 3475 higher than with *IPintensiv* and CHF 3617 higher than with *IPextensiv* for an average of potatoes, winter wheat, maize and spring barley. The economic advantages of organic farming at the Burgrain site, with only moderately lower yields than from IP farming, are essentially due to higher product prices and direct payments. Due to lower production costs, contributions and label price premiums for extensive production, *IPextensiv* achieved a similar gross margin to *IPintensiv*. Only in the case of winter wheat with an IP-Suisse label, a higher gross margin was attained than with *IPintensiv*.

### **...but with a higher labour input**

The good economic results of organic farming on a farm with different branches of production have to be set against the extra work and stricter regulations (e.g. restrictions for animal keeping and buying in feed). With respect to all four arable crops, organic farming gave rise to 11% more work than *IPintensiv*. At the same time, 44 hours per hectare per year had to be spent on removing broad-leaved dock by hand in the organic temporary ley. This extra work, combined with the high stocking rates in conjunction with imported nutrients (in particular in the form of fodder) and the stricter production regulations applying to animal keeping, has the effect of dissuading many farm managers in the region from converting IP into organic farming, despite the very good prices currently obtainable for organic products.

## Minor differences in soil quality

The quality of soil structure and microbiological parameters showed high dependence on the soil composition in the plots, the nature of the crop grown and the state of the soil at the time of cultivation. However, due to similar cultivation intensity and farmyard manure application in all three farming systems, the differences in soil quality remained slight. In general, very high soil microbiological values were measured at Burgrain site. A reduction in farmyard manure application in comparison to cultivation before the start of the trial led to a reduction in soil microbiological respiration in the course of the trial.

## More beneficial species in extensive farming

In the beginning of the trial in *IPintensiv* a smaller earthworm population was observed than in the other farming systems. A perceptible improvement was achieved by avoiding the use of older pesticides toxic to earthworms in *IPintensiv*. All the same, the total average earthworm biomass in the 1997–2002 period was still 13% higher in the case of Bio and 12% higher in *IPextensiv* than was the case for *IPintensiv*. The topsoil-living earthworm species and the deep-burrowing dew worm (*Lumbricus terrestris*) appear to benefit from the greater occurrence of weeds in the Bio and *IPextensiv* plots and as a consequence from the food supply in comparison to *IPintensiv*. During the four years of growing arable crops, the earthworm population in all farming systems declined by more than half in each case, presumably as a result of ploughing, rising there after during the two-year temporary ley again to the maximum level of 340 worms per square metre on average.

Ground beetles, rove beetles and spiders, including many beneficial species, also generally tended to have higher activity densities in the *IPextensiv* and Bio plots than in the *IPintensiv* plots. Establishing wild flower strips additionally increased the ground beetle species count. For example, 12 out of the 53 species occurring lived chiefly in the wild flower strips. Although in the nutrient-rich soils of the Burgrain site these strips became quickly overgrown with grass. No species in risk of extinction were found in the generally densely growing crops or in the wild flower strips.

## Favourable life cycle assessment for extensive farming

The energy balance and life cycle assessment results throughout the crop rotation were only slightly affected by the (relatively low) use of mineral fertilizers and pesticides. Environmentally relevant parameters, on the other hand, were farmyard manure application, soil tillage and use of machinery. As these factors were similar for all three farming systems, the differences in the life cycle assessment were only minor. Moreover, due to the fertile soils at Burgrain, use of resources remained relatively low compared to other sites (e.g. no application of phosphorus and potassium fertilizers). Extensive use of auxiliary substances in *IPextensiv* and Bio mostly proved advantageous as regards environmental impact. In terms of the life cycle assessment both by area (per hectare) and product (per kg dry matter harvested), the optimum occurred with *IPextensiv* or Bio, according to the environmental impact considered. Consumption of fossil fuel for cultivating and harvesting the crops (including delivery of auxiliary substances and machinery) per kilogram of harvested dry matter was lowest with organic farming. Reducing tillage and amount of farmyard manure would be the two principal factors in declining some of the negative impacts on the environment at the Burgrain site.

## Fertile soil reduce the effect of manuring

The annual precipitation level of around 1100 mm, the fairly intensive farmyard manuring system prior to the experiment and the fertile soils of Burgrain affected the trial in various respects. Due to the high nitrogen mineralization potential of the soils and the low losses associated with farmyard manure application, the differences in the form of the manure (solid manure, slurry, nitrogen mineral fertilizer) and the quantity of nitrogen added (IP*extensiv* arable crops 74% and organic farming 61% of IP*intensiv*) had little effect on yield levels from the arable crops and temporary ley. On the unfertilised control plots at Burgrain, yield losses of 10% (winter wheat) to 30% (potatoes) were measured in the arable crops, according to crop and plot.

## Effects of extensified plant protection

An average of 3.3 pesticide applications for IP*intensiv*, 1.2 in IP*extensiv* and 0.6 in Bio were carried out per arable crop. Despite efficient equipment and the farm manager's experience, the partially mechanical weed control in the IP*extensiv* plots and the exclusively mechanical weed control in the Bio plots led to a greater weed cover, a larger weed seed number in the soil and a greater species diversity compared to the IP*intensiv* plots, which were consistently treated with herbicides. However, there was virtually no loss of yield in the organic plots due to weeds; this situation could be aggravated, though, by the increase of problem species such as common couch grass. Direct drilling of the organic temporary ley perceptibly attenuated the problem of new dock plants germinating in these areas, thus cutting down the work of manual dock removal.

Despite a partial or total ban on herbicide use in IP*extensiv* or Bio, no rare species of associated flora were noted. On the one hand, the eutrophic soil and densely growing crops prevented rare weeds from becoming established. On the other hand, there were hardly any rare weed species present in the plots or in the immediate vicinity at the start of the trial.

## Farmer's «sense of soil» is important

As expected, the temporary ley sown as mixed crop with nitrogen-fixing clover varieties and minimal pesticide requirements showed only small differences in yield and quality between the different farming systems. Thus, they had a levelling-out effect between farming systems in terms of dry matter production over the whole of the rotation. They likewise had a balancing effect on the soil structure, though not always in a positive sense. The top layer of soil under temporary ley had a compacted structure due to intensive wheel traffic, despite the big increase in the earthworm population to as many as 340 worms per square metre during the two-year temporary ley cycle. Irrespective of the farming system, the farm manager's instinctive feel for the soil (e.g. assessing soil moisture before starting tillage, equipping machines so as to reduce wheel load) had a big influence on the quality of the soil structure.

## Prospects

The Burgrain farming system trial, which has delivered valuable research results so far in the area of sustainable agriculture, will continue in a slightly modified form. The new crop rotation starting in 2003 will comprise maize – winter wheat – rape – winter barley and two years of temporary ley. The two farming systems IP*intensiv* and Bio will carry on as before with ploughing (onland) and similar cultivation intensity and will be compared for the purposes of applied research and training. This continuation allows possible long-term

effects in terms for instance of soil or weeds to be determined and, in the case of undesirable changes, counter-strategies to be developed and tested.

Since 2003, the farming system used in the *IPextensiv* plots has been further developed towards extensive cultivation and reduced tillage. Within the framework of a gradual changeover to mainly no-till cropping systems (sowing into mulch) in the *IPextensiv* plots, the principal focus of interest is the impact on economic efficiency and on various environmental parameters (including the life cycle assessment).

## Conclusions

The Burgrain farming system trial has shown that quality production is possible also in extensive or organic farming, provided that the principles of plant production are taken into account. Some environmental parameters are even positively affected (Table 1). However, the following points need to be taken into consideration:

- suitable site conditions (climate, soil, slope)
- well-trained farm personnel
- optimum interaction of livestock farming and crop production (appropriate stocking rate and/or volume of farmyard manure, inclusion of temporary ley in the rotation)
- optimum crop rotation adapted to the site
- wheel traffic and tillage respecting the soil
- use of resistant or tolerant varieties with regard to diseases and pests
- avoiding extremely early or late sowing
- fertilizing appropriate to the site and crops and low-loss application of farmyard manure and mineral fertilizers
- use of ecotoxicologically safe pesticides
- not too dense cereal stands resistant against lodging.

Many of these prerequisites were met by all the farming systems investigated at the Burgrain farm. From the point of view of sustainable crop production, these and similar measures should continue to be consistently applied in future as the basic elements of all farming systems. These efforts of agricultural practice towards increased sustainability should be supported and encouraged through research, agricultural extension, agricultural policy and by consumers.



## Zur Geschichte des Anbausystemversuchs Burgrain

Padruot M. Fried

In der landwirtschaftlichen Produktion fanden im Laufe des 20. Jahrhunderts tiefgreifende Veränderungen statt. Vor allem technische Fortschritte und neue chemisch-synthetische Hilfsstoffe schafften die Voraussetzungen für eine enorme Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge. Diese Entwicklung führte auch zu Umweltbelastungen und zu einer noch nie dagewesenen Überproduktion. Bereits seit den 1980er Jahren werden deshalb neue und nachhaltige Anbaumethoden entwickelt. Die Forschung spielt bei der Bewertung dieser Anbaumethoden eine entscheidende Rolle. Auf dem Gutsbetrieb Burgrain werden seit 1991 drei Anbausysteme verglichen.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die landwirtschaftliche Produktion stark intensiviert. Das Ziel bestand darin, das bäuerliche Einkommen zu sichern. Diese Leistungssteigerung wurde vor allem durch die Mechanisierung und den zunehmenden Einsatz von Hilfsstoffen wie Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel möglich (Keller und Weisskopf 1987). Auch Erfolge bei der Pflanzenzüchtung haben zu einer erhöhten Produktivität der Landwirtschaft beigetragen. Der Staat unterstützte die Produktion der heimischen Landwirtschaft mit Übernahme garantien der produzierten Nahrungs- und Futtermittel zu gesicherten Preisen und weiteren Massnahmen wie Importzöllen und Anbaubeiträgen. Bei dieser ausschliesslich auf eine Massenproduktion ausgerichteten Entwicklung gerieten agronomische Grundregeln und vorbeugende Massnahmen im Pflanzenschutz wie vielseitige Fruchtfolge, gezielte, kulturgerechte Düngung und abgestufte Nutzungsintensität im Futterbau in den Hintergrund. Die negativen Folgen dieser allzu intensiven Bewirtschaftung zeigten sich auf verschiedenen Ebenen: Pestizidrückstände in der Umwelt sowie in Nahrungs- und Futtermitteln, Eutrophierung der Gewässer, Rückgang der Biodiversität, Resistenzen bei Unkräutern und Schädlingen. Gleichzeitig gab es eine Überproduktion an landwirtschaftlichen Produkten, vor allem bei der Milchwirtschaft.

Abbildung 1:  
Einer der Vorteile des Anbausystemversuchs Burgrain besteht darin, dass die Parzellen genügend gross sind, um mit praxisüblichen Maschinen bewirtschaftet zu werden. (Foto: U. Zihlmann, FAL)

Padruot Men Fried  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
padruot.fried@  
fal.admin.ch

## Neue Agrarpolitik

Diese ungünstigen Auswirkungen zwangen die verschiedenen Verantwortungsträger (Parlament, Regierung, Bundesamt für Landwirtschaft, bäuerliche Organisationen), die Rolle der Landwirtschaft neu zu definieren und umfassende Lösungsvorschläge auszuarbeiten. Bereits 1971 setzte Bundesrat Ernst Brugger eine Expertenkommission ein, welche die Lage eingehend analysieren und Szenarien für die künftige Agrarpolitik entwerfen sollte (Popp 2000). Die Szenarien sollten den Einbezug von Direktzahlungen zur Abgeltung gemeinschaftlicher Leistungen der Landwirtschaft beinhalten. Nachdruck erhielten diese Überlegungen durch die Volksabstimmung 1986, als zum ersten Mal eine Vorlage zur weiteren Unterstützung der Landwirtschaft abgelehnt wurde. Dies führte zu einer umfassenden Agrarreform und 1992 zur Einführung von zwei Artikeln in das Landwirtschaftsgesetz, die zusammen mit der entsprechenden Verordnung für allgemeine Direktzahlungen und Ökobeiträge dem Bund seit 1993 erlaubt, Beiträge für die Abgeltung gemeinschaftlicher (Artikel 31a) und ökologischer Leistungen (Artikel 31b) an die Landwirtschaft auszuzahlen. Im Jahr 1996 stimmte eine klare Mehrheit des Stimmvolkes einem neuen Landwirtschaftsartikel in der Bundesverfassung zu. Die Bürgerinnen und Bürger sprachen sich damit für eine multifunktionale Landwirtschaft im Dienste einer nachhaltigen Schweiz aus.

Als alternative Bewegung für eine von Technik und Weltmarkt unabhängige Landwirtschaft entwickelten Pioniere in der Schweiz bereits in den 1940er Jahren den Biolandbau (Schmid *et al.* 2001). Dieser verzichtet beispielsweise auf den Einsatz chemisch-synthetischer Hilfsstoffe. Biologisch geführte Betriebe bemühen sich ausserdem, Stoff- und Energiekreisläufe möglichst aufrecht zu erhalten und die Selbstregulationskräfte von Agrarökosystemen optimal zu nutzen (Diercks 1988). Die vermehrte Handarbeit, grössere Ertragsschwankungen, der vermeintliche Verzicht auf den technischen Fortschritt und die begrenzte Nachfrage nach Bioprodukten verhinderten allerdings, dass sich der Biolandbau flächendeckend ausbreiten konnte.



## Die Rolle der Forschung

Die konventionelle Landwirtschaft erkannte den Bedarf nach einem Paradigma-Wechsel zuerst im Obst- und Weinbau. Die zunehmenden Probleme bei diesen immer intensiver geführten Kulturen mit einem grossen Einsatz an Pflanzenschutzmitteln führten in den 1960er Jahren zur Entwicklung integrierter Ansätze durch die angewandte Forschung (Wildbolz 1962, Mathis und Baggiolini 1965). Im Feldbau wurden neue Ansätze erst ab 1980 entwickelt (Keller 1985, Boller *et al.* 1986, Fried 1988, Häni *et al.* 2001).

Berufsorganisationen wie die Phytomedizinische Gesellschaft (Häni 1988) sowie der Schweizerische Verband der Ingenieur-AgronomInnen und der Lebensmittel-IngenieurInnen (Niklaus *et al.* 1990), die staatliche Forschung und Beratung sowie Pioniere in der landwirtschaftlichen Praxis engagierten sich stark, um die in der Theorie festgelegten Prinzipien einer integrierten Produktion (IP) praktisch umzusetzen. In der integrierten Produktion wird der Landwirtschaftsbetrieb als Agrarökosystem mit Regelkreischarakter betrachtet (Diercks und Heitefuss 1994). Es wird versucht, ökologische wie auch ökonomische Ziele in einer sozialverträglichen Weise zu erreichen.

Abbildung 2:  
Der Anbausystem-  
versuch Burgrain  
dient auch als  
Demonstrations- und  
Ausbildungsobjekt  
für zahlreiche  
Besuchergruppen.  
(Foto: R. Tschachtli,  
LBBZ Schüpheim)

Was bedeutete aber die Umstellung auf integrierte Produktion für den einzelnen Landwirtschaftsbetrieb? Ist eine Reduktion des Hilfsstoffeinsatzes längerfristig machbar? Welche Risiken müssen beachtet werden? Ist ein derartiges Anbausystem ohne grosse finanzielle Einbussen umsetzbar? Solche Fragen konnten nur in langfristig (mindestens zwei bis drei Fruchtfolgeperioden) angelegten Projekten angegangen werden. Nach internen Vorabklärungen an den landwirtschaftlichen Forschungsanstalten bot das damalige landwirtschaftliche Bildungs- und Beratungszentrum (LBBZ) des Kantons Luzern in Willisau 1989 Hand zu einem entsprechenden Langzeitprojekt mit dem Namen «Naturnahe Landwirtschaft Burgrain». Ein Team des LBBZ (Georges Müller, Pflanzenbaulehrer und -berater; Alois Müller, Betriebsleiter) sowie der Forschungsanstalten Tänikon (Ruedi Duttweiler) und Reckenholz (Josef Lehmann und Padruot M. Fried) entwickelte das Konzept für die Umsetzung auf dem LBBZ-Gutsbetrieb Burgrain. Drei Anbausysteme – konventionell, IP und Low-Input (bioähnlicher Anbau) – sollten in zwei Fruchtfolgen (ackerbaubetont und futterbaubetont) über mehrere Jahre praxiskonform miteinander verglichen werden. Grosse Unterstützung erhielt das Projekt vom Landwirtschaftsamt des Kantons Luzern, vertreten durch den Landwirtschaftssekretär Josef Häfliger und den ehemaligen Regierungsrat Erwin Muff.

## Wichtige Forschungsergebnisse

Der Anbausystemversuch Burgrain begann 1991. Ein zentrales Forschungsergebnis in der praxisnahen Versuchsanlage war der Nachweis der längerfristigen Durchführbarkeit der IP und die Abklärung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Systeme (Dubois *et al.* 1995). Bereits in den Anfangsjahren wurde der Versuch rege als Lehr- und Demonstrations-Objekt genutzt und erbrachte wertvolle Erkenntnisse zu agronomischen und wirtschaftlichen Aspekten der Anbausysteme an diesem Standort. Nach der ersten Fruchtfolgeperiode (1991 bis 1996) wurde das bioähnliche Low-Input-Anbausystem durch ein parzellenbezogenes biologisches Anbauverfahren ersetzt. Zudem wurden die agronomischen Erhebungen um ein breites Spektrum an Untersuchungen zu mehreren Umweltparametern ergänzt. Damit gewann dieser Vergleichsversuch zusätzlich an Aktualität und Wert (Fried *et al.* 1998).

Gestützt auf die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Anbausystemversuch Burgrain, die grösstenteils in der vorliegenden Schriftenreihe veröffentlicht werden, hoffen wir, zu einem besseren Verständnis und zur Weiterentwicklung umweltschonender Anbausysteme in der Schweiz und in klimatisch ähnlichen Regionen des Auslands beitragen zu können.

## Literatur

- Boller E., Corbaz R., Häni F. und Kenner C., 1986. Analyse der phyto-medizinischen Situation in der Schweiz. Schweiz. Landw. Fo. 25, 245-267.
- Diercks R., 1988. Vernetztes Denken – Grundvoraussetzung für die Entwicklung integrierter Landbausysteme. Schweiz. Landw. Fo. 27 (1), 7-47.
- Diercks R. und Heitefuss R., 1994. Integrierter Landbau. Verlagsunion Agrar, 440 S.
- Dubois D., Fried P.M., Malitius O. und Tschachtli R., 1995. Burgrain: Direktvergleich dreier Anbausysteme. Agrarforschung 2 (10), 457-460.
- Fried P.M., 1988. Wechselwirkungen zwischen Anbautechnik und Pflanzenschutz im Getreidebau. Schweiz. Landw. Fo. 27 (1), 73-76.
- Fried P.M., Dubois D., Zihlmann U., Tschachtli R. and Malitius O., 1998. Comparison of three arable farming systems at Burgrain in Central Switzerland. In: El Bassam Netal (Ed.). Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry, James and James, London, p. 618-626.
- Häni F., Popow G., Reinhard H., Schwarz A., Tanner K. und Vorlet M., 2001. Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau. Landw. Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 384 S.
- Häni F., 1988. Vernetztes Denken im modernen Pflanzenschutz und die Rolle der Schweiz. Gesellschaft für Phytomedizin. Schweiz. Landw. Fo. 27 (1), 3-6.
- Keller E.R., 1985. Integrierte Pflanzenproduktion – Konzept für die Erzeugung gesunder Nahrungs- und Futtermittel. Schweiz. Landw. Monatshefte 63, 233-258.

- Keller E.R. und Weisskopf P., 1987. Integrierte Pflanzenproduktion, Ergebnisse einer Standortbestimmung in der Schweiz. Landw. Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 196 S.
- Mathis G. und Baggiolini M., 1965. Praktische Anwendung der integrierten Schädlingsbekämpfung in Obstanlagen der Westschweiz. *Mitteil. aus der Biol. Bundesanstalt, Berlin-Dahlem*, Heft 115, 21-30.
- Niklaus U., Ammon H.U., Baumann K., Flückiger R., Häni F., Emmenegger J., Vullioud P. und Häfliger J.-M., 1990. Anbauempfehlungen für Integrierten Ackerbau. Landw. Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 42 S.
- Popp H., 2000. Das Jahrhundert der Agrarrevolution. Schweizer Agrarmedien, Bern, 111 S.
- Schmid O., Strasser F., Gilomen R. und Meili E., 2001. Biologischer Landbau. Landw. Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 237 S.
- Wildbolz T., 1962. Über Möglichkeiten der Prognose und Befallsüberwachung und über Toleranzangaben bei der integrierten Schädlingsbekämpfung im Obstbau. *Entomophaga* 7 (3), 273-283.



<b>Betrieb Burgrain in der Schwemmlandebene der Wigger bei Willisau LU</b>	
Milchviehhaltung (Weidebetrieb), Schweinezucht und Pouletmast; Ackerbau mit Getreidesaatgutproduktion	
Landwirtschaftliche Nutzfläche	40,5 ha
davon Ackerfläche (inkl. Kunstwiesen)	23,0 ha
Höhe über Meer	520 m
Mittlere Jahresniederschläge	1100 mm
Mittlere Jahrestemperatur	8,5 °C

## Standort- und Versuchsbeschreibung

Urs Zihlmann und Ruedi Tschachtli

Der Anbausystemversuch Burgrain befindet sich in der Nähe von Willisau (LU) auf einem gemischtwirtschaftlichen Betrieb, der in seiner Struktur für diese Region typisch ist. Das niederschlagsreiche Klima und die tiefgründigen Böden mit hohen Humusgehalten prägen den Versuchsstandort. Im Rahmen von zwei sechsjährigen Fruchtfolgen wurden von 1991 bis 2002 drei Anbausysteme unterschiedlicher Intensität unter Praxisbedingungen verglichen: ein ortsübliches, mittelintensives Anbausystem (*IPintensiv*), ein integriertes, eher extensives Anbausystem (*IPextensiv*) sowie ein biologisches Anbausystem (*Bio*). Der Vergleich der drei Anbausysteme konzentrierte sich auf den Ackerbau und die Kunstwiesen des Betriebes. Die Tierhaltung und die Dauerwiesen wurden nicht in den Systemvergleich mit einbezogen. Die drei Anbausysteme unterschieden sich vor allem hinsichtlich der Intensität und der Form des Pflanzenschutzes sowie der Düngung. Neben agronomischen und ökonomischen Kennwerten wurden mehrere Umweltparameter erhoben.

Die Ackerflächen des Anbausystemversuchs Burgrain (Abb. 1, Tab. 1) wurden je nach Bodenbeschaffenheit in zwei sechsjährige Fruchtfolgen eingeteilt. Auf den sechs Parzellen mit mittelschweren, tiefgründigen Böden wurde die Fruchtfolge ackerbaubetont gestaltet (Tab. 2). Fünf dieser Parzellen (Nr. 1, 2, 3, 5, 7; Abb. 2) liegen im ehemaligen Schwemmlandbereich der Wigger. Eine Parzelle (Nr. 6) – «Kastelen» – liegt auf Moränenablagerungen in leichter Hanglage. Die Erhebungen von Umweltparametern erfolgten fast ausschliesslich in diesen sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge.

Die kalkhaltigen Böden der Schwemmlandebene haben in der Bearbeitungsschicht durchschnittlich 4% Humus und 22% Ton. Ihr Untergrund ist vom Grundwasser beeinflusst. Sie

Abbildung 1  
(Foto: G. Brändle, FAL)

Urs Zihlmann  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
urs.zihlmann@  
fal.admin.ch

Ruedi Tschachtli  
LBBZ Schüpheim

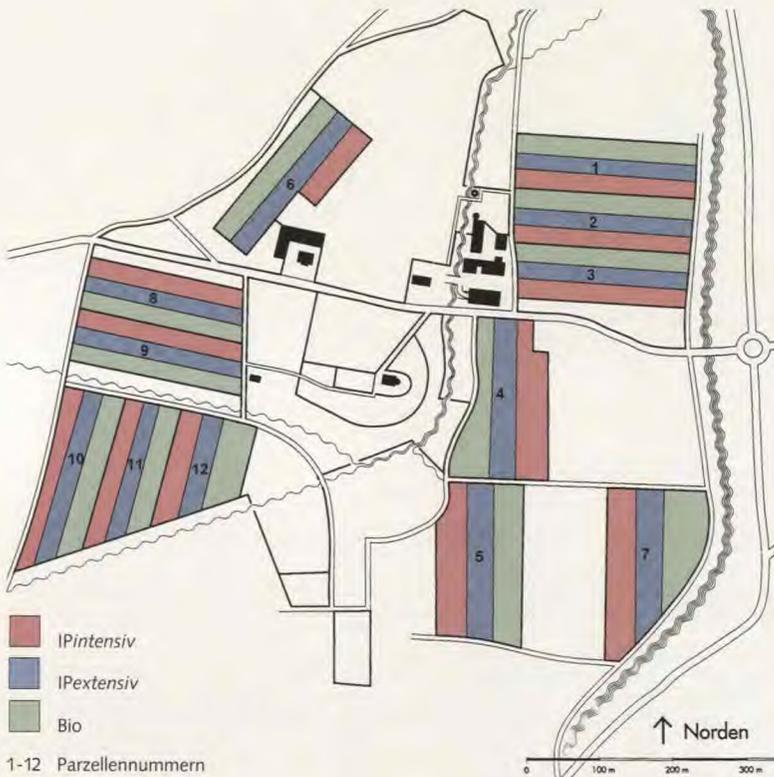
**Tabelle 1. Die zwei Fruchtfolgen des Anbausystemversuchs Burgrain**

	Ackerbaubetonte Fruchtfolge (aFF) Parzellen Nr. 1, 2, 3, 5, 6, 7 (siehe Abb. 2)	Futterbaubetonte Fruchtfolge (fFF) Parzellen Nr. 4, 8, 9, 10, 11, 12 (siehe Abb. 2)
1. Jahr	Kartoffeln*	Silomais
2. Jahr	Winterweizen**	Sommerhafer
3. Jahr	Körnermais	Wintergerste
4. Jahr	Sommergerste	Kunstwiese
5. Jahr	Kunstwiese	Kunstwiese
6. Jahr	Kunstwiese	Kunstwiese
	33% Kunstwiesenanteil	50% Kunstwiesenanteil

\* Nachbegrünung mit Gelb- oder Sareptasenf  
 \*\* anschliessend überwintertes Zwischenfutter mit Raigräsern, Rot- und Alexandrinerklee (Standardmischung 210)

**Tabelle 2. Die sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge**

Parzelle Nr.	Parzellename
1	Hexern Nord
2	Hexern Mitte
3	Hexern Süd
5	Künzlimatte
6	Kastelen
7	Wyden



**Abbildung 2:** Parzellenplan des Betriebs Burgrain mit den zwölf Parzellen der zwei Fruchtfolgen (siehe Tab. 1 und 2) und der Aufteilung in die drei Anbausysteme IPintensiv, IPextensiv und Bio.

besitzen ein grosses natürliches Potenzial zur Stickstoff-Mineralisierung (Richner *et al.* 2004). Die schwach saure Braunerde der Parzelle «Kastelen» zeigt mit einem Humusgehalt von 2,6% und einem Tonanteil von 17% eine ähnliche Bodenzusammensetzung wie viele Ackerböden im Schweizer Mittelland. Der Boden der Parzelle «Kastelen» unterschied sich bei bodenbezogenen Messungen (Aggregatstabilität, bodenmikrobiologische Kennwerte usw.) meistens von den Böden der Schwemmlandebene (Oberholzer 2004, Zihlmann *et al.* 2004).

Auf den für den Ackerbau weniger geeigneten grundnassen, zum Teil ton- und humusreichen bis anmoorigen Böden wurde

die Fruchtfolge mit einem Kunstwiesenanteil von 50% futterbaubetont gestaltet. In den sechs Parzellen dieser Fruchtfolge (Nr. 4, 8, 9, 10, 11, 12; Abb. 2) beschränkten sich die Erhebungen hauptsächlich auf agronomische und ökonomische Parameter.

### Jede Parzelle mit drei Anbausystemen

Für den Vergleich der Anbausysteme wurde jede der zwölf Ackerparzellen in drei feststehende Teilflächen von je etwa 60 bis 70 Aren unterteilt und systemgemäss vom Betriebsleiter und seinen Mitarbeitern bewirtschaftet (Abb. 2). Diese Streifenversuchsanlage hat den Vorteil, dass sie problemlos mit den auf dem Betrieb vorhandenen oder zugemieteten Maschinen praxiskonform bewirtschaftet werden kann. Andererseits fehlen aber für eine statistische Analyse echte Wiederholungen. Durch das Anlegen von Teilflächen in den einzelnen Streifen kann diesem unbefriedigenden Umstand zumindest teilweise begegnet werden. Für die bodenbezogenen Beprobungen wurden in jedem Streifen homogene Referenzflächen ausgeschieden.

**Tabelle 3. Charakterisierung der drei Anbausysteme und Vergleichsperioden**

Anbausystem	Fruchtfolge	Vergleichsperiode	Charakterisierung
IP <sub>intensiv</sub>	aFF	1991 bis 2002	- ortsübliche Bewirtschaftungsintensität (ÖLN erfüllt) - ökonomische Überlegungen vorrangig - hoher Pflanzenschutz- und Düngungseinsatz
	fff	1991 bis 2000	
IP <sub>extensiv</sub>	aFF	1991 bis 2002	- IP-Anforderungen gemäss SVIAL-Richtlinien Stufe «Ziel» (ÖLN erfüllt) - starke Gewichtung ökologischer Anliegen - reduzierter Pflanzenschutz- und Düngungseinsatz (z.B. Extensoproduktion im Getreidebau und IP-Suisse-Label beim Winterweizen)
	fff	1991 bis 2000	
Bio: biologischer Anbau auf Parzellenstufe (1991 bis 1996 als bioähnliches Low-Input-System bewirtschaftet)	aFF	1997 bis 2002	- Verzicht auf Mineraldünger und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel - Ausnahmen (Low-Input): 1991 bis 1996 synthetische Kontaktfungizide im Kartoffelbau und selektives Herbizid gegen Blackenkeimlinge in Kunstwiesenansaat
	fff	1997 bis 2000	

IP integrierte Produktion

aFF ackerbaubetonte Fruchtfolge (Tab. 1 und 2)

fff futterbaubetonte Fruchtfolge (Tab. 1)

ÖLN ökologischer Leistungsnachweis

SVIAL Schweizerischer Verband der Ingenieur-AgronomInnen und der Lebensmittel-IngenieurInnen

Im Anbausystemversuch Burgrain wurden drei Anbausysteme verglichen: IP<sub>intensiv</sub>, IP<sub>extensiv</sub> und Bio. Die drei Anbausysteme sind in Tabelle 3 kurz charakterisiert. Sie unterschieden sich vor allem hinsichtlich der Intensität und der Form des Pflanzenschutzes und der Düngung. Die Sortenwahl bei den Ackerkulturen war mit Ausnahme des Winterweizens 1994 und 1995 einheitlich. Bei den Bio-Kunstwiesen wurden teilweise konkurrenzstärkere Mischungen verwendet und diese oftmals mittels Direktsaat bestellt. Um den Boden zu schonen, kam in IP<sub>extensiv</sub> und Bio ab 1997 der Onland-Pflug zum Einsatz, bei dem der Traktor ausserhalb der Furche fährt. Pflugloser Anbau der Ackerkulturen wurde nur in IP<sub>extensiv</sub> praktiziert, am häufigsten bei Sommergerste. Die Erntearbeiten wurden bei allen Anbausystemen mit derselben Mechanisierung durchgeführt.

Die Gesamtmenge ausgebrachter Hofdünger wurde nur wenig zwischen den Anbausystemen abgestuft. Die durchschnittlich 1,8 Dünger-Grossvieheinheiten pro Hektare im Bio-Anbausystem entsprechen dem in dieser Region auf biologisch bewirtschafteten Betrieben vorherrschenden hohen Tierbesatz.

Bedingt durch das bis 1996 praktizierte bioähnliche Low-Input-System und die Veränderungen in der Agrarpolitik waren die Anbaumassnahmen in der ersten Fruchtfolgeperiode von 1991 bis 1996 einem grösseren Wandel unterworfen als in der zweiten Periode von 1997 bis 2002 (Tab. 4). So wurde beispielsweise zu Versuchsbeginn in IP<sub>intensiv</sub> im Weizenanbau noch der Halmverkürzer CCC verwendet, welcher mit der Einführung der IP-Richtlinien für ÖLN-Betriebe (ÖLN = ökologischer Leistungsnachweis) verboten wurde.

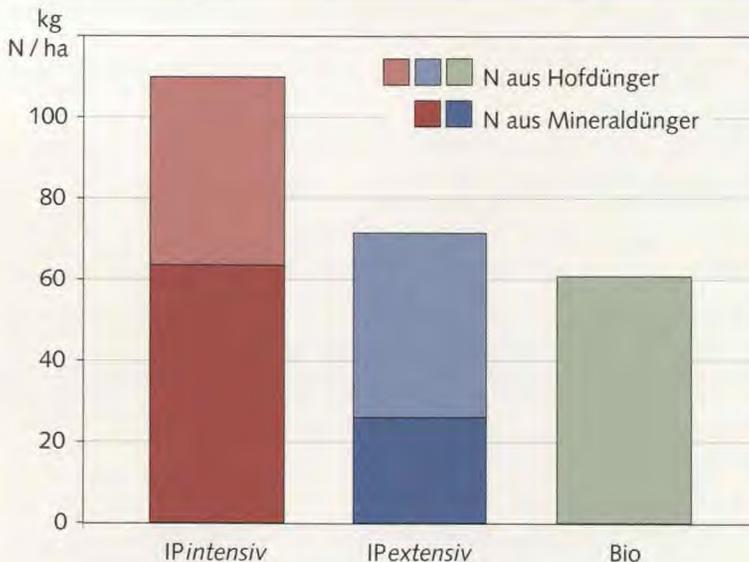
Da die Umstellung auf den biologischen Landbau ab 1997 zwar bei den Ackerkulturen gelang, nicht aber bei den Kunstwiesen, wurde der Vergleich der drei Anbausysteme bei der futterbaubetonten Fruchtfolge bereits im Jahr 2000 beendet. Die dreijährigen Kunstwiesen konnten wegen der zu hohen Arbeitsbelastung für das Stechen der Blacken (*Rumex obtusifolius*) nicht biologisch genutzt werden.

### Unterschiedliche Düngungs- und Pflanzenschutzintensität

Mist wurde fast ausschliesslich zu Kartoffeln und Mais ausgebracht. Gülle wurde in IP<sub>intensiv</sub> nur zur Düngung der Kunstwiesen eingesetzt. In IP<sub>extensiv</sub> wurde dagegen auch

**Tabelle 4. Bewirtschaftungsmassnahmen in den 3 Anbausystemen von 1997 bis 2002**

	<i>IPintensiv</i>	<i>IPextensiv</i>	Bio
<b>Bodenbearbeitung</b>	häufiger konventioneller Pflugeinsatz, intensive Saattbettbereitung	Pflugeinsatz (seit 1997 Onland-Pflug), z.T. Grubber, extensivere Saattbettbereitung	Pflugeinsatz (seit 1997 Onland-Pflug), Kunstwiesenansaat z.T. mit Direktsaat
<b>Sortenwahl</b>	je nach Absatzbedingungen (Produktion von Getreidesaatgut)		gleich wie IP, teilweise konkurrenzstärkere Kunstwiesen-Mischungen
<b>Pflanzenschutz</b>			
Getreide	Herbizide, Fungizide, teilweise Insektizide, Wachstumsregulatoren	Extensoanbau, teilweise Verzicht auf Herbizide	ohne Hilfsstoffe, Striegeln
Kartoffeln	Herbizide, Fungizide, teilweise Insektizide, chemische Krautvernichtung	Hacken, Fungizide nach PhytoPRE, Krautschlagen	Hacken, Kupfereinsatz max. 4 kg Cu/ha, Krautschlagen
Mais	Herbizide ganzflächig, keine Granulate	Herbizid-Bandspritzung, Hacken, keine Granulate	Hacken
Kunstwiesen	nach der Ansaat Herbizid gegen Blackenkeimlinge, chem. Einzelstockbehandlung	nach der Ansaat Herbizid gegen Blackenkeimlinge, chem. Einzelstockbehandlung	Blackenstechen von Hand
<b>Düngungsstrategie</b>	Gülle zu Kunstwiesen	Gülle zu Mais, Getreide und Kunstwiesen	Gülle zu Ackerkulturen und Kunstwiesen
	Mist zu Kartoffeln und Mais	Mist zu Kartoffeln und Mais	Mist zu Kartoffeln und Mais
	Stickstoff-Mineraldünger zu Ackerkulturen	Ergänzung mit Stickstoff-Mineraldünger zu Ackerkulturen	keine Mineraldünger



**Abbildung 3:** Einsatz von rasch verfügbarem Stickstoff aus Hof- und Mineraldünger in den Ackerkulturen der drei Anbausysteme (Gesamtmittel ackerbaubetonte Fruchtfolge von 1997 bis 2002 und futterbaubetonte Fruchtfolge von 1997 bis 2000).

Stickstoffdüngung wegen des Extensoanbaus gesenkt oder ganz weggelassen. Dies gilt vor allem für Parzellen mit anmoorigen Böden. Beim Winterweizen konnte wegen der Vorkultur Kartoffeln, die viel Stickstoff hinterlässt, die Stickstoff-Düngermenge meistens gesenkt werden. Die Stickstoffgaben richteten sich in *IPextensiv* und Bio nach  $N_{min}$ -Bestimmungen und Beobachtungen im Düngungsfenster.

In den Perioden von 1997 bis 2002 (ackerbaubetonte Fruchtfolge) und von 1997 bis 2000 (futterbaubetonte Fruchtfolge) wurden in *IPintensiv* im Mittel pro Ackerkultur und Jahr 3,3 Einsätze mit Pflanzenschutzmitteln durchgeführt (Abb. 4). In *IPextensiv* waren es wegen des Extensoanbaus beim Getreide (Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren) noch 1,2 und in Bio 0,6 Einsätze. Bedingt durch die Kraut- und Knollenfäule

Mais und Getreide gegüllt. Es kamen keine phosphor- oder kaliumhaltigen Mineraldünger zum Einsatz. Bei den eingesetzten Mengen von rasch verfügbarem Stickstoff aus Hof- und Mineraldünger bestehen grosse Systemunterschiede (Abb. 3). So betrug zum Beispiel bei der ackerbaubetonten Fruchtfolge der gesamte Input an rasch wirksamem Stickstoff in der Periode von 1997 bis 2002 bei den *IPextensiv*-Ackerkulturen 74% und beim Bio-Ackerbau 61% von *IPintensiv*. Das Stickstoff-Düngungsniveau bei den Getreidearten – ausgenommen Mais – war tief (Tab. 5). Zum einen wurde auf späte Stickstoffgaben mit geringerer Ertragswirksamkeit verzichtet, zum andern wurde die

**Tabelle 5. Input an rasch verfügbarem Stickstoff\* (kg N/ha) pro Kultur und Jahr in den 3 Anbausystemen**  
(Gesamtmittel ackerbaubetonte Fruchtfolge von 1997–2002 und futterbaubetonte Fruchtfolge von 1997–2000)

Anbau-system	Input	Kartoffeln	Körner-mais	Silo-mais	Winter-weizen	Sommer-gerste	Winter-gerste	Sommer-hafer	Kunst-wiese	Mittel
IPintensiv	N aus Hofdünger	85	82	82	0	3	0	0	160	88
	N aus Mineraldünger	94	114	91	70	58	72	22	0	43
	<b>N total</b>	<b>179</b>	<b>196</b>	<b>173</b>	<b>70</b>	<b>61</b>	<b>72</b>	<b>22</b>	<b>160</b>	<b>131</b>
IPextensiv	N aus Hofdünger	61	123	91	13	28	16	0	99	69
	N aus Mineraldünger	64	42	42	31	20	24	0	0	19
	<b>N total</b>	<b>125</b>	<b>165</b>	<b>133</b>	<b>44</b>	<b>48</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>99</b>	<b>88</b>
Bio	<b>N total aus Hofdünger</b>	<b>125</b>	<b>147</b>	<b>105</b>	<b>15</b>	<b>29</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>93</b>	<b>76</b>

\*Verwendete Werte: 1 kg N pro m<sup>3</sup> Gülle; 2 kg N pro dt Mist; N-Gehalt Mineraldünger

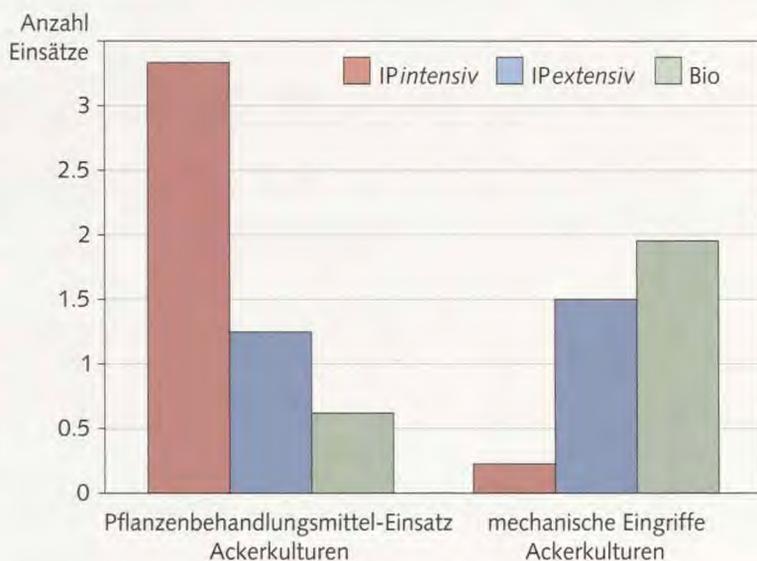
**Tabelle 6. Anzahl Einsätze von Pflanzenbehandlungsmitteln pro Kultur und Jahr in den 3 Anbausystemen**  
(Gesamtmittel ackerbaubetonte Fruchtfolge von 1997–2002 und futterbaubetonte Fruchtfolge von 1997–2000)

Anbausystem	Kartoffeln	Körner-/Silomais	Winter-weizen	Sommer-/Wintergerste	Sommer-hafer	Kunstwiese	Mittel
IPintensiv	8,8	1,1	3,5	2,9	3	0,4	2,1
IPextensiv	5,5	0,4	0,3	1,0	0	0,4	0,9
Bio	4,3	0	0	0	0	0	0,4

erforderten die Kartoffeln den grössten Einsatz an Pflanzenbehandlungsmitteln (Tab. 6). Nach der Ansaat der IP-Kunstwiesen wurden die Blacken jeweils ganzflächig mit einem Herbizid bekämpft. In den Hauptnutzungsjahren erfolgte die chemische Blackenbekämpfung dann einzelstockweise. Die Bio-Kunstwiesen wurden durch Ausstechen von Hand möglichst blackenfrei gehalten. Die Unkräuter in den IPextensiv-Ackerkulturen wurden häufig mechanisch bekämpft, wodurch ähnlich viele Pflegeeinsätze resultierten wie im Bio-Anbau (Abb. 4).

#### Literatur

- Oberholzer H.-R., 2004. Mikrobiologische Eigenschaften des Bodens. Schriftenreihe der FAL 52, 59-64.  
 Richner W., Brack E., Tschachtli R. und Walther U., 2004. Dynamik des mineralischen Bodenstickstoffs in Ackerkulturen. Schriftenreihe der FAL 52, 65-69.  
 Zihlmann U., Tschachtli R. und Weisskopf P., 2004. Standort- und Kultureffekte prägen das Bodengefüge. Schriftenreihe der FAL 52, 48-52.



**Abbildung 4:** Anzahl Einsätze von Pflanzenbehandlungsmitteln und mechanischer Pflegeeinsätze in den Ackerkulturen der drei Anbausysteme (Gesamtmittel ackerbaubetonte Fruchtfolge von 1997 bis 2002 und futterbaubetonte Fruchtfolge von 1997 bis 2000).



Abbildung 1:  
Günstige Boden- und  
Klimabedingungen  
sowie konsequente  
Unkraut- und Kraut-  
fäulekontrolle  
ermöglichten auch  
im Bio-Anbau hohe  
Kartoffelerträge.  
(Foto: R. Tschachtli,  
LBBZ Schüpfheim)

## Ertrag und Qualität der Ackerkulturen

Ruedi Tschachtli, David Dubois und Padruot M. Fried

Eines der Hauptziele des Anbausystemversuchs Burgrain war es, die mehrjährigen Auswirkungen der drei Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio auf Ertrag und Qualität der Ackerkulturen zu quantifizieren. Die deutlichen Intensitätsunterschiede der Anbausysteme bezüglich Pflanzenschutz und Düngung wirkten sich im Getreidebau vor allem bei Gerste deutlich stärker auf den Naturalertrag aus als bei Kartoffeln und Mais. Die durchschnittlichen Ertragseinbussen aller Ackerkulturen von *IPextensiv* gegenüber *IPintensiv* betragen in den Versuchsjahren 1997 bis 2002 14%, diejenigen von Bio gegenüber *IPintensiv* 19%. Während die Hektolitergewichte von Winterweizen und Gerste in *IPintensiv* viel höher lagen als in den anderen Anbausystemen, ergaben sich beim Proteingehalt je nach Getreideart gegenteilige Tendenzen. Beim Mais wurden keine signifikanten Qualitätsunterschiede gefunden. Bei den Kartoffeln wurden überraschend geringe Differenzen zwischen den Anbausystemen verzeichnet.

Die Ertragshöhe und die Qualität der Ernteprodukte bestimmen zum grossen Teil die Wirtschaftlichkeit von Anbausystemen (Tschachtli *et al.* 2004). Bei den sieben angebauten Ackerkulturen (Winterweizen, Winter- und Sommergerste, Sommerhafer, Kartoffeln, Körner- und Silomais) im Anbausystemversuch Burgrain sind neben den Sorteneigenschaften vor allem die Nährstoffzufuhr sowie Pflanzenschutzmassnahmen wichtige ertragsbeeinflussende Elemente. Die Sortenwahl wurde bis auf zwei Ausnahmen (Winterweizen 1994 und 1995) nicht verändert. Dagegen wurde die Düngung und der Pflanzenschutz unterschiedlich gehandhabt. Die drei Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio unterschieden sich insbesondere in Menge und Form der Stickstoffzufuhr und im Einsatz von Pflanzenschutzmitteln deutlich. Die Ertragerhebungen erfolgten jeweils in einem Streifen pro Anbausystem.

Ruedi Tschachtli  
Landw. Bildungs-  
und Beratungs-  
zentrum LBBZ,  
Chlosterbüel 28,  
6170 Schüpfheim  
ruedi.tschachtli@  
edulu.ch

David Dubois  
Padruot M. Fried  
FAL

## Grösste Ertragsunterschiede beim Getreide

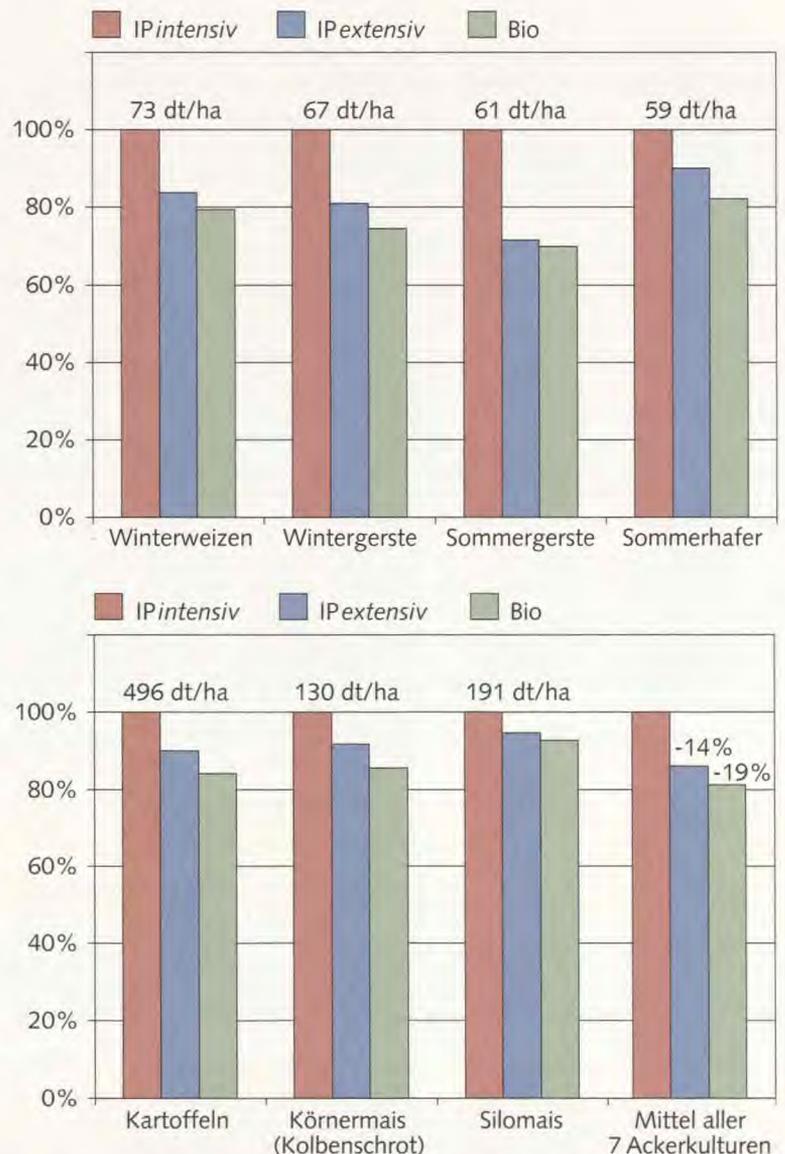
Das Ertragsniveau der Ackerkulturen in *IPintensiv* war hoch und entsprach weitgehend den regional üblichen Werten. Zwischen den einzelnen Kulturen gab es aber bedeutende Unterschiede. In den Versuchsjahren 1997 bis 2000 und 2002 betrug der durchschnittliche Ertragseinbuss von *IPextensiv* gegenüber *IPintensiv* über alle sieben Ackerkulturen 14%, diejenige von Bio gegenüber *IPintensiv* 19% (Abb. 3).

Die Getreidearten reagierten in *IPextensiv* und Bio mit stärkeren Ertragseinbussen (Abb. 2) als Kartoffeln und Mais (Abb. 3). Die Lage des Betriebs Burgrain in der Talsohle der Wigger und der relativ windgeschützte und niederschlagsreiche Standort begünstigten das Auftreten von Pilzkrankheiten. Die starke Stickstoff-Nachlieferung der tiefgründigen, grundfeuchten Böden förderte ausserdem dichte und damit eher krankheits- und lagerungsgefährdete Getreidebestände. Die Ertragseinbussen in *IPextensiv* betrug infolge der Einhaltung der Extensio-Richtlinien (Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren), der teilweise mechanischen Unkrautregulierung und einer reduzierten Düngung bei Winterweizen im Durchschnitt 11,9 dt/ha, bei Wintergerste 12,7 dt/ha, bei Sommergerste 17,4 dt/ha und bei Sommerhafer 5,7 dt/ha. Aufgrund der guten Krankheitsresistenz der eingesetzten Sorten waren die Ertragsunterschiede bei Sommerhafer geringer als bei den anderen Getreidearten. Dagegen reagierte Sommergerste an diesem Standort besonders negativ auf extensiven Anbau (minus 30%). Dies ist vermutlich auf die hohe Krankheitsanfälligkeit und die Entwicklung von langen und schwachen Halmen zurückzuführen. Je nach Getreideart waren die Ertragsunterschiede zwischen *IPextensiv* und Bio mit 0,9 bis 4,7 dt/ha erstaunlich gering. Die dichten Getreidebestände in Bio verbunden mit den durchgeführten mechanischen Massnahmen vermochten das Unkraut meist gut zu unterdrücken. Damit blieb die Konkurrenzwirkung der Unkräuter verhältnismässig gering. Das gegenüber *IPextensiv* tiefere Düngungsniveau in Bio verursachte auf diesen nährstoffreichen Böden ebenfalls keine weitere Ertragsminderung.

Der durchschnittliche Kartoffel-Rohhertrag (Sorte Agria) im biologischen Anbausystem von 417,6 dt/ha war im Vergleich zu anderen Bio-Betrieben (LBL 2002) hoch. Gegenüber *IPintensiv* wurden nur 15,8% weniger Kartoffeln geerntet. Die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) trat dank dem Einsatz einer robusten Sorte, einer optimalen, an das PhytoPRE-Prognosesystem angelehnten Fungizidstrategie sowie dem lokal relativ späten Epidemiebeginn mit Ausnahme des Jahres 2001 auch in Bio nie in bedeutendem Umfang auf. Die mechanische Unkrautregulierung war in den meisten Fällen sehr erfolgreich. Vermutlich waren die Ertragsunterschiede in erster Linie eine Folge der unterschiedlichen Düngungsintensität. *IPextensiv* büsste auf *IPintensiv* 10,1% ein.

Abbildung 2/oben: Relative Durchschnittserträge (*IPintensiv* = 100%) der Getreidekulturen in den drei Anbausystemen (Winterweizen und Sommergerste 1997 bis 2002, Wintergerste und Sommerhafer 1997 bis 2000).

Abbildung 3/unten: Relative Durchschnittserträge (*IPintensiv* = 100%) von Kartoffeln und Mais in den drei Anbausystemen sowie Mittel aller sieben Ackerkulturen (Kartoffeln und Körnermais 1997 bis 2002, Silomais 1997 bis 2000).

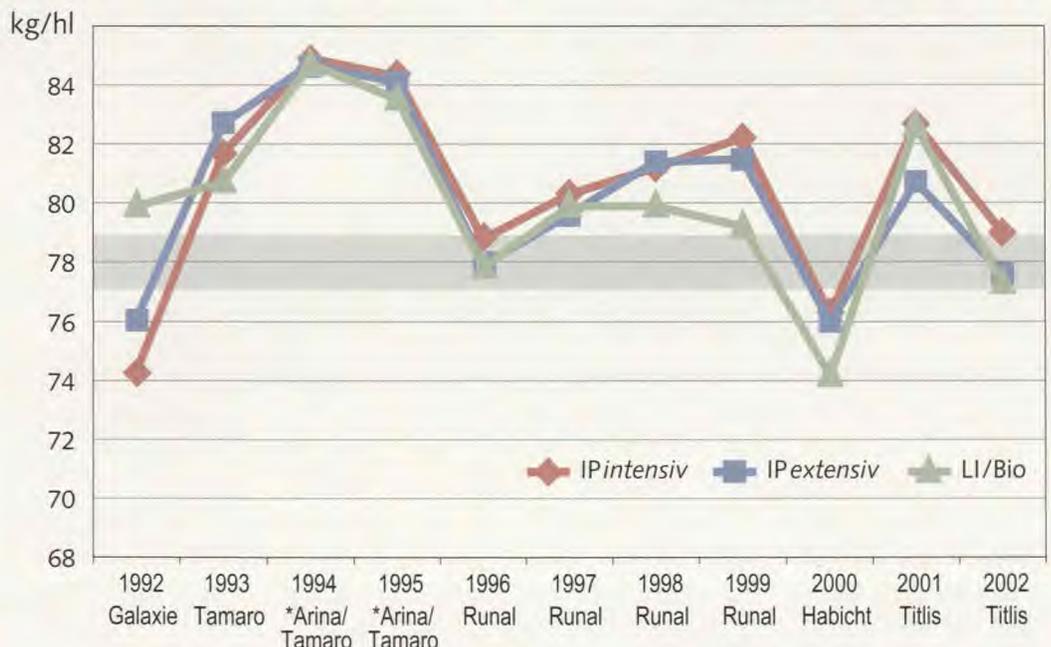


Auffallend sind die in allen Anbausystemen sehr hohen Maiserträge. Die Standortvoraussetzungen – tiefgründige, nährstoffreiche Böden, genügende und regelmäßige Niederschläge, milde Lage – sind für den Maisanbau günstig. IPintensiv erreichte bei Silomais durchschnittlich 190,6 dt TS/ha (TS = Trockensubstanz) und bei Körnermais 130 dt/ha (Kolbenschrot). IPextensiv büsste bei Silomais nur 5,3% und bei Körnermais 8,5% des Ertrags von IPintensiv ein. Der Grund für die Ertragsunterschiede dürfte in erster Linie beim reduzierten Nährstoffeinsatz in IPextensiv liegen. Beispielsweise kam beim IPextensiv-Körnermais 18% weniger Stickstoff zum Einsatz. In Bio lag der Ertrag um 2,1% bei Silomais und 6,1% bei Körnermais hinter IPextensiv zurück. Neben der geringeren Nährstoffzufuhr spielte hierbei auch die rein mechanische Unkrautregulierung, welche in einzelnen Jahren eine ertragsmindernde Restverunkrautung hinterliess, eine Rolle.

Ertragserhebungen in den drei Anbausystemen wurden bereits während der ersten Fruchtfolgeperiode von 1991 bis 1996 durchgeführt. Ein Ertragsvergleich zeigt, dass die Erträge in IPintensiv bei allen Kulturen (ausser Sommergerste) in der zweiten Fruchtfolgeperiode von 1997 bis 2000 bzw. 2002 deutlich gesteigert werden konnten. Der Grund für diese Ertragssteigerung von durchschnittlich 7,3% liegt in erster Linie in einer optimierten Anbautechnik sowie im allgemeinen technischen Fortschritt (verbesserte Sorten, wirksamere Pflanzenschutzmittel). Während das Bio-Anbausystem in der zweiten Fruchtfolgeperiode durchschnittlich 2,4% weniger Naturalertrag erbrachte als das bis 1996 praktizierte Low-Input-System, waren in IPextensiv die durchschnittlichen Erträge in beiden Fruchtfolgeperioden ungefähr gleich hoch. Die Verbesserung der Anbautechnik in Bio (z.B. Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung, besseres Hofdüngermanagement) wurde offensichtlich von anderen Einflüssen wie der Reduktion des Hofdüngereinsatzes und dem völligen Verzicht auf synthetische Fungizide im Kartoffelbau überlagert.

Die Ertragsreaktion bei Umstellung auf biologische Bewirtschaftung fiel je nach Kultur recht unterschiedlich aus. Diese Beobachtungen aus dem Versuch Burgrain werden durch den DOK-Versuch (Dubois *et al.* 2003) und die auf Buchhaltungszahlen abgestützten Angaben des Deckungsbeitragskatalogs (LBL 2002) bestätigt. Unter den günstigen Bedingungen auf Burgrain erzielte das biologische Anbausystem jedoch vergleichsweise hohe Erträge. Erstaunlich gering fielen die Ertragseinbussen vor allem bei den Kartoffeln aus. Neben einer recht günstigen örtlichen Phytophthora-Situation mag hier vor allem die gute Nährstoff- und Wassernachlieferung der Burgrain-Böden beigetragen haben. An weniger günstigen Standorten und bei langjährig biologischer Bewirtschaftung wurden allerdings

Abbildung 4:  
Verlauf des  
Hektolitergewichts  
(kg/hl) bei Winter-  
weizen in den drei  
Anbausystemen  
(grau markiert:  
Standard Brotweizen  
mit 77 bis 79 kg/hl;  
\*Sorte Arina bei  
IPintensiv, Sorte  
Tamaro bei IPexten-  
siv und LI = Low-  
Input).



deutlich tiefere Kartoffelerträge erzielt. Dies ist oft eine Folge sinkender Phosphor- und Kaliumgehalte im Boden.

### Anbauintensität beeinflusst Hektolitergewicht

Das Hektolitergewicht von Getreide ist als Indikator für die Kornausbildung ein wichtiger Qualitätsfaktor. Im schweizerischen Getreidebau werden ausgehend von einem Standard-Hektolitergewicht Preiszuschläge oder -abzüge vorgenommen, was sich auf den Erlös auswirkt. Wie das Beispiel Winterweizen (Abb. 4) zeigt, ist das Hektolitergewicht in hohem Mass sortenabhängig. Daneben spielen Standort, Witterung und Anbautechnik eine wichtige Rolle.

Im Versuch Burgrain wurde aus versuchstechnischen Gründen in allen Anbausystemen meist dieselbe Sorte gesät. *IPintensiv* erreichte bei Winterweizen und Gerste vor allem infolge des Einsatzes von Fungiziden und Wachstumsregulatoren die höchsten Hektolitergewichte (Abb. 5). Ein gegenüber den anderen Anbausystemen geringerer Krankheitsbefall und eine bessere Standfestigkeit wirkten sich günstig auf diesen Qualitätsparameter aus. Bei Winter- und Sommergerste bewirkte das stärkere Auftreten von Blattkrankheiten und Sprekelnekrosen in *IPextensiv* und Bio meist eine schnellere Abreife als in *IPintensiv* und damit tiefere Hektolitergewichte.

Gegenüber *IPintensiv* büsste *IPextensiv* im Hektolitergewicht bei Winterweizen 0,8 kg, bei Sommergerste 2,1 kg und bei Wintergerste 3,5 kg ein. Die Unterschiede widerspiegeln die unterschiedliche Krankheitsanfälligkeit der einzelnen Getreidearten bzw. der verwendeten Sorten. In Bio, wo in der Regel nur eine Güllegabe zur Bestockung erfolgte, ergab sich ein ähnliches Hektolitergewicht wie in *IPextensiv*, wo mit ergänzenden Stickstoff-Mineraldüngergaben gearbeitet wurde.

Im Gegensatz zu Winterweizen und Gerste, wo auch der Extensiv-Anbau im Durchschnitt der Jahre befriedigende Hektolitergewichte lieferte, vermochte die Qualität des Sommerhafers in keinem Anbausystem zu genügen. Ausschlaggebend waren oft zu dichte oder gar gelagerte Bestände auf den Parzellen mit teilweise anmoorigen Böden. Der Einsatz von Wachstumsregulatoren im Hafer erwies sich im Vergleich zu den anderen Getreidearten als problematisch. Der behandelte *IPintensiv*-Hafer lagerte teilweise sogar stärker, so dass im *IPextensiv*-Anbau oftmals höhere Hektolitergewichte als in *IPintensiv* erzielt wurden.

Zwischen den einzelnen Jahren ergaben sich somit bei allen Getreidearten grosse Qualitätsunterschiede. Die Ursachen für die Schwankungen sind einerseits der Sortenwechsel und andererseits die Auswirkungen des jahresspezifischen Witterungsverlaufes auf Bestandesdichte, Krankheitsbefall und Standfestigkeit. Im Mittel der Versuchsjahre war das Hektolitergewicht in *IPextensiv* und Bio nur geringfügig tiefer als beim regional üblichen *IPintensiv*.

### Hohe Proteingehalte beim Getreide

Die Proteingehalte waren bei allen angebauten Getreidearten meist sehr hoch (Abb. 6). Beim Winterweizen unterschieden sich die Anbausysteme nur wenig. Bio übertraf sogar die Werte von *IPintensiv* und *IPextensiv* im langjährigen Mittel. Das grosse Stickstoff-Mineralisierungsvermögen der Burgrain-Böden bewirkte zusammen mit den meist geringeren

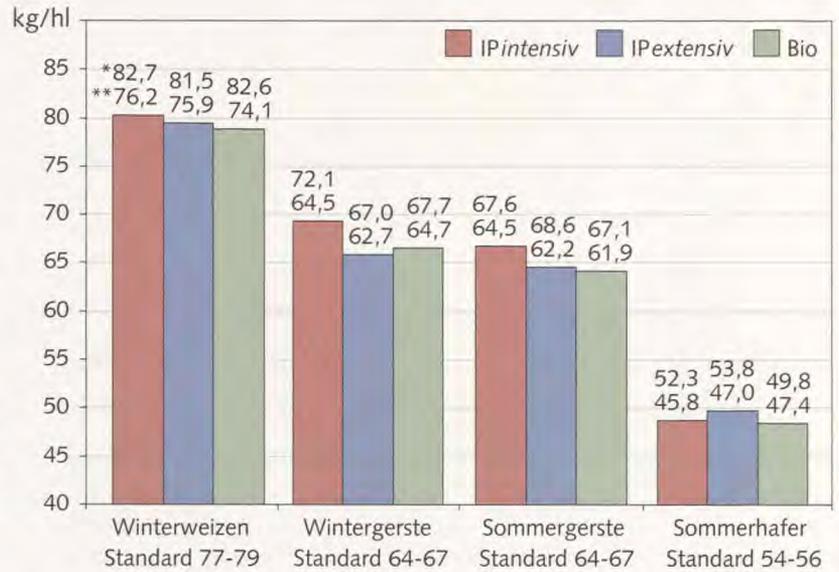


Abbildung 5: Mittlere Hektolitergewichte (kg/hl) der Getreidekulturen in den drei Anbausystemen mit Angabe der \*Maximal- und \*\*Minimalwerte (Winterweizen und Sommergerste 1997 bis 2002; Wintergerste und Sommerhafer 1997 bis 1999). Werte oberhalb oder unterhalb des Standardbereichs haben Preiszuschläge oder Preisabzüge zur Folge.

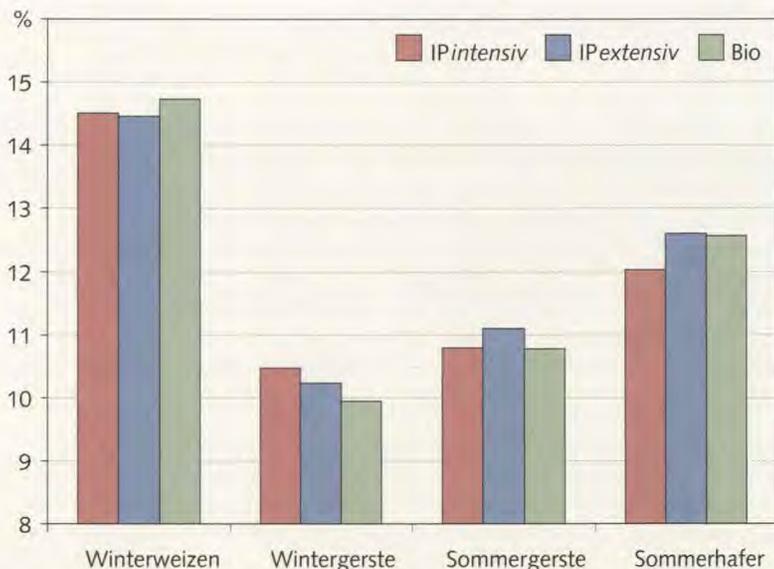


Abbildung 6: Mittlere Proteingehalte (in %) der Getreidekulturen in den drei Anbausystemen (Winterweizen und Sommergerste 1997 bis 2002; Wintergerste und Sommerhafer 1997 bis 1999).

meist stärker von der Stickstoff-Nachlieferung des Bodens als der früher reife Winterweizen. Bei Wintergerste, der am frühesten reifen Getreideart, wirkte sich hingegen die gegenüber Bio höhere Stickstoff-Düngung in IPextensiv und vor allem in IPintensiv positiv auf den Proteingehalt aus.

Die Fallzahl (Mass für die Aktivität des stärkeabbauenden Enzyms Amylase im Korn und indirektes Mass für den Ausreifungsgrad) beim Winterweizen widerspiegelt in erster Linie Sorteneigenschaften und Witterungseinflüsse zum Zeitpunkt der Ernte. Die vereinzelt, geringfügigen Unterschiede zwischen den Anbausystemen waren jeweils eine Folge der teilweise unterschiedlichen Dreschtermine und damit ungleicher Reifegrade bei der Ernte.

Die Keimfähigkeit der Getreidekörner ist vor allem in der Saatgutproduktion von grosser Bedeutung. Bei Winterweizen und Gerste wurde in IPextensiv und Bio im Durchschnitt der Jahre eine leicht höhere Keimfähigkeit festgestellt als in IPintensiv. Der Grund für diese Tatsache ist unklar. Die Werte lagen allerdings in allen Anbausystemen immer deutlich über dem minimal geforderten Wert von 85% Keimfähigkeit.

### Keine Qualitätsunterschiede beim Mais

Die Unterschiede der wichtigsten Qualitätsfaktoren beim Silomais waren zwischen den Anbausystemen gering. So unterschieden sich die verdauliche organische Substanz (VOS), die Nettoenergie Laktation (NEL), die Nettoenergie Wachstum (NEV), der Rohprotein- und Rohfasergehalt sowie der Körneranteil kaum. IPintensiv erreichte tendenziell mit Mist- und Stickstoff-Mineraldüngung die Silierreife etwas früher als die ausschliesslich mit Mist und Gülle gedüngten Anbausysteme IPextensiv und Bio. Der Hofdüngereinsatz führte in Verbindung mit dem Hacken vermutlich zu einer etwas stärkeren und späteren Stickstoff-Mineralisierung, welche die Reife verzögerte. Auch beim Körnermais ergaben sich keine nennenswerten Qualitätsunterschiede. Die geringere Stickstoff-Düngung in Bio reduzierte den Proteingehalt um 0,5%.

### Stark schwankender Marktwarenanteil bei den Kartoffeln

Die Wirtschaftlichkeit des Kartoffelbaus hängt eng mit der Knollenqualität zusammen. Die hauptsächlichen Qualitätsmängel (Sorte Agria) waren je nach Jahr eine ungenügende Kalibrierung (hoher Anteil zu kleiner oder zu grosser Knollen), missförmige, ergrünte oder hohlherzige Knollen sowie mechanische Schäden und Frassschäden durch Schnecken und Drahtwürmer. Die Frassschäden wurden wahrscheinlich durch die zweijährige Kunstwiese vor der Kartoffelkultur gefördert. Wegen der hohen Stickstoff-Mineralisierung erfolgte die

Bestandesdichten in Bio hohe Proteingehalte. Die in IPintensiv im Gegensatz zu IPextensiv zusätzlich verabreichte Stickstoffgabe kurz vor dem Ährenschieben blieb offensichtlich ohne Auswirkungen auf den Proteingehalt. Von 1992 bis 2002 waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren und Anbausystemen hauptsächlich eine Folge der Sortenwahl und des Witterungsverlaufes sowie deren Wechselwirkung mit den jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Die Stickstoff-Mineralisierung im Boden ist eng mit dem Temperatur- und Bodenfeuchteverlauf gekoppelt. So profitierte der erst im August abreifende Sommerhafer

Krautvernichtung teilweise noch bei intaktem Laubwerk der Stauden, was die Ausbildung der Schalenfestigkeit verzögerte. Infolge fehlender Bewässerungsmöglichkeiten traten in Jahren mit Sommertrockenheit oft Wachstumsstörungen auf, was die Sortierausbeute teilweise deutlich verschlechterte.

Von 1997 bis 2002 betrug der Anteil marktfähiger Knollen am Naturalertrag in IPintensiv und IPextensiv 65% und in Bio 64%. Die jährlichen Schwankungen waren aber gross: So wurde 1999 nässebedingt eine sehr schlechte Ernte mit Marktwarenteilen unter 50% eingefahren. Auch die Qualitätsunterschiede zwischen den Anbausystemen waren je nach Jahr verschieden. In Bio konnte durch eine Güllegabe zur Pflanzung die Qualität – insbesondere die Kalibrierung – gegenüber einer Gülledüngung im Nachauflauf verbessert werden.

Der Knollenbefall mit *Phytophthora* war in keinem Versuchsjahr von Bedeutung. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anbausystemen festgestellt. Selbst im Jahr 2001, als in Bio mit den präventiven Kupferspritzungen zu spät begonnen wurde und die Krautfäule nicht mehr unter Kontrolle gebracht werden konnte, wurden kaum befallene Knollen festgestellt. Schwarzbeinigkeit (*Erwinia carotovora*) verursachte in einzelnen Jahren ein schwaches Auftreten von nassfaulen Knollen.

### Qualitätsproduktion auch in extensiven Anbausystemen möglich

Der Anbausystemversuch Burgrain zeigt bis anhin, dass unter Beachtung gewisser pflanzenbaulicher Grundsätze eine Qualitätsproduktion auch bei extensivem oder biologischem Anbau möglich ist. Einige wichtige Elemente hierfür sind:

- geeignete Standortverhältnisse (Klima, Boden, Hangneigung)
- optimales Zusammenwirken von Tierhaltung und Pflanzenproduktion (Kunstpflanzen, Hofdünger)
- Einhaltung einer optimalen, standortangepassten Fruchtfolge
- schonendes Befahren und Bearbeiten des Bodens
- Einsatz resistenter oder toleranter Sorten in Bezug auf Krankheiten und Schädlinge
- Vermeidung von extremen Früh- oder Spätsaaten
- standort- und pflanzenangepasste Düngung sowie verlustarme Ausbringung der Hof- und Mineraldünger
- nicht zu dichte, standfeste Getreidebestände.

Ein Grossteil dieser Elemente war auf dem gemischtwirtschaftlichen Betrieb Burgrain in allen Anbausystemen gegeben. Im Sinn einer nachhaltigen Pflanzenproduktion sind diese und ähnliche Massnahmen auch in Zukunft als Grundpfeiler in allen Anbausystemen konsequent auszuschöpfen.

#### Literatur

- Dubois D., Gunst L., Stauffer W., Mäder P., Fliessbach A., Niggli U. und Fried P.M., 2003. Biologische und konventionelle Bewirtschaftung im Langzeit-Vergleich. In: Forschung für den biologischen Landbau, Schriftenreihe der FAL 45, 5-11.
- LBL, Deckungsbeiträge, Ausgaben 1991-2002. Hrsg.: Landw. Beratungszentrale Lindau (LBL).
- Tschachtli R., Dubois D. und Ammann H., 2004. Produzentenpreise entscheidend für ökonomischen Erfolg. Schriftenreihe der FAL 52, 42-47.



Abbildung 7:  
Der Verzicht auf die Bekämpfung von Pilzkrankheiten mit Fungiziden beim IPextensiv- und Bio-Getreide führte am niederschlagsreichen Standort Burgrain zu deutlichen Ertragseinbussen.  
(Foto: R. Tschachtli, LBBZ Schüpfheim)



Abbildung 1:  
Der Maisertrag wurde nur wenig vom Anbausystem beeinflusst, dafür aber deutlich von der Jahreswitterung.  
(Foto: R. Tschachtli, LBBZ Schüpfheim)

## Ertragsstabilität der Ackerkulturen

Ruedi Tschachtli, David Dubois und Urs Zihlmann

Nach zwölf Jahren können im Anbausystemversuch Burgrain erste Aussagen zur Ertragsstabilität gemacht werden. Die Ertragsunterschiede zwischen *IPintensiv* und Bio bei den Ackerkulturen verstärkten sich mit zunehmender Versuchsdauer sowohl in der acker- als auch in der futterbaubetonten Fruchtfolge. Etwas weniger ausgeprägt waren die Ertragsdifferenzen zwischen *IPintensiv* und *IPextensiv*. Grundsätzlich variierten die Erträge in Bio stärker als in den IP-Anbausystemen. Die Verwendung robuster, krankheitsresistenter Sorten erhöhte die Ertragsstabilität im extensiven Getreideanbau. Die Erträge des wärmeliebenden Körnermaises wurden am stärksten vom Verlauf der Jahreswitterung beeinflusst.

Erfolgreiche Anbausysteme zeichnen sich durch eine hohe Ertragsstabilität aus. Die Umstellung auf biologischen Anbau ist in den meisten Fällen mit einem Ertragsrückgang und stärkeren Ertragsschwankungen verbunden (Dubois *et al.* 2003). Im zwölfjährigen Vergleich der drei Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio am Standort Burgrain konnten bezüglich Ertragsstabilität bei den Ackerkulturen mehrere wichtige Beobachtungen gemacht werden.

### Zunehmende Ertragsdifferenzierung

Von 1991 bis 1993 waren die Ertragseinbussen bei den Bio-Ackerkulturen gegenüber *IPintensiv* in beiden Fruchtfolgen gering. Der Bio-Anbau profitierte von der auf diesen

Ruedi Tschachtli  
Landw. Bildungs-  
und Beratungs-  
zentrum LBBZ,  
Chlosterbüel 28,  
6170 Schüpfheim  
ruedi.tschachtli@  
edulu.ch

David Dubois  
Urs Zihlmann  
FAL

Flächen zuvor praktizierten intensiven Bewirtschaftung, welche durch hohen Hofdünger-einsatz und regelmässige Herbizidanwendungen gekennzeichnet war. Von 1994 bis 2000 lagen die Ertragsseinbussen der vier Bio-Ackerkulturen in der ackerbaubetonten Fruchtfolge stets zwischen 15 und 20% (Abb. 2). Das Fachwissen des Personals in der biologischen Bewirtschaftung, beispielsweise in Fragen der Hofdüngeranwendung und der Unkrautregulierung, verbesserte sich laufend und trug dazu bei, die Bio-Erträge zu stabilisieren. In den Jahren 2001 und 2002 vergrösserten sich die Ertragsunterschiede hingegen auf 22 und 26%. Mögliche Ursachen für diese stärkeren Ertragsseinbussen in Bio sind der verminderte Gülleeinsatz sowie der zunehmende Unkrautdruck, beispielsweise durch Quecken. Auch Jahreseinflüsse, wie zum Beispiel der starke Krautfäulebefall der Bio-Kartoffeln im Jahr 2001, erhöhten die Ertragsdifferenzen zum IP-Anbau.

Im Verlauf der Untersuchungsperiode von 1991 bis 2000 zeigte sich bei den drei Ackerkulturen in der futterbaubetonten Fruchtfolge eine tendenzielle Vergrösserung der Ertragsdifferenz zwischen Bio und IP<sub>intensiv</sub>. Im letzten Untersuchungsjahr wurde mit 24% im Mittel die grösste Ertragsseinbusse festgestellt. Beim Bio-Silomais waren die Ertragsausfälle meistens auf mangelnden Erfolg bei der mechanischen Unkrautregulierung zurückzuführen.

Auch in IP<sub>extensiv</sub> vergrösserten sich die Ertragsunterschiede gegenüber IP<sub>intensiv</sub> in beiden Fruchtfolgen mit zunehmender Versuchsdauer, allerdings weniger ausgeprägt als in Bio. Durch den gezielten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und leichtlöslichen Stickstoff-Mineraldüngern standen in IP<sub>extensiv</sub> mehr Möglichkeiten zur Verhinderung von Ertragsausfällen zur Verfügung als in Bio. So konnte zum Beispiel im Jahr 2001 in IP<sub>extensiv</sub> die Krautfäule mit chemisch-synthetischen Fungiziden wesentlich wirkungsvoller kontrolliert werden als in Bio mit Kupferapplikationen. Zudem konnte in den IP<sub>extensiv</sub>-Kulturen – besonders bei fortgeschrittener Bestandesentwicklung – gezielter mit Stickstoff-Mineraldünger korrigierend eingegriffen werden als mit Gülle in den Bio-Parzellen.

Grundsätzlich sind ein geringer Unkrautdruck und ein hohes Stickstoff-Mineralisierungsvermögen wichtige Voraussetzungen für geringe Ertragsseinbussen von biologischen gegenüber intensiveren Anbaumethoden. Ferner spielt die mikroklimatische Exposition der Parzelle eine wichtige Rolle: Die leicht gegen Südosten geneigte und windoffene Parzelle «Kastelen» ermöglichte eine bessere Abtrocknung der Pflanzenbestände und verminderte damit das Risiko von Pilzkrankheiten.

### Jahreseinfluss: Anbausysteme reagieren gleichgerichtet

Die jahresspezifischen Witterungseinflüsse überlagerten die Auswirkungen der Anbausysteme auf den Ertrag. Ein klimatisch günstiges Anbaujahr wirkte sich normalerweise in allen Anbausystemen vorteilhaft auf die Erträge aus, ein ungünstiges brachte in allen Systemen Einbussen. Dies kommt zum Beispiel bei der wärmeliebenden Kultur Körnermais zum Ausdruck (Abb. 3). In den Spitzenjahren 1997 und 2000 erbrachten alle Anbausysteme

Abbildung 2:  
Verlauf der relativen Ertragsdifferenzen von IP<sub>extensiv</sub> und Bio\* zu IP<sub>intensiv</sub> (= 100%) in der ackerbaubetonten Fruchtfolge von 1991 bis 2002. Die Daten basieren auf dem Mittelwert der Ertragsdifferenzen von Kartoffeln, Körnermais, Winterweizen und Sommergerste.  
\*1991-96: Low-Input

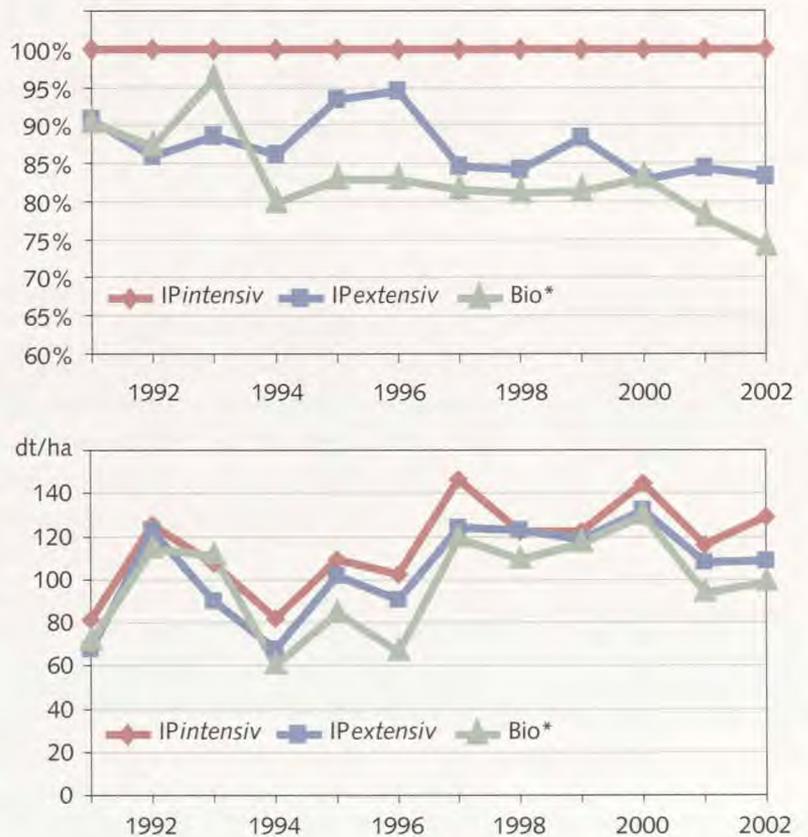


Abbildung 3:  
Verlauf der Erträge (dt/ha) von Körnermais in den drei Anbausystemen (Körnerertrag 1991 bis 1994 und Kolbenschrotertrag 1995 bis 2002).  
\*1991-96: Low-Input

gute Erträge, während 1994 und 1996 überall unterdurchschnittliche Ergebnisse erzielt wurden. Bei den übrigen Ackerkulturen wurden ähnliche Effekte beobachtet, neben dem Körnermais am ausgeprägtesten bei der Sommergerste.

### Stärkste Ertragsschwankungen im Bio-Anbau

Die Ertragsstabilität, gerechnet als prozentuale Abweichung des jährlichen Naturalertrags vom jeweiligen Durchschnittsertrag aller Versuchsjahre, unterschied sich je nach Anbausystem und Kultur. Über alle sieben Ackerkulturen betrachtet, variierten die Erträge im Bio-Anbau stärker als bei den zwei IP-Anbausystemen (Abb. 4). *IPintensiv* und *IPextensiv* zeigten eine vergleichbare Ertragsstabilität. Die grössere Variabilität der Bio-Erträge ist auf die eingeschränkten (direkten) Pflanzenschutz- und Düngungsmassnahmen in diesem System zurückzuführen. Die Jahreswitterung in Wechselwirkung mit den Parzelleneigenschaften tritt dadurch stärker limitierend in Erscheinung. Wenn beispielsweise der Bio-Mais infolge zu

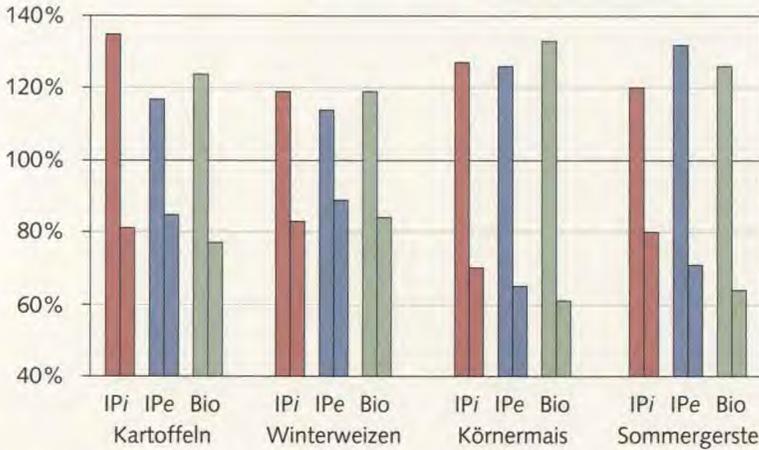


Abbildung 4: Relativer Maximal- und Minimalertrag von *IPintensiv* (IPi), *IPextensiv* (IPe) und Bio\* für die vier Ackerkulturen der ackerbaubetonten Fruchtfolge in der Versuchsperiode von 1991 bis 2002. 100% entspricht jeweils dem 12-jährigen Ertragsmittelwert je Kultur und Anbausystem. \*1991-96: Low-Input

nasser Bodenverhältnisse nicht rechtzeitig gehackt werden kann, sind Ertragsausfälle durch Unkrautkonkurrenz unvermeidbar. In den IP-Anbausystemen kann dagegen mit Herbiziden korrigierend eingegriffen werden.

In *IPintensiv* variierten die Erträge von Winterweizen und Sommergerste am wenigsten, diejenigen von Körnermais am stärksten (Abb. 4). *IPextensiv* erbrachte stabile Kartoffel- und Winterweizenerträge. Winterweizen erwies sich am Standort Burgrain sowohl unter Bio- als auch unter Extensio-Bedingungen (Verzicht auf Wachstumsregulatoren, Fungizide und Insektizide) als ertragsstabilste Getreidekultur. Zurückzuführen ist dies hauptsächlich auf die Verwendung von Schweizer Qualitätssorten mit guten Krankheitsresistenzen. Dagegen variierten die Sommer- und Wintergerstenerträge in *IPextensiv* stärker als in *IPintensiv*. Je nach Jahreswitterung barg die extensive Produktion von Gerste auf Burgrain ein hohes Ertragsausfallrisiko. Der robustere Sommerhafer wies in *IPextensiv* deutlich geringere Ertragsschwankungen auf als Gerste.

### Literatur

Dubois D., Gunst L., Stauffer W., Mäder P., Fliessbach A., Niggli U. und Fried P.M., 2003.

Biologische und konventionelle Bewirtschaftung im Langzeit-Vergleich. In: Forschung für den biologischen Landbau, Schriftenreihe der FAL 45, 5-11.



Abbildung 1:  
Bei den Kunstwiesen  
wurden am Stand-  
ort Burgrain trotz  
unterschiedlicher  
Düngungsmassnah-  
men geringe Ertrags-  
und Qualitätsunter-  
schiede zwischen  
den drei Anbau-  
systemen festgestellt.  
(Foto: G. Brändle,  
FAL)

## Ertrag und Qualität der Kunstwiesen

David Dubois, Ruedi Tschachtli, Hansueli Briner und Lucie Gunst

Auf Betrieben mit Rindviehhaltung, wie sie in der Zentralschweiz vorherrschen, kommt dem Futterbau eine zentrale Rolle zu. Im Anbausystemversuch Burgrain wurde untersucht, wie sich Bewirtschaftungsunterschiede auf den Ertrag und die Qualität von Kunstwiesen auswirken. Dazu wurden Kunstwiesen mit Kleeegrasmischungen innerhalb von zwei sechsjährigen Fruchtfolgen jeweils nach Sommergerste für zwei Jahre und nach Wintergerste für drei Jahre neu angesät. Bei der Bewirtschaftung dieser Kunstwiesen unterschieden sich die drei Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio vor allem bezüglich der ausgebrachten Güllemenge, die in *IPextensiv* und Bio 25% bzw. 40% geringer war als im regionaltypischen *IPintensiv*. Zusammen mit den Unterschieden bei der Wahl der Kleeegrasmischung, Bodenbearbeitung, Saattechnik und Blackenbekämpfung führte dies in *IPextensiv* und Bio zu einer mittleren Ertragseinbusse von 5% bzw. 7%. Der Gehalt des Wiesenfutters an Energie und Protein zeigte in *IPextensiv* und Bio tendenziell leicht tiefere Durchschnittswerte. Die Unterschiede sind jedoch fütterungstechnisch wenig bedeutsam. Die ähnlich gute Futterqualität kam durch die in allen Anbausystemen relativ ausgewogene botanische Zusammensetzung der zwei- bis dreijährigen Kunstwiesen zustande. Als problematisch für den Betrieb erwies sich jedoch der hohe Arbeitsaufwand für das manuelle Ausstechen der zahlreichen Blacken in den Bio-Kunstwiesen.

David Dubois  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
david.dubois@  
fal.admin.ch

Ruedi Tschachtli  
LBBZ Schüpfheim

Hansueli Briner  
Lucie Gunst  
FAL

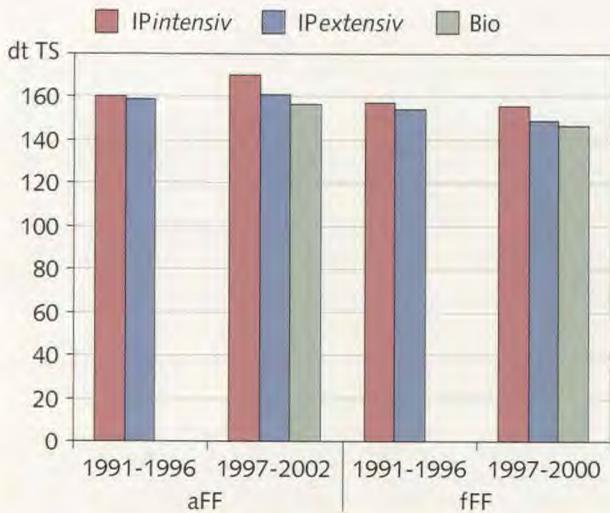


Abbildung 2:  
Mittlere Kunstwiesen-Trocken-  
substanzerträge  
(dt TS/ha und Jahr)  
der Anbausysteme  
bei der ackerbau-  
betonten Fruchtfolge  
(aFF) und der  
futterbaubetonten  
Fruchtfolge (fFF) in  
verschiedenen  
Versuchsperioden.

In allen drei Anbausystemen erfolgten jährlich vier bis fünf, ausnahmsweise sechs Schnitt- oder Weidenutzungen (v.a. Herbstweide). Mehrheitlich wurden die Standardmischungen (SM) 330, zum Teil auch SM 440 oder SM 430 angesät (Lehmann *et al.* 2000). Die grössten Bewirtschaftungsunterschiede zwischen den Anbausystemen bestanden in der ausgebrachten Güllemenge und in der Unkrautkontrolle. In allen Anbausystemen erfolgten gleich viele Güllegaben pro Jahr, meistens waren es vier. Es wurde eine Mischung aus Rinder- und Schweinevollgülle verwendet. In den ersten Versuchsjahren lagen die Nährstoffgehalte bei 1,3 kg NH<sub>4</sub>-N, 0,6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 3,6 kg K<sub>2</sub>O pro m<sup>3</sup> Mischgülle. Von 1996 bis 2001 ergaben sich mittlere Gehalte von 1,0 kg NH<sub>4</sub>-N, 0,6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 2,3 kg K<sub>2</sub>O pro m<sup>3</sup>. Mineraldünger wurde in den Kunstwiesen nicht eingesetzt, da der Betrieb über ausreichend Hofdünger verfügt.

Während der Versuchsperiode von 1991 bis 1996 wurden in IPintensiv Einzelgaben von 30 m<sup>3</sup> Gülle pro Hektare angestrebt. Da IPextensiv und Bio auf einem geringeren Viehbesatz pro Hektare basieren und die Gülle im Gegensatz zu IPintensiv auch bei den Ackerkulturen eingesetzt wurde, lagen bei diesen beiden Anbausystemen die Güllegaben bei 25 m<sup>3</sup>/ha. In der Periode von 1997 bis 2002 wurden die Güllegaben zwischen den Anbausystemen noch etwas stärker differenziert. In IPintensiv wurde die Einzelgabe von 30 m<sup>3</sup>/ha auf durchschnittlich 40 m<sup>3</sup>/ha erhöht, während sie in IPextensiv weiterhin 25 m<sup>3</sup>/ha betrug. Von 1997 bis 1999 blieb in Bio die Einzelgabe ebenfalls bei 25 m<sup>3</sup>/ha, ab 2000 lag sie leicht darunter. Von 1997 bis 2002 erhielten somit die Kunstwiesen in IPextensiv und Bio 40 bis 45% weniger Gülle als in IPintensiv.

Zur Unkrautkontrolle erfolgte bei jeder Neuansaat ein Säuberungsschnitt. Zudem wurden die neu gesäten Kunstwiesen in IPintensiv und IPextensiv zur Bekämpfung der zahlreichen Blackenkeimlinge jeweils mit dem Herbizid MCPB (4 bis 6 l/ha) behandelt. Um möglichst wenig Blackensamen zur Keimung anzuregen, wurden die Bio-Kunstwiesen ab 1998 bei günstigen Bedingungen stets mittels Direktsaat angesät. Ab 1999 wurden für die Bio-Kunstwiesen zum Teil Kleegrasmischungen mit konkurrenzstärkeren Klee- und Grassorten (SM 240, SM 300) gewählt, um Blackenkeimlinge zusätzlich zu unterdrücken. Ein Grossteil der dennoch auftretenden neu gekeimten Blacken wurde zusammen mit älteren Blackenpflanzen aus der vorangegangenen Ackerkultur manuell mit Hilfe eines Blackeneisens ausgestochen.

### Geringe Ertragsunterschiede

Die Ertragserhebungen (Bruttoerträge) erfolgten durch Schnitt, Zusammenrechnen und Wägen von jeweils vier 7,6 m<sup>2</sup> grossen Teilflächen pro Anbausystem. Allfällige Bröckel- und Weideverluste sind somit nicht berücksichtigt. Bei jeder Ertragserhebung erfolgte auch eine

Im Talgebiet der Zentralschweiz dominieren gemischtwirtschaftliche Betriebe mit Rindviehhaltung und etwas Ackerbau. Vor allem bei Betrieben mit Milchproduktion hat der Futterbau eine zentrale Bedeutung. Dank dem vorteilhaften Klima und den meist fruchtbaren Böden in dieser Region können die Wiesen intensiv genutzt werden, so dass hohe Erträge von guter Qualität erzielt werden. Im Rahmen des Anbausystemversuchs Burgrain stellte sich die Frage, ob sich die Bewirtschaftungsunterschiede zwischen IPintensiv, IPextensiv und Bio längerfristig auf den Ertrag und die Qualität der Kunstwiesen auswirken.

### Unterschiede beim Gülle-Management

Probenahme zur Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes und der Qualitätsparameter.

Allgemein war das Ertragsniveau der Kunstwiesen mit 145 bis 170 dt Trockensubstanz (TS) pro Hektare und Jahr ausgesprochen hoch (Lehmann *et al.* 2001). Sowohl bei der acker- wie auch bei der futterbaubetonten Fruchtfolge zeigten sich zwischen den Anbausystemen anfangs nur geringe Unterschiede im TS-Ertrag. In der zweiten Versuchsperiode ab 1997, als die Güllegaben zwischen den Anbausystemen stärker abgestuft wurden, fielen die Ertragsdifferenzen etwas deutlicher aus (Abb. 2). In IP*extensiv* wurden bei beiden Fruchtfolgen durchschnittlich 8 dt TS/ha und Jahr oder 5% weniger Ertrag geerntet als in IP*intensiv*. In Bio betrug die Ertragseinbuße gegenüber IP*intensiv* bei der ackerbaubetonten Fruchtfolge im Durchschnitt 14 dt TS/ha und Jahr und bei der futterbaubetonten Fruchtfolge nur 9 dt TS/ha und Jahr. Hier förderte wahrscheinlich die höhere Stickstoff-Nachlieferung der humusreicheren Böden das Wachstum und kompensierte so zum Teil die geringeren Güllegaben. Damit ergibt sich über beide Fruchtfolgen für Bio eine Ertragseinbuße von nur 7% gegenüber IP*intensiv*.

Die Ertragsunterschiede erscheinen rein zahlenmäßig relativ gering. Sie fallen aber bei der Verwertung des Futters auf dem Betrieb deutlich stärker ins Gewicht als Mindererträge bei Ackerkulturen, welche verkauft werden.

Abbildung 3 zeigt für die drei Anbausysteme die Korrelation zwischen den jährlichen Kunstwiesen-erträgen und der jeweils ausgebrachten Güllemenge pro Jahr bei der ackerbaubetonten Fruchtfolge von 1997 bis 2002. Erkennbar ist eine Zunahme der TS-Erträge mit zunehmenden Güllegaben von Bio und IP*extensiv* zu IP*intensiv*. Das tiefe Bestimmtheitsmass von 0,34 aus der statistischen Analyse zeigt, dass neben den Güllegaben noch weitere Einflüsse zur Streuung der Erträge beigetragen haben.

Die Phosphor-Gehalte der Böden (CO<sub>2</sub>-Methode) waren mit leicht abnehmender Tendenz auch nach 12 Versuchsjahren bei allen Parzellen weiterhin in der Versorgungsklasse «Vorrat». In der gleichen Periode nahm die mittlere K-Testzahl wegen deutlich tieferer Kalium-Gehalte in der Gülle von 4,2 («Vorrat») auf 2,5 («genügend») ab. Die Magnesium-Testzahlen veränderten sich in derselben Zeitspanne kaum und blieben im Mittel im mässig versorgten Bereich (Testzahl 5,5).

## Gute Futterqualität

Neben dem Ertrag spielt die Qualität des Wiesenfutters eine zentrale Rolle für die Milchviehhaltung. Die in Abbildung 4 und 5 dargestellten Werte zeigen die mittlere Qualität der ersten drei Schnitte aller Parzellen mit vollständigen Analyseergebnissen. Für die Vergleiche der Anbausysteme wurden jeweils dieselben Jahre und Parzellen berücksichtigt.

Beim Energie-Gehalt zeigten sich nur geringe Unterschiede zwischen den Anbausystemen. Sie betragen bei gleicher Fruchtfolge und gleichem Hauptnutzungsjahr zwischen 0,1 und 0,2 MJ NEL/kg TS (NEL = Nettoenergie Laktation). Auch die Durchschnittswerte der Anbausysteme über alle Parzellen und mehrere Nutzungen unterschieden sich nur wenig (Abb. 4). In der Periode 1997 bis 2001 war bei der ackerbaubetonten Fruchtfolge der mittlere NEL-

Abbildung 3: Korrelation zwischen den Kunstwiesen-Trockensubstanz-erträgen (dt TS/ha und Jahr) und den ausgebrachten Güllemengen (m<sup>3</sup>/ha und Jahr) bei den drei Anbausystemen der ackerbaubetonten Fruchtfolge von 1997 bis 2002.

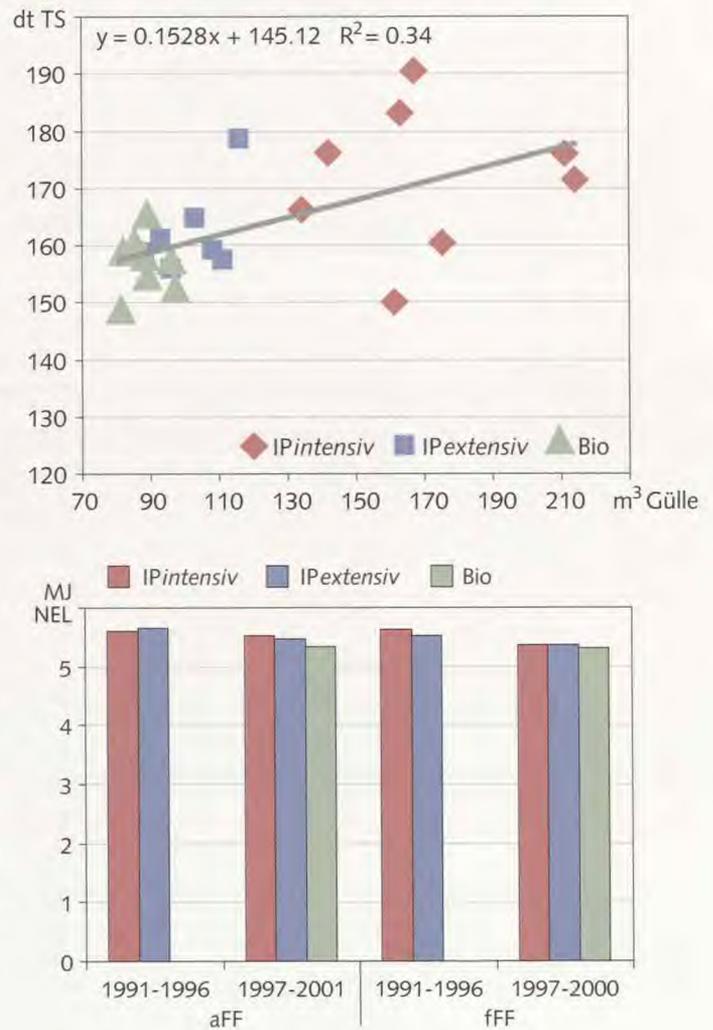


Abbildung 4: Mittlere NEL-Gehalte (MJ NEL/kg TS) der ersten drei Kunstwiesen-Schnitte der Anbausysteme bei der ackerbaubetonten Fruchtfolge (aFF) und der futterbaubetonten Fruchtfolge (fFF) in verschiedenen Versuchsperioden (NEL = Nettoenergie Laktation).

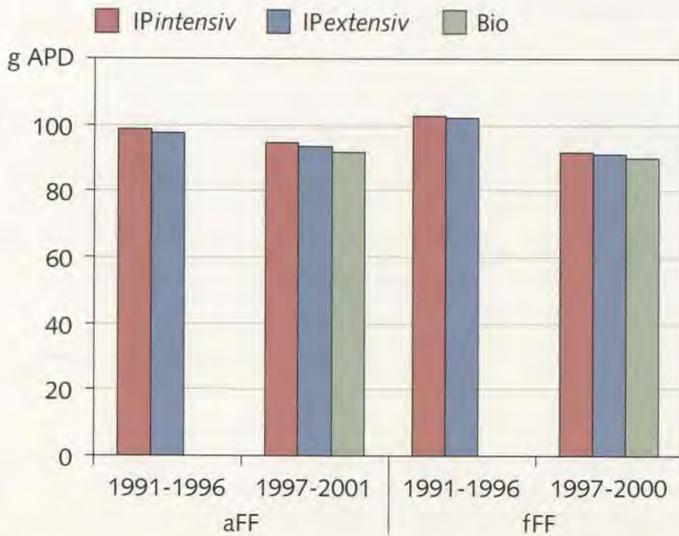


Abbildung 5: Mittlerer APD-Gehalt (g APD/kg TS) der ersten drei Kunstwiesen-Schnitte der Anbausysteme bei der ackerbaubetonten Fruchtfolge (aFF) und der futterbaubetonten Fruchtfolge (fFF) in verschiedenen Versuchsperioden (APD = absorbierbares Protein im Darm).

Teil geringfügig tieferen Gehalte in Bio könnten mit der gelegentlichen Verwendung anderer Kleeegrasmischungen zusammenhängen.

### Blackenproblem in Bio-Kunstwiesen

Zwischen den drei Anbausystemen unterschied sich die botanische Zusammensetzung der Kunstwiesen nur geringfügig. Die Bestände waren meist ausgewogen und gräserreich (50 bis 70% Gräser). Zum Teil wurden in IPextensiv und Bio etwas höhere Kleeanteile beobachtet als in IPintensiv. Die Bestände der direkt gesäten Bio-Kunstwiesen wurden wegen vermehrtem Auftreten unerwünschter Pflanzen (Gemeines und Einjähriges Rispengras, Quecke, Blacke, Löwenzahn) und grösserer Lückigkeit zum Teil botanisch schlechter beurteilt. Hauptgrund sind die aus der vorangegangenen Getreidekultur stammenden Mäh-drescherspuren, die bei der Direktsaat nicht mehr aufgelockert wurden. Dafür waren die Direktsaaten bei den Düngungs- und Nutzungsmassnahmen vor allem im Ansaatjahr bedeutend tragfähiger als die mit vorgängiger Bodenlockerung bestellten IP-Kunstwiesen.

Wurde der Boden für die Neuansaat gelockert, so keimten aufgrund des Vorrats an durchschnittlich 43 keimfähigen Blackensamen pro m<sup>2</sup> auf dieser Fläche etwa fünf Blacken. In den direktgesäten Bio-Kunstwiesen konnte die Keimung neuer Blacken auf drei pro m<sup>2</sup> reduziert werden (Streit *et al.* 2004). Bei den neu angesäten IP-Kunstwiesen wurde im Ansaatjahr eine Herbizidbehandlung mit MCPB gegen die Blacken durchgeführt. In den Hauptnutzungsjahren erfolgte die Blackenbekämpfung mittels chemischer Einzelstockbehandlung. Die Blacken in den Bio-Kunstwiesen wurden konsequent mit dem Blackeneisen ausgestochen, was durchschnittlich 44 Arbeitskraftstunden pro Hektare und Jahr erforderte.

### Fazit

Die günstigen klimatischen Bedingungen und die tiefgründigen, nährstoffreichen Böden bilden die Basis für das gute Wachstum der Kunstwiesen im Anbausystemversuch Burgrain. Der beträchtliche Kleeanteil der Kunstwiesen ermöglicht ausserdem eine gewisse Eigenversorgung mit Stickstoff. Unter solchen Voraussetzungen werden die Erträge durch eine unterschiedliche Gülledüngung nur wenig beeinflusst. Bei weitgehend gleicher Mischungszusammensetzung und gleichem Nutzungszeitpunkt ergaben sich zwischen den Anbausystemen nur unwesentliche Qualitätsunterschiede. Der Erhalt einer guten Futterqualität während der zwei- und dreijährigen Nutzungsdauer erforderte aber eine konsequente Blackenbekämpfung. In den IP-Kunstwiesen war dies mit Herbiziden relativ einfach möglich. Bei biologischer Bewirtschaftung mussten trotz der Verwendung konkurrenzkräftiger

Gehalt des Bio-Kleeegrases vereinzelt geringfügig tiefer als bei den IP-Kunstwiesen. Wie bei den Unterschieden zwischen den Hauptnutzungsjahren war dies zum Teil durch den Einsatz weniger nutzungselastischer Kleeegrasmischungen in Bio bedingt. Bei der futterbaubetonten Fruchtfolge erzielten die drei Anbausysteme beinahe dieselben mittleren NEL-Gehalte.

Auch beim mittleren Protein-Gehalt des Wiesenfutters zeigten die Anbausysteme keine bedeutsamen Unterschiede (Abb. 5). Sie betragen zwischen den Anbausystemen 1 bis 4 g APD/kg TS (APD = absorbierbares Protein im Darm). Die APD-Mittelwerte in den einzelnen Versuchsperioden waren bei allen Anbausystemen recht ähnlich. Die zum

Kleegrasmischungen und Direktsaat durchschnittlich 44 Arbeitskraftstunden pro Hektare und Jahr für das Blackenstechen aufgewendet werden.

Über die ganze Fruchtfolge betrachtet gleichen die geringen Anbausystem-Unterschiede bei den Kunstwiesen die stärkeren ökonomischen Differenzen bei den Ackerkulturen etwas aus (Tschachtli *et al.* 2004). Hervorzuheben ist aber auch der grosse ökologische Nutzen der Kunstwiesen, wie Unkraut- und Krankheitsregulation, geringere Störung des Bodenmilieus und damit Förderung der Regenwurmpopulation und Humusbildung sowie Verringerung der Nitratauswaschung.

### **Literatur**

- Lehmann J., Rosenberg E. und Mosimann E., 2000. Standardmischungen für den Futterbau: Revision 2001-2004. Agrarforschung 7 (10), Sonderdruck, 12 S.
- Lehmann J., Rosenberg E. und Briner H.-U., 2001. Modell für die Berechnung des Ertrages von Klee-Gras-Mischungen. Agrarforschung 8 (9), 364-369.
- Streit B., Scherrer C. und Tschachtli R., 2004. Dynamik der Unkrautpopulationen. Schriftenreihe der FAL 52, 70-75.
- Tschachtli R., Dubois D. und Ammann H., 2004. Produzentenpreise entscheidend für ökonomischen Erfolg. Schriftenreihe der FAL 52, 42-47.



Abbildung 1:  
Im biologischen  
Anbausystem verur-  
sachte das teurere  
Saat- und Pflanzgut  
– insbesondere  
für Kartoffeln –  
beträchtliche Mehr-  
kosten.  
(Foto: R. Tschachtli,  
LBBZ Schüpheim)

## Produzentenpreise entscheidend für ökonomischen Erfolg

Ruedi Tschachtli, David Dubois und Helmut Ammann

Im Anbausystemversuch Burgrain erzielte der Biolandbau bei allen Ackerkulturen trotz tieferer Naturalerträge als bei der integrierten Bewirtschaftung den höchsten Deckungsbeitrag. Dies ist primär nicht auf geringere Produktionskosten im Bio-Anbau zurückzuführen, sondern auf die deutlich höheren Produzentenpreise und Direktzahlungen bei der biologischen Bewirtschaftung. Unter den Bedingungen des Betriebes Burgrain lag der Deckungsbeitrag pro Hektare im Durchschnitt (1997 bis 2002) der vier Kulturen Kartoffeln, Winterweizen, Körnermais und Sommergerste im Bio-Anbau 3475 Franken über jenem von *IPintensiv* und 3617 Franken über dem Ergebnis von *IPextensiv*. Der extensive IP-Anbau erzielte einzig beim Winterweizen dank Extensobeitrag und Label-Preisbonus einen höheren Deckungsbeitrag als *IPintensiv*. Bezogen auf die vier Ackerkulturen verursachte der Bio-Anbau nur 11% mehr Arbeit als *IPintensiv*. Eine hohe Arbeitsmehrbelastung ergab sich hingegen bei den Bio-Kunstwiesen durch das Blackenstechen.

Ruedi Tschachtli  
Landw. Bildungs-  
und Beratungs-  
zentrum LBBZ,  
Chlosterbüel 28,  
6170 Schüpheim  
ruedi.tschachtli@  
edulu.ch

David Dubois  
FAL

Helmut Ammann  
FAT

Für die Nachhaltigkeit von Anbausystemen sind neben den ökologischen und sozialen Aspekten auch die ökonomischen Ergebnisse entscheidend. Die Einführung der Direktzahlungen des Bundes 1993 (allgemeine und Direktzahlungen für besondere ökologische Leistungen) bewirkte eine rasche Umstellung der Schweizer Landwirtschaft auf eine umweltschonende Bewirtschaftung. Heute wird fast die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz gemäss dem für Direktzahlungen erforderlichen ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) bewirtschaftet, ein Zehntel davon gemäss den Richtlinien des biologischen Landbaus (BLW 2003). Während die Produzentenpreise (ausser für Bio-Produkte) seit Beginn der 1990er Jahre als Folge der zunehmenden agrarpolitischen Marktöffnung und Liberalisierung deutlich gesunken sind, hat sich der Anteil der Direktzahlungen am

Betriebseinkommen stark vergrößert. In diesem Artikel wird gezeigt, wie sich die drei Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio des mehrjährigen Versuches Burgrain in diesem Umfeld positionieren und welche Deckungsbeiträge resultieren.

## Deckungsbeitrag als ökonomische Messgrösse

Als Mass für die Wirtschaftlichkeit wird im Folgenden der Deckungsbeitrag verwendet. Dieser ergibt sich aus dem Verkaufserlös der Ernteprodukte abzüglich der Direktkosten (z.B. Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Mineraldünger, Trocknungskosten, Hagelversicherungsprämien) sowie der direkt zuteilbaren Maschinenkosten (variable Maschinenkosten, Maschinenmiete und Lohnarbeiten). Die flächen- und kulturbezogenen Direktzahlungen werden bei der Berechnung des Deckungsbeitrages berücksichtigt. Somit können die Deckungsbeitragsdifferenzen direkt als Einkommensunterschiede zwischen den drei untersuchten Anbausystemen interpretiert werden. Für die Berechnungen wurden die jährlichen, betriebsspezifischen Bewirtschaftungsdaten, die Preis- und Deckungsbeitragskataloge der LBL Lindau (LBL 1991-2002a, LBL 1991-2002b) sowie die Maschinenkosten-Berechnungen (Entschädigungsansätze je Arbeitsstunde oder je Arbeitseinheit [z.B. ha, t]) von Agroscope FAT Tänikon (Ammann 1991-2002) herangezogen.

Es wurden primär die Daten der vier Kulturen Kartoffeln, Winterweizen, Körnermais und Sommergerste der ackerbaubetonten Fruchtfolge (vier Jahre Ackerbau, zwei Jahre Kunstwiese) der zweiten Fruchtfolgeperiode von 1997 bis 2002 ausgewertet. Dadurch konnte der Einfluss der bis 1990 auf dem Betrieb Burgrain praktizierten Intensivbewirtschaftung vermindert werden. Zudem konnte in dieser Versuchsperiode den aktuellen Bedingungen bezüglich Direktzahlungen und Preissituation besser Rechnung getragen werden.

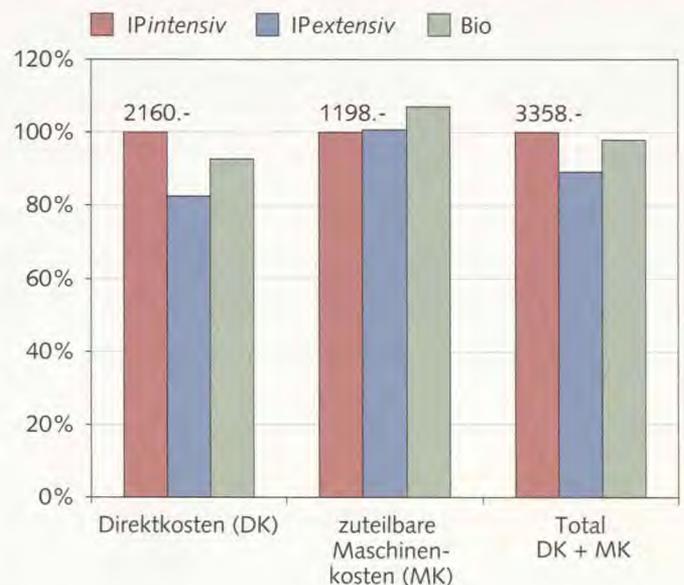
Da es unüblich ist, Deckungsbeiträge von Kunstwiesen nur auf Basis Futterproduktion zu rechnen, wurde auf diese Berechnung verzichtet. Im Gegensatz zu Ackerkulturen erschweren vor allem die unterschiedliche Nutzung (Eingrasen, Heubereitung, Weiden) und die saisonal schwankenden Preise (Heupreis) die ökonomische Bewertung von Wiesen. In diesem Artikel wird deshalb bezüglich der Kunstwiesen nur auf den Arbeitsaufwand fürs Blackenstechen als wichtige arbeitswirtschaftliche Kenngrösse eingegangen.

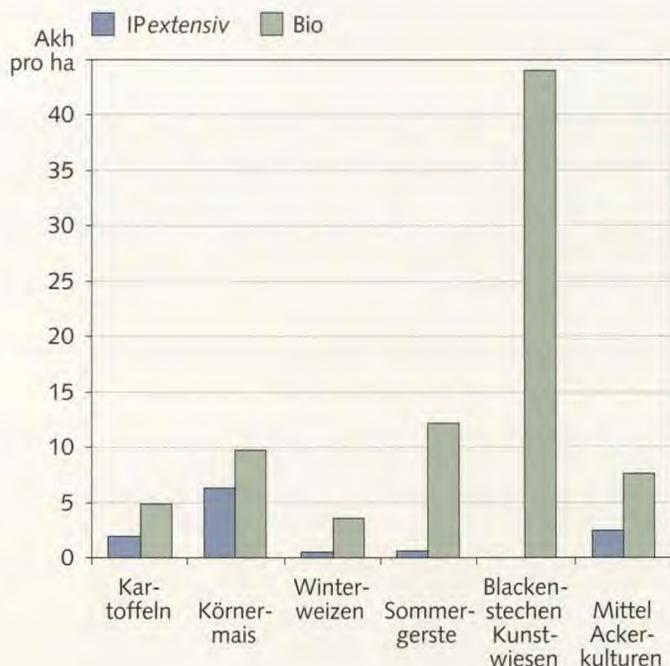
Abbildung 2: Direktkosten und zuteilbare Maschinenkosten der drei Anbausysteme; relative Durchschnittswerte (*IPintensiv* = 100%) pro Hektare und Jahr, basierend auf den Kosten für Kartoffeln, Winterweizen, Körnermais und Sommergerste von 1997 bis 2002.

## Geringe Unterschiede bei den Produktionskosten

Durch die Extensivierungsmassnahmen in *IPextensiv* konnten im Durchschnitt der vier Ackerkulturen gegenüber *IPintensiv* 17% der Direktkosten eingespart werden (Abb. 2). Der Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren im extensiven Getreideanbau, die Anwendung des PhytoPRE-Prognosesystems für eine gezielte Fungizidanwendung im Kartoffelanbau, Herbizid-Bandspritzungen im Mais sowie ein reduzierter Einsatz von Stickstoff-Mineraldüngern erlaubten im Mittel Einsparungen von 374 Franken pro Hektare und Jahr. Im biologischen Anbausystem wurden – ausgenommen Kupferpräparate im Kartoffelanbau – keine Hilfsstoffe eingesetzt. Allerdings verursachte das Bio-Saat- und Pflanzgut beträchtliche Mehrkosten, so dass die Direktkosten gegenüber *IPintensiv* nur 7% tiefer ausfielen.

Der Arbeitszeitbedarf im Ackerbau war in *IPextensiv* 3% und in Bio 11% höher als in *IPintensiv*. Mehrarbeit ergab sich vor allem bei der Unkrautregulierung (Hacken, Einzelstockbehandlungen, teilweise Jäten von Hand in Bio), der Gülledüngung, der Anwendung





**Abbildung 3:** Zusätzlicher Arbeitszeitbedarf (Akh = Arbeitskraftstunde) pro Hektare in IPextensiv und Bio gegenüber IPintensiv in den Kulturen der ackerbaubetonten Fruchtfolge; Durchschnittswerte von 1997 bis 2002 (Kunstwiesen: Akh pro ha und Jahr).

Mechanisierung bei IPintensiv und IPextensiv teilweise deutlich unterschieden, lagen die zuteilbaren Maschinenkosten (variable Maschinenkosten, Maschinenmiete und Lohnarbeiten) im Ackerbau bei beiden Anbausystemen auf ähnlichem Niveau. Während in IPextensiv die teilweise mechanische Unkrautregulierung und die Gülledüngung einen Mehraufwand verursachten, hatte IPintensiv den höchsten Aufwand für das Ausbringen der Pflanzenschutzmittel und der Stickstoff-Mineraldünger. Die Kosten für die Bodenbearbeitung waren dagegen vergleichbar.

In Bio erhöhten das Ausbringen der Hofdünger und die mechanische Unkrautkontrolle die Maschinenkosten gegenüber IPintensiv um 7%. Insbesondere der Gülleeinsatz im Bio-Mais (zweite Gabe mit Beregnungsautomat und Schleppschauchverteiler) und in den Bio-Kartoffeln sowie das Hacken in diesen zwei Kulturen wirkten kostensteigernd. Im Bio-Getreide hingegen waren die Maschinenkosten sogar leicht geringer als in IPintensiv. Insgesamt lag das Total der Direktkosten und zuteilbaren Maschinenkosten in Bio 2% und in IPextensiv 11% tiefer als in IPintensiv (Abb. 2).

### Sinkende Produzentenpreise – steigende Direktzahlungen

Im Verlauf der 12 Versuchsjahre sanken die Preise für Ackerprodukte (ausgenommen Bio-Anbau) stark. Abbildung 4 zeigt diese Entwicklung am Beispiel von IP-Winterweizen, dessen Produzentenpreis von 1991 bis 2002 um 35% abnahm. Die Preissenkung ergab sich zunächst durch eine je nach Höhe der Gesamternte unterschiedliche Beteiligung der Produzenten an den Verwertungskosten sowie eine kontinuierliche Reduktion des vom Bund festgelegten Übernahmeprices. Die Liberalisierung des Getreidemarktes ab 2001 hatte einen weiteren Preisrückgang zur Folge.

Ab 1993 wurden die Preissenkungen durch flächenbezogene Beiträge des Bundes (Direktzahlungen) teilweise ausgeglichen (Abb. 4). Der Grundbeitrag pro Hektare von 400 Franken (1993) erhöhte sich bis auf 1200 Franken (ab 1999). Ab dem Jahr 2001 kam ein Zusatzbeitrag für offenes Ackerland von 400 Franken pro Hektare hinzu. Dafür wurde mit der Liberalisierung des Getreidemarktes die bisherige Anbauprämie für Futtergetreide abgeschafft.

Für die extensive Produktion von Getreide (Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren) werden sogenannte Extensio-Beiträge ausgerichtet. Die Anbausysteme IPextensiv und Bio erfüllten diese Bedingungen in allen Versuchsjahren. Der

von Prognosesystemen (z.B. PhytoPRE im Kartoffelanbau) und von Hilfsmitteln für eine gezielte Stickstoff-Düngung (z.B. N<sub>min</sub>-Methode).

Beim Arbeitsaufwand im Futterbau lag Bio wegen des Blackenstechens deutlich an der Spitze (Abb. 3). Pro Hektare Kunstwiese mussten hier durchschnittlich 44 Arbeitsstunden pro Jahr für die manuelle Unkrautbekämpfung eingesetzt werden (Aufwand im Ansaatjahr auf die zwei Hauptnutzungsjahre aufgeteilt). Durch eine Optimierung der Anbautechnik für die Bio-Kunstwiesen (Direktsaat, Wahl konkurrenzstarker Kleeegrasmischungen) konnte eine gewisse Reduktion des Arbeitsaufwandes erzielt werden. Die hohe Arbeitsbelastung für das Blackenstechen ist in Bio-Betrieben mit beschränkten Personalressourcen oft ein Problem. Dieses sogenannte «Blackenproblem» hält viele Betriebsleiter davon ab, auf den biologischen Landbau umzustellen.

Obwohl sich die Arbeiten und die eingesetzte

Extensobeitrag reduzierte sich im Verlauf der Versuchsjahre von 800 auf 400 Franken pro Hektare (Abb. 4). Der biologische Anbau wurde ab 1993 mit zusätzlichen Direktzahlungen unterstützt. Die sinkenden Produzentenpreise und das Direktzahlungssystem führten beispielsweise beim Winterweizen (2002) dazu, dass die Direktzahlungen in *IPintensiv* 42% des Rohertrages ausmachten (*IPextensiv* und Bio je 51%). 1997 hatte dieser Anteil in *IPintensiv* erst 13% betragen (*IPextensiv* und Bio je 24%).

Die Produzentenpreise für Bio-Ackerprodukte lagen in allen Versuchsjahren deutlich über denjenigen der integrierten Produktion (Abb. 4, Beispiel Winterweizen). Die grosse Nachfrage nach inländischem Bio-Getreide wirkte sich positiv auf die Produzentenpreise aus. Ausserdem befreite der Bund den Bio-Weizen vom Verwertungsbeitrag. Die Produzentenpreise für Bio-Kartoffeln lagen ebenfalls deutlich über den IP-Preisen (Beispiel Sorte Agria 2002: IP Fr. 42.60 pro dt; Bio Fr. 80.– pro dt). Aufgrund der hohen Produzentenpreise zeigte Bio trotz niedrigerer Erträge bei allen Ackerkulturen die höchsten Roherträge. In *IPextensiv* wurden für Winterweizen und Kartoffeln zusätzlich die Produktionsrichtlinien des Labels IP-Suisse eingehalten. Die IP-Suisse-Zusatzanforderungen betreffen insbesondere Detailbestimmungen für Düngung und Pflanzenschutz und werden in Form eines Preisbonus abgegolten. Dadurch ergab sich über die vier Kulturen Kartoffeln, Winterweizen, Körnermais und Sommergerste (1997 bis 2002) in *IPextensiv* ein um rund 4% höherer Durchschnittspreis gegenüber *IPintensiv*. Im Jahr 2002 lag der durchschnittliche Bio-Preis für diese Kulturen 80% über dem Wert von *IPintensiv*.

Abbildung 4 (Mitte): Entwicklung der verschiedenen Flächenbeiträge (Fr. pro ha) des Bundes (Direktzahlungen) und der Produzentenpreise (Fr. pro dt) am Beispiel Winterweizen während der Versuchsperiode 1991 bis 2002.

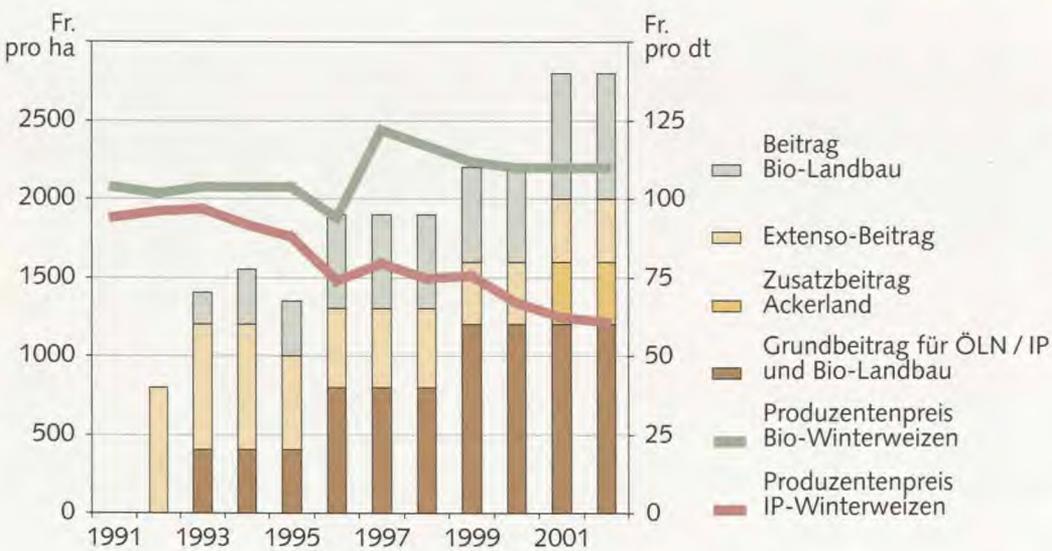
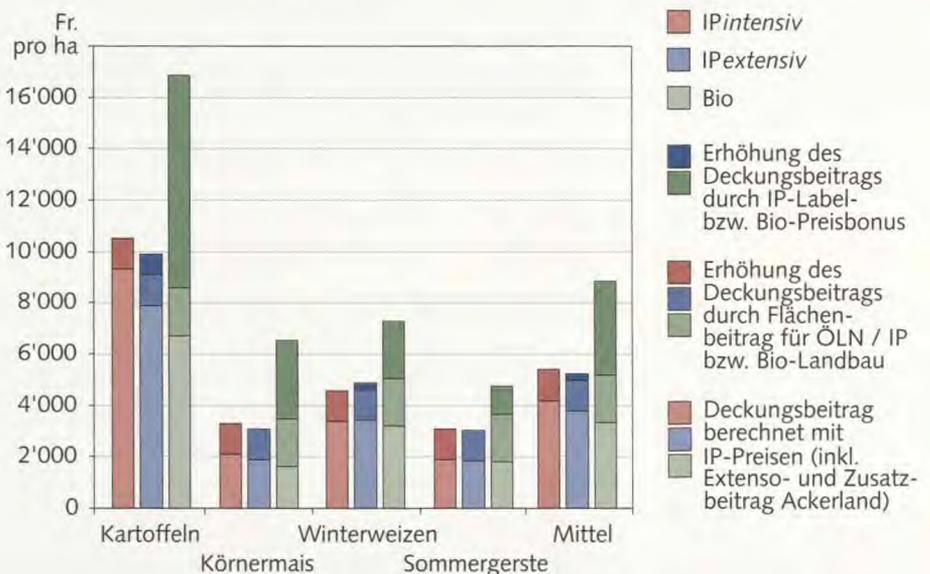


Abbildung 5 (unten): Zusammensetzung der Deckungsbeiträge (Fr. pro ha) von Kartoffeln, Körnermais, Winterweizen und Sommergerste in den drei Anbausystemen sowie gemittelter Wert für diese vier Ackerkulturen; Durchschnittswerte von 1997 bis 2002.

### Bio-Ackerbau wirtschaftlich interessant

Bei Verwendung gleicher IP-Produzentenpreise in allen drei Anbausystemen und mit Berücksichtigung der flächenbezogenen Extensio- und Zusatzbeiträge für Ackerland war der Ackerbau in *IPintensiv* auf der Stufe Deckungsbeitrag am wirtschaftlichsten (Abb. 5). Dieser Deckungsbeitrag lag im Durchschnitt der vier Kulturen der ackerbaubetonnten Fruchtfolge (1997 bis 2002) in *IPintensiv* 7% über demjeni-



gen von IP*extensiv* und 16% über dem Wert von Bio. Wurden alle flächenbezogenen Beiträge des Bundes mitberücksichtigt, reduzierte sich im Mittel der vier Ackerkulturen (1997 bis 2002) der Unterschied im Deckungsbeitrag zwischen IP*intensiv* und IP*extensiv* von 7% auf 5%. Der Unterschied in Franken berechnet blieb jedoch unverändert, da beide IP-Anbausysteme dieselben allgemeinen Flächenbeiträge bezogen. Bio überflügelte dagegen aufgrund der höheren Flächenbeiträge IP*extensiv* und reduzierte die Differenz gegenüber IP*intensiv* von 851 auf 184 Franken pro Hektare.

Abbildung 6:  
Beim Arbeitsaufwand im Futterbau lag Bio deutlich an der Spitze. Grund dafür ist die Handarbeit für das Blackenstechen.  
(Foto: R. Tschachtli, LBBZ Schüpheim)



Wurden die Deckungsbeiträge der vier Ackerkulturen mit den tatsächlich erzielten Produzentenpreisen für Bio- und Label-Anbau (IP-Suisse bei Winterweizen und Kartoffeln in IP*extensiv*) berechnet, veränderte sich das Resultat im biologischen Anbausystem grundlegend (Abb. 5). Bio erzielte im Durchschnitt der vier Kulturen in der ackerbaubetonten Fruchtfolge (1997 bis 2002) einen um 65% oder 3475 Franken pro Hektare höheren Deckungsbeitrag als IP*intensiv*. Dagegen reichten die Label-Preiszuschläge in IP*extensiv* nicht aus, um die Differenz gegenüber IP*intensiv* vollständig zu kompensieren. Es blieb eine Deckungsbeitragsdifferenz von 2% oder 142 Franken pro Hektare. Die höheren Produzentenpreise für Bio-Produkte wirkten sich im Anbausystemversuch Burgrain besonders stark aus, da der biologische Anbau unter den günstigen Standortbedingungen unerwartet

geringe Ertragseinbussen gegenüber dem IP-Anbau aufwies (Dubois *et al.* 2004, Tschachtli *et al.* 2004).

In allen Anbausystemen wiesen die Kartoffeln die höchsten Deckungsbeiträge pro Hektare auf: IP*intensiv* 10'518 Franken, IP*extensiv* 9'906 Franken, Bio 16'841 Franken (Abb. 5). Bei Winterweizen lag der Deckungsbeitrag von IP*extensiv* dank Extenso-Beitrag und IP-Suisse-Preisbonus 307 Franken pro Hektare über dem Ergebnis von IP*intensiv*. Der von einem hohen Preis profitierende Bio-Weizen erzielte einen um 60% höheren Deckungsbeitrag als IP*intensiv*. Die extensiv produzierte Sommergerste erreichte nicht ganz das IP*intensiv*-Deckungsbeitragsniveau (minus 45 Franken pro Hektare), während die Bio-Sommergerste um 54% besser abschnitt als IP*intensiv*. Da für extensiv angebauten Mais kein Extenso-Beitrag ausbezahlt wird, waren die finanziellen Einbussen von IP*extensiv* gegenüber IP*intensiv* bei dieser Kultur mit 7% am grössten.

Bio-Körnermais erzielte dank des hohen Preises ein um 97% besseres Ergebnis als im IP*intensiv*-Anbau. Da Bio-Futtergetreide meist auf dem eigenen Betrieb verwertet wird, übersteigt die Nachfrage das Angebot deutlich, was zu hohen Produzentenpreisen führt.

### Gesamtbetriebliche Situation entscheidend

Die ökonomischen Vorteile biologisch angebauter Ackerkulturen auf Burgrain kommen bei nur mässig tieferen Erträgen als im IP-Anbau vor allem durch höhere Produzentenpreise und Direktzahlungen zustande. Die günstigen Standortbedingungen, die vielseitige Fruchtfolge, die vorhandenen Hofdünger und das Können der Bewirtschafter sind die Hauptgründe für die hohen Erträge im Bio-Ackerbau. Diese Ergebnisse dürfen deshalb nicht direkt auf andere Standorte übertragen werden.

Beim Vergleich von Landbauformen sollte zudem die gesamtbetriebliche Situation berücksichtigt werden. Den günstigen ökonomischen Ergebnissen des Bio-Ackerbaus stehen zusätzliche Arbeit und strengere Vorschriften (z.B. Tierhaltung, Futtermittelzukauf) bei gesamtbetrieblicher biologischer Bewirtschaftung gegenüber. Mehrarbeit und hohe Produktionsanforderungen in der Tierhaltung hindern viele Betriebe in der Region an einer Umstellung auf den biologischen Landbau – trotz gegenwärtig sehr guter Preise für Bio-Ackerprodukte.

Dank geringerer Produktionskosten sowie Beiträgen und Preisboni für extensive Produktion erzielte *IPextensiv* einen ähnlichen Deckungsbeitrag wie *IPintensiv*. Angesichts der guten Nachfrage nach Extenso-Brotgetreide ist besonders die extensive Produktion von Label-Winterweizen eine wirtschaftlich interessante Variante für gemischtwirtschaftliche, integrierte Betriebe.

### **Literatur**

- Ammann H. (Redaktion). Maschinenkosten, Ausgaben 1991-2002. Hrsg.: FAT Tänikon.  
BLW, 2003. Agrarbericht 2003, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.  
Dubois D., Tschachtli R., Briner H.-U. und Gunst L., 2004. Ertrag und Qualität der Kunstwiesen. Schriftenreihe der FAL 52, 37-41.  
LBL, Preiskatalog, Ausgaben 1991-2002a. Hrsg.: Landw. Beratungszentrale Lindau (LBL).  
LBL, Deckungsbeiträge, Ausgaben 1991-2002b. Hrsg.: Landw. Beratungszentrale Lindau (LBL).  
Tschachtli R., Dubois D. und Fried P.M., 2004. Ertrag und Qualität der Ackerkulturen. Schriftenreihe der FAL 52, 28-33.



## Standort- und Kultureffekte prägen das Bodengefüge

Urs Zihlmann, Ruedi Tschachtli und Peter Weisskopf

Im Anbausystemversuch Burgrain wurde von 1992 bis 2002 mit Spatenprobenbeurteilungen und Aggregatstabilitätsmessungen der Einfluss der drei Anbausysteme IP*intensiv*, IP*extensiv* und Bio auf das Bodengefüge untersucht. Bei den jeweils im Frühsommer durchgeführten Beprobungen waren Bodenart, Witterungsverlauf und kulturspezifische Effekte die wichtigsten Einflussgrössen. Den grössten Einfluss auf die Qualität des Oberbodengefüges hatten das Bearbeiten und Befahren des Bodens sowie die zum Zeitpunkt der Bewirtschaftung herrschende Bodenfeuchte. Da sich die Anbausysteme in Bezug auf die Kulturenabfolge nicht und in Bezug auf das Bearbeiten und Befahren wenig unterschieden, ergaben sich keine statistisch signifikanten Systemunterschiede bei der Qualität des Bodengefüges. Die Aggregatstabilität wurde von den Standortfaktoren – vor allem vom Ton- und Humusgehalt der Böden – sowie von kulturbedingten Einwirkungen geprägt. Die Unterschiede zwischen den Anbausystemen bei der Unkrautbekämpfung (mechanisch versus chemisch) und der Düngung (organisch versus mineralisch/organisch) bewirkten nach elf Versuchsjahren keine sichtbaren Unterschiede in der Qualität des Bodengefüges an diesem Standort. In den kommenden Versuchsjahren soll abgeklärt werden, wie sich im Anbausystem IP*extensiv* eine meist pfluglose Bewirtschaftung mit vorwiegend Mulchsaat auf die Bodenqualität auswirkt.

Die integrierte Produktion (IP) und der biologische Landbau (Bio) definieren sich aufgrund ihrer Entstehung massgeblich durch den unterschiedlichen Hilfsmiteileinsatz in den Bereichen Pflanzenschutz und Düngung. Im Hinblick auf die Art und die Intensität der Bodenbearbeitung bestehen jedoch bei beiden Landbauformen keine Mindestanforderungen. Im ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) wird durch die Forderung nach vermehrter Bodenbedeckung einzig der Bearbeitungszeitpunkt zumindest teilweise vorgegeben.

Das Bodengefüge gehört zu den wichtigsten, den Charakter eines Bodens bestimmenden Eigenschaften. Die Eignung eines Bodens als produktiver Pflanzenstandort sowie als Speicher und Filter für Wasser hängt wesentlich davon ab, wie stabil die Bodenteilchen zusammengefügt sind und welche Hohlräume gebildet werden. Das Bodengefüge verändert sich laufend durch Gefügebildungsprozesse wie Quellen, Schrumpfen oder Frostsprengung. Auch die Durchwurzelung, die pflanzliche Bodenbedeckung und die Aktivität der Bodenorganismen sowie Bewirtschaftungsmassnahmen wie Bearbeiten, Befahren und Nährstoffzufuhr beeinflussen das Bodengefüge. Ziel jeder landwirtschaftlichen Bodennutzung muss es sein,

Urs Zihlmann  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
urs.zihlmann@  
fal.admin.ch

Ruedi Tschachtli  
LBBZ Schüptheim

Peter Weisskopf  
FAL

ein in Bezug auf den Aufbau und den Zusammenhalt optimales Bodengefüge – einen sogenannten «garen» Boden – zu schaffen und zu erhalten.

## Bearbeitungsmassnahmen beeinflussen Bodengefüge

Die Untersuchungen zum Bodengefüge im Anbausystemversuch Burgrain wurden jedes Jahr im Frühsommer in den sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge (Zihlmann und Tschachtli 2004) durchgeführt. In den vier bis fünf Aren grossen Referenzflächen jedes Anbausystem-Streifens wurden jeweils zwei Spatenproben bis etwa 45 cm Bodentiefe entnommen und in jedem Jahr von derselben Person «blind» beurteilt, das heisst, dem Beurteilenden war die genaue Probenherkunft unbekannt.

Mit der Spatenprobe (Abb. 1) kann ohne Aufwand an Apparaten der Gefügezustand des Ober- und Unterbodens und der dazwischen liegenden Übergangsschicht beurteilt und benotet werden (schlechteste Note: 1; beste Note: 5). Die Gefügequalität ergibt sich dabei aus dem Zusammenwirken von Bodenzusammensetzung der Versuchsfelder («Parzelle»), Witterung («Jahr») und Bewirtschaftungsmassnahmen («Kultur», «Anbausystem»). Die Auswertung der von 1992 bis 2002 durchgeführten Spatenprobenbeurteilungen führte im Anbausystemversuch Burgrain zu den folgenden Ergebnissen.

### Parzelle

Alle drei beurteilten Bodenschichten zeigten hinsichtlich der Gefügequalität einen statistisch signifikanten Parzelleneffekt. Dies ist auf Unterschiede im Ton- und Humusgehalt zurückzuführen. Die Ton- und Humusgehalte waren die wichtigsten Bestimmungsgrössen für Gefügebildung und -stabilität der sechs untersuchten Parzellen auf Burgrain. Im Mittel der Versuchsjahre zeigte beispielsweise die Parzelle «Kastelen» mit sandigem Moränenboden geringere Gefügebeeinträchtigungen in der Übergangsschicht (Note 3,6) als die grundfeuchten Schwemmlandböden, deren Übergangsschicht durchschnittlich mit 3,2 benotet wurde. Da der gut wasserdurchlässige Moränenboden rascher abtrocknet, ist er häufiger in einem günstigen Zustand für die Bearbeitung als die feinkörnigen, feuchteren und deshalb auch verdichtungsempfindlicheren Schwemmlandböden.

### Jahr

Der Jahreseinfluss war bezüglich Gefügequalität, Bodendurchlüftung und Abbau der Ernterückstände signifikant. Auf Unterschiede im Witterungsverlauf reagierte vor allem der Oberboden: Beispielsweise wurde im trockenen Frühjahr 1998 das Oberbodengefüge im Mittel aller sechs Parzellen mit Note 3,4 deutlich besser beurteilt als im nassen Jahr 1999 mit Note 2,6. Solche durch Bearbeitung in feucht-nassem Zustand verursachten Gefügeschädigungen konnten jedoch in allen Parzellen bereits nach einem Jahr nur noch selten visuell nachgewiesen werden. Vermutlich vermag sich das Gefüge auch dank des aktiven Bodenlebens rasch zu regenerieren. Dazu trägt nicht nur die grosse Anzahl von durchschnittlich 270 Regenwürmern pro m<sup>2</sup> (Mittel 1997 bis 2002) in den beprobten Parzellen bei (Jossi *et al.* 2004), sondern auch die hohe mikrobiologische Aktivität (Oberholzer 2004).

Auch der Abbau der Ernterückstände im Oberboden wurde stark von der Jahreswitterung beeinflusst. Im niederschlagsreichen Jahr 1999 mit häufig schlechter Sauerstoffversorgung im Boden ergab sich mit der Note 3 die schlechteste Bewertung für den Abbau der Ernterückstände während der gesamten Versuchsdauer.

### Kultur

Die kulturbedingten Einwirkungen (Durchwurzelung, Bodenbedeckung, mechanische Belastungen) hatten deutliche Folgen für das Oberbodengefüge. Unter Winterweizen wurde das Oberbodengefüge im langjährigen Mittel am besten beurteilt (Abb. 2). Hauptgrund dafür ist die rund achtmonatige ungestörte Regenerationszeit zwischen dem letzten

Abbildung 1 (linke Seite): Mit der Spatenprobe lässt sich einfach erkennen, wie sich die Bearbeitung, das Befahren und die Beweidung auf das Bodengefüge ausgewirkt haben. (Foto: R. Tschachtli, LBBZ Schüpfheim)

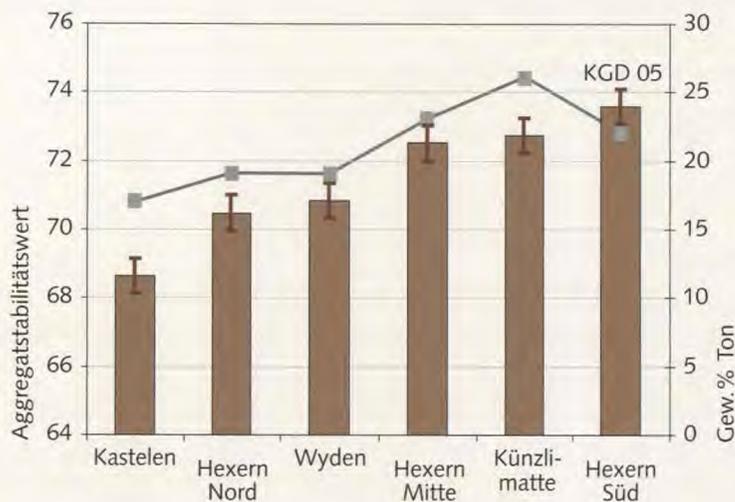
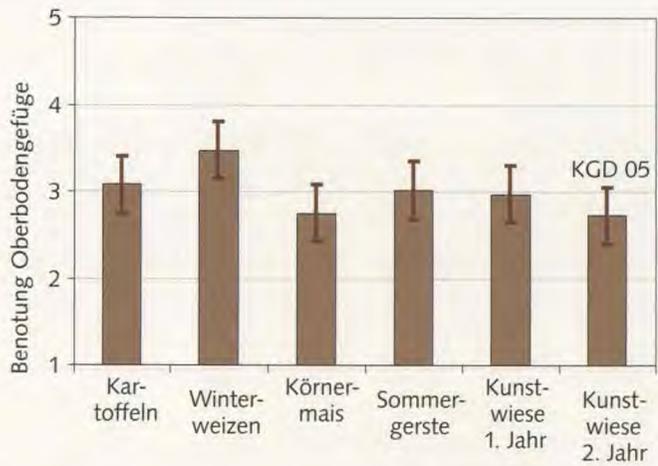


Abbildung 2 (oben): Einfluss der Kulturen der ackerbaubetonten Fruchtfolge auf die Qualität des Oberbodengefüges im Juni. Mittel der Spatenprobennoten in allen Anbausystemen von 1992 bis 2002 (beste Note: 5). KGD 05: kleinste gesicherte Differenz (bei  $p < 0,05$ )

Abbildung 3 (unten): Aggregatstabilitätswerte (Balken) und Tongehalt (Punkte) der sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge (Gesamtmittelwert der drei untersuchten Bodenteilchen-Grössenklassen von 1992 bis 2002; höhere Werte entsprechen einer höheren Aggregatstabilität).

Unterschiede zwischen den Anbausystemen. Das liegt hauptsächlich daran, dass die Bodenbearbeitung als wesentliche, gefügerelevante Bewirtschaftungsmassnahme in den drei Anbausystemen mehrheitlich identisch mit Pflug und Zinkenrotor und meist zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt wurde. Dadurch ergaben sich nur selten deutliche Unterschiede in den Einwirkungen auf das Bodengefüge. Wurde der Boden in einzelnen Fällen jedoch mit unterschiedlichen Geräten – beispielsweise Grubber anstatt Pflug – oder zu verschiedenen Zeitpunkten mit stark unterschiedlicher Bodenfeuchte bearbeitet, so zeigte die nachfolgende Spatenproben-Beurteilung meistens Unterschiede in der Gefügequalität, die aber nicht von Dauer waren und sich meistens bereits während der Folgekultur wieder ausglich. Insbesondere nach der zweijährigen Kunstwiesennutzung lag die Gefügequalität in allen Anbausystemen – trotz teilweise unterschiedlicher Ansaatetechniken – praktisch wieder auf demselben Niveau. Die anschliessende Kartoffelkultur konnte daher mit derselben Oberbodenqualität starten.

Ab 1997 wurde in den Anbausystemen IP*extensiv* und Bio der Onland-Pflug eingesetzt, während in IP*intensiv* weiterhin herkömmlich (mit den Traktorrädern in der Furche fahrend) gepflügt wurde. Mit der Spatenprobenbeurteilung konnten visuell keine eindeutigen Gefügeunterschiede zwischen diesen zwei Pflugsystemen nachgewiesen werden.

Die Anbausystemunterschiede bei der Unkrautbekämpfung (mechanisch versus chemisch) bewirkten bis jetzt keine sichtbaren Differenzen in der Qualität des Bodengefüges. Auch hinsichtlich der Düngung (organisch versus mineralisch/organisch) liessen sich keine deutlichen Gefüge-Qualitätsunterschiede erkennen. Der reichliche Einsatz organischer Dünger in allen drei Anbausystemen scheint hier ausgleichend zu wirken.

Bearbeitungseingriff im Oktober und der Beurteilung im darauffolgenden Juni. Zum Beurteilungszeitpunkt war der Boden intensiv durchwurzelt und von Weizenpflanzen bedeckt.

Das Gefüge im Oberboden der Kunstwiesen wies wegen häufigem Befahren oder intensivem Beweiden in dieser niederschlagsreichen Region meistens Verdichtungen auf. Die Gefügequalität war daher vergleichbar mit derjenigen in den Parzellen mit Ackerkulturen (Abb. 2). Auffallend ist die Abnahme der Gefügequalität von der ein- zur zweijährigen Kunstwiese. Unter den herrschenden feuchten Klimabedingungen scheint die viel gepriesene regenerierende Wirkung der intensiv genutzten Kunstwiesen auf das Oberbodengefüge – trotz Zunahme der Regenwurmpopulation – nicht sehr stark gewesen zu sein. Die mechanische Bodenbelastung durch die intensive, durchschnittlich fünfmalige Schnitt- und Weidenutzung pro Jahr war offenbar zu gross.

#### Anbausystem

Über die gesamte Versuchsdauer betrachtet ergaben die Spatenprobenbeurteilungen keine Hinweise auf statistisch signifikante

## Ton und Humus stabilisieren Bodenteilchen

Für die Bestimmung der Aggregatstabilität wurden aus der oberen Bodenschicht (0-15 cm) jeweils zwei Proben entnommen und bis zur Analyse mit dem Stampfvolumeter luftgetrocknet (Zihlmann *et al.* 1999). In diesem Artikel wird meistens das Gesamtmittel der Aggregatstabilitätswerte der drei untersuchten Bodenteilchen-Größenklassen (Durchmesser: 0 bis 2; 2 bis 5; 5 bis 10 mm) betrachtet.

Die Aggregatstabilität im Oberboden ist eine Kenngröße, die hauptsächlich von der Bodenzusammensetzung der Versuchsfelder («Parzelle»), der Jahreswitterung («Jahr») und der Bewirtschaftung («Kultur», «Anbausystem») abhängig ist. Die Auswertung der elfjährigen Messreihe von Aggregatstabilitätsdaten zeigte für den Anbausystemversuch Burgrain folgende Zusammenhänge:

### Parzelle

Die Aggregatstabilität aller sechs Parzellen variierte um den Wert 70, was als mässig stabil interpretiert werden kann (Abb. 3). Trotz geringer Differenzen war der Parzelleneffekt signifikant. Damit bestätigte sich die Annahme, dass mit steigendem Ton-, Humus- und Kalkgehalt (pH-Wert) der Zusammenhalt der Bodenteilchen auf der Aggregatebene zunimmt. Der Moränenboden der Parzelle «Kastelen», der den geringsten Ton- und Humusgehalt sowie den tiefsten pH-Wert aufwies, hatte dementsprechend die geringste Aggregatstabilität.

### Jahr

Der Jahreseinfluss war ebenfalls statistisch signifikant. Neben dem Witterungsverlauf spielten hier wahrscheinlich auch methodisch bedingte Unterschiede (Bodenzustand bei Probenahme, Probentrocknung, -lagerung und -aufarbeitung sowie Dauer zwischen Probenahme und Analyse) eine Rolle. Es wurden daher nur die relativen Werte miteinander verglichen. Wenn jedes Jahr der Aggregatstabilitätswert von *IPextensiv* gleich 100% gesetzt wird, liegen von 126 korrespondierenden Messwerten aus den Anbausystemen *IPintensiv* und Bio 119 in einem engen Bereich von 95 bis 105%. Der maximale Schwankungsbereich liegt zwischen 91 und 110%.

### Kultur

Bei einmaliger Beprobung im Frühsommer widerspiegelt der Faktor «Kultur» vor allem den unterschiedlichen Durchwurzelungs- und Bodenbedeckungseffekt der Kulturpflanzen auf die Aggregatstabilität. Zu den kulturbedingten Einwirkungen zählt auch die Bodenbearbeitung. Von den drei untersuchten Bodenteilchen-Größenklassen zeigte nur diejenige mit 5 bis 10 mm Durchmesser einen stark signifikanten Kultureffekt (Abb. 4). Die Stabilitätswerte dieser Makroaggregate sind unter Kunstwiese deutlich besser als in den Ackerkulturen. Dies ist hauptsächlich auf die fehlende Bodenbearbeitung sowie die permanente Bodenbedeckung und intensive Durchwurzelung bei Kunswiesennutzung zurückzuführen. Wahrscheinlich hat auch die Pressung des Bodens durch das Befahren oder Beweiden die Stabilität erhöht.

Bei den kleinsten Bodenteilchen bis 2 mm Durchmesser waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kulturen zu erkennen (Abb. 4). Sie scheinen durch kurzfristige kultur-

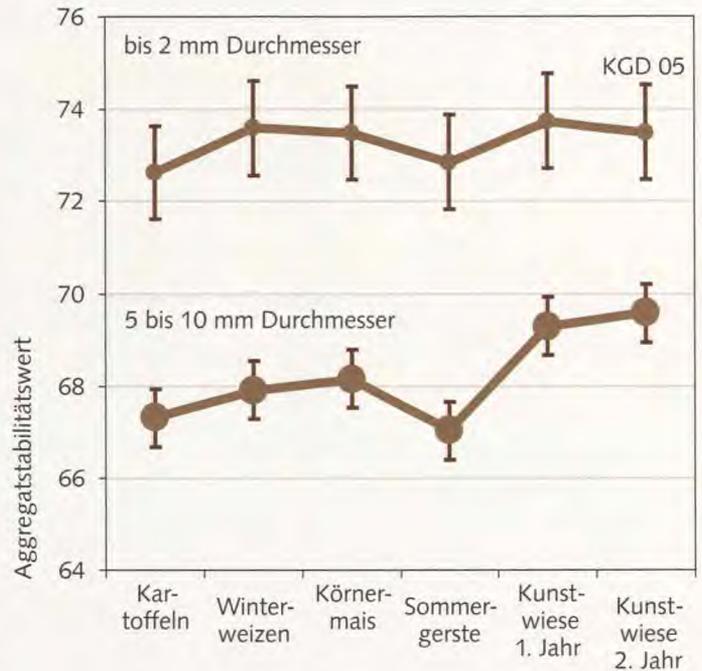


Abbildung 4: Verlauf der Aggregatstabilitätswerte der Bodenteilchen-Größenklassen 0 bis 2 mm und 5 bis 10 mm Durchmesser in den Kulturen der ackerbaubetonnten Fruchtfolge (Mittelwerte von 1992 bis 2002; höhere Werte entsprechen einer höheren Aggregatstabilität).

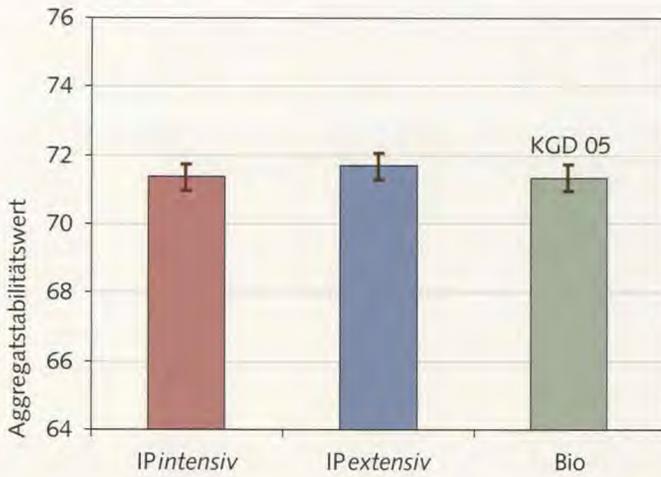


Abbildung 5: Aggregatstabilitätswerte der drei Anbausysteme in der ackerbaubetonten Fruchtfolge (Gesamtmittelwert der drei untersuchten Bodenteilchen-Grössenklassen von 1992 bis 2002; höhere Werte entsprechen einer höheren Aggregatstabilität).

mässigem Pflugeinsatz. Vermutlich trug auch die zweijährige Kunstwiese mit ihrer ausgleichenden Wirkung zu diesem Resultat bei.

### Literatur

- Jossi W., Valenta A., Tschachtli R., Zihlmann U. und Dubois D., 2004. Das Auf und Ab der Regenwurmfauna. Schriftenreihe der FAL 52, 53-58.
- Oades J.M. and Waters A.G., 1991. Aggregate hierarchy in soils. Aust. J. Soil Res. 29, 815-828.
- Oberholzer H.-R., 2004. Mikrobiologische Eigenschaften des Bodens. Schriftenreihe der FAL 52, 59-64.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Dubois D. und Tschachtli R., 1999. Burgrain: Bodenstruktur in unterschiedlichen Anbausystemen. Agrarforschung 6 (5), 165-168.
- Zihlmann U. und Tschachtli R., 2004. Standort- und Versuchsbeschreibung. Schriftenreihe der FAL 52, 23-27.

bedingte Eingriffe nicht wesentlich beeinflusst zu werden. Ihre Stabilität wird eher durch Standortfaktoren bestimmt. Diese Interpretation wird auch durch die Untersuchungen von Oades und Waters (1991) gestützt.

### Anbausystem

Nach elf Untersuchungsjahren konnten keine signifikant unterschiedlichen Wirkungen der Anbausysteme auf die Aggregatstabilität nachgewiesen werden (Abb. 5). Der Grund liegt wahrscheinlich in der identischen Fruchtfolge sowie in den gleichen Bodenbearbeitungsmassnahmen mit (fast) regel-



## Das Auf und Ab der Regenwurmfauna

Werner Jossi, Anna Valenta, Ruedi Tschachtli, Urs Zihlmann und David Dubois

Im Anbausystemversuch Burgrain wurden in den sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge Regenwurmerhebungen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Anbausysteme Bio und IPextensiv das Vorkommen des tiefe Gänge grabenden Tauwurms (*Lumbricus terrestris*) und der im Oberboden lebenden kleinen endogäischen Regenwurmartens besonders förderten. Die tiefgrabenden *Nicodrilus*-Arten, welche mit 58% die Regenwurm-Biomasse dominierten, zeigten hingegen kaum Unterschiede zwischen den Anbausystemen. Die allgemeinen ackerbaulichen Massnahmen führten allerdings zu starken Populationsschwankungen bei den *Nicodrilus*-Arten. Insbesondere das Pflügen im Oktober vor Winterweizen wirkte sich negativ aus. Während der zweijährigen Kunstwiesennutzung erholte sich jeweils die gesamte Regenwurmpopulation und erreichte den Höchststand. Bio wies dann mit 260 g/m<sup>2</sup> die grösste Regenwurm-Gesamtbiomasse auf. Im Durchschnitt aller Kulturen betrug die Gesamtbiomasse in IPintensiv 170 g/m<sup>2</sup> (100%), in IPextensiv 189 g/m<sup>2</sup> (112%) und in Bio 191 g/m<sup>2</sup> (113%). Mit dem Verzicht auf regenwurmtoxische Pestizide in IPintensiv konnte im Vergleich zur vorangehenden Fruchtfolgeperiode (1991 bis 1996) eine deutliche Verbesserung nachgewiesen werden.

Regenwürmer spielen im Ackerbau eine wichtige Rolle. Mit ihrem labyrinthartigen Gangsystem können sie verschiedene Bodenfunktionen und damit das Wachstum der Kulturpflanzen wesentlich verbessern. Die Regenwurmpopulation wird vor allem durch die Fruchtfolge, die Bodenbearbeitung, die Düngung und den Pflanzenschutz beeinflusst (Edwards 1983, Pfiffner *et al.* 1993, Sturny 1988). Um das Ausmass dieser Einflüsse zu erkennen und

Abbildung 1:  
Die grösste Anzahl  
Tauwürmer (*Lumbricus terrestris*) wurde  
im biologischen  
Anbausystem fest-  
gestellt.  
(Foto: W. Jossi, FAL)

Werner Jossi  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
werner.jossi@  
fal.admin.ch

Anna Valenta  
Urs Zihlmann  
David Dubois  
FAL

Ruedi Tschachtli  
LBBZ Schüpflheim



standortspezifische Verbesserungsmöglichkeiten abzuleiten, wurden im Anbausystemversuch Burgrain jährlich von 1997 bis 2002 in den sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge (Zihlmann und Tschachtli 2004) die Regenwurmpopulationen detailliert untersucht. In denselben Parzellen waren von 1991 bis 1996 mit der Formalinmethode (ohne Nachgraben) Biomasse und Anzahl der Regenwürmer bestimmt worden.

### Erhebungen und Bestimmung der Regenwurmart

Jeweils im Oktober, wenn sich die Regenwürmer in der obersten Bodenschicht aufhalten, wurden in den sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge auf je sechs Teilflächen von einem Viertel Quadratmeter pro Anbausystem die Populationen erhoben. Mit dem Spaten wurde die Erde 25 cm tief ausgehoben und von Hand durchsucht (Abb. 2). Die eingesammelten Regenwürmer wurden in einer vierprozentigen Formalinlösung konserviert und später im Labor gezählt, gewogen und die Artzugehörigkeit bestimmt (nach Bouché 1972, Cuendet 1995). Die Ergebnisse sind so dargestellt, dass sie sich jeweils auf die vorangegangene Kultur beziehen (Abb. 3 und 4).

Für die Beurteilung der Regenwurmbestände wird in der Regel die Biomasse bevorzugt, weil sie die ökologische Wirkung der Regenwürmer auf den Boden besser widerspiegelt als die Individuenzahl. Die Anzahl Regenwürmer eignet sich zur Beurteilung der Populationsdynamik (z. B. der Fortpflanzungsrate).

Auf Grund ihres Verhaltens, ihrer Grösse und Färbung können die Regenwürmer in vier ökomorphologische Gruppen (Lebensformtypen) eingeteilt werden:

**Epigäische Arten**  
Kleine, rot pigmentierte Arten. Sie leben in der Streuschicht des Bodens und ernähren sich von Pflanzenresten. Diese Arten sind im Ackerland in der Regel schwach vertreten und haben sich auch auf Burgrain nur in der Kunstwiese mit wenigen Individuen etablieren können.

**Endogäische Arten**  
Unpigmentierte, rosa bis graublau gefärbte Regenwürmer. Sie leben im Wurzelbereich des Oberbodens. Durch die Aufnahme organischer Bodensubstanz wird diese weiter abgebaut und mit der umgebenden Erde vermischt. Sie bauen meist horizontale Gänge, die nicht dauerhaft sind.

**Anözische Lumbricus-Arten**  
Grosse, rotbraun pigmentierte Regenwürmer. Sie legen vertikale, dauerhafte Gänge an, die tief in den Unterboden reichen. Als Nahrungsvorrat ziehen sie Pflanzenreste von der

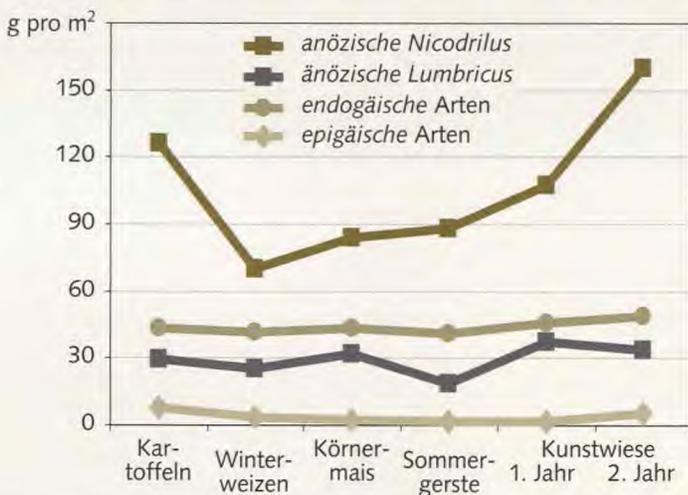


Abbildung 2 (oben): Nur durch Aufgraben und Durchsuchen der Erde von Hand können alle Regenwürmer erfasst werden. (Foto: W. Jossi, FAL)

Abbildung 3 (unten): Einfluss der Kulturabfolge in der ackerbaubetonten Fruchtfolge auf die Biomasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) der wichtigsten Regenwurm-Artengruppen (Mittelwerte aller Anbausysteme von 1997 bis 2002).

Bodenoberfläche in die Gänge. Sie deponieren ihren Kot meistens im Boden und bleiben das ganze Jahr über aktiv. In Trockenperioden ziehen sie sich in tiefere Bodenzonen zurück. Die juvenilen Tiere (Jungstadien) verhalten sich *epigäisch*.

#### **Anözische *Nicodrilus*-Arten**

Grosse, braunschwarz pigmentierte Würmer, die ebenfalls in vertikalen Wohnröhren leben. Sie ernähren sich von oberirdischen Pflanzenteilen. Die ausgewachsenen Tiere produzieren viel Kot, welcher an der Oberfläche des Bodens ausgestossen wird (Wurmkothaufen). Trockene Sommerperioden überdauern sie als Kugel zusammengerollt in tieferen Bodenschichten. Die Juvenilen verhalten sich *endogäisch*.

### **Witterung und Bodenbeschaffenheit**

Bodenfeuchtigkeit und Temperatur beeinflussen die Wachstums- und Fortpflanzungsrate der Regenwürmer. Auch bei gutem Futterangebot können sich die Regenwürmer nur dann optimal entwickeln, wenn der Boden ausreichend feucht und warm ist. In den sechs Versuchsjahren betrug die Schwankungen bei der Biomasse zwischen 20 und 30%. Deutlich höhere Werte wurden in den milden, normal feuchten Jahren 1998 und 2002 gegenüber den klimatisch extremeren Jahren 1997 (zu trocken) und 1999 (zu nass) festgestellt. Auch die Bodenbeschaffenheit spielt eine wichtige Rolle (Jäggi *et al.* 2002). Die süd-exponierte Parzelle «Kastelen» mit eher trockenem, sandigem Moränenboden wies immer tiefere Werte auf als die übrigen fünf Parzellen mit feuchten, lehmigen Schwemmlandböden. Generell ist die Regenwurmdichte im Anbausystemversuch Burgrain höher als auf Ackerstandorten im Schweizer Mittelland.

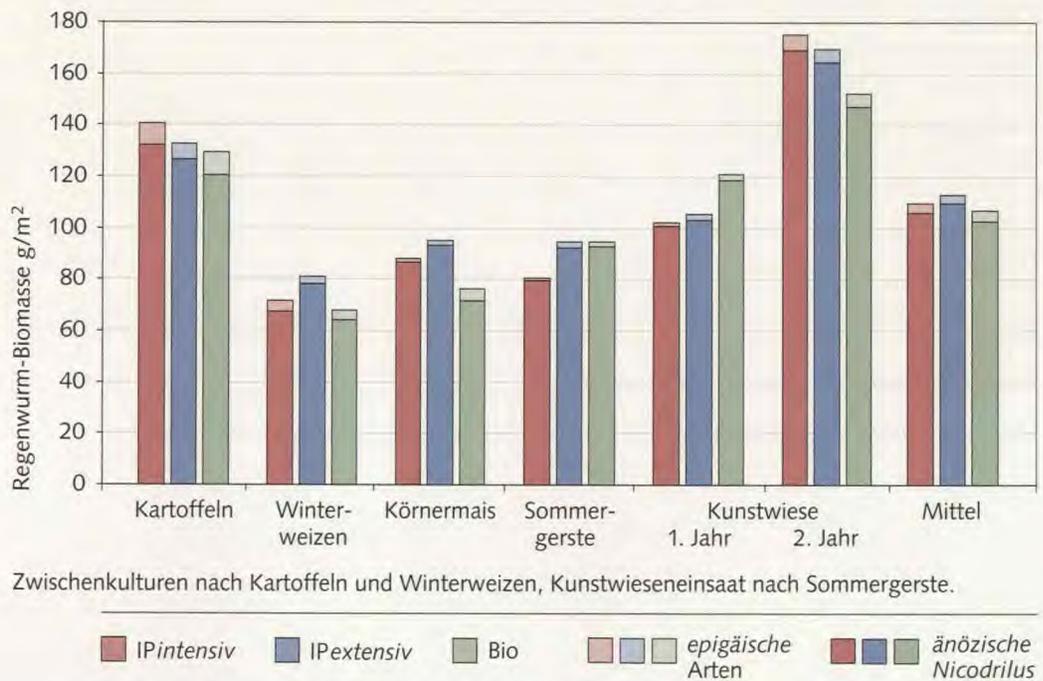
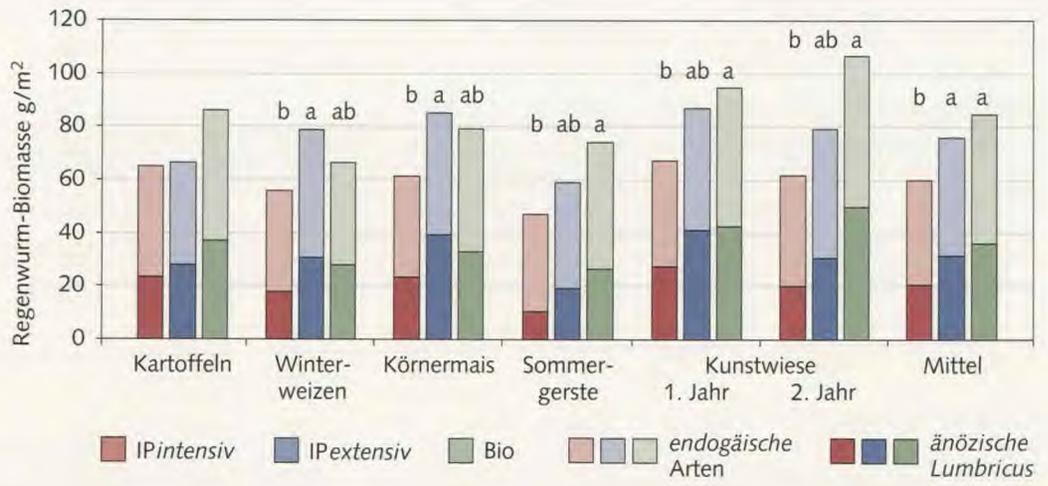
### **«Naturpflüger» leiden bei Pflugeinsatz**

Die *änözischen Nicodrilus*-Arten stellen auf Burgrain mit 58% den Hauptanteil der Regenwurm-Biomasse dar. Im Verlauf der Fruchtfolge wurden die *endogäischen* Arten kaum, die *epigäischen* und die *anözischen Lumbricus*-Arten wenig, die *anözischen Nicodrilus*-Arten jedoch stark durch die Ackernutzung – insbesondere durch die Bodenbearbeitung – beeinträchtigt (Abb. 3).

Während der zwei ersten Kulturen der Fruchtfolge (Kartoffeln und Winterweizen) konnte im Vergleich zu den Werten in der vorangegangenen Kultur (Kunstwiese) eine Abnahme der *änözischen Nicodrilus*-Biomasse beobachtet werden (Abb. 3 und Abb. 4 unten). Diese Abnahme fiel mit der Durchführung intensiver Bodenbearbeitungsmassnahmen (Pflug und Zinkenrotor) vor den Kulturen Kartoffeln (Frühjahr) und Winterweizen (Herbst) zusammen. Zu diesen Zeitpunkten halten sich die Würmer im Oberboden auf. Grössere Arten werden durch den Geräteeinsatz zum Teil verletzt und getötet (Jäggi *et al.* 1995, Pfiffner und Luka 1999).

Nach den Kartoffeln hat sich die Biomasse der *Nicodrilus*-Arten auf 79% des Wertes der vorangegangenen zweijährigen Kunstwiese verringert. Nach dem anschliessenden Winterweizen (Pflügen im Oktober) fiel die Population auf den Tiefststand von 44% des Wertes der Kunstwiese und konnte sich bei den Folgekulturen Körnermais und Sommergerste nur leicht erholen. Dabei haben das Pflügen der Kunstwiese Ende Winter, die Pflanzbettbereitung Anfang April und die frühe Kartoffelernte im August die *Nicodrilus*-Population vermutlich weniger beeinträchtigt als der Pflug- und Zinkenrotoreinsatz zum Winterweizen im Oktober. Bei fehlender Bodenbearbeitung während der zweijährigen Kunstwiesennutzung konnte sich die Population gut regenerieren. Im Durchschnitt der sechs Parzellen hat sich die Biomasse der *anözischen Nicodrilus*-Arten in den zwei Jahren Kunstwiese um 80% erhöht (Abb. 3). Über die gesamte Periode von 1997 bis 2002 waren die Unterschiede in der Biomasse *anözischer Nicodrilus*-Arten zwischen den Anbausystemen gering und bei keiner Kultur statistisch gesichert (Abb. 4 unten).

Abbildung 4: Biomasse ( $\text{g/m}^2$ ) der wichtigsten Regenwurm-Artengruppen in den Kulturen der ackerbaubetonnten Fruchtfolge (Mittelwerte der Anbausysteme von 1997 bis 2002). Signifikante Unterschiede zwischen den Anbausystemen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (Tukey HSD Test,  $p < 0,05$ ).



Zwischenkulturen nach Kartoffeln und Winterweizen, Kunstwieseneinsatz nach Sommergerste.

### Mehr Tauwürmer in Bio und IPextensiv

Der Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) ist in der Schweiz mit bis zu 25 cm Länge der grösste und bekannteste Regenwurm (Abb. 1). Sein Anteil auf Burgrain betrug bei der Gesamtbiomasse durchschnittlich 16%, bei der Anzahl Individuen aber nur 5,5%. Trotz seiner Grösse reagierte er im Anbausystemversuch Burgrain erstaunlich wenig auf die Bodenbearbeitung (Abb. 3). Allerdings wurde im Gesamtmittel der sechs Jahre in Bio 75%, und in IPextensiv 54% mehr Tauwurm-Biomasse festgestellt als in IPintensiv (Abb. 4 oben). Diese Unterschiede zwischen den Anbausystemen waren auch statistisch signifikant.

Die kleineren *endogäischen* Regenwurmarten trugen 24% zur Gesamtbiomasse bei. Bei der Anzahl Individuen dominierten sie jedoch mit 55%. Wie *Lumbricus terrestris* wiesen auch sie im Mittel aller Kulturen gesicherte Populationsunterschiede zugunsten von Bio und IPextensiv auf (Abb. 4 oben). Diese Zunahme der *endogäischen* Regenwürmer wurde besonders bei den Arten *Nicodrilus caliginosus*, *Allolobophora chlorotica* und *A. ictERICA* beobachtet. Gegenteilig verhielt sich die Art *Octalasion cyaneum*. Sie war in IPintensiv deutlich stärker vertreten als in Bio, hat aber durch ihr spärliches Auftreten die Daten wenig beeinflusst.

Bei den *epigäischen* Arten wurden keine Unterschiede zwischen den Anbausystemen nachgewiesen (Tab. 1). Ihr Anteil an der Gesamtbiomasse betrug nur 2%. Der höchste Wert

in den Kartoffeln ist vermutlich auf die vorhergehende Kunstwiese zurückzuführen (Abb. 4 unten). Zu den *epigäischen* Arten werden auch die kleineren Exemplare von *Lumbricus terrestris* gezählt. Diese verhalten sich in den ersten Entwicklungsstadien nicht *anözisch*, sondern *epigäisch*, und können wegen der geringen Grösse bei der Artbestimmung nicht von den anderen meist *epigäischen Lumbricus*-Arten unterschieden werden.

**Tabelle 1. Biomasse (g/m<sup>2</sup>) und Anzahl Individuen (pro m<sup>2</sup>) der Regenwurm-Artengruppen in den drei Anbausystemen der ackerbaubetonten Fruchtfolge (Mittel der jährlichen Erhebungen von 1997 bis 2002)**

Regenwurm-Artengruppen	Biomasse g pro m <sup>2</sup>			Anzahl Individuen pro m <sup>2</sup>		
	IPintensiv*	IPextensiv*	Bio*	IPintensiv*	IPextensiv*	Bio*
Epigäische Arten	4	3	4	9	10	12
Endogäische Arten	39 b	44 a	48 a	127 b	153 a	162 a
Anözische <i>Lumbricus</i>	20 b	32 a	36 a	11 b	16 a	18 a
Anözische <i>Nicodrilus</i>	106	110	103	98	98	96
<b>Gesamtmittel</b>	<b>169 b</b>	<b>189 a</b>	<b>191 a</b>	<b>245 b</b>	<b>277 a</b>	<b>288 a</b>
<b>Verhältnis zu IPintensiv (= 100%)</b>		<b>112%</b>	<b>113%</b>		<b>113%</b>	<b>117%</b>

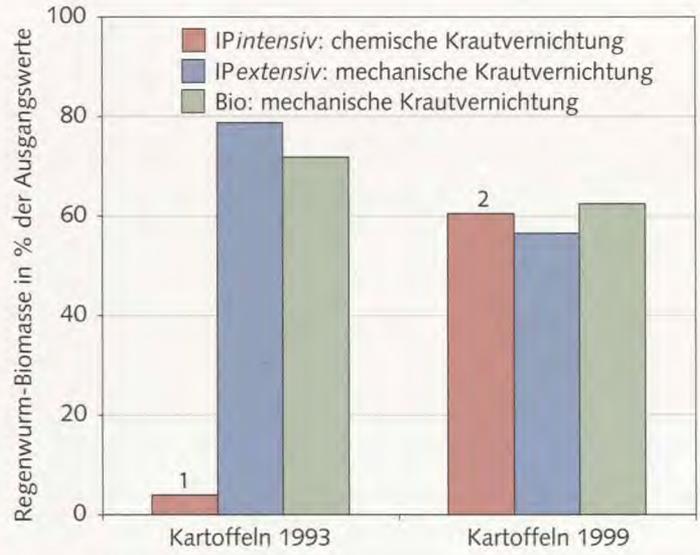
\* p<0,05 Tukeys HSD Test (keine Angaben oder Anbausysteme mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden)  
Die ausführliche Artenliste kann beim Erstautor bezogen werden.

## Regenwurmgiftige Pflanzenschutzmittel meiden

Mehrere Unterschiede zwischen den Anbausystemen bezüglich Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung und Düngung könnten die Bestände von *Lumbricus terrestris* und der *endogäischen* Regenwurmartarten beeinflusst haben.

### Pflanzenschutz

Verschiedene Publikationen berichten von direkten und indirekten Auswirkungen chemischer Pflanzenschutzmittel auf Regenwürmer (Pfiffner et al. 1993). Insektizide Granulate wurden auf Burgrain nie eingesetzt. Regenwurmerhebungen (mit der älteren Formalinmethode) in der Fruchtfolgeperiode 1991 bis 1996 zeigten punktuell auch auf Burgrain, dass der Einsatz regenwurmtoxischer Pflanzenschutzmittel die Population zumindest vorübergehend massiv reduzieren kann. So wurde beispielsweise 1993 durch das Abbrennen des Kartoffelkrautes mit dem inzwischen nicht mehr bewilligten regenwurmgiftigen Mittel Dinoseb (DNBP) der Regenwurmbestand stark beeinträchtigt (Abb. 5). Aufgrund der Weiterentwicklung des integrierten Pflanzenschutzes und der zunehmenden Verfügbarkeit moderner, weniger ökotoxischer Pflanzenschutzmittel konnte im Anbausystemversuch Burgrain ab 1994 auf den Einsatz stark regenwurmtoxischer Stoffe verzichtet werden. Diese von Schmidt und Gutsche (2000) bestätigte Verminderung der ökotoxikologischen Risiken führte dazu, dass direkte toxische Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Regenwürmer auch bei IPintensiv abnahmen. In Bio und teilweise in IPextensiv erfolgte die Unkrautregulierung mechanisch. Der Verzicht auf Herbizide in Bio und die reduzierte Anwendung bei den IPextensiv-Ackerkulturen führte dazu, dass den Regenwürmern mehr Unkraut und damit ein grösseres Nahrungsangebot zur Verfügung stand (Jäggi et al. 1995, Daniel 1990), was zu den grösseren Regenwurmdichten beitrug.



Abbrennmittel IPintensiv:

- 1/1993 Dinoseb (DNBP, starkes Regenwurmgift)
- 2/1999 Diquat (kein Regenwurmgift)

**Abbildung 5:** Einfluss des Kartoffelanbaus mit unterschiedlicher chemischer Krautvernichtung in IPintensiv auf die Regenwurm-Population (Parzelle «Wyden», 1993 und 1999). Relative Regenwurm-Biomasse in Prozent (Populationen in der Kunstwiese des Vorjahres 1992 bzw. 1998 = 100%).

## Bodenbearbeitung

Die Anbausysteme IP*extensiv* und Bio werden seit 1997 Onland gepflügt, das heisst die Traktorräder fahren ausserhalb der Furche. In IP*intensiv* erfolgt das Pflügen konventionell und das Saatbett wird in der Regel feiner und intensiver bearbeitet als in den zwei anderen Anbausystemen. Für die Ansaat der Sommergerste wurde in IP*extensiv* der Grubber anstelle des Pfluges eingesetzt. Die Kunstwiese wurde nach Sommergerste in Bio in den meisten Fällen direkt, das heisst ohne Bodenbearbeitung angesät. Diese Extensivierung bezüglich des Pflugeinsatzes und intensiver Bodenbearbeitung schien ebenfalls punktuell zu höheren Regenwurmbeständen in IP*extensiv* und Bio beigetragen zu haben.

## Düngung

Ungewiss sind die Auswirkungen der Stickstoff-Mineraldüngeranwendung und Hofdüngergaben. Der den Regenwürmern zuträgliche Stapelmist wurde in allen drei Anbausystemen ausgebracht, die höchste Menge gar in IP*intensiv*. Beim Bio-Körnermais wurde der Mist in einzelnen Jahren nur oberflächlich eingearbeitet. Offen bleibt, inwieweit die unterschiedliche Gülleanwendung (höhere Gaben bei den IP*intensiv*-Kunswiesen; Gülleeinsatz in Bio- und IP*extensiv*-Ackerkulturen) die Regenwürmer beeinflusst hat.

## Literatur

- Bouché J.M., 1972. Lombriciens de France, écologie et systématique. Annales de Zoologie-Écologie animale INRA Publ. 72-2, 1-671.
- Cuendet G., 1995. Identification des lombriciens de Suisse, 1-19. G. Cuendet, Vauderens.
- Edwards C.A., 1983. Earthworm ecology in cultivated soils. In: Earthworm Ecology. Ed. J.E. Satchell, Chapman and Hall, London, 123-137.
- Daniel O., 1990. Life cycle and population dynamics of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. Diss. ETH Zürich, Nr. 9211, 1-77.
- Jäggi W., Oberholzer H.-R. und Waldburger M., 1995. Vier Maisanbauverfahren: Auswirkungen auf das Bodenleben. Agrarforschung 2 (9), 361-364.
- Jäggi W., Weisskopf P., Oberholzer H.-R. und Zihlmann U., 2002. Die Regenwürmer zweier Ackerböden. Agrarforschung 9 (10), 446-451.
- Pfiffner L., Mäder P., Besson J.-M. und Niggli U., 1993. DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell. Schweiz. Landw. Forschung 32 (4), 547-563.
- Pfiffner L. und Luka H., 1999. Faunistische Erfolgskontrolle von unterschiedlichen Anbausystemen und naturnahen Flächen im Feldbau – Bedeutung des ökologischen Landbaus. Mitteilung Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, H. 368, 57-67.
- Schmidt H.-H. und Gutsche V., 2000. Analyse der Entwicklung des Pflanzenschutzmittel-Absatzes in der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1980 bis 1998. Gesunde Pflanzen, 52. Jahrg., Heft 6, 172-182.
- Sturny W.G., 1988. Konservierende Bodenbearbeitung und neue Sätechnik – Wechselwirkungen auf Boden und Pflanzen. Landwirtschaft Schweiz 1 (3), 141-152.
- Zihlmann U. und Tschachtli R., 2004. Standort- und Versuchsbeschreibung. Schriftenreihe der FAL 52, 23-27.



Abbildung 1:  
Einsatz des  
Titrationsautomaten  
zur Bestimmung  
der Bodenatmung.  
In den Parzellen auf  
Burgrain wurden  
hohe bodenmikro-  
biologische Akti-  
vitäten gemessen.  
(Foto: G. Brändle,  
FAL)

## Mikrobiologische Eigenschaften des Bodens

Hans-Rudolf Oberholzer

Im Anbausystemversuch Burgrain wurden von 1991 bis 2002 die Auswirkungen der drei Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio auf mikrobiologische Bodeneigenschaften untersucht. Die bodenmikrobiologischen Parameter wiesen auf dem Betrieb Burgrain generell sehr hohe Werte auf. Im Verlauf dieser Untersuchungsperiode blieb der Gehalt des Bodens an mikrobieller Biomasse konstant. Das Stickstoff-Mineralisationspotenzial hat sich seit Versuchsbeginn leicht und die Bodenatmung deutlich verringert, was mit der geringeren Anbauintensität im Vergleich zur früheren Bewirtschaftung erklärt werden kann. Zwischen den Parzellen traten bei der mikrobiellen Biomasse und der Bodenatmung deutliche und im Zeitverlauf konstante Unterschiede auf, die durch die unterschiedlichen Bodeneigenschaften bedingt sind. Die Unterschiede im Stickstoff-Mineralisationspotenzial waren weniger durch Bodeneigenschaften, sondern eher durch kurzfristige Einflüsse der angebauten Kultur bestimmt. Obwohl die Unterschiede in der Bewirtschaftung der drei untersuchten Anbausysteme den praxisüblichen Gegebenheiten in der Region entsprechen, zeigten sie bis zum jetzigen Zeitpunkt keine unterschiedlichen Auswirkungen auf Menge und Aktivität der Bodenmikroorganismen.

Alle landwirtschaftlichen Anbaumassnahmen wirken sich auf den Boden aus und können seine Eigenschaften verändern. Die Kunst der Bewirtschafter besteht darin, diese Einwirkungen so zu steuern, dass die Bodenqualität langfristig erhalten oder gar gefördert wird,

Hans-Rudolf  
Oberholzer  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
hansrudolf.oberholzer  
@fal.admin.ch

um eine optimale, umweltschonende Produktion mit möglichst geringem Risiko von negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu ermöglichen. Eine günstige Ausgangslage dazu bieten mittelschwere Böden mit einer grossen Speicherkapazität für Wasser, einem hohen Gehalt an (leicht mobilisierbaren) Nährstoffen und einer möglichst geringen Schadstoffbelastung. Optimale bodenphysikalische Eigenschaften ermöglichen die wichtige Aggregatstabilität des Bodens und eine ausreichende Durchlässigkeit für Wasser und Luft. Für die Nährstoffmineralisierung sollten angepasste und leistungsfähige Bodenorganismen in genügender Menge vorhanden sein. Dabei ist die Aktivität dieser Organismen direkt von den chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften sowie dem aktuellen Bodenzustand abhängig. Aus diesem Grund sind insbesondere Bodenmikroorganismen gut geeignet, um Veränderungen der Bodenqualität anzuzeigen.

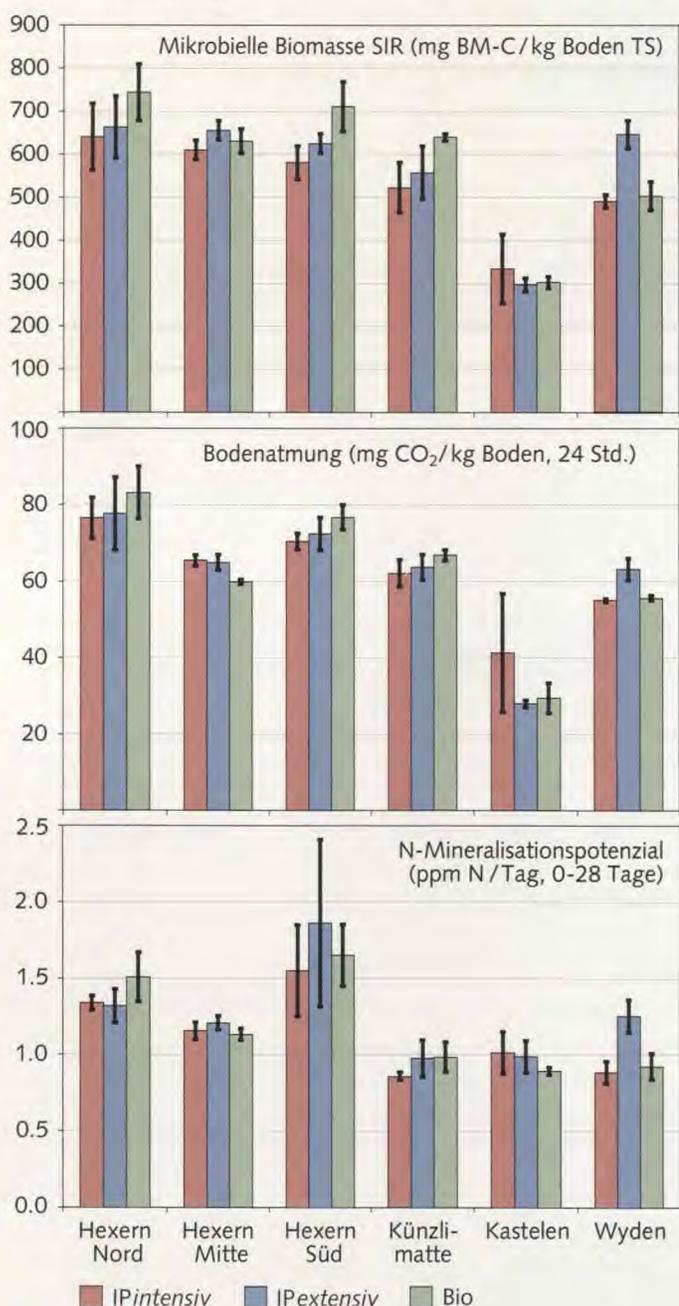
### Standort prägt Aktivität der Bodenmikroorganismen

Um die Auswirkungen der drei unterschiedlich intensiven Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und *Bio* auf Menge und Aktivität der Bodenmikroorganismen zu erfassen, wurden im Anbausystemversuch Burgrain regelmässig verschiedene bodenmikrobiologische Parameter bestimmt.

In den sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge (Zihlmann und Tschachtli 2004) wurde dazu in allen drei Anbausystemen jedes Jahr (1991 bis 1996) je eine Mischprobe aus der Referenzfläche (Teilfläche von 10 x 10 m) entnommen. Im Jahr 1996 wurde in den Parzellen 1, 5 und 6 nicht nur eine Teilfläche pro Anbausystem beprobt, sondern aus jeweils vier Teilflächen von 10 x 10 m je eine Mischprobe entnommen. Ab 1998 wurden alle Parzellen nur noch jedes zweite Jahr (1998, 2000, 2002) beprobt und jeweils pro Anbausystem aus vier Teilflächen je eine Mischprobe entnommen. Gleichzeitig wurden die Teilflächen mittels GPS eingemessen, damit in den Folgejahren genau dieselben Stellen beprobt werden konnten. Die Proben wurden jeweils im Frühjahr aus dem Oberboden von 0 bis 20 cm Tiefe entnommen, feucht auf 2 mm gesiebt und bis zur Bestimmung bei 4 °C gelagert. Bei allen Proben wurden die mikrobielle Biomasse (SIR-Methode), die Bodenatmung und die Stickstoff-Mineralisation bestimmt. Probennahme, -aufbereitung und -lagerung sowie die Bestimmungen erfolgten nach den Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten (FAL *et al.* 1998).

Die bodenmikrobiologischen Kennwerte am Standort Burgrain sind unter Berücksichtigung der chemischen und physikalischen Standorteigenschaften im Vergleich zu Referenzwerten (vgl. Kasten) als eher hoch einzustufen. Die hohen Werte lassen sich einerseits durch den hohen Viehbesatz auf dem Betrieb und die intensive Gülledüngung vor dem Start der Untersuchung erklären, andererseits auch durch die Kombination von nieder-

Abbildung 2: Messwerte des Jahres 2002 für mikrobielle Biomasse, Bodenatmung und Stickstoff-Mineralisationspotenzial in den drei Anbausystemen der sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge. Durchschnittswert der jeweils vier beprobten Teilflächen mit Standardabweichung.



schlagsreichem Klima und mittelschweren, stark  $C_{org}$ -haltigen Böden. Entsprechend wurde an diesem Standort nach der Bodenbearbeitung während der Vegetationsperiode oft eine starke Stickstoff-Mineralisierung festgestellt, was für die Stickstoff-Versorgung der Kulturen zum Teil positiv, hinsichtlich der Nitratauswaschung ins Grundwasser aber negativ beurteilt werden muss (Richner *et al.* 2004).

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der drei im Jahr 2002 erhobenen bodenmikrobiologischen Parameter in allen Anbausystemen der sechs Parzellen der ackerbaubetonten Fruchtfolge dargestellt. Diese Ergebnisse sind in Bezug auf die Unterschiede zwischen den Parzellen und den Anbausystemen grundsätzlich repräsentativ für die bisherige Untersuchungsperiode. Während die Parzelle 6 («Kastelen») immer die geringste mikrobielle Biomasse und die tiefste Bodenatmung aufweist, sind die Unterschiede zwischen den fünf in der Schwemmlandebene gelegenen Parzellen (1, 2, 3, 5 und 7) geringer und über die Jahre nicht konstant. Sie lassen sich ausserdem weder mit Unterschieden in den chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften noch den jeweils angebauten Kulturen oder Vorkulturen in Beziehung setzen. Der geringere Ton- und Humusgehalt sowie der tiefere pH-Wert erklären hingegen die grundsätzlich tieferen Werte für Biomasse und Atmung in Parzelle 6 im Vergleich zu den anderen Parzellen.

Das Stickstoff-Mineralisationspotenzial verhält sich in Bezug auf Unterschiede zwischen den Parzellen nicht gleich wie die Biomasse und die Atmung. So konnte bei diesem Parameter in keiner Parzelle regelmässig von den andern Parzellen abweichende Ergebnisse beobachtet werden. Die Werte weisen immer hohe Streuungen auf. Die Unterschiede sind ausserdem sowohl zwischen den Parzellen wie auch zwischen den Anbausystemen in den Untersuchungsjahren nicht gleichbleibend. Das im Vergleich mit den andern mikrobiologischen Parametern unterschiedliche Verhalten sowie die nicht immer strenge Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften wurde auch in vielen anderen Untersuchungen festgestellt. Dies zeigt, dass das Stickstoff-Mineralisationspotenzial zwar ebenfalls von der Menge und der Leistungsfähigkeit der Bodenmikroflora abhängig ist, aber zusätzlich wesentlich stärker durch die Menge und Qualität der zur Verfügung stehenden mineralisierbaren Substanzen im Boden bestimmt wird.

Das Stickstoff-Mineralisationspotenzial zeigt am ehesten eine gewisse Abhängigkeit von der Kultur oder der Vorkultur und vom aktuellen Bodenzustand zum Zeitpunkt der Proben-

### Die Berechnung von Referenzwerten

Bodenmikrobiologische Kennwerte sind stark vom  $C_{org}$ -Gehalt, dem pH-Wert und der Körnung abhängig. Aufgrund von umfangreichen mikrobiologischen, chemischen und physikalischen Bodenuntersuchungen in 220 Wintergetreidefeldern wurde ein Verfahren zur Bildung von Referenzwertbereichen entwickelt (Oberholzer *et al.* 1999, Oberholzer und Höper 2000). Damit können bodenmikrobiologische Ergebnisse verglichen und interpretiert werden. Bei diesem Verfahren wird der zu erwartende Wert eines bodenmikrobiologischen Parameters an einem bestimmten Standort abhängig von abiotischen Bodeneigenschaften ( $C_{org}$ -Gehalt, pH-Wert, Ton- und Sandgehalt) berechnet. Dieser berechnete Wert wird als Referenzwert bezeichnet. Falls zusätzlich Klimadaten (Niederschlag) zur Berechnung des Referenzwertes berücksichtigt werden, kann das Beurteilungsschema für Daten aus verschiedenen Regionen benutzt werden.

Bodenmikrobiologische Werte sind im Allgemeinen umso grösser, je höher der  $C_{org}$ -Gehalt, der pH-Wert und der Tongehalt eines Bodens ist. An niederschlagsreichen Standorten sind Humusgehalte und bodenmikrobiologische Werte tendenziell ebenfalls erhöht.

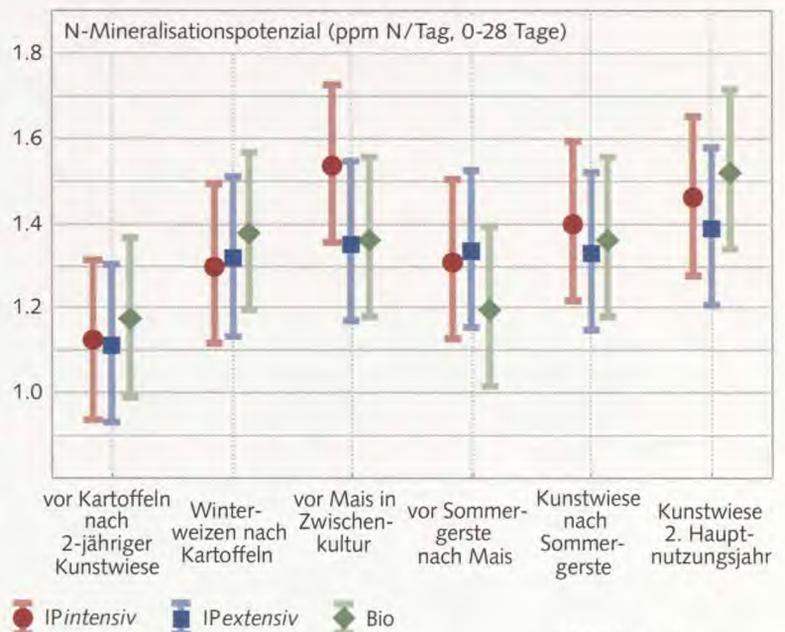


Abbildung 3: Durchschnittliches Stickstoff-Mineralisationspotenzial der drei Anbausysteme in der ackerbaubetonten Fruchtfolge. Angegeben ist jeweils die Vorkultur und die vorgesehene oder bereits angebaute Kultur im Probenahmejahr. Durchschnittswert aller Messjahre von 1993 bis 2002 mit Vertrauensbereich (95%).

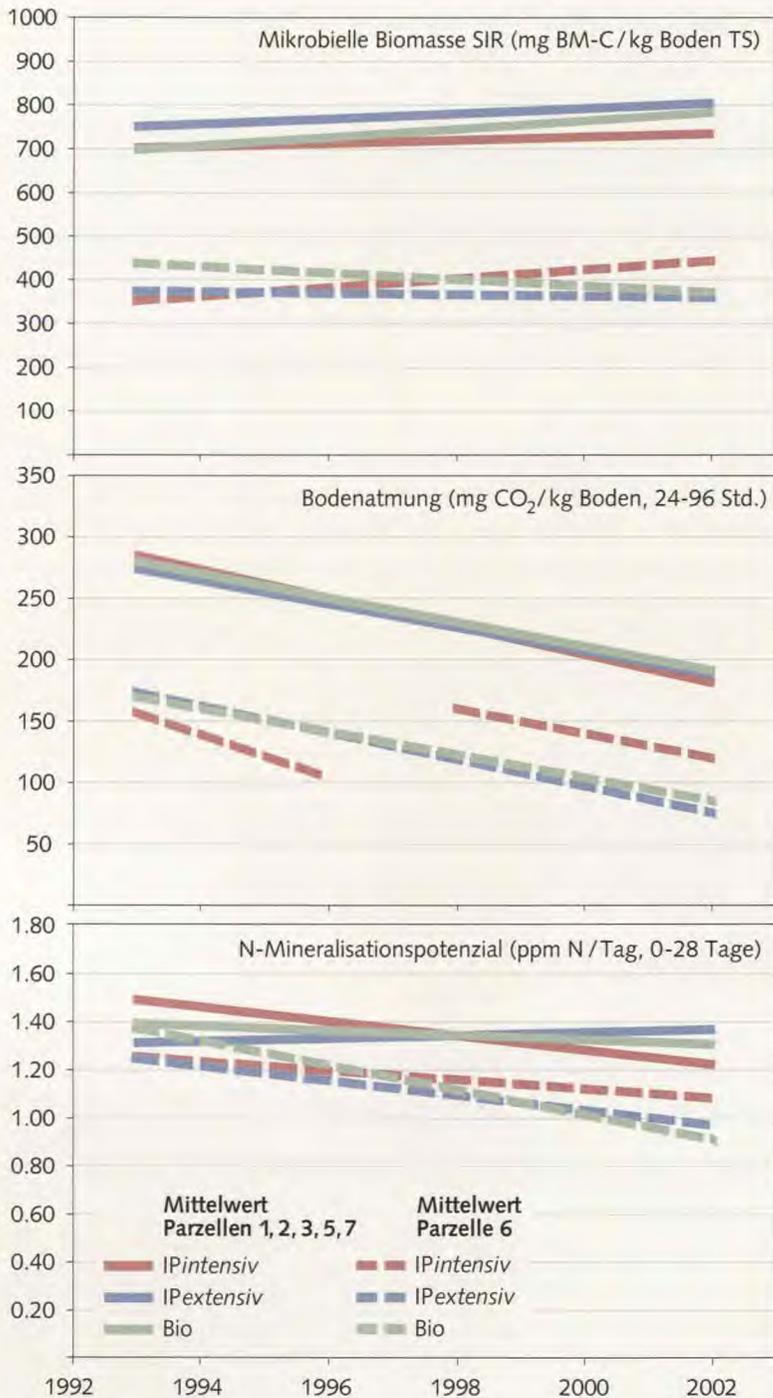


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf von mikrobieller Biomasse, Bodenatmung und Stickstoff-Mineralisationspotenzial in den drei Anbausystemen, dargestellt als lineare Regression für die Mittelwerte der Parzellen 1, 2, 3, 5 und 7 sowie separat für den Mittelwert der Parzelle 6 von 1993 bis 2002.

lungen sind schwierig, weil bereits kleine methodische Veränderungen bei der Probennahme und der Bestimmung zu deutlichen Unterschieden in den Ergebnissen führen können. Bei bodenmikrobiologischen Untersuchungen kommt hinzu, dass ein Hauptproblem dieser Bestimmungsmethoden in der Reproduzierbarkeit zwischen verschiedenen Bestimmungszeitpunkten liegt, was ebenfalls zu methodisch bedingten Unterschieden in den Ergebnissen beitragen kann.

Im Verlauf der vorliegenden Untersuchungen wurde die Bestimmungsmethode für die mikrobielle Biomasse im Jahr 1993 umgestellt. Für die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der bodenmikrobiologischen Eigenschaften wurden deshalb nur die Ergebnisse seit 1993 ausgewertet. Die mikrobielle Biomasse zeigt keinen eindeutigen zeitlichen Trend. Ob die im letzten Untersuchungsjahr 2002 festgestellten tieferen Werte den Beginn einer Abnahme bedeuten oder wie im Jahr 1994, wo ebenfalls tiefere Werte gemessen wurden, eine eher methodisch bedingte Abweichung darstellen, werden weitere Messungen zeigen.

nahme. So sind im Durchschnitt aller Messjahre die tiefsten Werte in jenen Parzellen zu finden, die nach der zweijährigen Kunstwiese kurz vor der Probennahme für den Anbau von Kartoffeln jeweils gepflügt worden sind (Abb. 3). Dabei unterscheiden sich lediglich die drei tiefsten bzw. die drei höchsten Werte signifikant von den übrigen Werten. Der hier häufig beobachtete geringste Wert nach den Kunstwiesen könnte folgendermassen erklärt werden: Nach zwei Jahren Kunstwiese ist der Oberboden jeweils bereits relativ stark geschichtet, was eine deutlich höhere Aktivität in den obersten 5 cm und entsprechend geringere Werte in den unteren Schichten zur Folge hat. Durch das Umpflügen und Wenden des Bodens kurz vor der Probennahme gelangt weniger von der aktivsten obersten Schicht und dafür mehr von dem zuvor tiefer gelegenen, weniger aktiven Bodenmaterial in die Probe.

### Bodenmikrobiologische Eigenschaften ändern sich langsam

Die Entwicklung der gemessenen bodenmikrobiologischen Parameter zwischen 1993 und 2002 ist in Abbildung 4 dargestellt. Sie zeigt für die mikrobielle Biomasse keine oder nur geringe Veränderungen, während das Stickstoff-Mineralisationspotenzial teilweise leicht und die Bodenatmung deutlich abnehmen. Eine Ausnahme bildet hier IPintensiv in Parzelle 6, wo der Wechsel von einer auf vier beprobte Teilflächen zu einem «Sprung» im Kurvenverlauf geführt haben dürfte. Untersuchungen über zeitliche Entwick-

Die Atmungsaktivität sank dagegen im Verlauf des Beobachtungszeitraumes stetig und deutlich. Eine derartige Abnahme der mikrobiellen Atmung relativ zur Biomasse bedeutet, dass die spezifische Aktivität der Bodenmikroorganismen abnimmt. Dies kann entweder in einer Veränderung der Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen oder der Qualität der organischen Bodensubstanz begründet sein. Aus anderen Untersuchungen (Schinner und Sonnleitner 1996) ist bekannt, dass die spezifische Aktivität beispielsweise durch intensive Gülledüngung erhöht werden kann. Auf dem Betrieb Burgrain könnte deshalb die Reduktion der Gülleanwendung auf den untersuchten Parzellen zu diesem Effekt geführt haben. Ob nach dem sensibleren Parameter Bodenatmung mittelfristig auch die mikrobielle Biomasse abnehmen wird, lässt sich jedoch nicht vorhersagen. Eine geringfügige Reduktion der mikrobiellen Biomasse würde die Bodenfruchtbarkeit allerdings nicht gefährden, denn dies würde lediglich ein Absinken von einem sehr hohen hin zu einem durchschnittlich hohen Wert darstellen (Oberholzer und Höper 2000).

### **Anbausysteme (noch) ohne Einfluss auf Bodenmikroorganismen**

Die Beantwortung der Frage nach den Auswirkungen der Anbausysteme sollte sich am ehesten in den Ergebnissen des letzten Untersuchungsjahres zeigen (Abb. 2). Da Jahresergebnisse aber jahresspezifisch beeinflusst sein können, ist für eine eindeutige Aussage auch die Entwicklung der Ergebnisse aus den Vorjahren zu beachten, dargestellt als Durchschnitt der Parzellen 1, 2, 3, 5 und 7 sowie von Parzelle 6 (Abb. 4). Aufgrund der bis jetzt vorliegenden Daten lässt sich feststellen, dass der Unterschied zwischen den Anbausystemen jeweils gering und über alle Parzellen betrachtet nie statistisch signifikant ist. Lediglich auf einzelnen Parzellen konnten in einzelnen Jahren Unterschiede gemessen werden, die sich aber in den Folgejahren nicht bestätigten. Nach zehnjähriger Untersuchung kann deshalb kein systematischer Einfluss der Anbausysteme auf bodenmikrobiologische Eigenschaften festgestellt werden.

Bei der Interpretation dieses Ergebnisses stellt sich als erstes die Frage, inwieweit sich die Anbausysteme unterscheiden. Die zwischen den Anbausystemen vorhandenen Bewirtschaftungsunterschiede betreffen Menge und Art der Dünger, Pflanzenschutzmassnahmen, vereinzelt Bodenbearbeitung sowie unterschiedlicher Anfall von Ernteresten, entsprechen den Gegebenheiten in der Praxis und zeigten vorwiegend im agronomischen Bereich (Krankheiten, Ertrag) bedeutsame Unterschiede. Ein Vergleich mit den in der Literatur zitierten Arbeiten zeigt, dass die gefundenen Auswirkungen von Anbausystemen auf bodenmikrobiologische Parameter sehr widersprüchlich sind (Jungnickel 1997). Eine Studie zum Vergleich von biologisch und integriert bewirtschafteten Flächen unter realen Bedingungen der Schweiz ergab bei mehr als der Hälfte der Flächen keine Unterschiede (Oberholzer und Mäder 2003). Emmerling (2004) fand unterschiedliche Auswirkungen auf die mikrobielle Bodenqualität zwischen organisch und integriert bzw. konventionell bewirtschafteten Betrieben, bei denen sich auch die Fruchtfolgegestaltung deutlich unterschied. Insgesamt scheint es, dass für Auswirkungen auf die Bodenqualität die Fruchtfolge ein sehr wichtiger Faktor ist.

Neben den primär durch das Anbausystem bedingten Auswirkungen können Unterschiede auch durch die Verhaltensweise der Bewirtschaftenden verursacht werden. Durch die geschickte Wahl der Bearbeitungszeitpunkte oder durch das Berücksichtigen von Bodenfeuchte und Bearbeitungstiefe bei der Bewirtschaftung können Landwirte die Bodenstruktur und damit das Milieu für bodenmikrobiologische Messwerte wesentlich beeinflussen.

In der vorliegenden Untersuchung sind sowohl die Fruchtfolgegestaltung als auch die Bewirtschaftung für alle drei Anbausysteme gleich. Die für die Bodenmikroorganismen relevantesten Bewirtschaftungsunterschiede sind deshalb gering. Pflanzenschutzmittel wurden nur vereinzelt eingesetzt, wobei zunehmend moderne, ökotoxikologisch weniger bedenk-

liche Wirkstoffe ausgebracht wurden. Dies mag erklären, weshalb bis jetzt keine unterschiedlichen Auswirkungen der Anbausysteme auf die quantitativen bodenmikrobiologischen Kennwerte festgestellt werden konnten. Alle Anbausysteme zeigten überaus hohe Werte bei mikrobieller Biomasse, Bodenatmung und Stickstoff-Mineralisationspotenzial, was eine weitere Steigerung erschwerte. Zukünftige Messungen müssen zeigen, wie sich integrierte und biologische Bewirtschaftung langfristig auswirken und wie die ab 2003 durchgeführten Änderungen bei der Fruchtfolgegestaltung (z.B. Raps statt Kartoffeln) und die stärkere Differenzierung bei der Bodenbearbeitung (IP*extensiv* weitgehend pfluglos) die bodenmikrobiologischen Eigenschaften beeinflussen werden.

### Literatur

- Emmerling C., 2004. Soil microbial biomass and activity and the lasting impact of agricultural de-intensification. In: Ray R.C. (ed.): *New Trends in Soil Biotechnology*. Vol 1, Springer, New Delhi, (2004), im Druck.
- FAL, FAW und RAC, 1998. Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten; Band 2 «Bodenuntersuchung zur Standortcharakterisierung».
- Jungnickel C., 1997. Vergleichende Untersuchungen zur Bodenfruchtbarkeit auf biologisch und konventionell bzw. integriert bewirtschafteten Betrieben, Bericht FiBL.
- Oberholzer H.-R., Rek J., Weisskopf P. und Walther U., 1999. Evaluation of soil quality by means of microbiological parameters related to the characteristics of individual arable sites. *Agribiological Research* 52 (2), 113-125.
- Oberholzer H.-R. und Höper H., 2000. Reference systems for the microbiological evaluation of soils. VDLUFA Kongressband 2000, Stuttgart-Hohenheim. Generalthema «Nachhaltige Landwirtschaft» Teil II, Beiträge zum Thema «Biologische Bewertung von Böden». VDLUFA Schriftenreihe 55/II - 2000, 19-34.
- Oberholzer H.-R. und Mäder P., 2003. Bodenqualität bei biologischer und integrierter Bewirtschaftung. *Schriftenreihe der FAL* 45, 60-65.
- Richner W., Brack E., Tschachtli R. und Walther U., 2004. Dynamik des mineralischen Bodenstickstoffs in Ackerkulturen. *Schriftenreihe der FAL* 52, 65-69.
- Schinner F. und Sonnentner R., 1996. *Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik*. Bd. 2. Bodenbewirtschaftung, Düngung und Rekultivierung. Springer Verlag, 359 S.
- Zihlmann U. und Tschachtli R., 2004. Standort- und Versuchsbeschreibung. *Schriftenreihe der FAL* 52, 23-27.



Abbildung 1: Regelmässige Bestimmungen des Gehalts an mineralischem Stickstoff ( $N_{\min}$ ) zeigten, dass sich am Standort Burgrain Kulturabfolge und Humusgehalt der Böden stärker auf den  $N_{\min}$ -Gehalt auswirkten als das Anbausystem. (Foto: D. Dubois, FAL)

## Dynamik des mineralischen Bodenstickstoffs in Ackerkulturen

Walter Richner, Ernst Brack, Ruedi Tschachtli und Ulrich Walther

Der Gehalt landwirtschaftlicher Böden an mineralischem Stickstoff ist eine sehr dynamische Grösse. Die Untersuchung der Stickstoffdynamik in zwei Parzellen und zwei Anbausystemen – IPextensiv und Bio – am Standort Burgrain zeigte, dass sich die Art der Kulturen und Kulturübergänge (inkl. Bodenbearbeitung) sowie der Humusgehalt der Böden stärker auf das Niveau und den zeitlichen Verlauf des Gehalts an mineralischem Stickstoff ( $N_{\min}$ ) auswirken als die verschiedenen Anbausysteme. Stickstoffdüngergaben hatten auf diesen Ackerböden mit hohem Stickstoffmineralisierungs-Potenzial nur einen geringen Einfluss auf die kurz nach der Düngung ermittelten  $N_{\min}$ -Gehalte des Bodens. Im IPextensiv-Anbausystem wies die mit Stickstoff gedüngte Fläche allerdings mehrheitlich höhere  $N_{\min}$ -Gehalte auf als die entsprechend bewirtschaftete Vergleichsfläche ohne Stickstoffdüngung. Die Vorteile einer an die standörtliche Stickstoffdynamik und das Anbausystem möglichst gut angepassten Stickstoffdüngung sind eine effizientere Nutzung des verfügbaren Stickstoffs durch die Kulturen und ein geringeres Risiko von Stickstoffverlusten.

Der Gehalt landwirtschaftlicher Böden an mineralischem Stickstoff (Nitrat [ $\text{NO}_3^-$ ] und Ammonium [ $\text{NH}_4^+$ ]) ist ein sehr dynamischer Parameter, der sowohl zeitlich als auch im Wurzelraum oder innerhalb einer Parzelle stark variieren kann (Schmidhalter *et al.* 1992). Der Mineralstickstoffgehalt ist von einer Vielzahl von sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren wie Witterung, Bodeneigenschaften, Anbausystem, Fruchtfolge und Bewirtschaftungsmassnahmen (z.B. Art der Bodenbearbeitung) abhängig. Die Dynamik des mineralischen Bodenstickstoffgehalts kann in der Regel weder zuverlässig gelenkt noch prognostiziert werden (Vigil *et al.* 2002).

Walter Richner  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
walter.richner  
@fal.admin.ch

Ernst Brack  
Ulrich Walther  
FAL

Ruedi Tschachtli  
LBBZ Schüpfheim

Fundiertere Kenntnisse über die zeitlichen und räumlichen Veränderungen des Mineralstickstoffgehalts von Böden sind für eine optimierte Bemessung der Stickstoffdüngung gerade in extensiveren Anbausystemen mit begrenztem Stickstoffdünger-Einsatz (z.B. Biolandbau, integrierte Produktionssysteme) sehr wichtig. Eine suboptimale Stickstoffversorgung von Ackerkulturen kann ertragslimitierend wirken und unter Umständen die Qualität des Ernteguts negativ beeinflussen. Ein zu hohes Stickstoffangebot zu Zeiten von geringem Stickstoffbedarf der Kulturen kann dagegen zu erheblichen Stickstoffverlusten durch Nitrat- auswaschung oder Denitrifikation führen. Stickstoffüberschüsse können ausserdem diverse pflanzenbauliche Probleme auslösen. Dazu gehören die Verminderung der Standfestigkeit von Getreide und eine erhöhte Krankheitsanfälligkeit. Deshalb sind möglichst genaue Kenntnisse der Stickstoffnachlieferung aus der Mineralisierung von organisch gebundenem Stickstoff und eine möglichst gute Synchronisierung von Stickstoffangebot und Stickstoffbedarf der angebauten Kulturen durch optimierte Anbaumassnahmen sehr wichtig für eine effiziente Nutzung des verfügbaren Stickstoffs und für die Minimierung des Risikos von umweltbelastenden Stickstoffverlusten.

Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Bodeneigenschaften und Anbausysteme auf die Netto-Stickstoff-Mineralisierung der Böden und ihrer zeitlichen Übereinstimmung mit der Stickstoffaufnahme durch Ackerkulturen wurde in ausgewählten Parzellen des Anbausystemversuchs Burgrain während mehrerer Jahre der Gehalt an mineralischem Stickstoff ( $N_{min}$ ) des Bodens in den Tiefen 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm regelmä-

sig (alle 14 Tage) bestimmt (Abb. 1). Seit 1997 werden Untersuchungen der Stickstoffdynamik in verschiedenen Parzellen in den Anbausystemen IP<sub>extensiv</sub> und Bio durchgeführt. Die  $N_{min}$ -Proben werden stets auf einer definierten Teilfläche von 100 bis 150 m<sup>2</sup> entnommen. Um den Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Höhe und den Verlauf des  $N_{min}$ -Gehalts des Bodens zu beurteilen, wurde zudem im Anbausystem IP<sub>extensiv</sub> pro Parzelle eine zusätzliche Teilfläche (IP<sub>extensiv</sub> ON) ausgeschieden, welche während der gesamten Unter-

suchungsdauer ohne Einsatz von stickstoffhaltigen Düngern (Mist, Gülle, mineralischer Stickstoffdünger) bewirtschaftet wurde.

In diesem Artikel werden exemplarisch die Ergebnisse der Untersuchungen zur Stickstoffdynamik in den Parzellen «Hexern Mitte» und «Kastelen» in den Jahren 1997 bis 1999 präsentiert. Die Böden dieser Parzellen sind mittelschwer und tiefgründig (Tab. 1). Der Moränenboden der Parzelle «Kastelen» unterscheidet sich durch einen geringeren Ton- und Humusgehalt, einen tieferen pH-Wert sowie einen höheren Skelettgehalt deutlich vom grundwasserbeeinflussten Schwemmlandboden der Parzelle «Hexern Mitte» (Zihlmann und Tschachtli 2004).

### Starker Einfluss von Kulturen und Kulturübergängen

Markante Anstiege des  $N_{min}$ -Gehalts des Bodens als Ergebnis der natürlichen mikrobiellen Stickstoff-Mineralisierung und der fehlenden oder noch geringen Stickstoffaufnahme durch die Kulturen konnten im Frühjahr oder Herbst nach der Bestellung von Ackerkulturen beobachtet werden (Abb. 2 und 3). Weil Vergleichsverfahren ohne Bodenbearbeitung fehlten, kann nur vermutet werden, dass diese plötzliche Steigerung der Stickstoffnachlieferung von 50 bis 100 kg N/ha auf die Bodenbearbeitungsmassnahmen mit der damit einhergehenden besseren Durchlüftung und rascheren Erwärmung des Bodens (Dowdell und Cannell 1975) zurückzuführen ist.

**Tabelle 1. Zusammensetzung und pH-Wert des Oberbodens (0 bis 25 cm) in den untersuchten Parzellen «Hexern Mitte» und «Kastelen»**

	«Hexern Mitte» (Parzelle Nr. 2)	«Kastelen» (Parzelle Nr. 6)
pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	7,7	6,0
Tongehalt*	23%	17%
Humusgehalt*	4,7%	2,6%

\* Gewichts-%

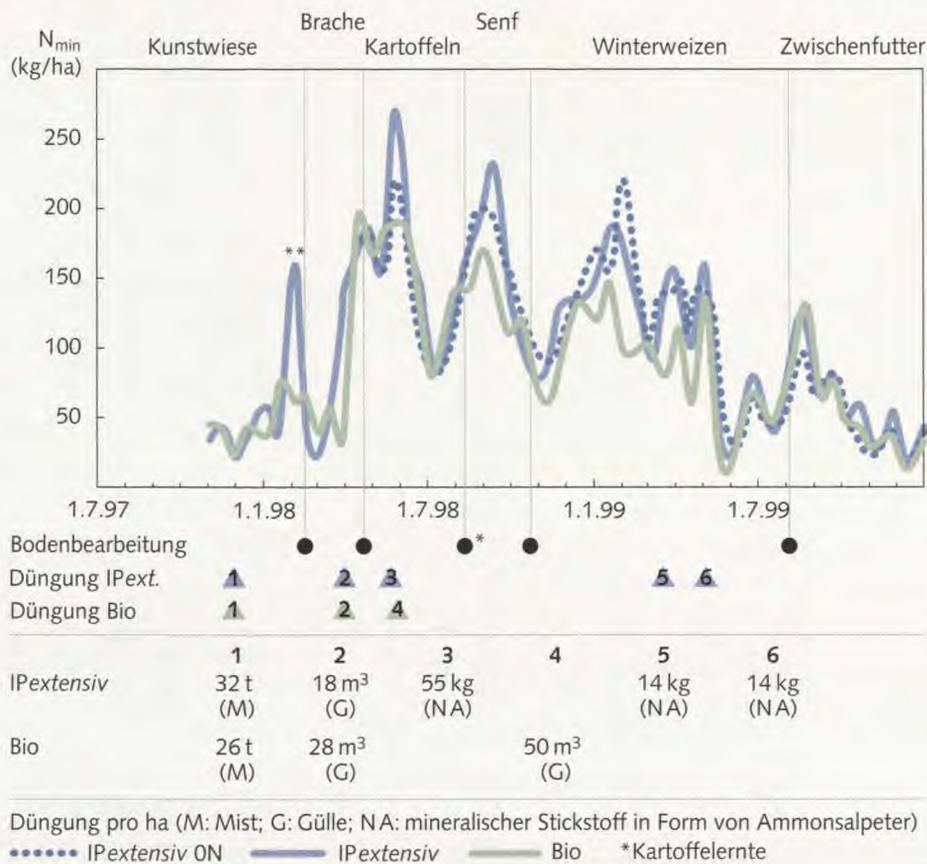


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf des Gehalts an mineralischem Bodennitrogen ( $N_{min}$ ; 0 bis 100 cm Bodentiefe) in den Anbausystemen IPextensiv (ON = ohne Stickstoffdüngung) und Bio der Parzelle «Hexern Mitte» von 1997 bis 1999.

\*\*Für den an diesem Beprobungstermin für eine Kunstwiese sehr hoch liegenden  $N_{min}$ -Wert konnte keine Erklärung gefunden werden.

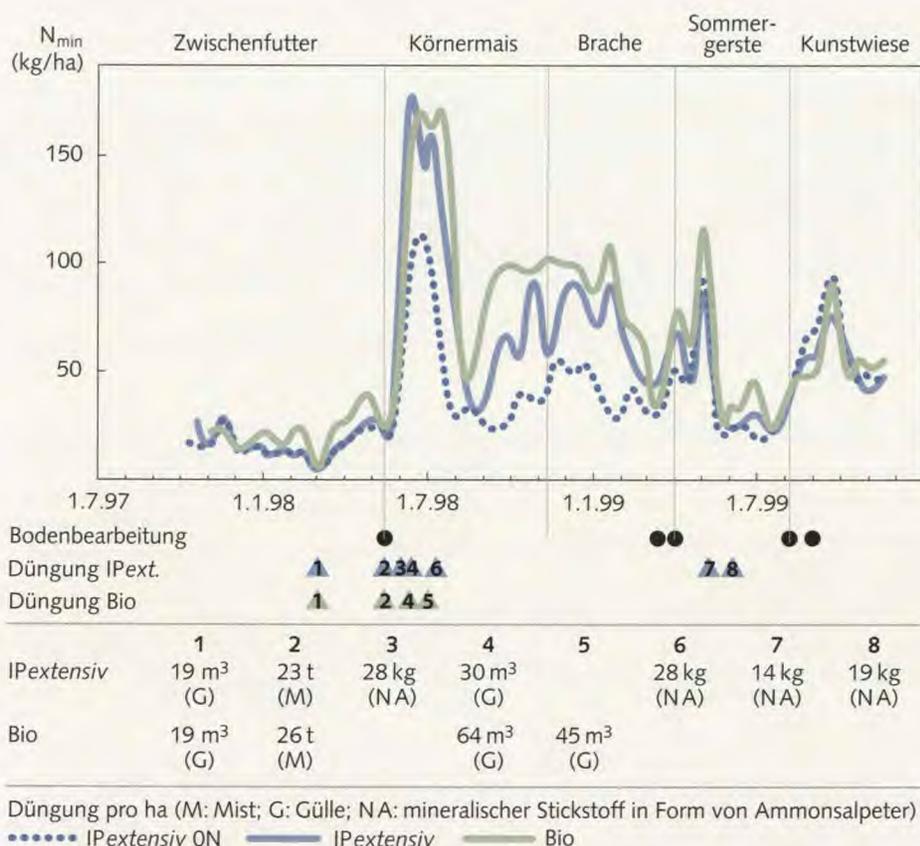
Während Perioden intensiven Wachstums der Kulturen wurden in der Regel Abnahmen der  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens beobachtet, welche grösstenteils durch den Stickstoffentzug der Pflanzen erklärt werden können. Bei den Sommerkulturen Kartoffeln, Mais und Sommergerste verlief dieser Vorgang besonders schnell. Bei Winterweizen erstreckte sich das Absinken der Werte über eine längere Periode. Bei Klee gras und Zwischenfutter wurden wie erwartet meist sehr tiefe  $N_{min}$ -Werte festgestellt. Kurz vor der Ernte aller Kulturen lagen die Werte in dem auch an anderen Ackerstandorten häufig beobachteten Bereich von 20 bis 40 kg N/ha. Diese Rest- $N_{min}$ -Gehalte kurz vor der Ernte entsprechen der Stickstoffmenge, die von Ackerkulturen unter durchschnittlichen Verhältnissen nicht aufgenommen werden kann, sowie der Stickstoffmenge, die während der Abreife der Kulturen mineralisiert wird.

Abnahmen der  $N_{min}$ -Gehalte in der Periode zwischen der Ernte einer Kultur und der Anlage der Folgekultur können durch N-Entzug – bei Anbau einer Zwischenkultur – oder durch N-Verluste – hauptsächlich durch Nitratauswaschung und Denitrifikation – erklärt werden. Die tatsächlichen Nitratverluste können anhand von periodischen  $N_{min}$ -Bestimmungen nur mangelhaft quantifiziert werden. Bei fehlendem Pflanzenentzug entsprechen sie mindestens der Abnahme der  $N_{min}$ -Gehalte zwischen zwei Beprobungsterminen; sie dürften aber in der Regel höher sein, da Stickstoff-Mineralisierung einerseits und Stickstoffverluste andererseits im Boden in der Regel gleichzeitig vorkommen. Die Abnahme des  $N_{min}$ -Gehalts in der Parzelle «Hexern Mitte» (Abb. 2) nach der Kartoffelernte bis zur Winterweizen-Saat 1998 ist vor allem auf den N-Entzug des nach den Kartoffeln anfangs August gesäten Senfs zurückzuführen. Die  $N_{min}$ -Gehalte in der Parzelle «Kastelen» (Abb. 3) nahmen dagegen nach Körnermais (Januar bis März 1999) hauptsächlich wegen Nitratverlusten ab.

### Einfluss der Bodeneigenschaften

Die Niveaus der  $N_{min}$ -Gehalte zeigen einen starken Einfluss der unterschiedlichen Bodenbedingungen in den beiden untersuchten Parzellen: Während in der Parzelle «Kastelen» (Abb. 3) der  $N_{min}$ -Gehalt selten 100 kg N/ha übersteigt und oft auf 20 kg N/ha absinkt,

Abbildung 3:  
Zeitlicher Verlauf des  
Gehalts an mineralischem Boden-  
stickstoff ( $N_{min}$ ; 0 bis 100 cm Boden-  
tiefe) in den Anbau-  
systemen IPextensiv  
(ON = ohne Stick-  
stoffdüngung) und  
Bio der Parzelle  
«Kastelen» von  
1997 bis 1999.



liegen die Werte in der Parzelle «Hexern Mitte» (Abb. 2) vielfach im Bereich von 100 bis 200 kg N/ha. Von April 1998 bis März 1999 sanken die Werte in der Parzelle «Hexern Mitte» kaum unter 80 kg N/ha ab.

Das Stickstoff-Mineralisierungspotenzial der Böden beider Parzellen ist beachtlich und im Vergleich zu jenem anderer Ackerstandorte aussergewöhnlich hoch: Selbst in den Böden der Teilfläche ohne Stickstoffdüngung (IPextensiv ON) wurden regelmässig sehr hohe  $N_{min}$ -Werte beobachtet (Parzelle «Kastelen»: > 100 kg N/ha; Parzelle «Hexern Mitte»: > 200 kg N/ha). Dies kann zumindest teilweise mit den für Ackerböden hohen bis überdurchschnittlichen Humusgehalten (Tab. 1) erklärt werden, welche sich auch in sehr hohen bodenmikrobiologischen Aktivitäten (Oberholzer 2004) und hohen Naturalerträgen (Dubois *et al.* 2004; Tschachtli *et al.* 2004) widerspiegeln.

Der Einfluss der Anbausysteme IPextensiv und Bio auf die  $N_{min}$ -Gehalte war deutlich schwächer als der Einfluss der Bodeneigenschaften. In der Parzelle «Hexern Mitte» (Abb. 2) wurden in IPextensiv oft um 40 bis 75 kg N/ha höhere  $N_{min}$ -Gehalte als in Bio festgestellt, während in der Parzelle «Kastelen» (Abb. 3) die  $N_{min}$ -Gehalte der zwei Anbausysteme näher beieinander und in Bio teilweise höher lagen. Die höheren  $N_{min}$ -Werte in Bio können zum Teil durch den geringeren Entzug der Kulturen (tiefere Erträge) und Unterschiede in der Mistdüngung (Menge und Form) erklärt werden. Auch im DOK-Versuch zeigten biologische und integrierte Anbausysteme bei den Kartoffeln eine ähnliche Dynamik der  $N_{min}$ -Werte (Zihlmann *et al.* 2004).

### Geringer Einfluss der Stickstoffdüngung

Die Stickstoffdüngung hatte in beiden Parzellen während der gesamten Untersuchungsperiode einen eher geringen Einfluss auf die anschliessend im Boden gemessenen  $N_{min}$ -Gehalte (Abb. 2 und 3). Die verabreichten Düngergaben waren in der Regel in den  $N_{min}$ -Gehalten des Bodens nicht klar erkennbar. Auch in früheren Untersuchungen hatte sich gezeigt, dass die verabreichten Stickstoffgaben mit der  $N_{min}$ -Methode kurz nach der

Düngung nicht nachgewiesen werden können (Stauffer *et al.* 1991). Im Verlauf der  $N_{\min}$ -Werte zeigte sich jedoch in der Parzelle «Kastelen» (Abb. 3) der Einfluss einer fehlenden Stickstoffdüngung auf die  $N_{\min}$ -Gehalte. Im ungedüngten Kontrollfeld (IP $_{\text{extensiv}}$  ON) waren die Werte oft 20 bis 50 kg N/ha geringer als in der gedüngten IP $_{\text{extensiv}}$ -Teilfläche. Die gegenüber IP $_{\text{extensiv}}$  ON höheren  $N_{\min}$ -Gehalte bei den gedüngten Anbausystemen im Winter 1998/1999 nach Körnermais sind wahrscheinlich auf die Nachwirkung (Mineralisierung) des Mistes zurückzuführen.

In der Parzelle «Hexern Mitte» (Abb. 2), welche sich generell durch hohe  $N_{\min}$ -Werte auszeichnet, waren die Effekte der Düngung weniger klar erkennbar. Das enorme Stickstoff-Mineralisierungspotenzial dieser Parzelle führte dazu, dass ohne Stickstoffdüngung die Ertragseinbussen geringer ausfielen als in der Parzelle «Kastelen». Bei der untersuchten Kulturabfolge und ohne Stickstoffdüngung reagierten am Standort Burgrain Kartoffeln (bis -30%; bei tiefem Marktwarenanteil), Sommergerste (bis -25%) und Körnermais (bis -20%) mit stärkeren Ertragsreduktionen als Winterweizen (bis -10%).



Abbildung 4:  
Wegen des hohen Stickstoff-Mineralisierungspotenzials der Burgrain-Böden hatte die Stickstoffdüngung nur einen geringen Einfluss auf den  $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens.  
(Foto: R. Tschachtli, LBBZ Schüpflheim)

## Schlussfolgerung

Die Untersuchung der Stickstoffdynamik in zwei Parzellen des Anbausystemversuchs Burgrain hat gezeigt, dass sich die Art der Kulturen und Kulturübergänge (inkl. Bodenbearbeitung) sowie Unterschiede im Humusgehalt (Stickstoff-Mineralisierungspotenzial) stärker auf das Niveau und den zeitlichen Verlauf der  $N_{\min}$ -Gehalte auswirken als das jeweilige Anbausystem. Stickstoffdüngergaben hatten an diesen Ackerstandorten nur einen geringen Einfluss auf die kurz nach der Düngung ermittelten  $N_{\min}$ -Gehalte des Bodens. Im IP $_{\text{extensiv}}$ -Anbausystem wies die mit Stickstoff gedüngte Fläche allerdings mehrheitlich höhere  $N_{\min}$ -Gehalte auf als die entsprechend bewirtschaftete Versuchsfläche ohne Stickstoffdüngung. Auf der Parzelle mit tieferem Humusgehalt («Kastelen») waren diese Effekte deutlich erkennbar. Diese standörtlichen Unterschiede in der Stickstoffdynamik müssen bei der Düngung berücksichtigt werden, damit die Kulturen effizient mit diesem Nährstoff versorgt und Verluste vermieden werden können.

## Literatur

- Dowdell R.J. und Cannell R.Q., 1975. Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. *Journal of Soil Science* 26, 53-61.
- Dubois D., Tschachtli R., Briner H.-U. und Gunst L., 2004. Ertrag und Qualität der Kunstwiesen. *Schriftenreihe der FAL* 52, 37-41.
- Oberholzer H.-R., 2004. Mikrobiologische Eigenschaften des Bodens. *Schriftenreihe der FAL* 52, 59-64.
- Schmidhalter U., Strasser R. und Oertli J.J., 1992. Zeitliche und räumliche Variabilität von Mineralstickstoff im Boden. *Landwirtschaft Schweiz* 5, 354-362.
- Stauffer W., Siegenthaler A., Stauffer B., Fankhauser O. und Stadelmann F.X., 1991. Versuche mit umweltfreundlichen Maisanbaumethoden: Einfluss auf den Ertrag, den Nitratgehalt, die Struktur und die Regenwurmpopulation des Bodens. *Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz* 105, 305-333.
- Tschachtli R., Dubois D. und Fried P.M., 2004. Ertrag und Qualität der Ackerkulturen. *Schriftenreihe der FAL* 52, 28-33.
- Vigil M.F., Eghball B., Cabrera M.L., Jakubowski B.R. und Davis J.G., 2002. Accounting for seasonal nitrogen mineralization: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation* 57, 464-469.
- Zihlmann U. und Tschachtli R., 2004. Standort- und Versuchsbeschreibung. *Schriftenreihe der FAL* 52, 23-27.
- Zihlmann U., Weisskopf P. und Jossi W., 2004. DOK-Versuch: Stickstoffdynamik im Boden beim Kartoffelanbau. *Agrarforschung* 11 (7), 298-303.



Abbildung 1:  
Mit geeigneten  
Geräten wie der  
Sternhacke im  
Maisanbau konnten  
die vermehrt auf-  
tretenden Unkräuter  
in den Bio-Parzellen  
meist erfolgreich  
kontrolliert werden.  
(Foto: R. Tschachtli,  
LBBZ Schüpfheim)

## Dynamik der Unkrautpopulationen

Bernhard Streit, Caroline Scherrer und Ruedi Tschachtli

Die effiziente Kontrolle der Unkräuter ist ein wichtiger Erfolgsfaktor im Ackerbau. Im Rahmen des Anbausystemversuchs auf Burgrain wurden deshalb die Unkrautpopulationen in den drei Anbausystemen *IPintensiv*, *IPextensiv* und *Bio* regelmässig erhoben und der Vorrat an Unkrautsamen im Boden bestimmt. Dabei zeigte sich, dass im biologischen Anbausystem am meisten und im intensiven *IP*-Anbau am wenigsten Unkräuter vorhanden waren, wobei die Verunkrautung in den *Bio*-Parzellen im allgemeinen nicht als ertragslimitierend beurteilt wurde. Der Verzicht auf Herbizide im *Bio*-Anbau bewirkte eine gewisse Erhöhung der Artenvielfalt, wobei allerdings auch Problemunkräuter wie *Wiesenblacke* und *Gemeine Quecke* zunahm. Im Hinblick auf einen langfristig erfolgreichen *Bio*-Ackerbau wird es entscheidend sein, Massnahmen zur effizienten Kontrolle dieser Problemarten zu finden.

In gewissen Anbausystemen wie der integrierten Produktion oder dem Biolandbau wird teilweise oder ganz auf chemische Unkrautbekämpfung verzichtet. Dabei werden vermehrt vorbeugende oder alternative Bekämpfungsmethoden verwendet. Diese Massnahmen erreichen aber nur in seltenen Fällen Wirkungsgrade, die mit denjenigen von Herbiziden vergleichbar sind. Daraus ergeben sich Befürchtungen, dass in solchen extensiveren Anbausystemen längerfristig die Unkräuter zunehmen und im Extremfall die ökonomische Nachhaltigkeit der Systeme gefährdet werden könnte.

Im Rahmen des Anbausystemversuchs Burgrain wurden seit 1997 die Unkrautpopulationen in Winterweizen, Sommergerste und Körnermais bei verschiedenen Stadien der Kulturen visuell erhoben. Jeweils nach Winterweizen und Sommergerste wurde zudem der

Bernhard Streit  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
bernhard.streit  
@fal.admin.ch

Caroline Scherrer  
FAL

Ruedi Tschachtli  
LBBZ Schüpfheim



Vorrat an keimfähigen Unkrautsamen im Boden nach der Methode von Ter Heerdt *et al.* (1996) bestimmt. Speziell untersucht wurde zudem die Häufigkeit der Wiesenblacken nach der Kunstwiesen-Ansaat.

## Die Samenbank im Boden

Die Unkrautflora auf unseren Äckern wird wesentlich durch die Bewirtschaftung beeinflusst. So führte die seit Beginn des Ackerbaus regelmässige Kultivierung der Böden dazu, dass die Ackerbegleitflora vor allem aus Samenunkräutern besteht. Heterogene Unkrautpopulationen sind in der Lage, sich laufend an veränderte Umweltbedingungen anzupassen. Es vermehren sich stets diejenigen Pflanzenarten, die den aktuellen Einflüssen am besten angepasst sind (Steinmann *et al.* 1997). Dabei spielt der Vorrat an Unkrautsamen im Boden eine wichtige Rolle, da in der obersten Bodenschicht stets keimbereite Samen vorhanden sind, die sich dann je nach herrschenden Umweltbedingungen unterschiedlich stark entwickeln können. Dieser Samenvorrat ist einer verzögerten Dynamik unterworfen und widerspiegelt indirekt die Folgen der früheren Bewirtschaftung.

Die aktuelle Ackerbegleitflora an einem Standort ist demnach das Resultat von Ausgangsflora, früheren Kulturmassnahmen und Klimaeffekten sowie langfristiger Veränderungen des Samenvorrates im Boden. Zur Beurteilung von unterschiedlichen Anbausystemen hinsichtlich der Ackerbegleitflora werden idealerweise sowohl Unkrautpopulation als auch Samenvorrat berücksichtigt (Beuret 1984).

## Mehr Unkräuter im Bio-Anbau

Ausgehend von den oberirdischen Erhebungen der Unkräuter und den Bestimmungen des Samenvorrates im Boden waren Einjähriges Rispengras, Weisses und Vielsamiger Gänsefuss, Vogelmiere, Hirtentäschelkraut sowie Wiesenblacke die Leitarten in allen drei Anbausystemen. Insgesamt wurden bei den visuellen Erhebungen in *IPintensiv* 39, in *IPextensiv* 37 und in Bio 44 verschiedene Unkrautarten gefunden (Tab. 1). Im Durchschnitt aller Erhebungen der Früh- und Spätverunkrautung und im Vergleich zu *IPintensiv* war der Bodenbedeckungsgrad der Unkräuter in *IPextensiv* mehr als doppelt so hoch und im Bio-Anbau rund sechsmal höher. Die ausschliesslich mechanische Unkrautbekämpfung sowie die reduzierte Nährstoffzufuhr bewirkten im Bio-Anbau (Zihlmann und Tschachtli 2004) im Vergleich zu den IP-Anbausystemen eine deutliche Zunahme der Artenvielfalt. Dabei dürften neben der fehlenden Wirkung der Herbizide vor allem die etwas lichtereren Bestände der Bio-Kulturen eine massgebliche Rolle gespielt haben. Vor allem ausgeprägte Frühjahrskeimer wie Gemeiner Hohlzahn, Pfirsichblättriger Knöterich und Weisses Gänsefuss konnten sich im Bio-Anbau etablieren. Allerdings wurden in keinem Anbausystem Arten der Roten Liste (Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz) gefunden. Offenbar kamen auf dem Betrieb Burgrain schon vor Untersuchungsbeginn keine schützenswerten Arten vor. Gleichzeitig reichte die Beobachtungsdauer nicht aus, um seltenen Arten das Einwandern zu ermöglichen. Im Gegensatz dazu schien die Wiesenblacke ohne spezielle Massnahmen nur mit chemischen Hilfsmitteln effizient bekämpfbar zu sein. Beim Hirtentäschelkraut und bei den Durchwuchskartoffeln wiesen die eingesetzten Herbizide dagegen Wirkungslücken auf. Diese beiden Arten konnten nur mit teilweise oder ausschliesslich mechanischer Bekämpfung zurückgebunden werden.

Die Artenzusammensetzungen der oberirdischen, aktuell vorhandenen Unkrautpopulation und des Samenvorrates im Boden stimmten vielfach nicht überein. So war zum Beispiel die Artenvielfalt im Samenvorrat generell grösser als bei den Erhebungen der aktuellen Unkrautflora, wobei dieser Unterschied besonders ausgeprägt in den *IPextensiv*- und Bio-Parzellen auftrat. Ebenso war die Dichte der Unkrautsamen im Boden im Durchschnitt aller Erhebungen in diesen Parzellen mehr als doppelt so hoch wie in *IPintensiv*.

**Tabelle 1. Kennzahlen der Unkrautpopulationen auf dem Betrieb Burgrain** (oberirdische Erhebungen der Unkräuter und Bestimmungen des Vorrates an keimfähigen Samen im Boden, 1997 bis 2003)

	<b>IPintensiv</b>	<b>IPextensiv</b>	<b>Bio</b>
Oberirdische Erhebungen in Winterweizen, Sommergerste und Körnermais:			
Anzahl Arten	39	37	44
Mittlerer Unkraut-Deckungsgrad	3%	8%	18%
Leitarten	Einjähriges Rispengras <i>Poa annua</i> L.	Einjähriges Rispengras <i>Poa annua</i> L.	Wiesenblacke <i>Rumex obtusifolius</i> L.
	Vogelmiere <i>Stellaria media</i> L.	Wiesenblacke <i>Rumex obtusifolius</i> L.	Vogelmiere <i>Stellaria media</i> L.
	Wiesenblacke <i>Rumex obtusifolius</i> L.	Vogelmiere <i>Stellaria media</i> L.	Gemeiner Hohlzahn <i>Galeopsis tetrahit</i> L.
	Hirtentäschelkraut <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med	Gemeine Quecke <i>Agropyron repens</i> (L.) P.B.	Pfirsichblättriger Knöterich <i>Polygonum persicaria</i> L.
	Durchwuchskartoffel <i>Solanum tuberosum</i> L.	Weisser Gänsefuss <i>Chenopodium album</i> L.	Weisser Gänsefuss <i>Chenopodium album</i> L.
Vorrat an keimfähigen Samen im Boden nach Winterweizen und Sommergerste:			
Anzahl Arten	40	41	51
Mittlere Samendichte	4311 Samen pro m <sup>2</sup>	11'240 Samen pro m <sup>2</sup>	10'014 Samen pro m <sup>2</sup>
Leitarten	Einjähriges Rispengras <i>Poa annua</i> L.	Windhalm <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.	Weisser Gänsefuss <i>Chenopodium album</i> L.
	Hirtentäschelkraut <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med	Einjähriges Rispengras <i>Poa annua</i> L.	Einjähriges Rispengras <i>Poa annua</i> L.
	Vogelmiere <i>Stellaria media</i> L.	Hirtentäschelkraut <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med	Vogelmiere <i>Stellaria media</i> L.
	Vielsamiger Gänsefuss <i>Chenopodium polysp.</i> L.	Weisser Gänsefuss <i>Chenopodium album</i> L.	Hirtentäschelkraut <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med
	Weisser Gänsefuss <i>Chenopodium album</i> L.	Vielsamiger Gänsefuss <i>Chenopodium polysp.</i> L.	Vielsamiger Gänsefuss <i>Chenopodium polysp.</i> L.

Bei den Unkrauterhebungen kamen in den beiden IP-Anbausystemen deutlich weniger Unkräuter vor als im Bio-Anbau. Auch wurde – anders als im Samenvorrat – der Weisse Gänsefuss nur in den Unkrautpopulationen von IPextensiv und Bio dominant, während der Vielsamige Gänsefuss nirgends zu den dominanten Unkrautarten gehörte. Auf der anderen Seite war der Besatz an Wiesenblackensamen im Boden im Gegensatz zu den Blackenerhebungen nicht sehr ausgeprägt. Ebenso spielten andere, bei der oberirdischen Erhebung sehr wichtige Arten wie Durchwuchskartoffeln in IPintensiv oder Gemeiner Hohlzahn im Bio-Anbau im Samenvorrat zahlenmässig nur eine untergeordnete Rolle.

Die Betrachtung der Ackerbegleitflora mittels einiger Leitarten und Schlüsselzahlen ist nicht umfassend. Eine Charakterisierung der einzelnen Anbausysteme ist aber trotzdem möglich. Es wird beispielsweise deutlich sichtbar, dass eine auf hohe Wirksamkeit ausgerichtete Unkrautbekämpfung, wie sie in IPintensiv angewendet wurde, längerfristig auch eine vergleichsweise geringe Dichte an Unkrautsamen im Boden zur Folge hat. So kann der generelle Unkrautdruck klein gehalten werden. Dies wurde bereits in anderen Untersuchungen gezeigt (Barberi *et al.* 1998). Wird der Einsatz von Herbiziden, wie in IPextensiv, reduziert, nimmt offenbar der Vorrat an Unkrautsamen zu und kann denjenigen in Bio-Parzellen sogar übersteigen.

Die heterogene Verteilung der Unkräuter auf den einzelnen Parzellen und die unterschiedlichen Jahres-Witterungsbedingungen lassen eine umfassende Analyse der Unkrautpopulationen pro Kultur oder aufgeteilt nach Jahren nur bedingt zu. Deshalb soll anhand des ausgewählten und repräsentativen Beispiels der Parzelle «Hexern Mitte» aufgezeigt werden, wie sich die Ackerbegleitflora in der Abfolge der Kulturen zusammengesetzt (Abb. 2) und der entsprechende Unkrautsamenvorrat im Boden entwickelt hat (Abb. 3).

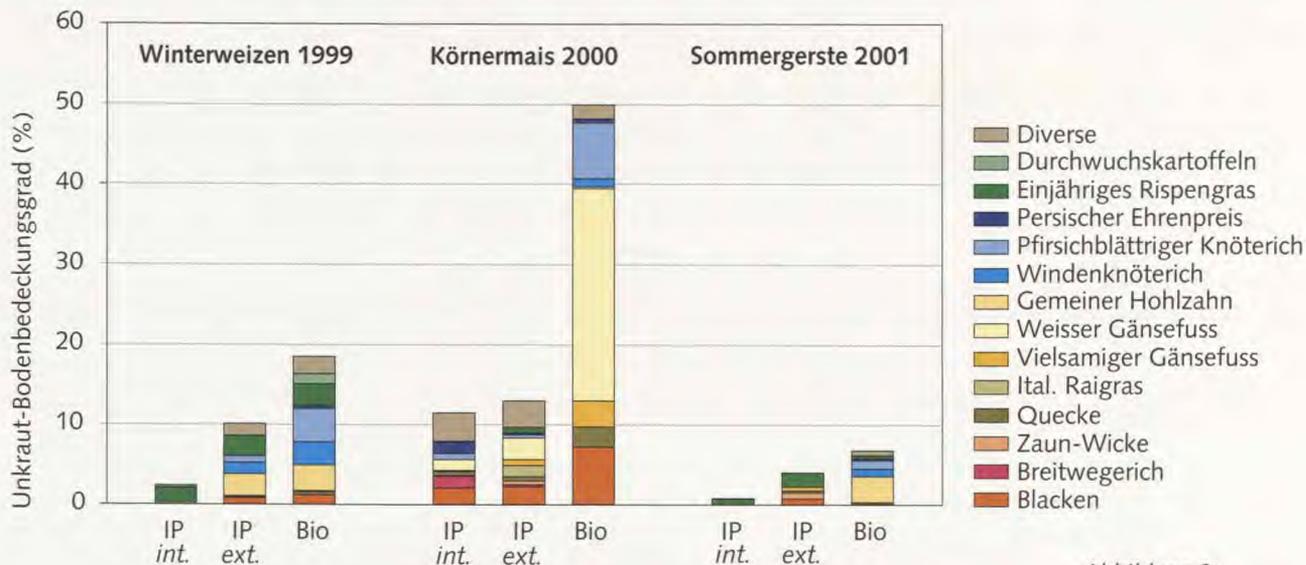


Abbildung 2: Unkrauterhebungen zum Zeitpunkt des Hauptwachstums in der Parzelle «Hexern Mitte», 1999, 2000 und 2001.

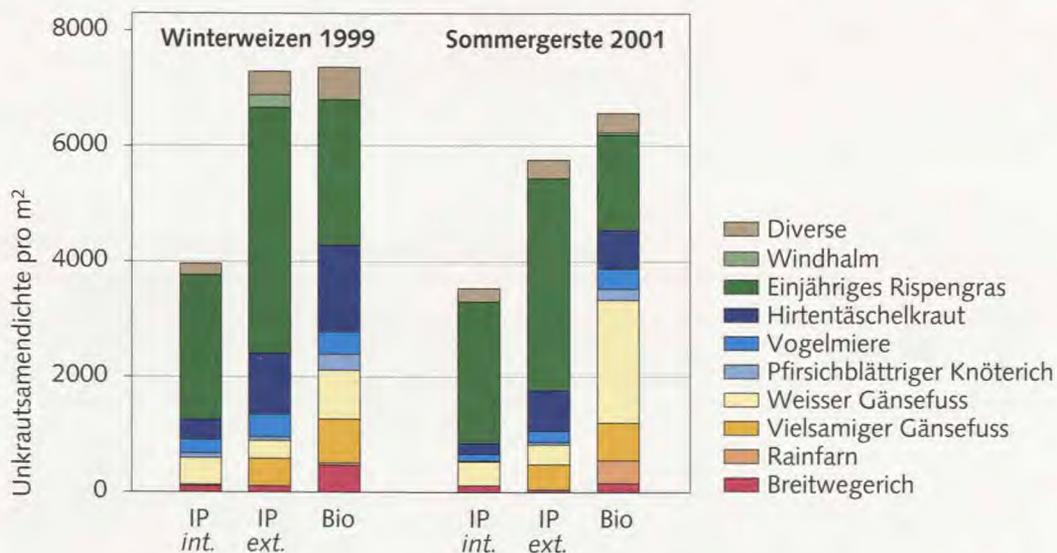


Abbildung 3: Vorrat an keimfähigen Unkrautsamen im Boden der Parzelle «Hexern Mitte», 1999 und 2001.

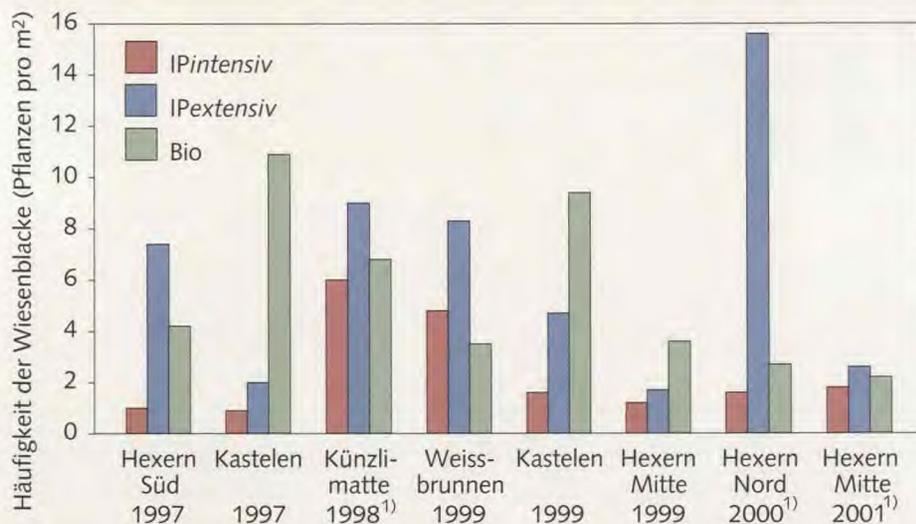
Die Rangfolge der Unkraut-Bedeckungsgrade auf der Parzelle «Hexern Mitte» entsprach immer derjenigen des Durchschnitts aller Erhebungen auf Burgrain (Tab. 1). Es fällt allerdings auf, dass der Unkrautbesatz im Körnermais generell und im Bio-Anbau im Speziellen hoch war. Dafür hauptverantwortlich war der Weisse Gänsefuss, der zwar im Samenvorrat aller Anbausysteme vorhanden war, aber in der Vorkultur Winterweizen kaum gefunden wurde. Hingegen konnte er sich im anschliessenden Körnermais entwickeln und wurde insbesondere im Bio-Anbau bestandesbildend. Dies zeigt einmal mehr, dass der Weisse Gänsefuss als ausgesprochener Frühjahrskeimer optimal an den Maisanbau angepasst ist, da in dieser Reihenkultur der Boden nach der Saat während relativ langer Zeit unbedeckt bleibt. In der Folgekultur Sommergerste war der Besatz an Weissen Gänsefuss in allen Anbausystemen unbedeutend, obwohl er im Samenvorrat (insbesondere im Bio-Anbau) in grosser Zahl vorhanden war. Die Getreidekulturen scheinen den Boden noch vor dem Keimen des Weissen Gänsefusses bedeckt zu haben. Ebenfalls vorwiegend im Körnermais und hier besonders ausgeprägt im Bio-Anbau konnte sich die Quecke entwickeln – wahrscheinlich ebenfalls als Folge des während langer Zeit unbedeckten Bodens. Anders verhielt es sich mit dem Einjährigen Rispengras, das im Samenvorrat aller Anbausysteme sehr zahlreich vorhanden war. In den beiden IP-Getreidekulturen bildete es einen wesentlichen Anteil der Unkrautpopulation. Im Körnermais und in der Bio-Sommergerste kam dieses Unkraut aber kaum vor. Auch das Hirtentäschelkraut wurde überall im Samenvorrat gefunden, aber fast nirgends in den Unkrautpopulationen.

## Problematische Blacken

Diese ausgewählten Beispiele zeigen, dass Unkrautpopulationen an einem Standort durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden: Art und Effizienz der Unkrautbekämpfung wirken sich direkt auf die Unkrautpopulationen und indirekt auf den Vorrat an keimfähigen Samen im Boden aus. Auch die Kultur selbst beeinflusst die Zusammensetzung der Unkrautpopulationen, indem von Kultur zu Kultur unterschiedliche Saatzeitpunkte oder Bestandesentwicklungen unterschiedliche Möglichkeiten für die Entwicklung der Begleitflora offen lassen. Bei Samenunkräutern braucht es zudem einen entsprechenden Vorrat an keimfähigen Samen in der obersten Bodenschicht. Allerdings ist das Verhältnis zwischen Samenvorrat und entwickelten Pflanzen nicht zuletzt von der Biologie der einzelnen Unkrautarten abhängig. Da bei den entsprechenden Untersuchungen die Blackensamen nie dominant waren, scheinen die überall gehäuft vorkommenden Wiesenblacken aus einem relativ geringen Samenvorrat hervorzugehen.

Die Bekämpfung der Wiesenblacke hat auf dem Betrieb Burgrain einen besonders hohen Stellenwert. Im IP-Anbau konnte dieses Unkraut mit Herbiziden gut kontrolliert werden. Die mechanischen Unkrautbekämpfungs-Massnahmen in den Bio-Parzellen blieben dagegen weitgehend wirkungslos. Zur Verhinderung einer übermässigen Ausbreitung dieses Problemunkrautes wurden die Wiesenblacken deshalb von Hand gestochen. Je nach Situation und Parzelle war diese Arbeit allerdings sehr zeitintensiv (Tschachtli *et al.* 2004). Um die Häufigkeit dieser konkurrenzstarken Unkrautart zu verringern, wurde ein besonderes Augenmerk auf die Ansaattechnik der Kunstwiesen gelegt. Als Hypothese wurde dabei

Abbildung 4:  
Häufigkeit der Wiesenblacke, erhoben in verschiedenen Parzellen nach einer Kunstwiesen-Ansaat.



<sup>1)</sup> Bio mit Direktsaat ohne Bodenbearbeitung

Abbildung 5:  
Der Bio-Anbau führte zu einer höheren Artenvielfalt. Mit dem Verzicht auf Herbizide nahmen jedoch auch schwer bekämpfbare Unkrautarten wie Wiesenblacke und Gemeine Quecke zu. (Foto: R. Tschachtli, LBBZ Schüpheim)



angenommen, dass die Wiesenblacke als Lichtkeimer bei einer Kunstwiesen-Ansaat ohne vorgängige Bodenbearbeitung weniger und schwächere Keimlinge ausbildet als nach intensiver Bearbeitung. Zur Überprüfung der These wurde die Häufigkeit der Wiesenblacke nach der Ansaat von Kunstwiesen erhoben (Abb. 4).

In den Jahren mit herkömmlicher Kunstwiesen-Ansaat in den Bio-Parzellen war die Rangfolge des Blackenvorkommens in mehr als der Hälfte der Erhebungen Bio > IPextensiv > IPintensiv; in den Jahren mit

Direktsaat in Bio war diese Rangfolge immer *IPextensiv* > Bio > *IPintensiv*. Dies deutet darauf hin, dass mit einer Direktsaat eine deutliche Reduktion des Blackenbesatzes und insbesondere der Keimlinge erzielt werden konnte. Der direkte Vergleich zwischen 1999 und 2001 auf der Parzelle «Hexern Mitte» zeigt, dass im Bio-Anbau die Blackendichte mittels Direktsaat fast halbiert werden konnte, obwohl bei der Erhebung 2001 auch Blacken erfasst wurden, welche bereits in der Vorkultur Sommergerste gekeimt waren.

## Fazit

Die langjährigen Beobachtungen der Ackerbegleitflora am Standort Burgrain haben gezeigt, dass sich die Unkrautpopulationen in Abhängigkeit des Anbausystems stark unterscheiden. In *IPintensiv* war der Unkrautbesatz meistens am geringsten und im Bio-Anbau am höchsten. Allerdings war die Verunkrautung in den Bio-Parzellen selten so gross, dass ernsthafte Ertragseinbussen befürchtet werden mussten. Insofern konnte gezeigt werden, dass mit rein mechanischen Methoden – in Kombination mit einer Reduktion der Anbauintensität – eine befriedigende Kontrolle der Unkräuter bei vielseitiger Fruchtfolge und dichten Kulturpflanzenbeständen möglich ist. Das Fehlen von Problemarten wie Klettenlabkraut, Ackerkratzdisteln oder Winden am Standort Burgrain begünstigte aber von Anfang an die Umstellung auf extensiveren Anbau. Über die gesamte Beobachtungsdauer gesehen war der Vorrat an Unkrautsamen in den Bio-Parzellen nicht grösser als in *IPextensiv*. Ein Verzicht auf Herbizide bewirkte aber eine Zunahme der Artenvielfalt, wenn auch ohne seltene Arten. Zudem wurde auch deutlich sichtbar, dass Problemunkräuter wie die Wiesenblacke oder – etwas weniger ausgeprägt – die Gemeine Quecke im Biolandbau nur mit erhöhtem Aufwand kontrolliert werden können. Ansätze zur Reduktion dieses Aufwands wie beispielsweise die Direktsaat von Kunstwiesen oder der gezielte Einsatz von schnell wachsenden Kunstwiesen in der Fruchtfolge sind deshalb notwendig, um längerfristig die Ertragssicherheit zu gewährleisten.

## Literatur

- Barberi P., Cozzani A., Macchia M. und Bonari E., 1998. Size and composition of the weed seedbank under different management systems for continuous maize cropping. *Weed Research* 38, 319-334.
- Beuret E., 1984. Stocks grainiers des sols et pratiques culturales: la relation flore réelle – flore potentielle. *Recherche Agronom. en Suisse* 23, 89-96.
- Steinmann H.-H., Forstreuter C. und Heitefuss R., 1997. Auswirkungen von Extensivierungsmassnahmen auf die Verunkrautung und deren Regulierung. In: *Ökologische und ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmassnahmen im Ackerbau – Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94.* (Hrsg. B. Gerowitt und M. Wildenhayn), S. 127-154. Göttingen.
- Ter Heerd G.N.J., Verweil G.L., Bekker R.M. und Bakker J.P., 1996. An improved method for seedbank analysis: Seedling emergence after removing the soil by sieving. *Functional Ecology* 10, 144-151.
- Tschachtli R., Dubois D. und Ammann H., 2004. Produzentenpreise entscheidend für ökonomischen Erfolg. *Schriftenreihe der FAL* 52, 42-47.
- Zihlmann U. und Tschachtli R., 2004. Standort- und Versuchsbeschreibung. *Schriftenreihe der FAL* 52, 23-27.

Abbildung 1 (rechts):  
Angriff einer Laufkäferlarve: Schlechte Aussichten für den Drahtwurm.  
(Foto: S. Keller, FAL)



Abbildung 2 (oben):  
Ein Laufkäfer (*Carabus violaceus*) attackiert eine Schädlingslarve.  
(Foto: S. Keller, FAL)

## Einfluss der Bewirtschaftung auf die Nützlingsfauna

Werner Jossi, Ruth Bruderer, Anna Valenta, Christian Schweizer, Caroline Scherrer, Siegfried Keller und David Dubois

Laufkäfer, Kurzflügler und Spinnen gehören zu den wichtigsten Nützlingen in der Kulturlandschaft. Im Anbausystemversuch Burgrain wurde von 1997 bis 2002 das Vorkommen dieser räuberischen Arthropoden mit Bodenfallen untersucht. Die Laufkäfer traten in den drei beprobten Kulturen Sommergerste, Winterweizen und Körnermais etwa gleich häufig auf. Bei biologischer Bewirtschaftung wurden in Sommergerste und Winterweizen deutlich höhere Aktivitätsdichten als bei den zwei IP-Anbausystemen festgestellt. Im Durchschnitt der drei Ackerkulturen wurden in Bio 22% und in IP<sub>extensiv</sub> 8% mehr Laufkäfer gefangen als in IP<sub>intensiv</sub>. Vor allem der höhere Unkrautbesatz in Bio und IP<sub>extensiv</sub> scheint das Laufkäfervorkommen gefördert zu haben. Insgesamt wurden in den Ackerparzellen 48 verschiedene Arten registriert – einschliesslich der Buntbrachen waren es sogar 53 Arten. Auch Kurzflügler und Spinnen traten in den biologisch bewirtschafteten Parzellen in grösserer Anzahl auf. Zur Abklärung der Frassleistung der Nützlinge wurden punktuell Ködertests durchgeführt. Die ausgelegten Insektenlarven wurden mehrheitlich durch grössere Laufkäferarten gefressen. In den Bio-Parzellen waren die vertilgten Mengen am grössten. Die Werte unterschieden sich jedoch nicht signifikant von denjenigen in den IP-Parzellen.

Werner Jossi  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
werner.jossi  
@fal.admin.ch

Ruth Bruderer  
Anna Valenta  
Christian Schweizer  
Caroline Scherrer  
Siegfried Keller  
David Dubois  
FAL

Seit den 1940er Jahren hat die Vielfalt der Fauna und der Begleitflora im Ackerbaugebiet der Schweiz stark abgenommen (Duelli 1994, Moser *et al.* 2002). Die Mehrheit der auf der Bodenoberfläche lebenden Gliederfüsser (*epigäische* Arthropoden) besteht aus Laufkäfern, Kurzflüglern und Spinnen. Aufgrund ihrer vorwiegend räuberischen Lebensweise haben sie die Fähigkeit, Schädlinge auf natürliche Weise zu regulieren. Anbaumassnahmen wie Bodenbearbeitung, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie Bodenbedeckung beeinflussen diese

Feldbewohner oder deren Lebensraum. Die Auswirkungen der drei Anbausysteme Bio, IP<sub>extensiv</sub> und IP<sub>intensiv</sub> auf das Vorkommen der epigäischen Nutzarthropoden wurden deshalb von 1997 bis 2002 untersucht. Dies erlaubte die seit 1991 bestehenden Anbausysteme bezüglich Artenzahl von Laufkäfern – einer häufig verwendeten Indikatorgruppe für die faunistische Diversität – zu vergleichen.

## Jagd auf Schädlinge und Schnecken

Das Kulturland ist während der Vegetationszeit für viele Laufkäfer-, Kurzflügler- und Spinnenarten ein nahrungsreicher Lebensraum. Im Frühjahr und Vorsommer verlassen viele Laufkäferarten ihre Winterhabitate (Hecken und Feldrandstreifen) und besiedeln die Felder. Die flinken Laufkäfer vertilgen mit Hilfe ihrer kräftigen Mundwerkzeuge sowohl im Larven- wie im Käferstadium zahlreiche Insekten (Abb. 1 und 2) und zum Teil auch Schnecken (Holland 2002, Glen und Moens 2002). Sie sind in der Lage, ein Mehrfaches ihres Körpergewichts pro Tag zu verzehren. Nur wenige Arten ernähren sich vorwiegend vegetarisch. Die meisten Laufkäfer leben auf dem Boden und in der obersten Erdschicht. Grössere Arten können bis zu vier Jahre alt werden.

Auch Kurzflügler und Spinnen benützen das Ackerland als Jagdrevier. Die schlanken, braunschwarzen Kurzflügelkäfer sind an den verkürzten Flügeldecken erkennbar. Die räuberischen Arten verzehren ähnlich den Laufkäfern verschiedene Insekten, Larven und Puppen. Auch Spinnen leben ausschliesslich räuberisch und erbeuten in landwirtschaftlichen Kulturen diverse Arten von Schadinsekten.

## Erhebungen mit Bodenfallen

Viele dieser Insekten und Spinnen leben verborgen und sind vorwiegend in der Nacht aktiv. Sie wurden im Feld mit ebenerdig eingegrabenen Barber-Bodenfallen mit einem Trichter-Durchmesser von 10 cm eingefangen. Die Fangperiode dauerte in den Getreidekulturen von Mitte Mai bis Mitte Juli und im Körnermais von Anfang Juli bis Ende August. Pro Anbausystem-Teilparzelle wurden entlang der Feldmitte fünf Fallen installiert und während fünf einwöchigen Perioden beprobt. Die Artzugehörigkeit wurde nur bei den Laufkäfern bestimmt (Tab. 1). In der Sommergerste wurden die Erhebungen während den Jahren 1997, 2000 und 2001 durchgeführt, im Winterweizen und Körnermais während je fünf Jahren von 1998 bis 2002. Die Aktivitätsdichte pro Anbausystem ergibt sich aus der Summe der Tiere, die während diesen fünf einwöchigen Beprobungen mit den fünf Fallen gefangen wurden.

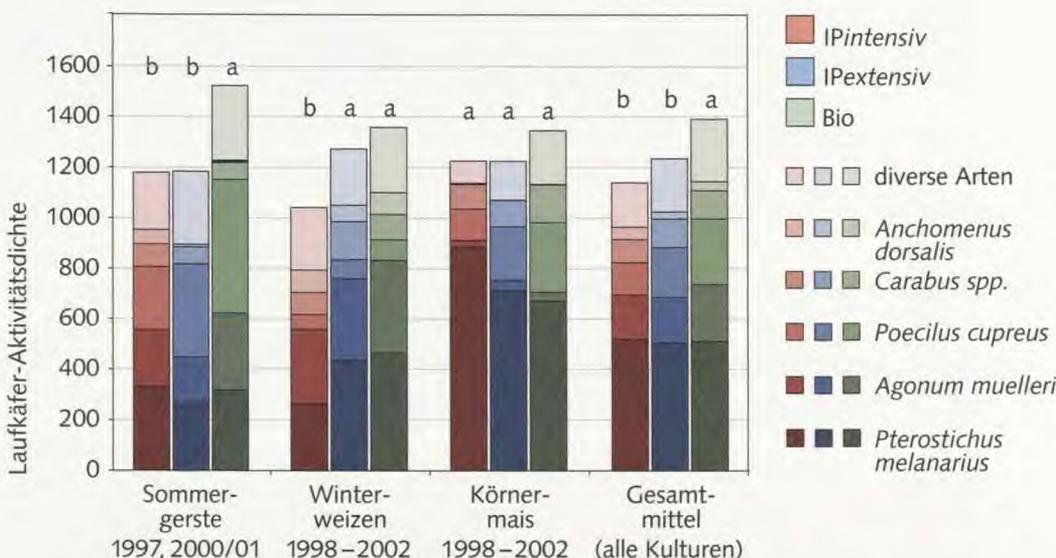


Abbildung 3: Aktivitätsdichten der Laufkäferarten in Sommergerste, Winterweizen und Körnermais in den drei Anbausystemen (Mittelwerte der jährlichen Fangsummen von fünf Kontrollwochen mit je fünf Bodenfallen pro Anbausystem). Gesicherte Unterschiede bei der Gesamtaktivitätsdichte zwischen den Anbausystemen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (Kruskal-Wallis-Test,  $p < 0,05$ ).

## Höchste Aktivität bei biologischem Anbau

Die mittleren Aktivitätsdichten der Laufkäfer pro Jahr wichen in den drei Kulturen Sommergerste, Winterweizen und Körnermais statistisch nicht voneinander ab. Hingegen wurden bei biologischer Bewirtschaftung in beiden Getreideparzellen und im IP*extensiv*-Winterweizen deutlich mehr Laufkäfer gefangen als in IP*intensiv* (Abb. 3). Dieser Befund war bei Sommergerste in den Jahren 1997 und 2001, bei Winterweizen in den Jahren 1999, 2000 sowie 2002 und bei Körnermais im Jahr 2000 statistisch signifikant. Im Mittel der drei Kulturen lag die Laufkäferdichte in Bio 22% und in IP*extensiv* 8% höher als in IP*intensiv*. Das Resultat wurde hauptsächlich durch die Arten *Poecilus cupreus* und *Agonum muelleri* beeinflusst. Die häufigste Art, *Pterostichus melanarius*, war nur im Bio- und IP*extensiv*-Winterweizen signifikant stärker vertreten (Tab. 1).

Am Standort Burgrain war die Laufkäferaktivität in warmen, eher trockenen Jahren grösser als in Jahren mit häufigen Niederschlägen. Die höchste Laufkäfer-Aktivitätsdichte wurde im klimatisch günstigen Jahr 1998 mit 2637 Individuen im Bio-Körnermais registriert.

Auch Kurzflügler und Spinnen waren in den Bio-Parzellen um 20% stärker vertreten als in den beiden IP-Anbausystemen. Sie wurden im Getreide – insbesondere in Sommergerste – häufiger gefangen als im Körnermais (Abb. 5, Tab. 1). Die einzelnen Arten wurden aber nicht bestimmt.

## Laufkäferfauna auf Burgrain

Die Anzahl Arten von Laufkäfern unterschied sich zwischen den Anbausystemen nur wenig. In der Sommergerste wurden insgesamt 34, im Winterweizen 36 und im Körnermais 34 verschiedene Laufkäferarten festgestellt. Im Mittel der drei Kulturen betrug die Artenzahl in den Bio-Parzellen 41, in IP*extensiv* 35 und in IP*intensiv* 39 Arten. Insgesamt wurden 48 verschiedene Arten registriert. Weitere fünf Arten wurden ausschliesslich in den Buntbrachen gefangen (Eggenschwiler *et al.* 2004). Keine dieser 53 gefangenen Arten gelten in der Schweiz als gefährdet (Marggi 1992).

Der IP*extensiv*-Streifen dürfte durch die abgeschirmte Lage in der Mitte jeder Parzelle etwas benachteiligt gewesen sein. Sechs Arten wurden nur im Bio-Streifen und fünf Arten nur im IP*intensiv*-Streifen gefangen, aber nur eine Art wurde ausschliesslich im IP*extensiv*-Streifen angetroffen. Bei allen diesen Arten handelte es sich allerdings nur um einzelne Exemplare.

In den Getreide- und Maiskulturen wurde ein ähnliches Laufkäfer-Artenspektrum beobachtet. Drei Arten wurden jedoch nur in Sommergerste, fünf Arten nur im Winterweizen und drei Arten nur im Körnermais festgestellt. Gewisse Arten waren in diesen drei Kulturen unterschiedlich stark vertreten (Abb. 3, Tab. 1). Die Ursache liegt vermutlich einerseits an den zeitlich verschobenen Erhebungsperioden (Körnermais: Juli bis August; Getreidekulturen: Mai bis Mitte Juli) und andererseits an der unterschiedlichen Dichte der Pflanzenbestände.

Im Mittel der drei Kulturen war die Art *Pterostichus melanarius* am häufigsten in den Bodenfallen vertreten. Vor allem im Körnermais dominierte sie mit rund 60% der gefangenen Individuen. Wie die Grosslaufkäfer der Gattung *Carabus spp.* ist sie als bedeutsamer Räuber von Schädlingen wie Kartoffelkäferlarven, Drahtwürmern und Schnecken bekannt. Diese Laufkäferarten sind in den drei Anbausystemen etwa gleich häufig aufgetreten (Abb. 3).

Für die Blattlausregulierung in Getreidefeldern können *Poecilus cupreus* (zahlreich in Sommergerste gefangen), *Anchomenus dorsalis*, *Agonum muelleri* (häufiger in Getreide als in Mais), und *Bembidion spp.* eine wichtige Rolle spielen. Die Art *Clivina fossor* bevorzugt als Nahrung im Boden lebende Larven und Puppen. Als teilweise pflanzenfressende Art kann dieser etwa 6 mm grosse Käfer gelegentlich auch leichte Schäden an jungen Zuckerrüben-

**Tabelle 1. Aktivitätsdichten der Laufkäferarten, Kurzflügler und Spinnen in Sommergerste, Winterweizen, Körnermais und Buntbrachen**

Laufkäferarten	Sommergerste Mittelwerte 1997, 2000, 2001			Winterweizen Mittelwerte 1998 bis 2002			Körnermais Mittelwerte 1998 bis 2002			Buntbrachen und an- grenzende Kulturen* 2000 bis 2002		
	IPint.	IPext.	Bio	IPint.	IPext.	Bio	IPint.	IPext.	Bio	Bunt- brache (BB)	Entfer- nung 2 m z. BB	Entfer- nung 20 m z. BB
<i>Agonum muelleri</i>	227	180	305	297	323	369	28	43	36	125	261	298
<i>Amara convexior</i>			1							8	1	
<i>Amara lunicollis</i>				1						11		
<i>Anchomenus dorsalis</i>	56	11	9	88	65	86	4	1	2	46	31	16
<i>Anisodactylus binotatus</i>	7	2	3	5	11	9	1	1	3	180	12	5
<i>Bembidion lampros</i>	1		6	1			4	2	10	4	7	1
<i>Bembidion quadrimaculat.</i>	21	25	14				30	86	51	1	14	12
<i>Bembidion tetracolum</i>	8	7	11	11	6	7	2	2	1	2	4	3
<i>Bembidion spp.</i>	3	5	7	2	1	1	1	1	1	2	3	1
<i>Carabus granulatus</i>	22	13	8	22	42	34	15	22	31	6	9	9
<i>Carabus monilis</i>	66	54	58	65	108	67	81	81	116	25	11	21
<i>Clivina fossor</i>	33	30	38	36	56	27	18	20	10	25	23	26
<i>Diachromus germanus</i>	1				1	1				22		1
<i>Harpalus rufipes</i>	3	4	4	2	1	4	3	3	74	27	21	6
<i>Loricera pilicornis</i>	23	40	30	19	31	40	7	8	10	22	18	9
<i>Nebria brevicollis</i>	12	3	5	7	6	10	1	1		19	5	4
<i>Poecilus cupreus</i>	250	371	530	59	77	80	124	211	276	57	124	135
<i>Pterostichus anthracinus</i>	58	14	18	56	38	38	10	15	24	17	25	47
<i>Pterostichus melanarius</i>	330	267	316	260	436	463	884	711	669	68	211	449
<i>Pterostichus vernalis</i>	21	32	43	32	33	33	8	15	21	27	8	9
<i>Stenolophus teutonius</i>					1	1		1		12		1
<i>Stomis pumicatus</i>		1	2		1	2	1	1	1	6	2	1
<i>Trechus quadristriatus</i>	1		2	21	5	39	1	1	1	1	6	7
Übrige Laufkäferarten**	40	127	115	59	33	49	5	2	11	30	9	5
<b>Total Laufkäfer (<i>Carabidae</i>)</b>	<b>1180<sup>b</sup></b>	<b>1185<sup>b</sup></b>	<b>1522<sup>a</sup></b>	<b>1042<sup>b</sup></b>	<b>1272<sup>a</sup></b>	<b>1358<sup>a</sup></b>	<b>1226<sup>a</sup></b>	<b>1224<sup>a</sup></b>	<b>1345<sup>a</sup></b>	<b>738<sup>b</sup></b>	<b>803<sup>b</sup></b>	<b>1065<sup>a</sup></b>
IPintensiv bzw. Buntbrache = 100%	100	100	129	100	122	130	100	100	110	100	109	144
<b>mittlere Artenzahl pro Jahr</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>19</b>
<b>Artenzahl über alle Jahre</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>42</b>	<b>36</b>	<b>30</b>
<b>gesamte Artenzahl pro Kultur (alle Systeme)</b>	<b>34</b>			<b>36</b>			<b>34</b>			<b>48</b>		
<b>Andere Arthropoden</b>												
<b>Kurzflügler (<i>Staphylinidae</i>)</b>	<b>890<sup>ab</sup></b>	<b>664<sup>b</sup></b>	<b>949<sup>a</sup></b>	<b>548<sup>b</sup></b>	<b>550<sup>b</sup></b>	<b>766<sup>a</sup></b>	<b>275</b>	<b>256</b>	<b>309</b>	<b>654<sup>a</sup></b>	<b>360<sup>b</sup></b>	<b>360<sup>b</sup></b>
IPintensiv bzw. Buntbrache = 100%	100	75	107	100	100	140	100	93	112	100	55	55
<b>Spinnen (<i>Araneae</i>)</b>	<b>464<sup>b</sup></b>	<b>538<sup>ab</sup></b>	<b>660<sup>a</sup></b>	<b>365</b>	<b>413</b>	<b>389</b>	<b>317<sup>ab</sup></b>	<b>310<sup>b</sup></b>	<b>398<sup>a</sup></b>	<b>244</b>	<b>347</b>	<b>349</b>
IPintensiv bzw. Buntbrache = 100%	100	116	142	100	113	107	100	98	126	100	142	143

\*angrenzende Kulturen: 2000 Körnermais, 2001 Winterweizen und Sommergerste, 2002 Körnermais (Eggenschwiler et al. 2004)

\*\*Übrige Laufkäferarten: Die Laufkäferarten wurden 1997 bei Sommergerste und 1998 bei Winterweizen nicht vollständig bestimmt. Einzelne Arten wurden deshalb bei Sommergerste nur mit den Jahren 2000 und 2001, beziehungsweise bei Winterweizen nur 1999 bis 2002 gemittelt. In der Tabelle sind nur die häufigsten Arten angegeben.

a, b: Gesicherte Unterschiede bei den drei Kulturen und den Buntbrachen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (Kruskal-Wallis-Test,  $p < 0,05$ ).

Die vollständige Artenliste kann beim Erstautor bezogen werden.

pflanzen verursachen. Die vegetarisch lebende Art *Harpalus rufipes* wurde am häufigsten im Bio-Körnermais gefangen – vermutlich wegen dem erhöhten Unkrautbesatz.

In der Literatur findet man zahlreiche Angaben, dass Laufkäfer an der Vertilgung von diversen Schädlingen beteiligt sind (Holland 2002, Luka 1996). Leider ist wenig darüber bekannt, in welchem Ausmass diese Nutzarthropoden zur Schädlingsregulierung im Feld beitragen.

### Ködertest: Laufkäfer wichtigste Räuber

Neben den Erhebungen mit Bodenfallen wurde von 1997 bis 2001 punktuell die Frassaktivität der räuberischen Arthropoden im Feld mit ausgelegten Wachsmottenlarven (*Galleria mellonella*) als Köder gemessen (Jossi et al. 2003). Das Ziel war es, die Eignung dieser Ködermethode zu testen, um allfällige Unterschiede im Laufkäfervorkommen zwischen den Anbausystemen auf einfache und schnelle Weise feststellen zu können.

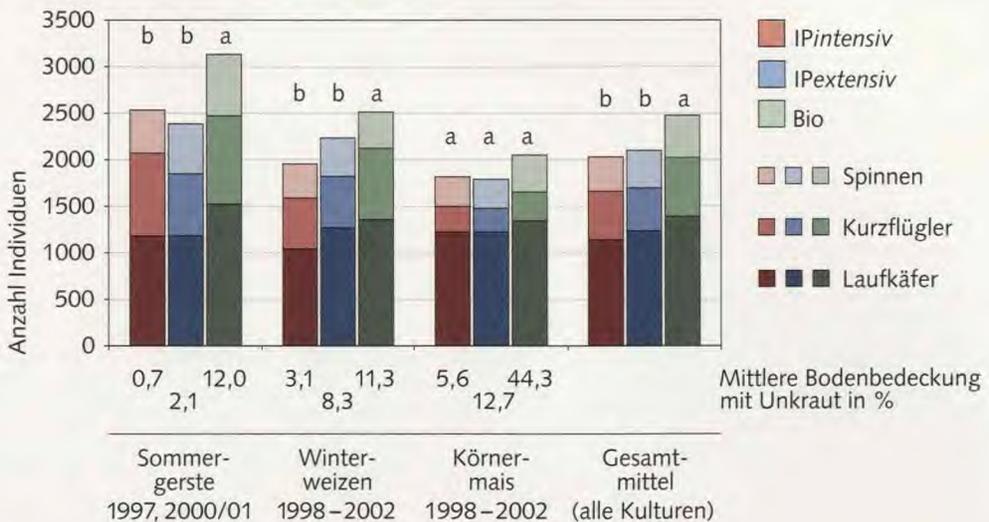
Um herauszufinden, von welchen Tieren die Köderlarven während der Nacht gefressen wurden, überwachten wir jeweils eine Köderstelle im biologischen Anbausystem mit einer programmierten Fotokamera, welche alle 30 Minuten eine Aufnahme machte. Die Bildauswertung zeigte, dass die meisten Köder durch grössere Laufkäferarten wie *Carabus spp.* und *Pterostichus melanarius* gefressen wurden (Abb. 4). Erstaunlich selten wurden Kurzflügler und Spinnen auf den Köderplatten beobachtet.

Pro Nacht wurden durchschnittlich 1,6 bis 2,4 g Köderlarven oder rund 6 bis 10 *Galleria*-Larven pro ausgelegte Platte vertilgt. Die höchste Frassaktivität zeigten die Laufkäfer während den sechs Stunden von 22 bis 4 Uhr. Die Frequenzen waren am grössten bei warmer, trockener Witterung. Im Mittel der drei Kulturen wurden in den Bio-Parzellen 10% und in IP*extensiv* 7% mehr Köderlarven gefressen als in IP*intensiv*. Die Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant.

Abbildung 4: Als Köder ausgelegte Wachsmottenlarven (*Galleria mellonella*) wurden vorwiegend durch grössere Laufkäferarten gefressen. (Foto: W. Jossi, FAL)



Abbildung 5: Aktivitätsdichten der Laufkäfer, Kurzflügler und Spinnen in Sommergerste, Winterweizen und Körnermais in den drei Anbausystemen im Vergleich zur Bodenbedeckung mit Unkräutern während der Hauptvegetationszeit (Mittelwerte der jährlichen Fänge von fünf Kontrollwochen mit je fünf Bodenfallen pro Anbausystem). Gesicherte Unterschiede bei der Gesamtaktivitätsdichte zwischen den Anbausystemen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (Kruskal-Wallis-Test,  $p < 0,05$ ).



### Bodenbedeckung beeinflusst Laufkäfer Vielfalt

Die Hauptfrage der Untersuchung war, ob sich IP<sub>extensiv</sub> und Bio günstig auf die Besiedelung der Ackerparzellen durch nützliche Arthropoden auswirkten. Abbildung 5 zeigt die kumulierte Anzahl gefangener Laufkäfer, Kurzflügler und Spinnen in drei Kulturen bei unterschiedlicher Bewirtschaftung. Auffallend sind vor allem die höheren Aktivitätsdichten in den Bio-Parzellen.

Unterschiedliche Bewirtschaftungsmassnahmen können diese Beobachtung kaum erklären. Insektizidbehandlungen könnten sich zwar negativ auf die Nützlingspopulationen auswirken, während der Untersuchungsperiode wurde aber nur im Jahr 2000 eine Behandlung gegen das Getreidehähnchen in der *IPintensiv*-Sommergerste durchgeführt. Auch nützlings-schädigende Schneckenbehandlungsmittel wurden keine angewendet.

Bei den *IPintensiv*-Kulturen kamen regelmässig Stickstoff-Mineraldünger und Herbizide sowie bei Winterweizen und Sommergerste auch Fungizide und Wachstumsregulatoren zum Einsatz. In den *IPextensiv*-Getreidekulturen wurden dagegen nur teilweise Herbizide ausgebracht. Die Bodenbearbeitung war in allen Anbausystemen sehr ähnlich: Meistens wurde gepflügt, und nur bei der *IPextensiv*-Sommergerste wurde der Grubber eingesetzt.

Das grössere Laufkäfervorkommen in den Bio-Kulturen und bei Winterweizen auch in *IPextensiv* ist wahrscheinlich auf den vermehrten Unkrautbesatz zurückzuführen. In mehreren Schweizer Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Begleitflora in Ackerkulturen positive Auswirkungen auf die Aktivitätsdichte von gewissen Laufkäferarten haben kann (Pfiffner *et al.* 1993, Bigler *et al.* 1995). Am Standort Burgrain war die Begleitflora in den Parzellen mit mechanischer Unkrautbekämpfung höher und vielseitiger als in den mit Herbiziden behandelten Parzellen (Abb. 5).

Trotz biologischem Anbau führte die gute Nährstoffversorgung am Versuchsstandort auch bei diesem Anbausystem zu ähnlich dichten und recht produktiven Pflanzenbeständen wie im *IP*-Anbau. Dies mag erklären, dass kaum wärmeliebende und seltene Laufkäferarten in den Kulturen beobachtet wurden.

## Literatur

- Bigler F., Waldburger M. und Frei G., 1995. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993. *Agrarforschung* 2 (9), 380-386.
- Duelli P. (Red.), 1994. Rote Liste der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.). Reihe Rote Listen, Bern. 97 S.
- Eggenschwiler L., Studer S., Jossi W. und Jacot K., 2004. Floristische und faunistische Aspekte vergaister Brachestreifen. *Schriftenreihe der FAL* 52, 82-85.
- Glen D.M. and Moens R., 2002. Agriolimacidae, Ariolinidae and Milacidae as pests in West European cereals. In: *Molluscs as Crop pests*, (Ed. Barker, G.M.), CABI-Publishing, 271-301.
- Holland J.M., 2002. *The Agroecology of Carabid Beetles*. Intercept Limited, PO Box 716, Andover, Hampshire SP10 1YG, UK, 356 S.
- Jossi W., Valenta A., Bruderer R., Scherrer C. und Dubois D., 2003. Ködertest: Eignung und Grenzen für faunistische Erhebungen. *Agrarforschung* 10 (1), 20-25.
- Luka H., 1996. Laufkäfer: Nützlinge und Bioindikatoren in der Landwirtschaft. *Agrarforschung* 3 (1), 33-36.
- Marggi W., 1992. Faunistik der Sandlaufkäfer und Laufkäfer der Schweiz, Teil 1. CSCF. 477 S.
- Moser D., Gyax A., Bäumler B., Wyler N. und Palese R., 2002. Rote Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Zentrum des Datenverbundnetzes der Schweizer Flora, Chambésy; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Chambésy (Hrsg.). BUWAL-Reihe «Vollzug Umwelt». 118 S.
- Pfiffner L., Mäder P., Besson J.-M. und Niggli U., 1993. DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell. *Schweiz. Landw. Forschung* 32 (4), 547-563.

Abbildung 1a/b:  
Auf den nährstoffreichen Burgrain-Böden entwickelten sich vergraste, eher blütenarme Buntbrachen. Trotz ihrer floristischen Artenarmut waren die Buntbrachen attraktive Lebensräume für Laufkäfer.  
(Fotos: U. Zihlmann und L. Eggenschwiler, FAL)



## Floristische und faunistische Aspekte vergraster Brachestreifen

Lisa Eggenschwiler, Sibylle Studer, Werner Jossi und Katja Jacot

Die Ansaat von Buntbrachestreifen ist eine wichtige Massnahme, um die Artenvielfalt in Ackerbauregionen zu erhöhen. Die nährstoffreichen Böden des Anbausystemversuchs Burgrain erschweren jedoch die Etablierung von artenreichen Buntbrachen. Zur Optimierung der Zusammensetzung von Samenmischungen für solche Böden wurde im April 2000 die Buntbrache-Grundversion mit drei angepassten Samenmischungen verglichen. Die Vergrasung konnte mit keiner Samenmischung unterbunden werden. Hingegen verminderte das Beimischen des Fromentales in die Buntbrache-Grundversion das Aufkommen der Quecke. Trotz ihrer floristischen Artenarmut waren die vergrasteten Buntbrachen attraktive Lebensräume für Laufkäfer. Im Vergleich zu den angrenzenden Ackerkulturen lebten 12 von insgesamt 43 gefangenen Laufkäferarten vor allem im ungestörten Brachestreifen, darunter waren aber keine Arten der Roten Liste. Die Regenwurmerhebungen in den Buntbrachen in den Jahren 2001 und 2002 zeigten im Vergleich zu Kunstwiesen einerseits einen Anstieg der Individuenzahl, andererseits aber eine Stagnation der Biomasse, deren Gründe unklar sind.

Buntbrachen werden mit speziell entwickelten Samenmischungen gesät. Ziel ist es, arten- und blütenreiche Brachestreifen entstehen zu lassen, welche der ökologischen Aufwertung von Agrarlandschaften dienen (Abb. 1). Bisherige Erfahrungen zeigen, dass die Anlage von Buntbrachen auf Böden mit hoher Nährstoffnachlieferung – wie sie auch am Standort Burgrain vorherrschen – schwierig ist. Viele Arten der bisher eingesetzten Buntbrache-Samenmischungen laufen auf solchen Böden schlecht auf oder werden durch Verunkrautung und frühzeitige Vergrasung unterdrückt.

Zur Optimierung der Zusammensetzung von Samenmischungen für nährstoffreiche Standorte wurde im April 2000 auf Burgrain ein Versuch zwischen den Parzellen «Hexern Süd» und «Hexern Mitte» (Zihlmann und Tschachtli 2004) angelegt. Die hier vorherrschende tiefgründige und grundfeuchte Kalkbraunerde ist lehmig, gut mit allen wichtigen Pflanzennährstoffen versorgt und weist mit rund 4% einen relativ hohen Humusgehalt auf. Der Buntbrachestreifen war 180 m lang, 4 m breit und in Kleinparzellen (15 x 4 m) unterteilt. Die vier Samenmischungen wurden im Frühling 2000 in drei Wiederholungen in zufälliger Reihenfolge gesät. Neben der Buntbrache-Grundversion (24 Arten) kam eine veränderte

Lisa Eggenschwiler  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
lisa.eggenschwiler  
@fal.admin.ch

Sibylle Studer  
Werner Jossi  
Katja Jacot  
FAL



Version der Standardmischung 450 für ausdauernde Wiesen (34 Arten), eine mit Arten für eher feuchtere Standorte ergänzte Buntbrache-Grundversion (37 Arten) sowie eine artenärmere Samenmischung (16 Arten) mit Arten für nährstoffreiche Standorte zum Einsatz.

Die Regenwurmerhebungen wurden jeweils im Oktober in sechs Teilflächen von je 0,25 m<sup>2</sup> durchgeführt (Jossi *et al.* 2004a). Die Laufkäfer wurden mit Barber-Bodenfallen gefangen. Gleichzeitig erfolgten Laufkäfererhebungen in den angrenzenden Ackerkulturen (Jossi

*et al.* 2004b). Dabei wird die Gesamtzahl der Tiere, die während fünf Wochen mit jeweils fünf Fallen gefangen wurden, als Aktivitätsdichte bezeichnet. Die Fallen in den Kulturen wurden in 2 und in 20 m Entfernung von der Buntbrache aufgestellt.

### Zunehmende Vergrasung

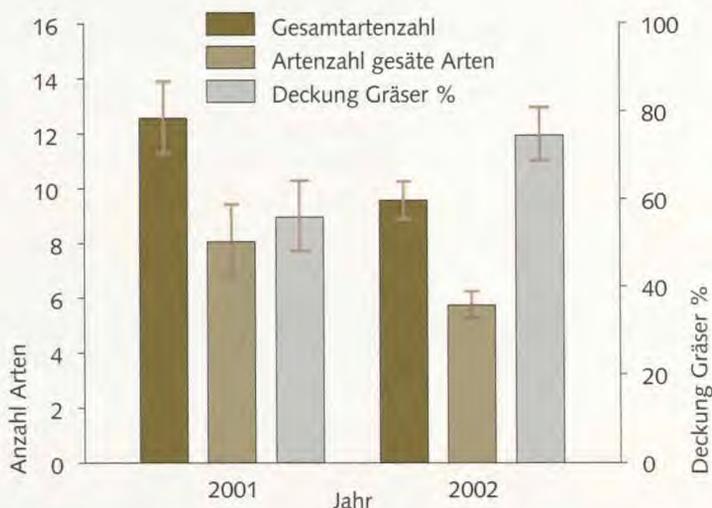
Sowohl die Gesamtartenzahl (spontan aufgekommene Arten, gesäte Arten) wie auch die Anzahl gesäter Arten zeigten bei allen Samenmischungen einen deutlichen Rückgang innerhalb der ersten Standjahre (Abb. 2). Der kleinere Standardfehler im dritten Standjahr (2002) weist darauf hin, dass die Unterschiede zwischen den verschiedenen Samenmischungen geringer wurden. Bereits im zweiten Standjahr (2001) erreichten die Gräser hohe Deckungsanteile (Abb. 1). Besonders das in den drei neuen Samenmischungen enthaltene Fromental (*Arrhenatherum elatius*) breitete sich stark aus. Aber auch nicht angesäte Grasarten wie die Quecke (*Agropyron repens*) und das Gemeine Rispengras (*Poa trivialis*) erreichten hohe Deckungsgrade. Die Vergrasung nahm bis zum zweiten Aufnahmezeitpunkt im August 2002 weiter zu, so dass der Versuch im Herbst 2002 abgebrochen wurde. In allen Kleinpärzellen betrug der Grasanteil zu diesem Zeitpunkt mindestens 70%. Dort, wo das Fromental in den Samenmischungen vorhanden war, dominierte diese Grasart, während sich die Quecke in der Buntbrache-Grundversion grossflächig ausbreitete.

Abbildung 2: Gesamtartenzahl, Anzahl gesäte Arten und Deckungsanteile der Gräser in den Buntbrachen (Aus-saat April 2000) über alle vier Samenmischungen gemittelt. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler.

### Stagnierende Regenwurm-Biomasse

Die höchsten Regenwurmbestände finden sich in der Regel in mehrjährigem Wiesland. In ungestörten Buntbrachen kann von einer ähnlichen Populationsentwicklung ausgegangen werden. Aus diesem Grund wurden die Regenwurmpopulationen in der Buntbrache mit denen der in der Nähe gelegenen biologisch bewirtschafteten Kunstwiese verglichen. Die Regenwürmer wurden in vier Artengruppen eingeteilt; sie sind in Jossi *et al.* (2004a) näher beschrieben.

Während die Regenwurm-Biomasse in der Bio-Kunstwiese in der Periode von 2001 bis 2002 um mehr als 50% anstieg, blieb sie im gleichen Zeit-



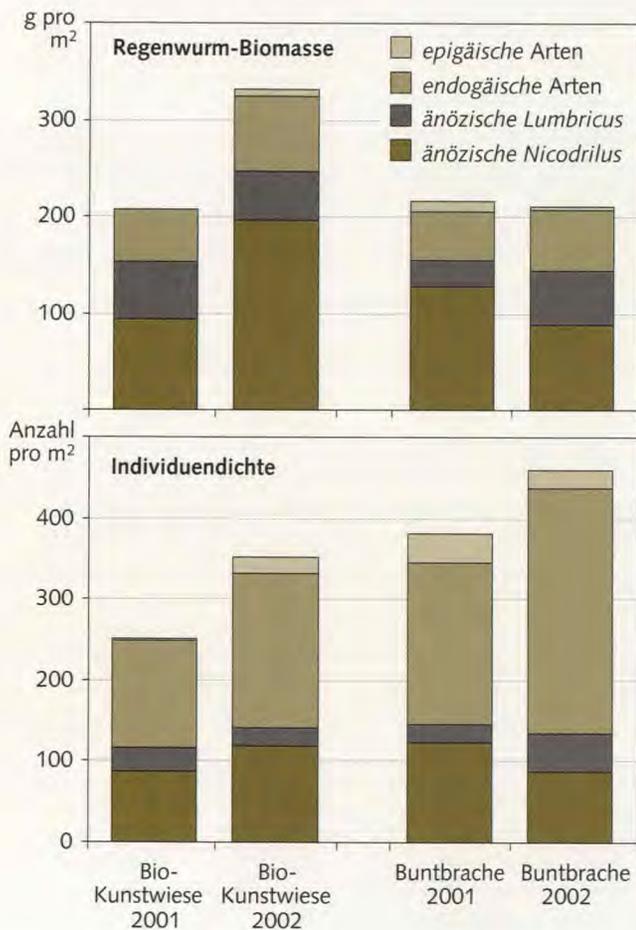


Abbildung 3: Vergleich der Regenwurm-Biomasse und der Individuendichte der Buntbrache mit denjenigen der biologisch bewirtschafteten Kunstwiese in den Jahren 2001 und 2002.

### Attraktiver Lebensraum für Laufkäfer

In der Buntbrache wurden deutlich mehr Laufkäferarten gefangen als in den angrenzenden Ackerkulturen (Abb. 4). Von insgesamt 43 Laufkäfertaxa wurden 12 nur im Buntbrachestreifen und vereinzelt auch in den 2 Meter entfernten Ackerkulturen festgestellt. Alle gefangenen Arten kommen in der Schweiz häufig vor (Marggi 1992). In den Ackerkulturen hatte die Art *Pterostichus melanarius* die höchste Aktivitätsdichte, bei Sommergerste und Winterweizen auch die Arten *Agonum muelleri* und *Poecilus cupreus*. Demgegenüber trat in der Buntbrache vor allem *Anisodactylus binotatus* häufiger auf.

Die Aktivitätsdichten waren in den Getreideparzellen (Mittel Sommergerste 2001 und Winterweizen 2001) gut doppelt so hoch wie in den Parzellen mit Körnermais (Mittel 2000 und 2002). Mögliche Ursachen sind die zeitlich verschobenen Erhebungsperioden (Körnermais: Juli bis August; Getreidekulturen: Mai bis Juni), variierende Jahreswitterungseinflüsse und die unterschiedliche Dichte der Pflanzenbestände (Tab. 1).

### Fazit

Die einseitige floristische Zusammensetzung der Buntbrachen an diesem nährstoffreichen und feuchten Standort ist eine Folge der raschen und ausgeprägten Zunahme der Gräser. Dadurch nahm die Artenzahl markant ab. Gleichzeitig verringerten sich die Vegetationsunterschiede zwischen den vier Samenmischungen. In der Buntbrache-Grundversion nahm die Quecke überhand, während das Fromental in den Samenmischungen, in denen diese Art vertreten war, zu einer starken Dominanz gelangte. Auf nährstoffreichen Böden, wie sie am Standort Burgrain vorkommen, kann demzufolge ein Beimischen von Gräsern in die Buntbrache-Grundversion dazu beitragen, dass das Aufkommen von Problemarten wie die Quecke vermindert wird. Die Entwicklung der günstigsten Zusammensetzung von Brachemischungen für derartige Böden bedingt weitere Forschungsarbeit.

raum in der Buntbrache auf demselben Niveau (Abb. 3). Zwar wurde in der Buntbrache bei den im Oberboden lebenden *endogäischen* und bei den tiefgrabenden *anözischen Lumbricus*-Arten ein Zuwachs festgestellt, doch das Gewicht der ebenfalls tiefgrabenden *anözischen Nicodrilus*-Arten reduzierte sich gegenüber dem Vorjahr um ein Drittel. Ganz anders präsentierten sich die Ergebnisse bei der Anzahl Regenwürmer: In der Buntbrache lebten deutlich mehr Regenwürmer als in der Kunstwiese; vor allem die *endogäischen* und die *anözischen Lumbricus*-Arten nahmen deutlich zu. Die im Ackerland in der Regel nur schwach vertretenen *epigäischen* Regenwurmartarten konnten sich sowohl in der dünnen Streuschicht der Buntbrache als auch in der Kunstwiese vermehren.

Die Populationsunterschiede zwischen Buntbrache und Kunstwiese waren meistens nicht statistisch gesichert. Auffallend war jedoch die signifikante Biomasse-Abnahme der *anözischen Nicodrilus*-Arten in der Buntbrache innerhalb eines Jahres, während sich diese Arten in der Kunstwiese im gleichen Zeitraum verdoppelten. Die genauen Gründe dafür sind nicht bekannt. Möglicherweise wurde die Entwicklung dieser Arten in der Buntbrache durch das geringere Nahrungsangebot an frischem Pflanzenmaterial verlangsamt.

**Tabelle 1. Laufkäfer-Aktivitätsdichte und Artenzahl in der Buntbrache und in den angrenzenden Kulturen in 2 und 20 Meter Entfernung vom Buntbrachestreifen**  
(Mittelwerte der Erhebungen 2000/2002 mit Körnermais und 2001 mit Winterweizen und Sommergerste)

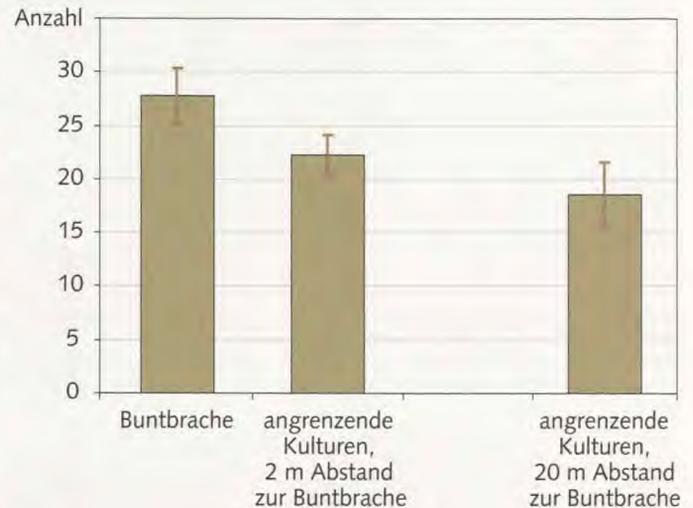
Laufkäfer	Buntbrache	Körnermais Abstand 2 m	Körnermais Abstand 20 m	Buntbrache	Getreide Abstand 2 m	Getreide Abstand 20 m
	Aktivitätsdichte	545	538	624	932	1068
Mittlere Artenzahl pro Erhebung	26	21	16	28	22	18
Gesamte Artenzahl (alle Erheb.)	36	30	19	38	29	26

Dass Buntbrachen zur Förderung vieler Tierarten beitragen, konnte in mehreren Studien gezeigt werden (Jenny *et al.* 1999, Weibel 1999, Pfiffner und Luka 2000, Ullrich 2001). Der vorliegende Versuch deutet darauf hin, dass auch Brachen, die der Mensch als botanisch wenig interessant einstuft, im Vergleich mit den angrenzenden Ackerkulturen für Laufkäfer und Regenwürmer durchaus von Bedeutung sein können. In England wird bereits die Etablierung von ungestörten, grasbewachsenen Streifen in Ackerparzellen (sog. «beetle banks») zur Erhöhung der Biodiversität empfohlen. Die *änözischen Nicodrilus*-Regenwurmarten scheinen sich dagegen in der vergasten Buntbrache nicht wohl zu fühlen. Allerdings reichen die wenigen Daten nicht aus, um diese Annahme zu beweisen. Die übrigen Regenwurmarten vermehrten sich in vergleichbarem Mass wie in den Kunstwiesen und somit stärker als in Ackerkulturen mit Bodenbearbeitung.

Solange für die Landwirtschaft problematische Arten wie beispielsweise Quecken in Brachen nicht überhand nehmen, muss ein erhöhter Grasanteil nicht zwingend negativ bewertet werden. Dem wird auch in den Ausschlusskriterien für Ökobeiträge, die seit 2002 angewendet werden, teilweise Rechnung getragen. Erst ein Grasanteil von mehr als 66%, der nicht durch Problemarten verursacht wird, kann zu einem Ausschluss der Buntbrache von den Beiträgen führen.

### Literatur

- Jenny M., Weibel U. und Buner F., 1999. Der ökologische Ausgleich in intensiv genutzten Ackerbaugebieten des Klettgaus und seine Auswirkungen auf die Brutvogelfauna. *Mitteilungen der naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen* 44, 203-220.
- Jossi W., Valenta A., Tschachtli R., Zihlmann U. und Dubois D., 2004a. Das Auf und Ab der Regenwurmfauna. *Schriftenreihe der FAL* 52, 53-58.
- Jossi W., Bruderer R., Valenta A., Schweizer C., Keller S., Tschachtli R. und Dubois D., 2004b. Einfluss der Bewirtschaftung auf die Nützlingsfauna. *Schriftenreihe der FAL* 52, 76-81.
- Marggi W., 1992. Faunistik der Sandlaufkäfer und Laufkäfer der Schweiz, Teil 1. *CSCF* 477 S.
- Pfiffner L. und Luka H., 2000. Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78 (3), 215-222.
- Ullrich K., 2001. The influence of wildflower strips on plant and insect (Heteroptera) diversity in an arable landscape. *Dissertation, ETH Zürich*. Zürich. 127 S.  
<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=diss&nr=14104>
- Weibel U., 1999. Effects of wildflower strips in an intensively used arable area on skylarks (*Alauda arvensis*). *Dissertation, ETH Zürich*. Zürich. 104 S.  
<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=diss&nr=13447>
- Zihlmann U. und Tschachtli R., 2004. Standort- und Versuchsbeschreibung. *Schriftenreihe der FAL* 52, 23-27.



**Abbildung 4:** Anzahl Laufkäferarten in der Buntbrache und in den angrenzenden Ackerkulturen in 2 und 20 Metern Entfernung vom Buntbrachestreifen. Mittelwerte und Standardabweichung von vier Erhebungen mit Körnermais (2000 und 2002) sowie Winterweizen (2001) und Sommergerste (2001). Die Jahre wurden gepoolt. Eine ausführliche Artenliste und genaue Angaben zu den Aktivitätsdichten findet sich in Jossi *et al.* (2004b).



Abbildung 1:  
Für eine ökologische Optimierung genügt es nicht, den Mineraldünger- und Pesticideinsatz zu reduzieren. Es bedarf auch einer Anpassung der Viehdichte und des Maschineneinsatzes.  
(Foto: R. Tschachtli, LBBZ Schüpfheim)

## Energie- und Ökobilanzen über eine Fruchtfolge

Thomas Nemecek, David Dubois und Lucie Gunst

Auf dem Betrieb Burgrain wurden die Auswirkungen der drei Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio auf die Umwelt mit Hilfe der Ökobilanzmethode abgeschätzt und miteinander verglichen. Erwartungsgemäss führte die Reduktion von Inputs (z.B. Dünger) bezogen auf eine Einheit Anbaufläche immer zu einer Reduktion der Umweltbelastung. Bei einer produktbezogenen Betrachtung (pro kg Trockensubstanz) konnte dieser Zusammenhang aber nur dann beobachtet werden, wenn der Ertrag nicht zu stark abnahm. Das Optimum lag je nach Umweltwirkung und Bezugseinheit bei den Systemen *IPextensiv* oder Bio. Der Verbrauch an fossilen Energieträgern war bei der biologischen Bewirtschaftung gesichert tiefer als bei den IP-Anbausystemen. Die Extensivierung beim Einsatz von Mineraldüngern und Pestiziden ist auf dem Betrieb Burgrain ökologisch gesehen gut gelungen. Der Hofdüngereinsatz sowie die Herstellung und der Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen haben allerdings oft grössere Umweltrelevanz. Diese unterschieden sich zwischen den drei Anbausystemen aber nur wenig, so dass die Unterschiede in der Ökobilanz gering waren. Insgesamt ist die Bewirtschaftungsintensität der Burgrain-Anbausysteme in Bezug auf den Ressourceneinsatz relativ niedrig.

Ein Hauptmerkmal nachhaltiger Systeme ist die schonende und effiziente Nutzung natürlicher Ressourcen. Landwirtschaftliche Anbausysteme weisen jedoch komplexe Energie- und Stoffflüsse auf. Ausserdem müssen mehrere für die Gesellschaft relevante Umweltwirkungen gleichzeitig berücksichtigt werden. Es ist deshalb keine leichte Aufgabe, die Auswirkungen

Thomas Nemecek  
Agroscope FAL  
Reckenholz,  
Reckenholzstr. 191,  
8046 Zürich  
thomas.nemecek  
@fal.admin.ch

David Dubois  
Lucie Gunst  
FAL

der drei Anbausysteme im Versuch Burgrain auf die Umweltkompartimente Luft, Wasser und Boden zu untersuchen. Da Vorteile in einem Umweltaspekt durch Nachteile in einem anderen Aspekt relativiert werden können, erlaubt nur eine gesamtheitliche Betrachtung den Vergleich solcher Systeme. Es besteht zudem das Risiko, dass Probleme entlang von Prozessketten verschoben werden. Beispielsweise könnte ein Schweinemastbetrieb alle Futtermittel zukaufen und dadurch die Umweltbelastungen innerhalb seiner Betriebsgrenzen reduzieren, ohne allerdings die Belastung der Umwelt insgesamt zu verringern.

## Die Ökobilanz

Für die Umweltanalyse wird also ein Werkzeug benötigt, welches eine umfassende Betrachtung erlaubt – sowohl über verschiedene Umweltbereiche, als auch über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes von der Rohstoffgewinnung und Herstellung von Hilfsstoffen und Maschinen bis zur Entsorgung der Abfälle.

Die Ökobilanz stellt eine Methode dar, welche diese Anforderungen erfüllt. Die Methode wurde ursprünglich für industrielle Prozesse entwickelt. In den letzten Jahren wurde sie aber auch erfolgreich in der Landwirtschaft angewandt (FAL 2002). Sie zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Die Ökobilanz strebt eine möglichst umfassende Betrachtung an. Es werden viele relevante Umweltprobleme wie der Verbrauch fossiler Energieressourcen, der Treibhauseffekt oder die Eutrophierung (Nährstoffanreicherung in Ökosystemen) mit einbezogen.
- Es wird der ganze Lebenszyklus eines Produktes untersucht: von der Rohstoffgewinnung über die Erzeugung bis zur Entsorgung der Abfälle des erzeugten Produktes.
- Die Ökobilanz schätzt die potenziellen und nicht die realen Umweltwirkungen mittels Modellen ab.
- Die Umweltwirkungen werden nicht isoliert betrachtet, sondern in Bezug zur Funktion der Systeme gesetzt.
- Die Grundsätze der Methode sind in den ISO-Normen 14040 bis 14043 festgelegt (ISO 1997). Gemäss diesen Normen besteht eine Ökobilanz aus vier Phasen:
  1. In der Phase «Zielfestlegung und Untersuchungsrahmen» werden die Grundzüge der Studie definiert. Dazu gehören die funktionelle Einheit (Bezugsgrösse) und die Systemgrenzen.
  2. In der «Sachbilanz» wird ein Inventar der Produktionsdaten, Emissionen und Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus des zu bilanzierenden Produktes oder Prozesses erstellt.
  3. Die Aufgabe in der «Wirkungsabschätzung» ist es, diese umfangreichen Inventare des Produktionssystems mit Hilfe von Wirkungsmodellen in wenige Umweltwirkungen zusammenzufassen und damit die Interpretation zu ermöglichen.
  4. In der «Auswertung» werden alle Ergebnisse analysiert, um daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Die drei Anbausysteme auf Burgrain wurden bezüglich ihrer Auswirkungen auf wichtige Umweltaspekte während der Fruchtfolgeperiode 1997 bis 2002 verglichen. Folgende Umweltwirkungen wurden untersucht: Der Verbrauch fossiler Energieressourcen, der Treibhauseffekt, die Ozonbildung, die Ökotoxizität, die Eutrophierung (Nährstoffanreicherung in aquatischen und terrestrischen Ökosystemen) und die Versauerung (Bildung von saurem Regen, siehe Frick *et al.* 2001 für eine Beschreibung der Umweltwirkungen). Die Wirkungskategorien Biodiversität und Bodenqualität konnten in dieser Ökobilanz mangels anwendbarer Methoden nicht berücksichtigt werden.

Dargestellt werden die Umweltwirkungen für zwei funktionelle Einheiten:

- die Bewirtschaftung einer Hektare während der gesamten Fruchtfolge
- die Erzeugung eines Kilogramms geernteter Trockenmasse (Ackerprodukte und Klee gras).

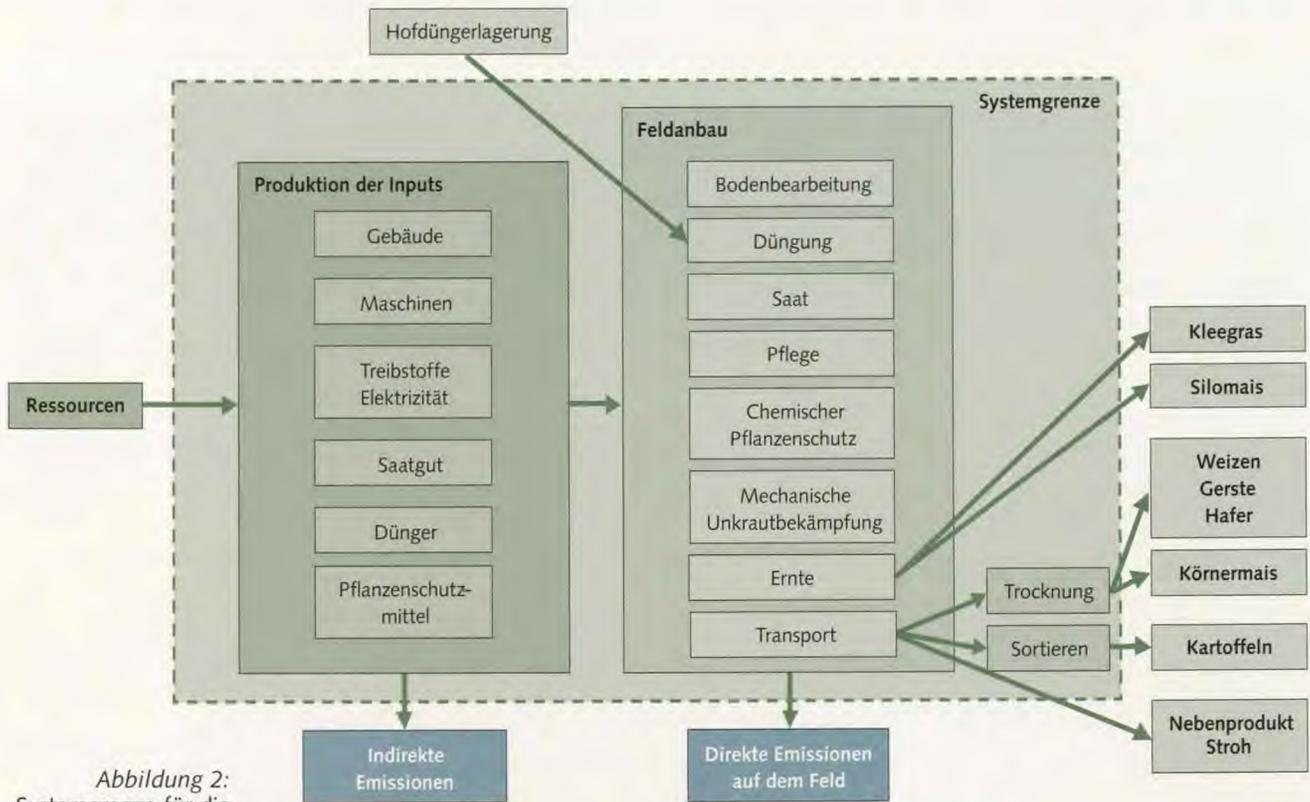


Abbildung 2: Systemgrenze für die Ökobilanz der Anbausysteme auf dem Betrieb Burgrain.

### Analyse der drei Anbausysteme

Für den Betrieb Burgrain wurde bereits eine erste Ökobilanz berechnet (Frick *et al.* 2001). Die vorliegende Studie stellt eine Aktualisierung und Neuberechnung für die zweite Fruchtfolgeperiode (1997 bis 2002) mit den Anbausystemen *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio für die ackerbaubetonte Fruchtfolge dar (Zihlmann und Tschachtli 2004).

Das mit der Ökobilanz beschriebene landwirtschaftliche System (gestrichelte Fläche in Abb. 2) umfasst die Bereitstellung der Inputs für die landwirtschaftliche Produktion (inkl. der damit verbundenen Ressourcen und indirekten Emissionen) sowie die Arbeiten auf dem Feld (inkl. Abtransport, Trocknung und Sortieren). Die Inputs werden im Feldanbau eingesetzt, wobei direkte Emissionen entstehen (z.B. Nitrat ins Grundwasser oder Schwermetalle in den Boden). Aus dem Feldanbau resultieren Ackerprodukte sowie Kleegras. Für die hier beschriebenen Berechnungen wurden die Ökoinventare aus der SALCA-Datenbank (Nemecek *et al.* 2003) und die Berechnungsmethoden und Emissionsmodelle aus SALCA (Nemecek 2003) eingesetzt.

### Extensive Systeme sind umweltfreundlicher

Pro Hektare Anbaufläche schnitt das System Bio beim Energieaufwand, beim Treibhauspotenzial und bei der Ozonbildung am günstigsten ab (Abb. 3). Bei der Gesamteutrophierung und der aquatischen Eutrophierung wies dagegen das System *IPextensiv* die geringsten Belastungen auf. Für die Ökotoxizität gab es keine Unterschiede zwischen den Systemen *IPextensiv* und Bio; beide waren aber besser als *IPintensiv*. Gesamthaft waren die beiden extensiven Systeme günstiger als das intensive System, wobei je nach Umweltwirkung das Optimum bei *IPextensiv* oder Bio lag.

Pro Kilogramm Trockensubstanzertrag erwies sich das System Bio beim Energieaufwand als günstig, während *IPextensiv* bei der Ökotoxizität besser abschnitt (Abb. 4). Bei den Umweltwirkungen, welche stark von der ausgebrachten Güllemenge abhängen (Eutrophierung und Versauerung), schnitt das System Bio schlechter ab, während *IPextensiv* gleich

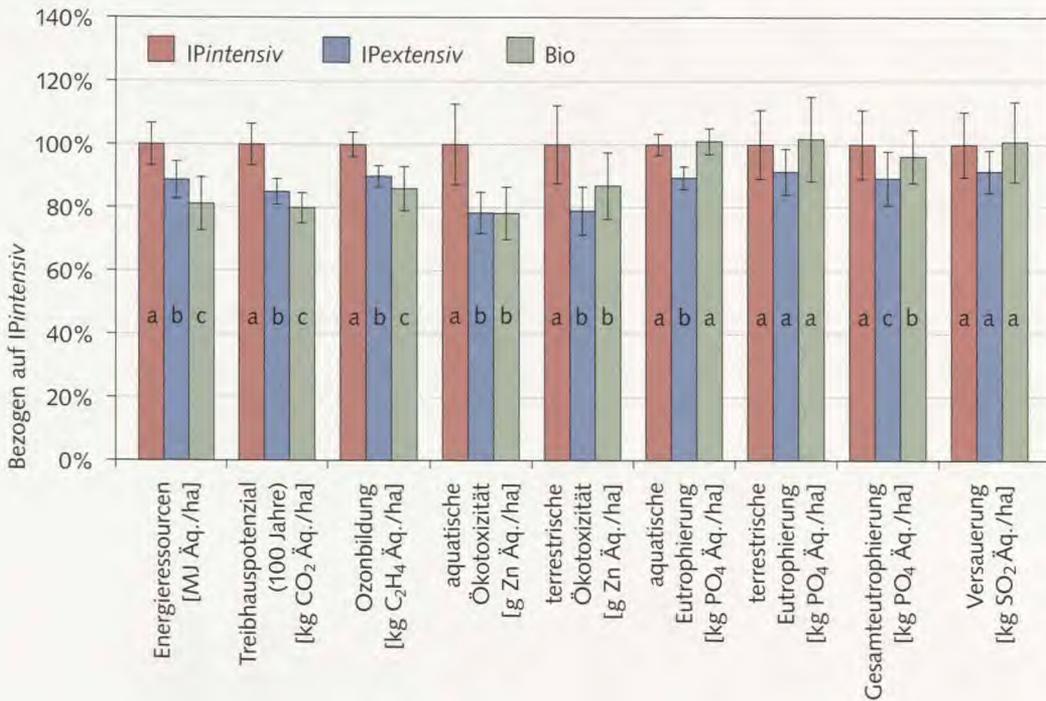


Abbildung 3: Mittlere Umweltwirkungen der drei Anbausysteme für die funktionelle Einheit «Hektare Anbaufläche» (IPintensiv = 100%). Mittelwerte über die Jahre 1997 bis 2002 und Standardabweichung der Jahreswerte. Unterschiedliche Buchstaben (a, b, c) bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Anbausystemen auf dem 5%-Niveau (ANOVA mit Newman-Keuls-Test).

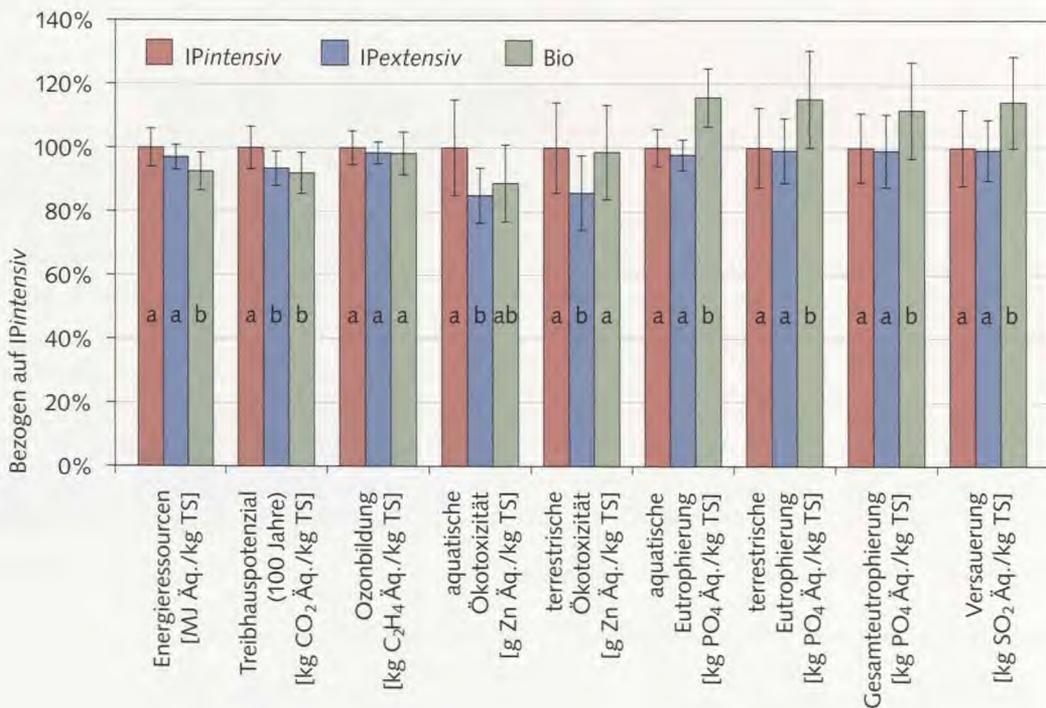


Abbildung 4: Mittlere Umweltwirkungen der drei Anbausysteme für die funktionelle Einheit «Kilogramm Trockensubstanz» der Hauptprodukte (IPintensiv = 100%). Mittelwerte über die Jahre 1997 bis 2002 und Standardabweichung der Jahreswerte. Unterschiedliche Buchstaben (a, b, c) bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Anbausystemen auf dem 5%-Niveau (ANOVA mit Newman-Keuls-Test).

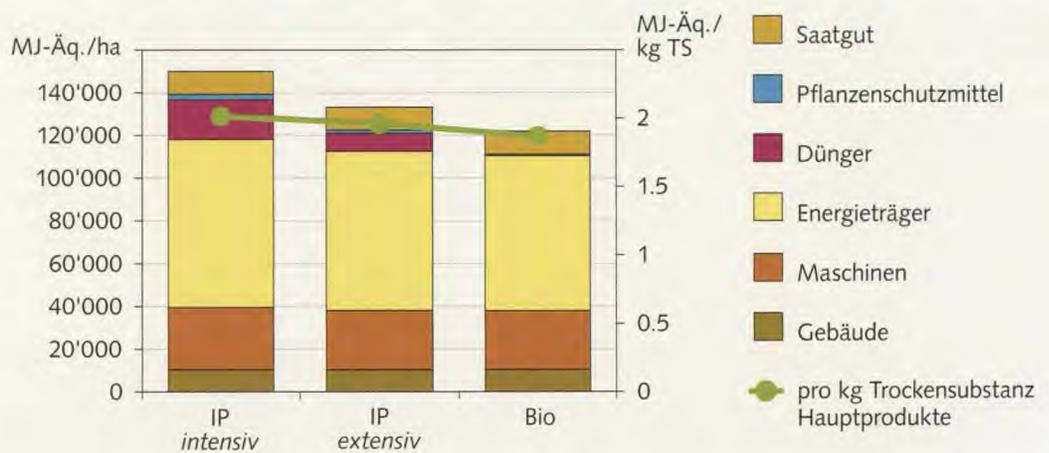
hohe Werte wie IPintensiv aufwies. Die durchschnittliche Güllemenge war in Bio (63 m<sup>3</sup>/Jahr) ähnlich hoch wie in IPintensiv (61 m<sup>3</sup>/Jahr), der Ertrag hingegen im Durchschnitt aller Bio-Kulturen um 12% tiefer (Tschachtli *et al.* 2004, Dubois *et al.* 2004). Beim System IPextensiv wurde eine etwas geringere Güllemenge ausgebracht (53 m<sup>3</sup>/Jahr). Beim Mist nahmen die Mengen in der Reihenfolge IPintensiv, IPextensiv und Bio ab und betragen durchschnittlich 15, 10 und 9 Tonnen pro Jahr. Die ausgebrachten Hofdüngermengen entsprechen den regional hohen Viehdichten, welche höher liegen als bei durchschnittlichen Bio-Betrieben. Unter diesem Aspekt schnitt IPextensiv gesamthaft betrachtet am besten ab.

Im Folgenden wird auf die Umweltwirkung «Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieressourcen» detailliert eingegangen. Bezogen auf eine Hektare bewirtschaftete Fläche lag dieser in IPextensiv um 11% und in Bio um 19% tiefer als in IPintensiv (Abb. 5), was hauptsächlich durch teilweisen oder vollständigen Verzicht auf Mineraldünger verursacht wurde.

Da bei den extensiven Anbausystemen tiefere Erträge erzielt wurden, waren die Unterschiede bezogen auf 1 Kilogramm Trockensubstanz kleiner. *IPextensiv* lag 3% und Bio 7% tiefer als *IPintensiv*. Wichtigster Verursacher (rund 90%) beim Verbrauch an fossilen Energieressourcen war die Mechanisierung (Maschinenherstellung, Einstellgebäude für die Maschinen und Verbrauch an Energieträgern wie Treibstoffe und Strom). Die Energieaufwendung für die Herstellung der Dünger spielte hingegen eine kleinere Rolle. In der Ökobilanz der Burgrain-Anbausysteme war dieser Energieaufwand zudem noch geringer als bei üblichen ackerbaulichen Systemen (Nemecek *et al.* 2002).

Allgemein lässt sich feststellen, dass der gesamte Energieaufwand tiefer als bei vergleichbaren Systemen ist (z.B. DOK-Versuch, unveröffentlichte Ergebnisse). Dies lässt sich gut am Beispiel des Winterweizens zeigen. Auf dem Betrieb Burgrain lag der Energieaufwand für Winterweizen bei regional üblicher, intensiver Produktion (*IPintensiv*) nur bei 1,4 MJ/kg,

Abbildung 5: Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieressourcen in MJ-Äquivalenten über die gesamte Fruchtfolge von sechs Jahren pro Hektare Anbaufläche (Balken, aufgeteilt nach Input-Gruppen) und pro Kilogramm Trockensubstanz der Hauptprodukte (Linie).



während Gaillard und Nemecek (2002) 2,9 MJ/kg und Nemecek *et al.* (2002) 3,4 MJ/kg für intensive Produktion im Talgebiet ermittelten. Dies hat folgende Gründe: Auf dem Betrieb Burgrain liegen die Naturalerträge dank den günstigen Standortbedingungen relativ hoch. Zudem profitiert beispielsweise der Winterweizen von der Stickstoff-Anreicherung durch die Vorkultur Kartoffeln. Es werden nur wenig Mineraldünger ausgebracht (keine Phosphor- und Kalium-Düngung, hoher Tierbesatz, gut mit Nährstoffen versorgte Böden), dafür wird aber viel Hofdünger eingesetzt, was sich positiv auf die Energiebilanz auswirkt. Insgesamt ist die Bewirtschaftungsintensität der Burgrain-Anbausysteme in Bezug auf den Ressourceneinsatz relativ niedrig.

Abbildung 6 zeigt die Beiträge der einzelnen Kulturen zum Energieverbrauch. Dieser wurde von den Kartoffeln (intensiver Maschineneinsatz), dem Körnermais (Trocknung) und der zweijährigen Kunstwiese dominiert (Maschineneinsatz). Die Kulturen Kartoffeln, Körnermais und Kunstwiese trugen auch am meisten zu den übrigen Umweltwirkungen bei (hier nicht dargestellt).

## Schlussfolgerungen

Die Anbausysteme *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio auf Burgrain unterscheiden sich deutlich im Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldüngern. Bei biologischer Bewirtschaftung führte dies zu einem um 12% tieferen Ertrag an geernteter Trockenmasse im Vergleich zu *IPintensiv*. Bezüglich der gesamten Hofdüngermenge, der Bodenbearbeitung und dem Maschineneinsatz ist die Bewirtschaftung der drei Anbausysteme auf dem gemischtwirtschaftlichen Betrieb Burgrain jedoch ziemlich ähnlich. Da diese Faktoren für die betrachteten Umweltwirkungen von grosser Bedeutung sind, fielen die Unterschiede zwischen den Anbausystemen in der Ökobilanz nur geringfügig aus.

Der extensive Hilfsstoffeinsatz in IP<sub>extensiv</sub> und Bio brachte dennoch bei den meisten Umweltwirkungen Vorteile. Zu berücksichtigen ist, dass beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der integrierten Produktion seit Anfang der 1990er Jahre zunehmend auf persistente und umwelttoxische Wirkstoffe verzichtet wird. Die ökologischen Vorteile des reduzierten Hilfsstoffeinsatzes traten bei der flächenbezogenen Betrachtung (pro Hektare) stärker zum Vorschein als bei der produktbezogenen Betrachtung (pro Kilogramm Trockensubstanz). Das Optimum liegt je nach Funktion und Umweltwirkung beim System IP<sub>extensiv</sub> oder Bio. Eine weitere Reduktion der Umweltbelastungen ist nur dann erreichbar, wenn nebst dem Mineraldünger- und Pestizideinsatz auch der Viehbesatz und wenn möglich der Maschineneinsatz verringert werden – beispielsweise durch reduzierte Bodenbearbeitung. Gleichzeitig ist aber darauf zu achten, dass der Ertrag nicht zu stark absinkt.

Die vorgestellten Ergebnisse lassen sich allerdings nur bedingt auf andere Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen übertragen. Bei anderen Verhältnissen kann der Vergleich zwischen den Anbausystemen durchaus anders ausfallen.

### Literatur

- Dubois D., Tschachtli R., Briner H.-U. und Gunst L., 2004. Ertrag und Qualität der Kunstwiesen. Schriftenreihe der FAL 52, 37-41.
- FAL, 2002. Ökobilanzen – Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft. FAL, Zürich, Schriftenreihe der FAL 38, 37 S.
- Frick C., Dubois D., Nemecek T. und Gaillard G., 2001. Burgrain: Vergleichende Ökobilanz dreier Anbausysteme. Agrarforschung 8 (8), 152-157.
- Gaillard G. und Nemecek T., 2002. Ökobilanzierung des Extensioanbaus von Getreide und Raps. Agrarforschung 9 (11-12), 490-495.
- ISO, 1997. ISO 14040 – Umweltmanagement/Ökobilanz, 14 S.
- Nemecek T., 2003. SALCA-Templates – Swiss agricultural life cycle assessment database – Beschreibung der Mustersysteme «Betrieb» und «Kultur», Version 1.31, August 2003. Arbeitspapier, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, FAL Reckenholz, Zürich, Produkt Öko-Controlling, Teilprodukt Ökobilanzen, 35 S.
- Nemecek T., Heil A., Erzinger S. und Zimmermann A., 2003. SALCA – Swiss agricultural life cycle assessment database – Umweltinventare für die Landwirtschaft, Version 031a, Mai 2003. Bericht FAL und FAT, 86 S.
- Nemecek T., Kufirin P., Menzi M., Hebeisen T. und Charles R., 2002. Ökobilanzen verschiedener Anbauvarianten wichtiger Ackerkulturen. In: Kongressband 2002, Vorträge zum Generalthema «Ressourcenschutz und Produktsicherheit – Qualitätssicherung in der Landwirtschaft» und weitere Beiträge aus den öffentlichen Sitzungen und Workshops des 114. VDLUFA-Kongresses, Leipzig. VDLUFA-Verlag, Bonn, VDLUFA-Schriftenreihe 58, 564-573.
- Tschachtli R., Dubois D. und Fried P. M., 2004. Ertrag und Qualität der Ackerkulturen. Schriftenreihe der FAL 52, 28-33.
- Zihlmann U. und Tschachtli R., 2004. Standort- und Versuchsbeschreibung. Schriftenreihe der FAL 52, 23-27.

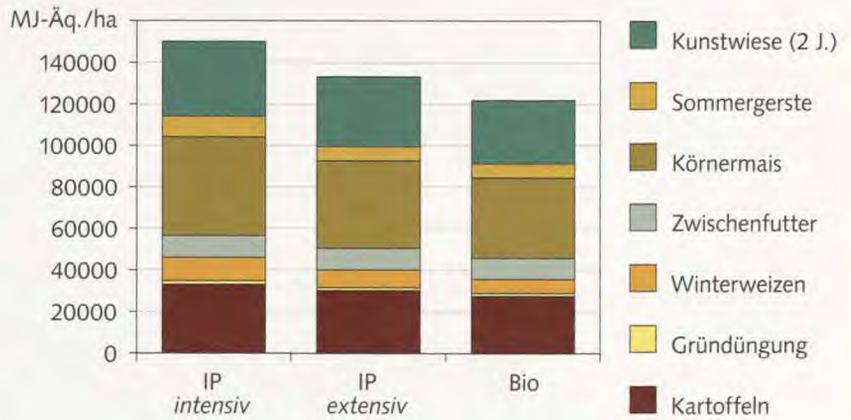


Abbildung 6: Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieressourcen in MJ-Äquivalenten über die gesamte Fruchtfolge von sechs Jahren pro Hektare Anbaufläche aufgeteilt nach Kulturen.

## Schriftenreihe der FAL

### Les cahiers de la FAL

22–33	siehe im Internet unter <a href="http://www.reckenholz.ch">www.reckenholz.ch</a> >Publikationen >Schriftenreihe der FAL voir à l'internet sous <a href="http://www.reckenholz.ch">www.reckenholz.ch</a> >Publications >Les cahiers de la FAL		
34	Ökologische Ausgleichsflächen in der Landwirtschaft: Ergebnisse mehrjähriger Versuche zur Anlage und Pflege blütenreicher Buntbrachen Surfaces de compensation écologique dans l'agriculture: résultats de plusieurs années d'essais relatifs à la mise en place et à l'entretien des jachères florales 2000 <i>Daniel Schaffner, Markus Günter, Fritz Häni und Michael Keller</i>	D	CHF 30.–
35	GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Zürich Estimation basée sur le SIG des apports en phosphore et en azote dans les eaux du canton de Zurich en provenance de sources diffuses 2001 <i>Cornelia Schmid und Volker Prasuhn</i>	D	CHF 30.–
36	Ertrags- und Umweltleistungen integrierter und biologischer Anbausysteme des Ackerbaus Rendements et prestations environnementales des systèmes de production intégré et biologique en grandes cultures 2001 FAL-Tagung vom 26. Januar 2001 / Journée FAL du 26 janvier 2001	D	vergriffen
37	Evaluation der Ökomassnahmen – Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion Evaluation des mesures écologiques – La charge des eaux de surface en phosphore liée à l'érosion des sols 2001 <i>Volker Prasuhn und Kaspar Grünig</i>	F	CHF 20.–
38	Evaluation der Ökomassnahmen – Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion Evaluation des mesures écologiques – La charge des eaux de surface en phosphore liée à l'érosion des sols 2001 <i>Volker Prasuhn und Kaspar Grünig</i>	D	CHF 30.–
38	Ökobilanzen – Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft Bilans écologiques: Contribution à une agriculture durable 2002 FAL-Tagung vom 18. Januar 2002 / Journée FAL du 18 janvier 2002	D F	CHF 30.–
39	Artenreiche Wiesen Prairies à haute diversité biologique 2002 <i>Thomas Walter et al.</i>	D	CHF 30.–
40	Ausmass und mögliche Auswirkungen der Abdrift von Pflanzenschutzmitteln auf ökologische Ausgleichsflächen Dimension et possible effets de la dérive des produits phytosanitaires sur des surfaces de compensation écologiques 2002 <i>Rudolf Büchi und Franz Bigler</i>	D	CHF 20.–
41	Bodengefüge – Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln Structure du sol – classification et évaluation visuelle 2002 <i>Jakob Nievergelt, Milan Petrusek und Peter Weisskopf</i>	D	CHF 40.–
42	Biogene VOC und Aerosole – Bedeutung der biogenen flüchtigen organischen Verbindungen für die Aerosolbildung COV biogènes et aérosols – Les composés organiques volatils biogènes et leur contribution aux aérosols 2002 <i>Christoph Spirig und Albrecht Nefel</i>	D	CHF 20.–
43	Stickstoff in Landwirtschaft und Umwelt – Probleme, Lösungswege und Perspektiven im internationalen, nationalen und lokalen Umfeld L'azote dans l'agriculture et l'environnement – Problèmes, voies de solution et perspectives à l'échelon international, national et local 2003 FAL-Tagung vom 24. Januar 2003 / Journée FAL du 24 janvier 2003	D	CHF 30.–
44	Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland 2003 <i>Jens Leifeld, Seraina Bassin und Jürg Fuhrer</i>	E	CHF 30.–
45	Forschung für den biologischen Landbau Recherche en agriculture biologique 2003 <i>Beat Boller et al.</i>	D F	CHF 30.–
46	Von der Kontrollstation zum Nationalen Zentrum für Agrarökologie Zur Geschichte der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Zürich-Reckenholz 1878–2003 2003 <i>Josef Lehmann</i>	D	CHF 30.–
47	Agrar-Umweltindikatoren – Machbarkeitsstudie für die Umsetzung in der Schweiz Indicateurs agro-environnementaux – Etude de faisabilité pour la réalisation en Suisse 2003 <i>Gérard Gaillard et al.</i>	D	CHF 30.–
48	Risikoabschätzung zur landwirtschaftlichen Abfalldüngerverwertung Estimation des risques liés à l'utilisation agricole des engrais de recyclage 2003 <i>Ulrich Herter, Thomas Kupper und David Külling</i>	D	CHF 25.–
49	Forschung für die Agrarlandschaft Recherche pour les paysages agricoles 2004 FAL-Tagung vom 23. Januar 2004 / Journée FAL du 23 janvier 2004	D/E/F	CHF 30.–
50	La structure du sol – observer et évaluer Bodengefüge – Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln 2004 <i>Gerhard Hasinger, Jakob Nievergelt, Milan Petrusek und Peter Weisskopf</i>	F	CHF 45.–
51	Umweltmonitoring gentechnisch veränderter Pflanzen in der Schweiz Monitoring environnemental en Suisse de plantes génétiquement modifiées 2004 <i>Olivier Sanvido, Franz Bigler, Franco Widmer, Michael Winzeler</i>	D	CHF 30.–