

Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich

Resultate aus dem Anbausystemversuch Burgrain 1991 bis 2008

März 2010

Autorinnen und Autoren

Urs Zihlmann, Werner Jossi, Caroline Scherrer, Heinz Krebs, Hans-Rudolf Oberholzer, Gregor Albisser Vögeli, Thomas Nemecek, Walter Richner, Ernst Brack, Lucie Gunst, Jürg Hiltbrunner, Marcel van der Heijden, Peter Weisskopf, David Dubois, Fritz Oehl, ART
urs.zihlmann@art.admin.ch

Ruedi Tschachtli, Berufsbildungszentrum Natur und Ernährung BBZN, Schüpfheim

Andreas Nussbaumer, Landwirtschaftsbetrieb Burgrain, Alberswil

Impressum

Herausgeber:
Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,
Redaktion: Etel Keller, ART

Die ART-Berichte/Rapports ART erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. Jahresabonnement Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern:
ART, Bibliothek, 8356 Ettenhausen
T +41 (0)52 368 31 31
F +41 (0)52 365 11 90
doku@art.admin.ch
Downloads: www.agroscope.ch

ISSN 1661-7568



Abb. 1: Vergleichsversuche mit verschiedenen Anbausystemen, wie am Standort Burgrain von 1991 bis 2008 durchgeführt, eignen sich sehr gut für die Aus- und Weiterbildung von Bäuerinnen und Bauern (Foto: Urs Zihlmann, ART).

Ziel des 1991 begonnenen praxisnahen Anbausystemversuchs Burgrain war es, die Auswirkungen eines reduzierten Nährstoffeinsatzes und eines extensiven Pflanzenschutzes im Ackerbau durch Quantifizieren der Ertrags- und Umweltleistungen und auch die Wirtschaftlichkeit der drei unterschiedlich intensiven Anbausysteme zu prüfen. Dazu wurden die Parzellen des gemischtwirtschaftlichen Betriebs Burgrain in Alberswil LU in drei Streifen zu je 0,65 ha unterteilt und innerhalb einer sechsjährigen Acker-Kunstwiese-Fruchtfolge als *IPintensiv* (ortsübliche Bewirtschaftungsintensität, 2,3 DGVE/ha, ÖLN) und *IPextensiv* (reduzierter Pflanzenschutz- und N-Düngereinsatz, Extensio-Anbau, ÖLN) sowie biologisch (1,7 DGVE/ha, gemäss Richtlinien des biologisch-organischen Landbaus) bewirtschaftet. Unter Beachtung pflanzenbaulicher Grundsätze

war im Acker- und Futterbau eine Qualitätsproduktion auch bei extensivem oder biologischem Anbau möglich; einzig beim Futtergetreide gab es Jahre mit schlechter Kornausbildung. Die hohe Bodenqualität am Versuchsstandort und das Können der Bewirtschaftenden ermöglichten gute Extensio- und sehr gute Bio-Erträge. Beim Futtergetreide und Raps gab es gegenüber *IPintensiv* die grössten Ertragseinbussen – bis zu 40 Prozent in einzelnen Jahren. Mit den gegenwärtigen Bundesbeiträgen für Bio und den höheren Bio-Produzentenpreisen war der Bio-Ackerbau aber dem intensiven als auch dem extensiven *IP*-Anbau bezüglich erzielter Deckungsbeiträge deutlich überlegen. Allerdings war der Arbeitsaufwand für Bio höher, vor allem für die Blackenbekämpfung in den Kunstwiesen. Dieser Aufwand konnte durch die Ansaat der Bio-Kunstwiesen



mittels Direktsaat stark reduziert werden. Dank der guten Erträge war auch die Ökobilanz des Bio- und Extensiv-Ackerbaus besser als in IPintensiv. Wegen ähnlicher Bearbeitungsintensitäten und Hofdüngereinsätzen in allen Systemen waren keine Unterschiede in der Bodenqualität nachzuweisen. Es ist anzumerken, dass die vorliegende Betrachtung einzelner Anbausysteme nicht die gesamt-

betriebliche Situation berücksichtigt. Bei einem Entscheid für oder gegen ein bestimmtes Anbausystem müssen unter anderem Faktoren wie Strukturkosten (z. B. Fixkosten für Maschinen, Gebäudekosten), Produktionsrichtlinien im Bereich Tierhaltung und Spezialkulturen, verfügbare Arbeitskräfte, individuelle Neigungen ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Problemstellung

Fast die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz wird heute (Stand 2009) nach dem für Direktzahlungen des Bundes erforderlichen ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) bewirtschaftet, ein Zehntel davon gemäss den Richtlinien des biologischen Landbaus. Wie steht es um die Ertrags-, Umwelt- und wirtschaftlichen Leistungen dieser Bewirtschaftungsformen? Welche Auswirkungen haben reduzierter Nährstoffeinsatz und Pflanzenschutz im Ackerbau? Wird dadurch die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung verbessert? Um solche Fragen beantworten zu können, hat die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART und die landwirtschaftliche Beratung des Kantons Luzern bereits 1991 den Anbausystemversuch Burgrain gestartet. Die Untersuchungen auf einem gemischtwirtschaftlichen Betrieb in Alberswil LU zeichnen sich durch eine praxisnahe Bewirtschaftung und die Betrachtung von drei unterschiedlich intensiven Ackerbausystemen mit all ihren Wechsel- und Langzeitwirkungen aus. Dank der Zusammenarbeit verschiedener Forschungsgruppen von ART mit der Beratung vor Ort sowie dem engagierten Einsatz der Bewirtschaftenden konnte nach 18 Jahren Versuchsdauer ein erweitertes Verständnis der untersuchten Anbausysteme hinsichtlich Produktions- und Qualitätsaspekte sowie ausgewählten Parametern aus den Bereichen Umwelt und Wirtschaftlichkeit erarbeitet werden. In den letzten Jahren wurden diese Arbeiten grosszügig unterstützt durch die Stiftung Agrovision Burgrain und die Hauser-Stiftung. Weil der gesamte Betrieb im Rahmen des Projekts «Burgrain Bioplus» seit dem 1.1.2009 biologisch bewirtschaftet wird, endete der Anbausystemversuch mit den Ernten 2008.

Standort- und Versuchsbeschreibung

Der Anbausystemversuch Burgrain befindet sich auf einem gemischtwirtschaftlichen Betrieb, der in seiner Struktur für diese Zentralschweizer Region typisch ist (siehe Kasten). Das niederschlagsreiche Klima prägt den Versuchsstandort. Von den sechs Versuchspartellen liegen fünf im ehemaligen Schwemmlandbereich der Wigger und eine Parzelle – «Kastelen» – liegt auf Moränenablagerungen in leichter Hanglage. Die tiefgründigen, mittelschweren und kalkhaltigen Böden der Schwemmlandebene (ehemalige Auenböden) haben in der Bearbeitungsschicht durchschnittlich 4% Humus und 22% Ton. Ihr Untergrund ist leicht vom Grundwasser beeinflusst (kapillarer Wasseraufstieg). Es sind ertragreiche Böden, die ein grosses natürliches Potenzial zur Stickstoffmineralisierung besitzen. Die tiefgründige und schwach saure Braunerde der Parzelle

Tab. 1: Fruchtfolgen 1991 bis 2008 im Anbausystemversuch Burgrain, Alberswil LU.

	Fruchtfolge 1991–2002	Fruchtfolge 2003–2008
1. Jahr	Kartoffeln*	Silomais
2. Jahr	Winterweizen**	Winterweizen
3. Jahr	Körnermais	Raps
4. Jahr	Sommergerste	Wintergerste
5. Jahr	Kunstwiese	Kunstwiese
6. Jahr	Kunstwiese	Kunstwiese

* Nachbegrünung mit Gelb-Isareptasenf oder Rübsen

** anschliessend überwintertes Zwischenfutter mit Raigräsern, Rot- und Alexandrinerklee (Standardmischung 210)

Betrieb Burgrain, Alberswil (Kanton Luzern)

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

Anmerkung

Von 1991 bis 2000 wurden auf sechs weiteren Parzellen mit der Fruchtfolge Silomais – Sommerhafer – Wintergerste – Kunstwiese – Kunstwiese – Kunstwiese Ertrags- und Qualitätserhebungen sowie Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt. Für den vorliegenden ART-Bericht wurden aus dieser Fruchtfolge die Kennwerte der Kulturen Silomais und Wintergerste verwendet. Die Ergebnisse der übrigen Kulturen sowie der nur von 1991 bis 2002 angebauten Ackerkulturen Kartoffeln, Körnermais und Sommergerste (siehe Tab. 1) sind enthalten in der Schriftenreihe der FAL 52 (Agroscope 2004).

Tab. 2: Charakterisierung der drei Anbausysteme im Anbausystemversuch Burgrain, Alberswil LU.

Anbausystem	Charakterisierung
IPintensiv	ortsübliche Bewirtschaftungsintensität, ÖLN erfüllt hoher Pflanzenschutz- und Düngungseinsatz
IPextensiv	ÖLN erfüllt, starke Gewichtung ökologischer Anliegen reduzierter Pflanzenschutz- und Düngungseinsatz Extensio-Produktion (inkl. IP-Suisse-Label) bei Getreide und Raps
Bio: biologischer Anbau auf Parzellenstufe ab 1997 (1991–1996 als bioähnliches «Low Input-System» bewirtschaftet)	Verzicht auf Mineraldünger und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel Ausnahmen («Low Input»): 1991 bis 1996 synthetische Kontaktfungizide im Kartoffelbau und selektives Herbizid gegen Blackenkeimlinge in Kunstwiesenansaat

IP = integrierte Produktion

ÖLN = ökologischer Leistungsnachweis



Abb. 2: Wird dieselbe Kultur (Beispiel Raps) auf einer Parzelle unterschiedlich intensiv angebaut, können die Bewirtschaftungseinflüsse anhand der Entwicklung der Pflanzen sehr gut aufgezeigt werden (Foto: Urs Zihlmann, ART).

«Kastelen» zeigt mit einem Humusgehalt von 2,6 % und einem Tonanteil von 17 % eine ähnliche Bodenzusammensetzung wie viele Ackerböden auf Moräne und Schotter im Schweizer Mittelland. Bei bodenbezogenen Messungen (z. B. bodenmikrobiologische Kennwerte) unterschied sie sich meistens von den Parzellen in der Schwemmlandebene.

In der sechsjährigen Fruchtfolge folgten nach vier Jahren Ackernutzung zwei Jahre Kunstwiese (Tab. 1). Ab 2003 wurde anstelle von Kartoffeln Raps angebaut und Sommer- durch Wintergerste ersetzt.

Für den Vergleich der Anbausysteme (Tab. 2) wurde jede der sechs Parzellen in drei fix festgelegte Teilflächen von je etwa 65 Aren unterteilt und systemgemäss vom Betriebsleiter und seinen Mitarbeitern bewirtschaftet (Tab. 3; Abb. 1). Für die Beprobungen des Bodens wurden in jedem Streifen homogene, vergleichbare Referenzflächen von je zirka 3 bis 4 Aren Grösse ausgewählt.

Die Gesamtmenge ausgebrachter Hofdünger wurde zwischen den Anbausystemen abgestuft. Die durchschnittlich 1,7 Dünger-Grossvieheinheiten pro Hektare im Bio-Anbausystem entsprechen dem in dieser Region auf biologisch bewirtschafteten Betrieben vorherrschenden relativ hohen

Tierbesatz (IP-Systeme: ca. 2,3 Dünger-Grossvieheinheiten pro Hektare). In *IPintensiv* wurde die Gülle fast ausschliesslich in den Kunstwiesen eingesetzt; in *IPextensiv* und in Bio wurden auch die Ackerkulturen regelmässig gegüllt. Der gesamte Input an rasch verfügbarem Stickstoff in den Ackerkulturen und Kunstwiesen betrug in der Periode von 1997 bis 2008 in *IPextensiv* 78 % und in Bio 54 % von *IPintensiv* (Tab. 3). Das Stickstoff-Düngungsniveau bei Weizen und Gerste war eher tief (hohe N_{min} -Werte, Gefahr von Lagergetreide).

Von 1997 bis 2008 wurden in *IPintensiv* im Mittel pro Ackerkultur und Jahr vier Einsätze mit Pflanzenschutzmitteln durchgeführt. In *IPextensiv* waren es wegen des Extensio-Anbaus bei Getreide und Raps (Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren) noch zwei und in Bio wegen des Einsatzes von Kupfer bei den Kartoffeln 0,6 Einsätze. Bedingt durch die Kraut- und Knollenfäule erforderten die Kartoffeln den grössten Einsatz an Pflanzenbehandlungsmitteln.

Versuchsergebnisse

Ertrag und Qualität der Ackerkulturen

Die Unterschiede zwischen den drei Anbausystemen *IPintensiv*, *IPextensiv* und Bio hinsichtlich Menge und Form der Stickstoffzufuhr, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie in der dritten Fruchtfolgeperiode (2003–2008) zusätzlich bezüglich Bodenbearbeitung wirkten sich deutlich auf die Erträge der Ackerkulturen aus.

In der gesamten Versuchsperiode von 1991 bis 2008 betrug die durchschnittlichen Ertragseinbussen von *IPextensiv* gegenüber *IPintensiv* über die vier Ackerkulturen Silomais, Winterweizen, Raps und Wintergerste 14,8 %, und von Bio gegenüber *IPintensiv* 21,2 %. Die Erträge der *IPintensiv*-Ackerkulturen entsprachen weitgehend dem regional üblichen Ertragsniveau vergleichbarer Anbausysteme (Abb. 3). Beim Wintergetreide (Krankheiten, Lagerung) und Raps (Rapsglanzkäfer) waren die Ertragseinbussen in *IPextensiv* und Bio deutlich stärker als beim Silomais.

IPextensiv mit bester Ertragsstabilität

Um Aussagen zur Ertragsstabilität im Ackerbau machen zu können, wurde für jedes der drei Anbausysteme ermittelt, wie stark die Jahreserträge der einzelnen Ackerkulturen vom jeweiligen Ertragsmittelwert dieser Kultur über die

Tab. 3: Bewirtschaftungsmassnahmen in den drei Anbausystemen von 1997 bis 2008 im Anbausystemversuch Burgrain, Alberswil LU.

	IPintensiv	IPextensiv	Bio
Bodenbearbeitung	Pflugeinsatz (ab 2003 Onland-Pflug), intensive Saatbettbereitung; Kunstwiesenansaat pfluglos	Pflugeinsatz bis 2002 (1997–2002 Onland-Pflug), ab 2003 pfluglos/Mulchsaat (Grubber, Streifenfrässaat, z. T. Direktsaat), extensivere Saatbettbereitung	Pflugeinsatz (seit 1997 Onland-Pflug), Kunstwiesenansaat z. T. mit Direktsaat
Sortenwahl	je nach Absatzbedingungen (Produktion von Getreidesaatgut)		gleich wie IP, teilweise konkurrenzstärkere Kunstwiesenmischungen
Pflanzenschutz			
Getreide	Herbizide, Fungizide, Wachstumsregulatoren, selten Insektizide	Extensio-Anbau, teilweise reduzierte Herbiziddosis	ohne Hilfsstoffe, Striegeln, z. T. Verzicht auf Unkrautregulierung
Raps	Herbizide, Fungizide, Insektizide	Extensio-Anbau	ohne Hilfsstoffe ohne mech. Unkrautbekämpfung
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 ab 2003 Streifenfrässaat (z. T. Direktsaat) keine Granulate	Hacken (Sternhackgerät)
Kunstwiesen	nach der Ansaat Herbizid gegen Blackenkeimlinge, chem. Einzelstockbehandlung	nach der Ansaat Herbizid gegen Blackenkeimlinge, chem. Einzelstockbehandlung	Blackenstechen von Hand
Düngungsstrategie	Gülle zu Kunstwiesen Mist zu Kartoffeln, Mais und Raps Stickstoff-Mineraldünger zu Ackerkulturen	Gülle zu Mais, Raps, Kunstwiesen und z. T. Getreide Mist zu Kartoffeln, Mais und Raps Ergänzung mit Stickstoff-Mineraldünger zu Ackerkulturen	Gülle zu Ackerkulturen und Kunstwiesen Mist zu Kartoffeln, Mais und Raps keine Mineraldünger
rasch verfügbarer Stickstoff (in %), davon als N-Mineraldünger	148kg/ha u. Jahr (100 %) 68kg/ha u. Jahr	115kg/ha u. Jahr (78 %) 38kg/ha u. Jahr	80kg/ha u. Jahr (54 %) 0kg/ha u. Jahr

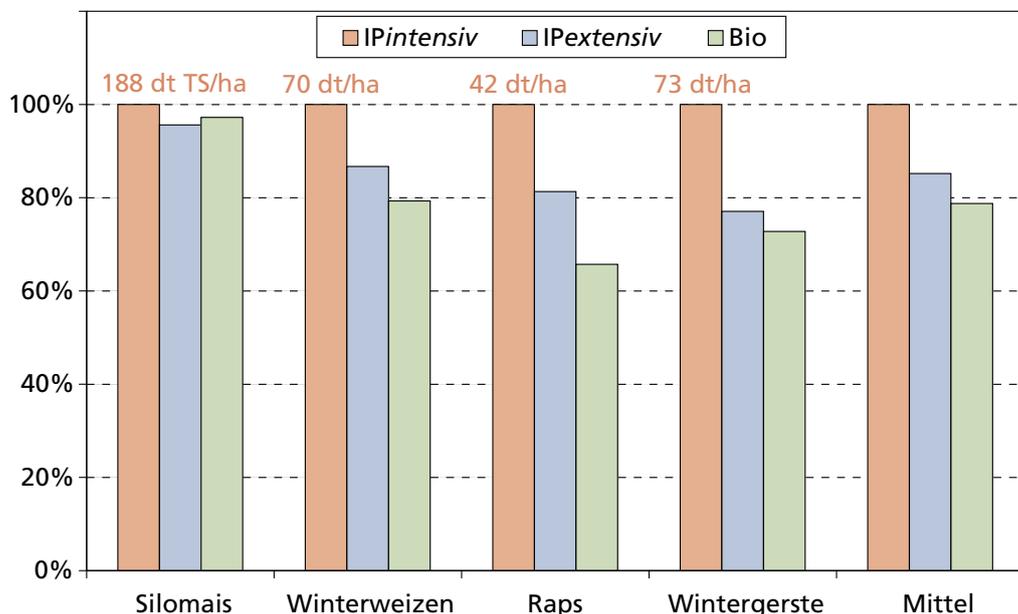


Abb. 3: Relative Durchschnittserträge (IPintensiv = 100%, inklusive Ertragsangaben) der Ackerkulturen in den drei Anbausystemen 1991 bis 2008 (Raps 2003–2008).



Abb. 4: Maisanbau mit Streifenfrässaat in IPextensiv nach der zweijährigen Kunstwiese. Der durchschnittliche Ertrag von 2003 bis 2008 lag in IPextensiv 10% und in Bio mit Pflugeinsatz und zweimaligem Hacken 6% unter IPintensiv mit Pfluganbau (191 dt TS/ha) (Foto: Bettina Nussbaumer, Burgrain).

gesamte Anbauperiode abwichen. In IPextensiv lagen die jährlichen Erträge in 70 % aller Fälle zwischen 10 % unter und 10 % über dem entsprechenden langjährigen Ertragsmittelwert; in Bio lagen 64 % und in IPintensiv 54 % aller Fälle innerhalb dieser Bandbreite. Damit war der IPextensiv-Anbau ertragsstabiler als IPintensiv und Bio. Erträge von mehr als 25 % über beziehungsweise unter dem langjährigen Ertragsmittelwert waren in IPextensiv lediglich in 4 % aller Fälle zu verzeichnen; in Bio lagen 9 % und in IPintensiv 13 % aller Fälle ausserhalb dieser Bandbreite.

Mais in allen Anbausystemen top

Auffallend sind die sehr hohen Silomaisserträge in allen Anbausystemen. Die Standortvoraussetzungen auf Burgrain – tiefgründige, nährstoffreiche Böden, genügende und regelmässige Niederschläge, milde Lage – sind günstig für den Maisanbau. IPintensiv erreichte bei Silomais durchschnittlich 188 dt TS/ha (Mittel 1991–2008, Abb. 3). IPextensiv büsste gegenüber IPintensiv nur 4,4 % Ertrag ein. Auch der Ertrag in Bio lag nur 2,8 % tiefer als in IPintensiv und übertraf damit IPextensiv. Der Anbau von Bio-Mais verlief meist ohne Probleme. Das eingesetzte Sternhackgerät erlaubte mit meist zwei Durchgängen eine gute Unkrautregulierung. Durchwuchsprobleme mit Italienischem Raigras im Bio-Mais traten nach Umstellung der Fruchtfolge nicht mehr auf (ab 2003 Vorkultur zweijährige Kunstwiese SM 330 statt überwintertes Zwischenfutter SM 210). Die Nährstoffversorgung konnte durch gezielten Hofdüngereinsatz (Mist und Gülle-Kopfdüngung im Schleppschauchverfahren) problemlos sichergestellt werden. Der leichte Minderertrag beim IPextensiv-Mais lässt sich vor allem durch die stärkere Schwankung der Erträge in der dritten Fruchtfolgeperiode (2003–2008) mit reduzierter Bodenbearbeitung (Streifenfräs- oder Direktsaat; Abb. 4) erklären: Denn die Nutzung der Vorkultur Kunstwiese und das Ausbringen des Mists führten in Jahren mit vielen Frühlingsniederschlägen zu starker Fahrspurbildung. Streifenfräs- und vor allem Direktsaat erreichten

unter diesen Bedingungen nicht ganz das Ertragsniveau des Pfluganbaus.

Bio-Raps mit hohen Erträgen

In den sechs Jahren mit Rapsanbau (2003 – 2008) wurde in IPintensiv ein Durchschnittsertrag von 42,4 dt/ha erzielt. Durch den Verzicht auf Insektizide und Fungizide reduzierte sich der Ertrag in IPextensiv um durchschnittlich 18,7 % beziehungsweise 7,9 dt/ha. Diese Ertragseinbusse war hauptsächlich auf den Befall mit dem Hauptschädling Rapsgranzkäfer zurückzuführen. Die eingesetzte Hybridsorte Talent vermochte Frassschäden relativ gut zu kompensieren, sodass auch in Jahren mit sehr starkem Glanzkäferbefall Erträge von mindestens 28 dt/ha erreicht wurden. Der Befall mit Wurzelhals- und Stengelfäule (*Phoma*; Bonitur des Stoppelbefalls nach der Ernte) war in IPextensiv und Bio stets deutlich höher als in IPintensiv und führte infolge Notreife und Körnerausfall zu zusätzlichen Ertragseinbussen. In IPextensiv wurde der Raps nach der Vorkultur Winterweizen pfluglos angebaut. Dies bewährte sich in der Regel sehr gut, ausser im ersten Jahr mit Rapsanbau (2003), als eine ungenügende Einarbeitung der Weizenspreu zu Keimhemmung und Entwicklungsproblemen beim Raps führte. Da am Standort Burgrain die Zeitspanne zwischen Weizenernte und Rapssaat für eine genügende Bearbeitung der Weizenstoppel in gewissen Jahren nicht ausreichte, musste der Ausfallweizen im IPextensiv-Raps teilweise mit einem speziellen Gräserherbizid reguliert werden. Die Bio-Rapsenerträge schwankten stark zwischen 12,3 und 37,7 dt/ha (Durchschnitt: 27,9 dt/ha). Durchschnittlich reduzierte sich der Ertrag im Vergleich zu IPintensiv um 34,3 % beziehungsweise 14,5 dt/ha. Im Vergleich zum Wintergetreide war die Unkrautkonkurrenz im Raps infolge des früheren Saattermins viel stärker. Die Unkräuter – vor allem Taubnesseln und Vogelmiere – konkurrierten den Raps im Herbst und Frühling stark. Bis zur Rapsenernte starben diese Unkräuter in der Regel aber ab. Raps benötigt im Frühling in kurzer Zeit viele rasch verfügbare

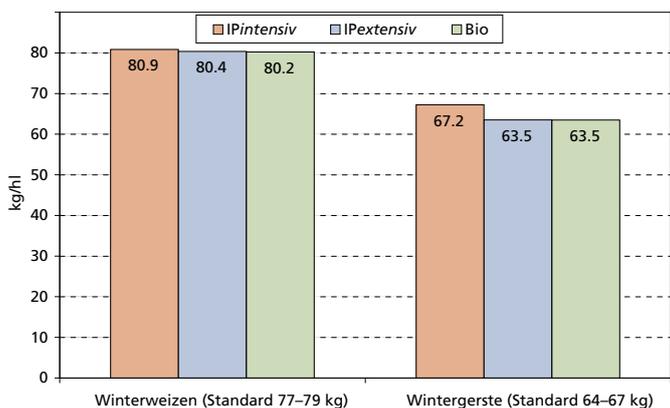


Abb. 5: Mittlere Hektolitergewichte (kg/hl) von Winterweizen und Wintergerste in den drei Anbausystemen (1997–2008). Werte ober- oder unterhalb des Standardbereichs haben Preiszuschläge bzw. -abzüge zur Folge.

bare Nährstoffe, insbesondere Stickstoff; dieser Bedarf konnte im Bio-Anbau mit reiner Gülledüngung oft nur schwer gedeckt werden (u. a. wegen der Befahrbarkeit des Rapsackers). Um Pflanzenausfälle durch Frass (v. a. Schnecken) zu kompensieren, wurde die Saatmenge beim Bio-Raps gegenüber IPintensiv um zirka 20 % erhöht.

Extensio-Anbau: Winterweizen ertragsstabiler als Wintergerste

Der Getreideanbau auf Burgrain ist geprägt durch hohen Krankheitsdruck und starke Stickstoffnachlieferung der tiefgründigen, grundfeuchten Böden. Die Ertragseinbussen in IPextensiv (Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren, reduzierte N-Düngung) gegenüber IPintensiv betragen bei Winterweizen im Durchschnitt 9,3 dt/ha (-13,3 %) und bei Wintergerste 16,6 dt/ha (-22,9 %). Die Ertragsunterschiede zwischen IPextensiv und Bio waren mit 2,0 dt/ha bei Winterweizen und 3,1 dt/ha bei Wintergerste erstaunlich gering. Aufgrund der guten Krankheitsresistenz der eingesetzten Winterweizensorten (meist Klasse Top) waren die Ertragseinbussen deutlich geringer als bei Wintergerste. Die dichten Weizenbestände in Bio (Durchschnittsertrag 1991–2008: 58,6 dt/ha) vermochten das Unkraut meist gut zu unterdrücken. Damit blieb die Konkurrenzwirkung der Unkräuter verhältnismässig gering. Oft konnte sogar auf die mechanische Unkrautregulierung verzichtet werden. Das gegenüber IPextensiv tiefere Düngungsniveau in Bio – in einzelnen Jahren wurde auf jegliche Düngung verzichtet (siehe Abb. 13) – verursachte auf den nährstoffreichen Burgrain-Böden mit hohem N-Nachlieferungspotenzial kaum eine Ertragsminderung. Folglich erbrachten unter diesen Standortvoraussetzungen der Herbizideinsatz und der eingesetzte mineralische N-Dünger, der aufgrund der Gefahr von Lagergetreide ohnehin nur sehr zurückhaltend eingesetzt werden durfte, in IPextensiv nur unwesentliche Mehrerträge gegenüber Bio. Bemerkenswert ist die hohe Ertragsstabilität des IPextensiv- und Bio-Winterweizens, ein Indiz für die Robustheit der in der Schweiz gezüchteten Winterweizensorten.

Der Wintergerstenertrag konnte in der dritten Fruchtfolgeperiode von 2003 bis 2008 wesentlich gesteigert wer-

den (Durchschnittsertrag IPintensiv: 85,9 dt/ha) – wahrscheinlich auch dank der Vorkultur Raps. Die Lage der Parzellen in der Talsohle der Wigger und der relativ windgeschützte und niederschlagsreiche Standort begünstigten das Auftreten von Pilzkrankheiten (Netzflecken, *Rhynchosporium*-Blattflecken, Sprenkelnekrosen). Dies führte in IPextensiv und Bio (beide ohne Fungizideinsatz) zu vorzeitigem Abreife und damit bedeutenden Ertragseinbussen gegenüber der fungizidbehandelten IPintensiv-Wintergerste. Die höhere Stickstoffdüngung in IPextensiv gegenüber Bio wirkte sich unter diesen Umständen ertragsmässig nur wenig aus oder führte gar zu stärkerer Lagerung der Extensio-Gerste. Da Problemunkräuter weitgehend fehlten, hatte auch der Verzicht auf chemische Unkrautbekämpfung in Bio im Vergleich zu IPextensiv kaum negative Auswirkungen auf den Ertrag.

Anbauintensität beeinflusst Hektolitergewicht

Das Hektolitergewicht gibt Auskunft über die Kornausbildung und ist ein wichtiger Qualitätsfaktor im Getreidebau. Es ist in hohem Mass sortenabhängig. Daneben beeinflussen Standort, Witterung und Anbauintensität das Hektolitergewicht.

Das mittlere Hektolitergewicht des Winterweizens (Sorten 1997–2008: sechsmal Runal, zweimal Titlis, zweimal Siala, je einmal Habicht und Ludwig) lag über 80 kg, und die Unterschiede zwischen den Anbausystemen waren gering: IPintensiv 80,9 kg, IPextensiv 80,4 kg, Bio 80,2 kg (Abb. 5). Dass die Einbussen in IPextensiv und Bio gegenüber IPintensiv nur minim waren, dürfte auf die gute Standfestigkeit und Krankheitsresistenz der angebauten Sorten zurückzuführen sein. Sorte und Jahreswitterung beeinflussten das Hektolitergewicht meist viel stärker als die unterschiedliche Bewirtschaftung in den drei Anbausystemen. Die Düngung mit mineralischem Stickstoff zwischen Fahrenblattstadium und Ährenschieben hatte auf den Burgrain-Böden mit starker Stickstoffmineralisierung nur einen geringen Effekt auf das Hektolitergewicht.

Wintergerste reagierte am niederschlagsreichen Standort Burgrain bezüglich Hektolitergewicht deutlich stärker auf die Bewirtschaftungsunterschiede als Winterweizen (Abb. 5). Das starke Auftreten von Blattkrankheiten und Sprenkelnekrosen in IPextensiv und Bio bewirkte meist eine schnellere Abreife als in IPintensiv. Dies hatte eine

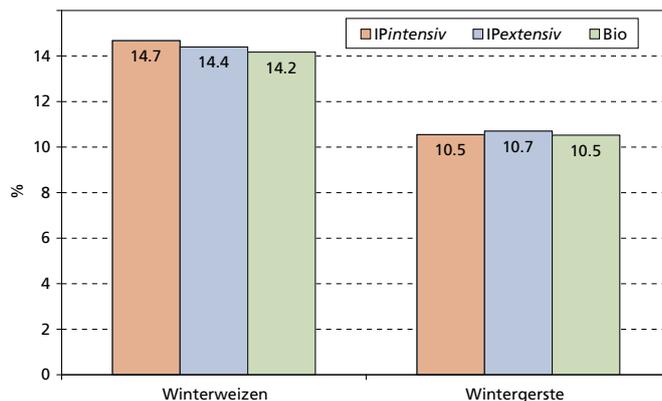


Abb. 6: Mittlere Proteingehalte (%) bei Winterweizen und Wintergerste in den drei Anbausystemen (1997–2008).



Abb. 7: Der unterschiedliche Einsatz von verdünnter Gülle – IPintensiv 164 m³ pro ha und Jahr, IPextensiv 139 m³ und Bio 87 m³ – beeinflusste an diesem futterwüchsigen Standort mit guter Nährstoffversorgung die hohen Jahreserträge der kleehaltigen Kunstwiesen nur wenig (IP-Anbausysteme je 160 dt TS/ha, Bio 150 dt TS/ha; Mittel 2003–2008) (Foto: Ruedi Tschachtli, BBZN Schüpflheim).

kürzere Kornfüllungsphase und schliesslich tiefere Hektolitergewichte zur Folge. Wegen verminderter Standfestigkeit kam es in den IPextensiv- und Bio-Beständen oft zu Lagerung, was sich zusätzlich negativ auf die Kornausbildung auswirkte. Gegenüber IPintensiv mit einem durchschnittlichen Hektolitergewicht von 67,2 kg (1997–2008) büssten IPextensiv und Bio 3,7 kg ein. Das Hektolitergewicht in IPintensiv lag nur in einem von 12 Jahren unterhalb des Standardbereichs von 64 bis 67 kg/hl. Hingegen konnte in IPextensiv in fünf von 12 Jahren und in Bio in vier von 12 Jahren das Standard-Hektolitergewicht nicht erreicht werden, was Preisabzüge zur Folge hatte.

Hohe Proteingehalte beim Getreide

Das grosse Stickstoff-Mineralisierungsvermögen der Burgrain-Böden wirkte sich zusammen mit den meistens angebauten Sorten der Qualitätsklasse Top (Runal, Titlis, Siala) positiv auf den Proteingehalt des Winterweizens aus: IPintensiv 14,7 %, IPextensiv 14,4 %, Bio 14,2 % (Abb. 6). In IPintensiv erfolgte zwischen dem Erscheinen des Fahnenblatts und dem Ährenschieben meistens eine Düngung mit mineralischem Stickstoff, was sich leicht positiv auf den Proteingehalt der Körner auswirkte. Die hohen Proteinwerte im Bio-Winterweizen erstaunen in Anbetracht der geringen Stickstoffdüngung von durchschnittlich nur 17 kg Ammonium-N/ha in Form von Gülle (IPintensiv 74 kg N/ha, IPextensiv 53 kg N/ha), können aber ebenfalls auf die Sortenwahl und das hohe Stickstoff-Nachlieferungsvermögen in den fünf Parzellen mit Schwemmlandböden zurückgeführt werden. Beim Anbau des Winterweizens 2007 auf der Parzelle «Kastelen» mit deutlich tieferem Stickstoff-Nachlieferungsvermögen lagen die Proteingehalte in Bio absolut 3 % tiefer als in IPintensiv.

Wintergerste zeigte bezüglich Proteingehalt nur geringe Unterschiede zwischen den Anbausystemen: IPintensiv und Bio 10,5 %, IPextensiv 10,7 % (Abb. 6). Auch die deutlich höhere N-Düngung in IPintensiv vermochte den Proteingehalt nicht zu verbessern, schlug sich aber in Verbindung mit dem Fungizid- und Wachstumsregulator-Einsatz in deutlich höheren Erträgen nieder. Die

Schwankungen des Proteingehalts zwischen den Anbaujahren und -systemen bei Winterweizen und Wintergerste waren hauptsächlich eine Folge des jahresspezifischen Witterungsverlaufs und der Sortenwahl.

In der Saatgutproduktion ist die Keimfähigkeit der Getreidekörner von grosser Bedeutung. In der Periode 1997 bis 2008 wies Wintergerste stets eine deutlich höhere Keimfähigkeit (IPintensiv 93,6 %, IPextensiv 95,0 %, Bio 95,3 %) auf als Winterweizen (IPintensiv 82,5 %, IPextensiv 81,0 %, Bio 84,4 %). Dies dürfte mit dem im Allgemeinen geringeren Körnerbefall der Gerste mit *Microdochium nivale* (Schneeschnitz) und den echten Fusarien-Arten zu erklären sein. Beim Winterweizen wirkte sich der Pflugeinsatz nach Silomais in IPintensiv und Bio günstig auf die Keimfähigkeit der Weizenkörner aus, da der Befall durch Fusarienpilze mit dieser Massnahme reduziert werden konnte. Allerdings waren die Unterschiede in der Keimfähigkeit nicht sehr ausgeprägt.

Die Fallzahl beim Winterweizen ist ein Mass für die Aktivität des Stärke abbauenden Enzyms Amylase im Korn und ein indirektes Mass für den Ausreifungsgrad. Sie wird in erster Linie durch Sorteneigenschaften und die Witterung zum Zeitpunkt der Ernte beeinflusst. Deshalb traten zwischen den Anbausystemen nur geringfügige Unterschiede auf. Wegen ungünstiger Konstellation von Sorte und Witterung genühten die Fallzahlen in zwei von 18 Versuchsjahren jeweils in allen drei Anbausystemen den Marktanforderungen nicht.

Kaum Qualitätsunterschiede bei Silomais und Raps

Beim Silomais unterschieden sich verdauliche organische Substanz (VOS), Nettoenergie-Laktation (NEL), Nettoenergie-Wachstum (NEV), Rohprotein- und Rohfasergehalt kaum zwischen den Anbausystemen.

Beim Raps (Sorte Talent) wurden die Rohfettgehalte untersucht. Der durchschnittliche Wert betrug in IPintensiv 407 g/kg TS; IPextensiv (–4,5 g/kg TS) und Bio (–3,8 g/kg TS) lagen auf ähnlichem Niveau. Die Rohfettgehalte schwankten von Jahr zu Jahr ziemlich stark, in IPintensiv beispielsweise zwischen 374 und 466 g/kg TS.

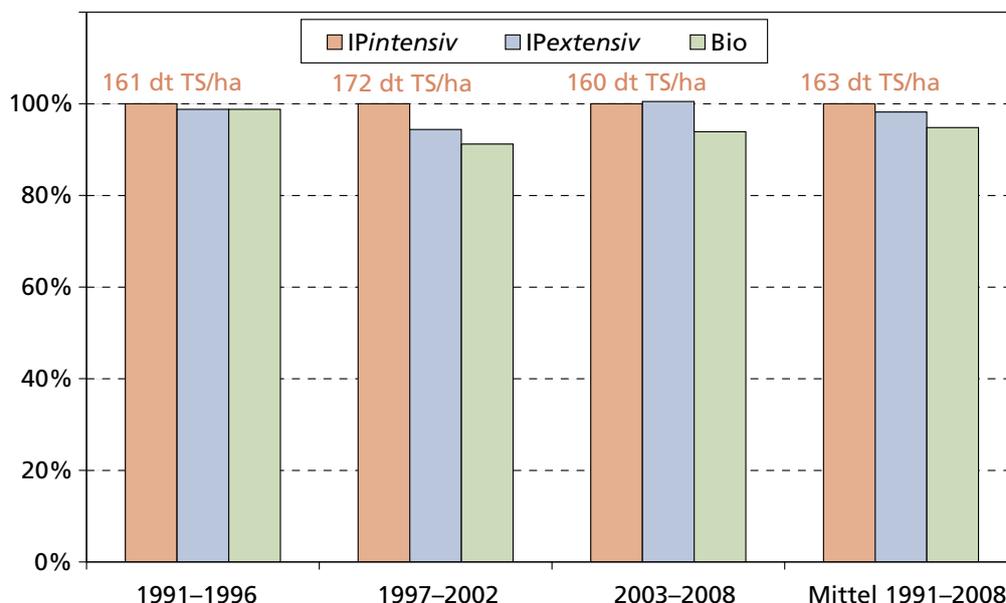


Abb. 8: Mittlere relative Jahreserträge (Trockensubstanz = TS) der Kunstwiesen in den drei Versuchsperioden (IPintensiv = 100%, inklusive Ertragsangaben).

Ertrag und Futterqualität der Kunstwiesen

Innerhalb der sechsjährigen Fruchtfolge wurde nach Gerste jeweils Kunstwiese mit einer Gras-Weissklee-Mischung (meist Standardmischung 330) für zwei Hauptnutzungsjahre angesät. In allen drei Anbausystemen erfolgten jährlich vier oder fünf Nutzungen (meist Schnittnutzungen, teilweise Herbstweide). Die Bewirtschaftung der Kunstwiesen unterschied sich zwischen den drei Anbausystemen vor allem bezüglich der meist in vier Gaben ausgebrachten Güllemenge (Abb. 7). Sie war in der Periode 1991 bis 2008 in IPextensiv und Bio durchschnittlich 15 beziehungsweise 38 % geringer als im regionaltypischen IPintensiv (mittlere Menge verdünnte Gülle pro Nutzung 37 m³/ha). Weitere Bewirtschaftungsunterschiede bestanden in der Blackenregulierung, die in den IP-Kunstwiesen chemisch und auf Bio-Flächen ausschliesslich durch Blackenstechen von Hand erfolgte sowie durch die Wahl der Ansaatmethode (in Bio von 1998–2007 achtmal Direktsaat).

Das Ertragsniveau der Kunstwiesen (Bruttoerträge ohne Berücksichtigung von Bröckel- und Weideverlusten) war in allen Anbausystemen mit über 150 dt TS/ha und Jahr sehr hoch, da die Wachstumsbedingungen am Standort Burgrain aufgrund der hohen und regelmässigen Niederschläge und der tiefgründigen, nährstoffreichen Böden ausgezeichnet sind (Abb. 8). Der durchschnittliche Kleeanteil

von 10 bis 40 % ermöglichte eine bedeutende Eigenversorgung mit Stickstoff und dämpfte den Effekt des geringeren Gülleeinsatzes in IPextensiv und Bio. Gegenüber IPintensiv resultierten in IPextensiv und Bio im Mittel von 1991 bis 2008 nur jährliche Ertragseinbussen von 1,8 % (-2,9 dt TS/ha) beziehungsweise 5,2 % (-8,6 dt TS/ha). Obschon die Güllemenge in der Periode 2003 bis 2008 noch stärker zwischen den Anbausystemen differenziert wurde als in den Vorjahren – in Bio nur noch 50 % der Güllemenge von IPintensiv – vergrösserten sich die Ertragsunterschiede nicht.

Bei gleicher Standardmischung und gleichem Nutzungszeitpunkt ergaben sich zwischen den Anbausystemen nur unwesentliche Qualitätsunterschiede. Der Gehalt des Wiesenfutters an NEL (Nettoenergie Laktation) und APD (absorbierbares Protein Darm) zeigte zwar in IPextensiv und Bio tendenziell leicht tiefere Durchschnittswerte, die Unterschiede sind jedoch fütterungstechnisch kaum von Bedeutung. Qualitätsunterschiede zwischen den Anbausystemen wurden in erster Linie festgestellt, wenn in einzelnen Jahren in Bio rasch auflaufende und gegenüber einer Anfangsverunkrautung konkurrenzstarke, aber weniger nutzungselastische Klee grassmischungen eingesetzt wurden. Bei gleicher Mischungswahl unterschieden sich die Anbausysteme nur geringfügig in der botanischen

Tab. 4: Direktkosten und zuteilbare Maschinenkosten (variable Maschinenkosten, Maschinenmiete, Lohnarbeit) der drei Anbausysteme pro Hektare und Jahr, basierend auf den Kosten für Silomais, Winterweizen, Raps und Wintergerste, Durchschnittswerte von 2003 bis 2008.

	Direktkosten (Fr./ha)			zuteilbare Maschinenkosten (Fr./ha)		
	IPintensiv	IPextensiv	Bio	IPintensiv	IPextensiv	Bio
Silomais	954	991	783	1211	1394	1289
Winterweizen	900	585	555	649	596	595
Raps	986	834	378	1029	965	919
Wintergerste	937	581	403	645	598	595
Mittelwert	944	748	530	883	888	849
relativ zu IPintensiv		-21 %	-44 %		+1 %	-4 %

Zusammensetzung. Die Bestände waren meist ausgewogen (50–70% Gräser) bis gräserreich. Aufgrund des geringeren Gülleinsatzes wurden in IP*extensiv* und Bio oft etwas höhere Kleeanteile beobachtet als in IP*intensiv*.

Wirtschaftlichkeit der Ackerkulturen

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Ackerbaus in den drei Anbausystemen wurden die Deckungsbeiträge ermittelt. Sie ergeben sich aus dem Verkaufserlös der Ernteprodukte abzüglich der Direktkosten (Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Mineraldünger, Trocknungskosten, Hagelversicherungsprämien) sowie der direkt zuteilbaren Maschinenkosten (variable Maschinenkosten, Maschinenmiete und Lohnarbeiten). Die flächen- und kulturbezogenen Direktzahlungen wurden bei der Berechnung der Deckungsbeiträge berücksichtigt. Mit den Deckungsbeiträgen werden der eigene Arbeitsaufwand sowie weitere Strukturkosten (fixe Kosten für Maschinen, Gebäude- und Zinskosten usw.) entschädigt. Die Anbausysteme unterschieden sich in erster Linie beim Arbeitsaufwand, während die Unterschiede bei den Strukturkosten nur gering waren.

Da sich die agrarwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Preis- und Kostenumfeld, Direktzahlungen) im Verlauf dieses 18-jährigen Versuchs stark verändert haben, wird im Folgenden nur auf die wirtschaftlichen Ergebnisse der letzten Versuchsperiode von 2003 bis 2008 eingegangen. Auf die Berechnung von Deckungsbeiträgen der Kunstwiesen wurde verzichtet, da sich hier Produzentenpreise kaum sinnvoll bestimmen lassen (sehr grosse Jahres- und saisonale Schwankungen je nach Raufutter-Nachfrage) und das Wiesenfutter im eigenen Betrieb verwertet wird (interne Lieferung an Rindviehhaltung). Ökonomisch ins Gewicht fallen im Kunstfutterbau vor allem die tieferen Kosten für die Gülledüngung in IP*extensiv* und Bio aufgrund der reduzierten Ausbringungsmengen sowie der höhere Aufwand für die mechanische Blackenregulierung in Bio. Aufgrund der geringen Ertragsunterschiede zwischen den Anbausystemen und den höheren Bio-Produzentenpreisen dürfte der Bio-Kunstfutterbau am Standort Burgrain ökonomisch interessanter sein als der IP-Kunstfutterbau.

Systemunterschiede bei Direktkosten und Arbeitsaufwand

Gegenüber IP*intensiv* konnten die Direktkosten im Durchschnitt der vier Ackerkulturen Silomais, Winterweizen, Raps und Wintergerste in IP*extensiv* um 21% und in Bio um 44% gesenkt werden (Tab. 4). Der Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren im extensiven Getreideanbau erlaubte beispielsweise Einsparungen von Fr. 336.–/ha und Jahr.

Bei den zuteilbaren Maschinenkosten (variable Maschinenkosten, Maschinenmiete und Lohnarbeit) waren die Systemunterschiede gering, obwohl sehr unterschiedliche Anbautechniken (z.B. Streifenfrässaat beim IP*extensiv*-Mais) eingesetzt wurden. Die beiden IP-Anbausysteme wiesen praktisch gleich hohe zuteilbare Maschinenkosten

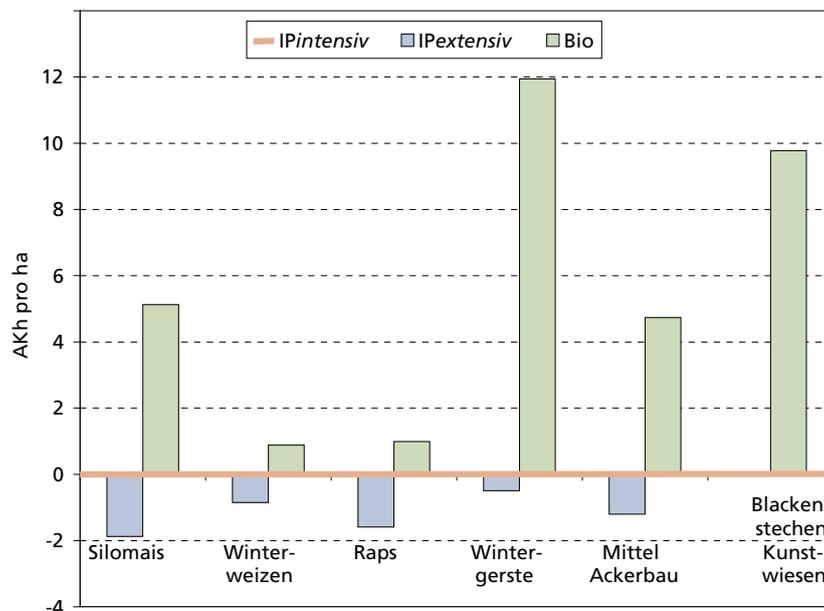


Abb. 9: Zusätzlicher Arbeitszeitbedarf beziehungsweise Arbeitszeiterparnis (in AKh) pro Hektare in IP*extensiv* und Bio gegenüber IP*intensiv*, Durchschnittswerte für die vier Ackerkulturen von 2003 bis 2008 (Kunstwiesen: AKh/ha und Jahr).

auf. Im IP*extensiv*-Getreide- und -Rapsanbau konnten gegenüber IP*intensiv* zwar pro Hektare durchschnittlich Fr. 50.– gespart werden, dafür waren die Maschinenkosten im IP*extensiv*-Mais wegen der aufwändigeren Gülledüngung und Unkrautregulierung (meist zwei Herbizideinsätze nötig) um Fr. 180.–/ha höher als in IP*intensiv*. Die fixen Maschinenkosten wurden nicht berücksichtigt, da diese Kosten entscheidend von den getroffenen Annahmen bezüglich Auslastung und Amortisationsdauer abhängig sind.

In IP*extensiv* war der Arbeitsaufwand pro Hektare und Jahr bedingt durch den reduzierten Pflanzenschutzmittel- und Mineraldünger-Einsatz 1,2 Stunden geringer als in IP*intensiv* (Abb. 9). Bio erforderte dagegen beträchtliche Mehrarbeit. Im Ackerbau mussten durchschnittlich 4,7 Std./ha und Jahr mehr eingesetzt werden als in IP*intensiv*. Am grössten war der Zusatzaufwand bei der Bio-Wintergerste, weil hier zur Verminderung der Verunkrautung in der nachfolgenden Kunstwiese vorbeugend von Hand gejätet wurde (vor allem Entfernen von Samenständer bildenden Blacken). In den Bio-Kunstwiesen mussten durchschnittlich 9,8 Std./ha und Jahr für das Blackenstechen aufgewendet werden (Periode 1997–2002: 44 Stunden).

Labelproduktion mit hohem Deckungsbeitrag

In IP*extensiv* und Bio wurde auf den Einsatz von Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsregulatoren verzichtet, wodurch diese Anbausysteme bei Winterweizen, Wintergerste und Raps in den Genuss des Extensio-Beitrags des Bundes (Fr. 400.–/ha) kamen. Da beim IP*extensiv*-Winterweizen und -Raps zusätzlich die Produktionsrichtlinien des Labels IP-Suisse eingehalten wurden, resultierte bei diesen Kulturen am Markt ein höherer Produzentenpreis als bei IP*intensiv*. Dadurch war IP*extensiv* sowohl beim Winterweizen als auch beim Raps wirtschaftlich interessanter als

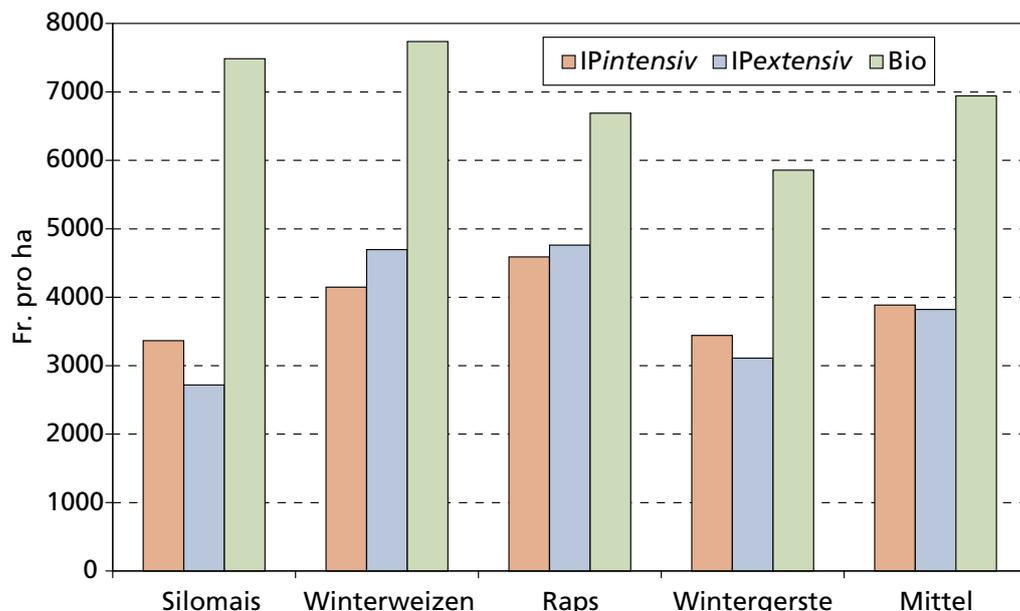


Abb. 10: Deckungsbeiträge (Fr./ha) von Silomais, Winterweizen, Raps und Wintergerste in den drei Anbausystemen sowie gemittelter Wert für diese vier Ackerkulturen; Durchschnittswerte von 2003 bis 2008.

IPintensiv (Winterweizen: Fr. +548.–/ha; Raps: Fr. +172.–/ha (Abb. 10 und 11).

Bei Wintergerste, bei der keine IP-Suisse-Labelproduktion möglich ist, reichte hingegen der Extensiv-Beitrag nicht aus, um die grossen Ertragseinbussen gegenüber IPintensiv von fast 30 kg/a auszugleichen: IPintensiv schnitt bezüglich Deckungsbeitrag durchschnittlich Fr. 331.–/ha besser ab als IPextensiv. Beim Silomais war IPintensiv wirtschaftlich ebenfalls interessanter, vor allem wegen höherer Erträge und tieferer variabler Maschinenkosten (Deckungsbeitrag: Fr. +646.–/ha). Im Durchschnitt der vier Ackerkulturen büsste IPextensiv gegenüber IPintensiv allerdings nur Fr. 64.–/ha ein (–1,7%).

Bio-Ackerbau wirtschaftlich interessant

Die Produzentenpreise für Bio-Ackerbauprodukte lagen in allen Versuchsjahren aufgrund der guten Nachfragesituation wesentlich über denjenigen des integrierten Anbaus.

Zudem profitierte der Bio-Ackerbau von höheren Direktzahlungen. Im Mittel der vier Ackerkulturen waren dies: Fr. +800.–/ha gegenüber IPextensiv und Fr. +1100.–/ha gegenüber IPintensiv. Bio erzielte dank dieser «Zusatzbeiträge» und den relativ geringen Ertragseinbussen am Standort Burgrain im Durchschnitt der vier Ackerkulturen einen um Fr. 3056.–/ha oder 79% höheren Deckungsbeitrag als IPintensiv. Der Vorteil von Bio bezüglich Deckungsbeiträgen war in allen Kulturen festzustellen: Silomais: Fr. +4120.–/ha; Winterweizen: Fr. +3588.–/ha; Raps: Fr. +2100.–/ha; Wintergerste: Fr. +2415.–/ha gegenüber IPintensiv. Um die Auswirkungen auf das landwirtschaftliche Einkommen beurteilen zu können, müssten die Strukturkosten der einzelnen Kulturen und insbesondere auch der Arbeitsaufwand mit berücksichtigt werden, weshalb hierzu keine Aussage möglich ist.

Die hohen Deckungsbeiträge des Bio-Ackerbaus auf Burgrain sind in erster Linie eine direkte Folge der hohen Produzentenpreise für Bio-Produkte in Verbindung mit sehr

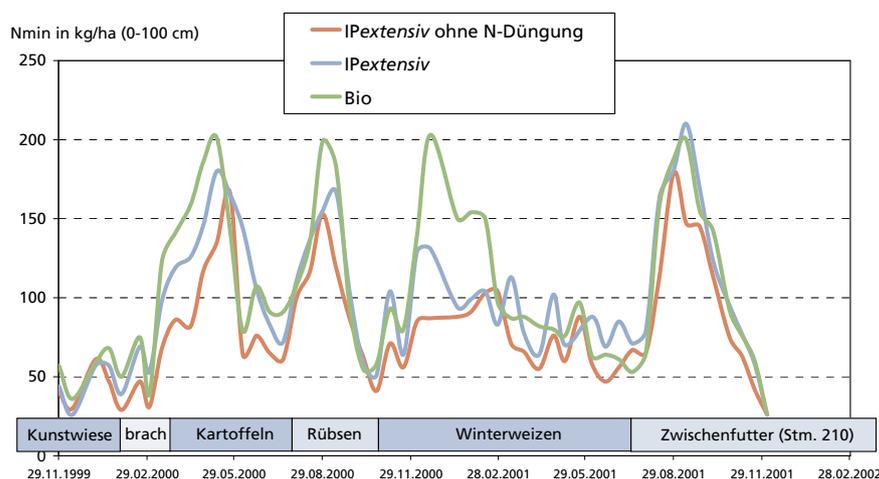


Abb. 11: Trotz Ertragseinbussen von 9,3 bzw. 11,3 dt/ha gegenüber dem IPintensiv-Weizenanbau mit Einsatz von Fungiziden und Wachstumsregulatoren schnitten IPextensiv und Bio dank Labelpreisen und höheren Beiträgen um Fr. 548.–/ha bzw. Fr. 3588.–/ha besser ab (Mittel 2003–2008) (Foto: Bettina Nussbaumer, Burgrain).



Abb. 12: Am Standort Burgrain zeigte sich einmal mehr, dass der Anbauerfolg bei extensiver oder biologischer Bewirtschaftung wesentlich von der Beschaffenheit und dem Umsetzungsvermögen der Böden als auch von der Qualität der Bodenstruktur abhängt. Diese sollte periodisch mittels Spatenproben überprüft werden (Foto: Raphael Kottmann, BBZN Hohenrain).

Abb. 13: Zeitlicher Verlauf des Gehalts an mineralischem Bodenstickstoff (N_{min} ; 0–100 cm Bodentiefe) in den Anbausystemen IPextensiv und Bio sowie in IPextensiv ohne Stickstoffdüngung in der Parzelle «Hexern Süd» von Nov. 1999 bis Nov. 2001.



Bodenbearbeitung:									
P: Pflug; R: Grubber		P			P			R	
Düngung IPextensiv	M		NA NA				NA NA NA		G
Düngung Bio	M	G	G						

M: Mist; G: Gülle; NA: mineralischer Stickstoff in Form von Ammonsalpeter

guten Erträgen und geringen Produktionskosten sowie der Beiträge des Bundes für den Bio-Landbau. Sehr fruchtbare Böden, eine vielseitige Fruchtfolge, genügend Hofdünger und das Können der Bewirtschafter bilden die Hauptgründe für die hohen Erträge der Bio-Kulturen auf Burgrain. Diese Ergebnisse sind somit nicht direkt auf andere Betriebe übertragbar.

Anzumerken ist, dass die isolierte Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Pflanzenbaus nur ein Mosaikstein beim Vergleich der Wirtschaftlichkeit von gesamtbetrieblichen Anbausystemen darstellt. Denn auf gesamtbetrieblicher Ebene können Faktoren wie nötiger Investitionsbedarf, Erfüllung von Richtlinien (z. B. Tierhaltung, Futtermittelzukauf) oder die Erbringung des höheren Arbeitsaufwands die Umstellung auf Bio-Landbau erschweren.

Umweltaspekte

Bodenstruktur

Weder im ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) noch im biologischen Landbau bestehen hinsichtlich Qualität der Bodenstruktur Mindestanforderungen, da sich die Struktur des Bodens durch Quellen, Schrumpfen oder Frostsprengung laufend verändert. Aber auch Durchwurzelung, pflanzliche Bodenbedeckung und Aktivität der Bodenorganismen sowie Beweidung und Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Bearbeiten, Befahren und Nährstoffzufuhr beeinflussen die Bodenstruktur. Spatenprobenbeurteilungen (Abb. 12) von 1992 bis 2002 (jeweils im Frühsommer) ergaben bei der Qualität der Bodenstruktur wohl deutliche Unterschiede je nach Jahr, angebauter Kultur, Art und Zeitpunkt der Bewirtschaftungsmaßnahmen usw., jedoch keine länger dauernden charakteristischen Systemunterschiede. Den grössten Einfluss auf die Qualität der Bodenstruktur hatten das Bearbeiten und Befahren des Bodens sowie die zu diesem Zeitpunkt herrschende Bodenfeuchte. Die im gleichen Zeitraum wie die Spatenproben durchgeführten Messungen der Aggregatstabilität zeigten ebenfalls keine Systemeffekte. Wie stabil die Bodenteilchen zusammengefügt waren, hing vor allem vom Ton- und

Humusgehalt sowie der Kalkversorgung der Böden ab. In den fünf Parzellen mit kalkhaltigen, mehr Ton und Humus enthaltenden Schwemmlandböden war die Bodenstruktur stabiler als in der Parzelle «Kastelen» mit schwach saurer, sandig-lehmiger Braunerde. Die Umstellung auf pfluglose Bearbeitung in IPextensiv im 2003 bewirkte, dass die vorher teilweise vorhandene Pflugsohle nach und nach verschwand.

Bodennährstoffe und Stickstoffdynamik

In der Bodenschicht 0 bis 20 cm wurden periodisch die Gehalte der Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium bestimmt. Während der gesamten Versuchsdauer wurden keine mineralischen P- und K-Dünger ausgebracht. Zu Versuchsbeginn waren die Gehalte an Phosphor im Boden in den Versorgungsklassen D [«Vorrat»] und E [«angereichert»] (CO₂-Methode; Walther *et al.* 2001). Durch die Reduktion der Düngungsintensität ab 1991 sanken die P-Gehalte bis zum Ende des Versuchs in den Versorgungsbereich C [«genügend»] bis D [«Vorrat»]. Die ebenfalls mit der CO₂-Methode bestimmten Kaliumgehalte blieben während der gesamten Versuchsdauer und auf allen sechs Parzellen innerhalb der Versorgungsklasse C [«genügend»]. Der aus dolomithaltigem Moränenmaterial entstandene Braunerdeboden der Parzelle «Kastelen» wies durchwegs die höchsten Magnesiumgehalte auf (Versorgungsklasse C [«genügend»]; CaCl₂-Methode). Die fünf aus Schwemmelhm entstandenen Parzellen waren während den 18 Jahren immer nur «mässig» mit Magnesium versorgt (Versorgungsklasse B). Deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Bodennährstoffgehalte zwischen den drei Anbausystemen konnten nicht nachgewiesen werden. Dazu hätte der Nährstoffinput zwischen den Systemen wohl stärker abgestuft sein müssen.

Der Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min}) in Ackerböden (0–100 cm Tiefe) ist eine sehr dynamische Grösse (Abb. 13). Mehrere mehrmonatige Untersuchungsreihen der Stickstoffdynamik in verschiedenen Jahren – zum Teil auch in einer Vergleichsfläche ohne Stickstoffdüngung – zeigten, dass sich die angebauten Hauptkulturen und die Gestaltung der Kulturübergänge (mit/ohne Zwischenbe-



Abb. 14: Jeweils im Oktober, wenn sich die Regenwürmer in der obersten Bodenschicht aufhalten, wurde auf je sechs Teilflächen von einem Viertel Quadratmeter pro Anbausystem mittels Handauslese der Regenwurmbestand untersucht (Foto: Werner Jossi, ART).

grünung; Intensität der Bodenbearbeitung) sowie der Humusgehalt der Böden stärker auf das Niveau und den zeitlichen Verlauf des N_{min} -Gehalts auswirkten als die verschiedenen Anbausysteme. Stickstoffdüngergaben hatten auf diesen Ackerböden mit überdurchschnittlichem N-Nachlieferungsvermögen 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. Der Verlauf der N_{min} -Kurven zeigt zudem, dass generell und teilweise auch im Frühling sehr hohe N_{min} -Werte gemessen wurden.

Die Bestimmung der N_{min} -Gehalte (0–100cm Bodentiefe) am Vegetationsende im November (1992–2007) in allen Kulturen bestätigte den deutlichen Unterschied im Stick-

stoffmineralisierungspotenzial zwischen dem Moräneboden und den Schwemmlehm-Böden:

- mittlerer N_{min} -Gehalt im November im Moräneboden (Parzelle «Kastelen»): 59 kg/ha
- mittlerer N_{min} -Gehalt im November in den Schwemmlehm-Böden: 112 kg/ha

Hingegen zeigten sich nur geringe Unterschiede in den November- N_{min} -Werten zwischen den Anbausystemen:

- mittlerer N_{min} -Gehalt im November in IPintensiv: 110 kg/ha
- mittlerer N_{min} -Gehalt im November in IPextensiv: 104 kg/ha
- mittlerer N_{min} -Gehalt im November in Bio: 99 kg/ha

Fazit: Das hohe Stickstoffmineralisierungspotenzial der Burgrain-Böden überdeckte weitgehend die unterschiedliche Stickstoffdüngung. Zudem war dieser leistungsfähige «Stickstoff-Motor» hauptsächlich verantwortlich für die guten bis sehr guten Erträge in allen Anbausystemen. Da die Kontrolle der bodenbürtigen Stickstofffreisetzung aber schwierig ist, hat er sich im biologischen und extensiven Getreideanbau zum Teil auch negativ ausgewirkt (Lagerung).

Regenwürmer

Am Versuchsstandort sind die natürlichen Voraussetzungen mit eher feuchtkühlem Klima und selten austrocknenden Böden mit mehrheitlich guter Kalkversorgung günstig für Regenwürmer (Abb. 14). In IPintensiv wurde zu Beginn des Versuchs eine geringere Regenwurm-Besiedelung festgestellt, weil in den IPintensiv-Kartoffeln heute nicht mehr bewilligte, regenwurmtoxische Abbrennmittel für die Krautvernichtung eingesetzt wurden. Die gesamte mittlere Regenwurmbiomasse in der Periode 1997 bis 2002 lag in Bio 13 % und in IPextensiv 12 % über jener von IPintensiv. Es kann vermutet werden, dass die im Oberboden lebenden Regenwurmart und der tiefe Gänge grabende Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) auch von der stärkeren

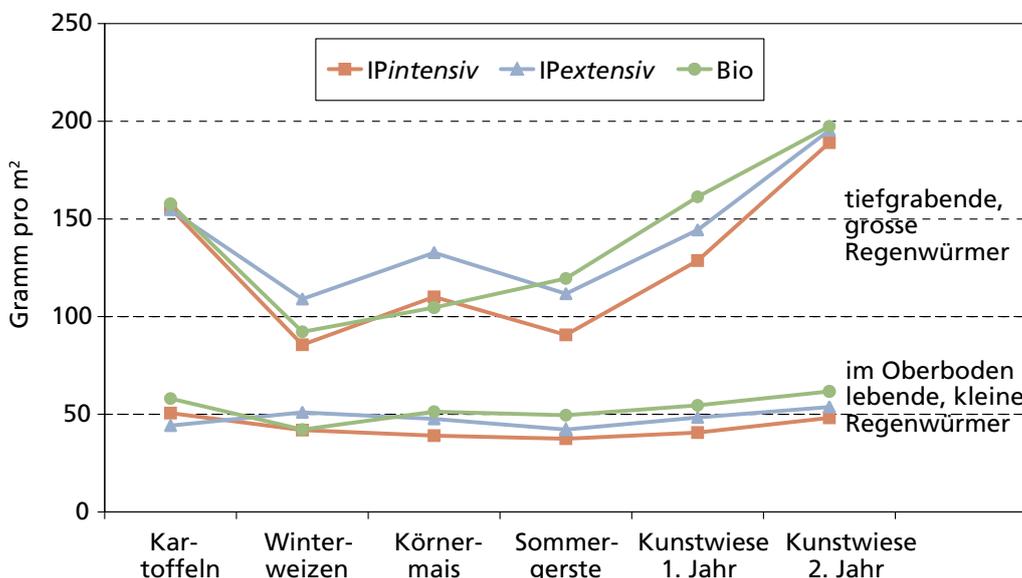


Abb. 15: Einfluss der Kulturabfolge bei Pflugbewirtschaftung auf die Biomasse (g/m²) der tiefgrabenden und der im Oberboden lebenden Regenwürmer; Mittelwerte der Anbausysteme 1997 bis 2002.



Abb. 16: Direktsaat der Bio-Kunstwiese nach Wintergerste: Gegenüber dem Ansaatverfahren mit Bodenlockerung entwickelten sich deutlich weniger Blackenkeimlinge, wodurch der Aufwand fürs Blackenstechen in den Bio-Kunswiesen von über 50 auf etwa 10 Arbeitsstunden pro Hektare und Jahr gesenkt werden konnte (Fotos: Ruedi Tschachtli, BBZN Schüpflheim).



Abb. 17: Während im IPintensiv-Raps der Rapsglanzkäfer mit Insektiziden bekämpft werden konnte, fehlten im Bio- und Extensio-Anbau geeignete Mittel. In Jahren mit starkem Glanzkäferbefall blieben die Bio- und Extensio-Rapsrerträge dank der ausgezeichneten Nährstoffversorgung und dem guten Kompensationsvermögen der angebauten Sorte aber trotzdem auf genügendem Niveau.

Verunkrautung in den Bio- und teilweise auch in den IPextensiv-Parzellen und dem dadurch besseren Futterangebot im Vergleich zu IPintensiv profitiert haben.

Während der vierjährigen Ackernutzung pro Fruchtfolgeperiode nahm der Bestand der tiefgrabenden Regenwürmer in allen Anbausystemen – vermutlich als Folge der Bodenbearbeitung – jeweils vorübergehend um rund die Hälfte ab, worauf er sich in der zweijährigen Kunstwiese wieder bis zum Höchstwert von knapp 200 g/m² (= 2000 kg/ha) oder 170 Würmern pro Quadratmeter erhöhte (Abb. 15). Dagegen blieb der Anteil der kleinen, im Oberboden lebenden Regenwurmart über die gesamte Fruchtfolge praktisch stabil bei 50 g/m² (= 500 kg/ha). Die von 2003 bis 2008 praktizierte Mulch- und Streifenfräsaat in IPextensiv erhöhte den Regenwurmbestand nur leicht gegenüber den on-land gepflügten Systemen IPintensiv und Bio.

Bodenmikrobiologie und Mykorrhizapilze

Von 1991 bis 2008 wurden die Auswirkungen der drei Anbausysteme auf Menge und Aktivität der Bodenmikroorganismen in der Schicht 0 bis 20 cm untersucht. Bis zum Versuchsende konnten jedoch keine gesicherten Unterschiede zwischen den Systemen nachgewiesen werden. Vielmehr wurden die bodenmikrobiologischen Kennwerte überwiegend von den chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften der einzelnen Parzellen geprägt. So zeigte der Moräneboden der Parzelle «Kastelen» ähnliche Werte wie Ackerstandorte auf Moräne und Schotter im Schweizer Mittelland. Die ziemlich humus- und kalkhaltigen Schwemmlandböden der übrigen fünf Parzellen wiesen dagegen sehr hohe bodenmikrobiologische Kennwerte auf. Die Reduktion der Hofdüngergaben im Vergleich zur «gülleintensiven» Bewirtschaftung vor Versuchsbeginn führte im Laufe des Versuchs zu einer leichten Verringerung der bodenmikrobiologischen Atmung von den sehr hohen zu eher standorttypischen Werten.

Im letzten Versuchsjahr 2008 wurden in drei der sechs Parzellen die Wurzelkolonisierungspotenziale von arbuskulären Mykorrhizapilzen erhoben. Diese Bodenpilze gehen eine enge Symbiose mit den meisten unserer Kulturpflanzen ein (Ausnahmen sind Zucker- und Futterrüben und Kreuzblütler wie der Raps). Dank der Pilzfäden (Hyphen) wird die Oberfläche des pflanzlichen Feinwurzelwerks vergrößert und so die Nährstoff- und Wasseraufnahme aus dem Boden verbessert. Ebenso fördert das Geflecht der Pilzfäden die Stabilität der Bodenstruktur. Unter den Standortbedingungen auf Burgrain zeigten die bis jetzt durchgeführten Untersuchungen keine anbausystembedingten Unterschiede im Kolonisierungspotenzial dieser nützlichen Pilze.

Unkräuter

Mit regelmässigen Bestandesaufnahmen der Unkräuter in den Ackerkulturen und der Bestimmung des Unkrautsamenvorrats im Boden wurden der Erfolg der Unkrautbekämpfung und die Entwicklung der Unkrautbestände in den drei Anbausystemen untersucht. Die stärkere Verunkrautung in den Bio-Parzellen wirkte sich am ehesten im Raps ertragsmindernd aus. Mit zunehmender Dauer der Bio-Bewirtschaftung nahm die Vielfalt der Unkräuter gegenüber den herbizidbehandelten IP-Parzellen jedoch zu. Vor allem breiteten sich in den Bio-Äckern auch Problemarten mehr und mehr aus, vor allem die schwierig zu bekämpfende Gemeine Quecke. Seltene Ackerunkräuter fanden sich auch nach 18 Jahren Herbizidverzicht nicht. Dies ist nicht verwunderlich, weil solche Unkräuter zu Versuchsbeginn als auch in der näheren Umgebung weitgehend fehlten.

Mit Direktsaat weniger Blackenkeimlinge

Die Bio-Kunswiesen wurden ab 1998 in acht von zehn Jahren ohne Bodenbearbeitung im Direktsaat-Verfahren angesät (Abb. 16). Dies verbesserte gegenüber den mit

Pflug oder Grubber gelockerten Böden in den IP-Systemen die Tragfähigkeit und Befahrbarkeit vor allem im Ansaatjahr deutlich. Allerdings konnten mit Direktsaat die Fahrspuren des Mähdeschers und etablierte Unkräuter – vor allem Rispengräser und Blacken – nicht aus der Vorkultur Gerste beseitigt werden. Waren diese Fahrspuren zu tief, musste auf die Direktsaatmethode verzichtet werden. Die direkt gesäten Bio-Kunstwiesen wiesen in der Folge teilweise einen höheren Anteil unerwünschter Pflanzen wie Gewöhnliches und Einjähriges Rispengras, Quecke und Löwenzahn sowie mehr Lücken auf. Dafür liefen viel weniger Blackenkeimlinge auf als bei Ansaat mit Bodenbearbeitung. So reduzierte sich der Gesamtaufwand für das Blackenstechen in den zweijährigen Kunstwiesen von über 50 auf durchschnittlich etwa 10 Arbeitsstunden pro Hektare und Jahr. Die Kunstwiesen-Ansaaten in *IPintensiv* und *IPextensiv* wurden zur Bekämpfung der zahlreichen Blackenkeimlinge jeweils erfolgreich mit dem Herbizid MCPB (4–6l/ha) behandelt.

Pflanzenkrankheiten, Schädlinge und Nützlinge

Der Schutz der *IPintensiv*-Getreidekulturen vor Pilzkrankheiten und Lagerung wirkte sich an diesem niederschlagsreichen Standort sehr positiv auf den Ertrag aus – ausgeprägt bei Gerste und etwas weniger stark beim Winterweizen. Von 2004 bis 2008 wurde der nach Silomais angebaute Winterweizen (Sorten: Runal, Ludwig, Siala) eingehend auf Krankheiten untersucht. Wie erwartet, begünstigte der pfluglose Anbau des *IPextensiv*-Weizens

den Befall mit Fusarien (v. a. *F. graminearum*) und die daraus resultierende Mykotoxin-Belastung mit Deoxynivalenol (DON). So lag im *IPextensiv*-Weizen der mittlere DON-Gehalt (2006–2008) bei 1,53mg/kg Körner (DON-Grenzwert: 1,25mg/kg Körner) gegenüber 0,44mg in *IPintensiv* und 0,14mg in Bio. Um vom Energie sparenden pfluglosen Anbau profitieren zu können, müssen die Kulturübergänge hinsichtlich Fusarien-Übertragung geprüft und Fusarien-tolerante Sorten gewählt werden.

Der Rapsglanzkäfer war mit Abstand der wichtigste Schädling in den angebauten Ackerkulturen. Er konnte nur im *IPintensiv*-Raps bekämpft werden (Abb. 17) und verursachte im Bio- und Extensiv-Anbau in Jahren mit massenhaftem Auftreten grosse Ertragseinbußen.

Probleme mit Schnecken gab es kaum, auch nicht im Bio-Raps. Nur wenn der Boden nicht ganzflächig bearbeitet wurde, wie bei der Mais-Streifenfrassaat, konnten deutliche, aber kaum ertragsmindernde Frassspuren beobachtet werden.

In den Sommermonaten 1997 bis 2002 wurde in Sommergerste, Winterweizen und Körnermais das Vorkommen von Laufkäfern, Kurzflüglern und Spinnen mittels Bodenfallen untersucht. Unter diesen vorwiegend räuberisch lebenden Insekten- und Spinnenarten befinden sich viele Nützlinge, die in landwirtschaftlichen Kulturen verschiedene Schadinsekten erbeuten. Die Aktivitätsdichten dieser Nützlinge waren in den *IPextensiv*- und Bio-Ackerflächen meistens höher als in den *IPintensiv*-Parzellen. Vor allem

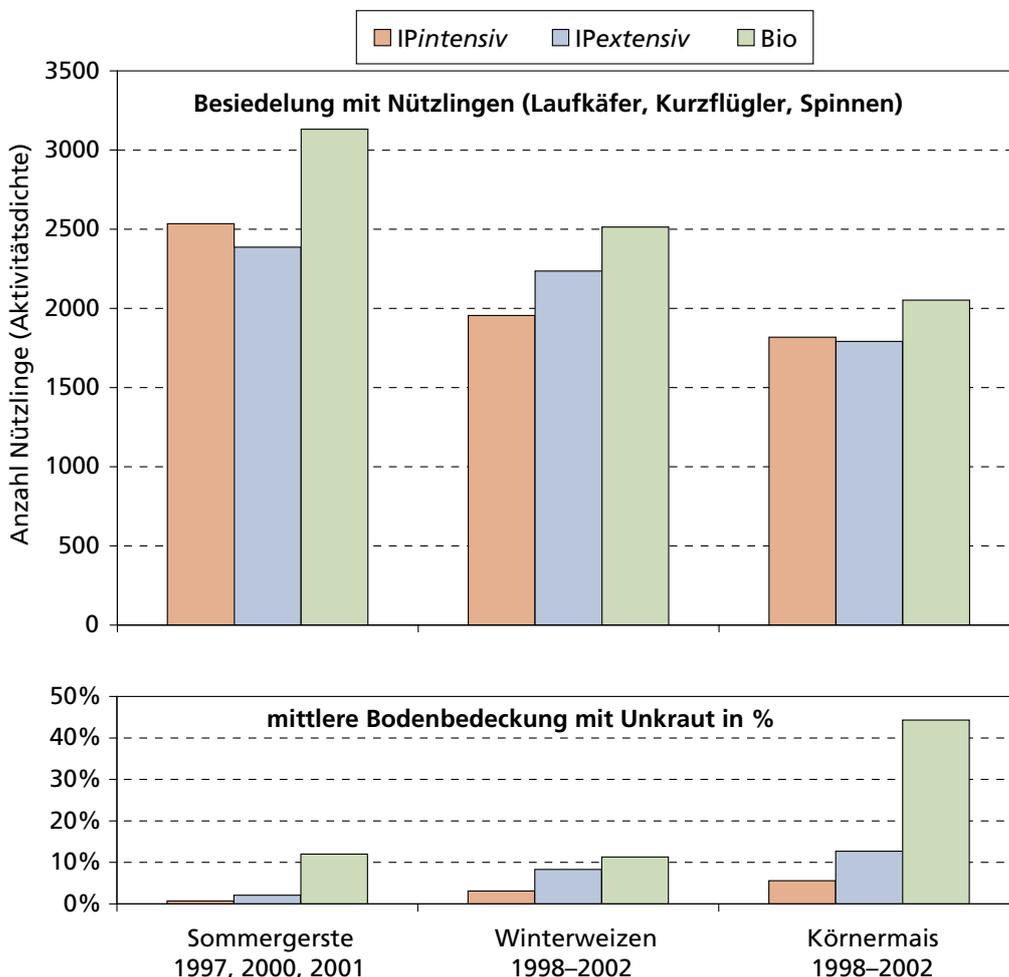


Abb. 18: Gesamtaktivitätsdichte der Nützlinge bestehend aus durchschnittlich 57% Laufkäfern, 24% Kurzflüglern und 19% Spinnen in den drei Anbausystemen in Abhängigkeit der Bodenbedeckung mit Unkräutern. Diese mehrjährigen Mittelwerte basieren auf fünf Fangwochen mit je fünf Bodenfallen pro Anbausystem während der Hauptvegetationszeit von Sommergerste, Winterweizen und Körnermais.

der höhere Unkrautbesatz in Bio und teilweise auch in IP*extensiv* scheint das Nützlingsvorkommen gefördert zu haben (Abb. 18). Von den 53 gefangenen Laufkäfer-Arten galten aber keine als gefährdet (Rote Liste).

Ökobilanzierung

Mit der Ökobilanzierungsmethodik SALCA von ART wurden die Umweltwirkungen wie zum Beispiel Energiebedarf, Treibhauspotenzial oder Ökotoxizität der drei Anbausysteme für die Fruchtfolge-Periode 1997 bis 2002 analysiert (Nemecek *et al.* 2005). Betrachtet pro Hektare Anbaufläche lagen die meisten Umweltlasten in IP*intensiv* am höchsten, in Bio dagegen am tiefsten. Bezogen auf 1 kg TS Ernteprodukt waren die Unterschiede zwischen den Systemen geringer, weil die tiefere Anbauintensität in IP*extensiv* und Bio auch mit verminderten Erträgen einherging. Die Umstellung auf Schleppschlauchtechnik beim Gülle reduzieren die Ammoniakemissionen deutlich. Der Energiebedarf wurde vom Maschineneinsatz dominiert. Da dieser in den drei Systemen sehr ähnlich war, gab es nur geringe Systemunterschiede im Energieinput. Den höchsten Energiebedarf hatten Körnermais (wegen der Trocknung der Körner) und Kartoffeln (wegen des intensiven Maschineneinsatzes und der energieaufwändigen Pflanzgutproduktion). Der Energiebedarf pro kg TS Weizenkörner war mit 1,85 MJ in IP*intensiv* nur halb so hoch wie der Durchschnittswert für die

Schweiz, der bei 3,7 MJ liegt. Hauptgrund war das gute Nährstoffnachlieferungsvermögen der Burgrain-Böden, das zu einem geringen Einsatz von Mineraldüngern führte (z. B. kein Gebrauch von phosphor- und kaliumhaltigen Mineraldüngern). Vor allem mit reduzierter Bodenbearbeitung – wie in IP*extensiv* von 2003 bis 2008 praktiziert – könnten einige der Umweltbelastungen weiter verringert werden.

Abschlussbewertung

Aus allen Erhebungen in diesem Langzeitversuch am Standort Burgrain kann das in Tabelle 5 dargestellte Stärke-/Schwächeprofil der drei Anbausysteme abgeleitet werden.

Für einen nachhaltigen Ackerbau empfiehlt es sich, folgende Elemente zu berücksichtigen:

- Äcker auf geeigneten Standorten (Klima, Boden, Hangneigung) anlegen
- Bewirtschaftung durch Personen mit Fachkenntnissen und guter Beobachtungsgabe
- Abstimmen von Tierhaltung und Pflanzenproduktion (angepasster Viehbesatz bzw. Hofdüngeranfall, Kunstwiesen in der Fruchtfolge)
- Einhaltung einer hinsichtlich Krankheitsübertragung optimierten Fruchtfolge
- schonendes Befahren und Bearbeiten des Bodens in nicht

Tab. 5: Stärke-/Schwächeprofil der drei Anbausysteme am Standort Burgrain.

Kriterium	Kultur / Kennwert	IP <i>intensiv</i>	IP <i>extensiv</i>	Bio
Naturalertrag	Winterweizen	++(+)	++(+)	+++
	Futtergetreide	++(+)	+(+)	++
	Kartoffeln, Raps	+++	++(+)	++(+)
	Mais, Kunstwiesen*	+++	+++	+++
Qualität und Marktwarenanteil	Winterweizen	+++	+++	+++
	Futtergetreide	++	+	+
	Kartoffeln	++	+(+)	+(+)
	Raps, Mais, Kunstwiesen	+++	+++	+++
Ertragsstabilität	Ackerkulturen	++	++(+)	++
Deckungsbeitrag	Ackerkulturen	++	++	+++
Arbeitsaufwand	Ackerkulturen	++(+)	++(+)	++
	Kunstwiesen	+++	+++	+(+)
Boden	Qualität Bodenstruktur	++(+)	++(+)	++(+)
	Mikrobiologische Aktivität*	+++	+++	+++
	Regenwürmer*	++(+)	+++	+++
Unkrautflora	Vielfalt	++	++	++(+)
	Unkrautdruck	+++	++(+)	++
Nützlinge	Laufkäfervorkommen in Ackerkulturen	++	++	++(+)
Ökobilanzierung	Energieverbrauch und andere Umweltwirkungen* (flächen- und produktbezogen)	++	+++	+++

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

+++	günstiger Wert
++(+)	
++	mittlerer Wert
+(+)	
+	ungünstiger Wert

- zu feuchtem Zustand; Bearbeitungsintensität wo möglich reduzieren
- 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 anstreben

Ein Grossteil dieser Elemente war auf dem gemischtwirtschaftlichen Betrieb Burgrain in allen Anbausystemen gegeben. Im Sinn einer nachhaltigen Pflanzenproduktion sind diese Massnahmen konsequent anzuwenden. Zudem ist eine regelmässige Überprüfung der Bodenstruktur sowie der Gehalte an Nährstoffen und Humus und des pH-Werts durchzuführen. Die Bemühungen der landwirtschaftlichen Praxis im Bereich Umweltschonung und Nachhaltigkeit sollten durch Forschung, Beratung, Agrarpolitik, Handel und Konsumentenschaft unterstützt und gefördert werden.

Schlussfolgerungen

Der Anbausystemversuch Burgrain hat gezeigt, dass unter Beachtung pflanzenbaulicher Grundsätze eine Qualitätsproduktion auch bei extensivem oder biologischem Anbau möglich ist. Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen (Direktzahlungen, Höhe der Produzentenpreise) ist der Bio-Ackerbau auf Burgrain sowohl dem intensiven als auch dem extensiven IP-Anbau wirtschaftlich überlegen. Die wirtschaftliche Überlegenheit des Bio-Systems beruht zu einem grossen Teil auf der hohen Bodenqualität am Versuchsstandort, der guten Nährstoffversorgung und der vielseitigen Fruchtfolge. Dank den guten Erträgen schneidet der Bio- und Extensiv-Ackerbau auch hinsichtlich der Umweltbelastungen besser ab als der in der Region übliche *IPintensiv*-Ackerbau. Die guten Erträge in allen drei Anbausystemen veranschaulichen deutlich, dass die Landwirtschaft für eine wirtschaftliche und umweltgerechte Produktion auf hochwertige Böden angewiesen ist.

Literatur

- Agroscope Reckenholz (Hrsg.), 2004. Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich – Anbausystemversuch Burgrain, Resultate aus 12 Jahren Forschung (1991–2002). Schriftenreihe der FAL 52, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich. 92 S.
- Nemecek T., Huguenin-Elie O., Dubois D., Gaillard G., 2005. Ökobilanzierung von Anbausystemen im schweizerischen Acker- und Futterbau. Schriftenreihe der FAL 58, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich. 156 S.
- Walther U., Ryser J.-P., Flisch R., 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. Agrarforschung 8 (6), 1–80.