



Ökobilanz von Energieprodukten: Bewertung der landwirtschaftlichen Biomasse-Produktion

Autoren

Thomas Kägi, geboren am 5.2.1978 in Interlaken, dipl. Umw.-Natw. ETH Zürich, seit 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon. Arbeitsgebiete: Ökobilanzierung von Biomasse für Bioenergieträger, Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft, Öko-Inventare der Landwirtschaft.

Ruth Freiermuth Knuchel, geboren am 2.11.1977 in Basel, dipl. Umwelt-Ing. ETH Zürich, seit 2004 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Arbeitsgebiete: Methodenentwicklung für die Sachbilanz (Nitrat Auswaschung, Schwermetallaustrag) und die Wirkungsabschätzung (Biodiversität und Bodenqualität). Ökobilanzierung von Biomasse für Bioenergieträger.

Thomas Nemecek, geboren am 3.4.1962 in Ostrava (Tschechische Republik), dipl. Ing. Agr. ETH Zürich, Dr. sc. techn. (ETH Zürich), seit 2000 Projektleiter Ökobilanzen an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Arbeitsschwerpunkte: Ökoinventar-Datenbanken (SALCA und ecoinvent), Ökobilanzierung von Anbausystemen und Tierproduktionssystemen, betriebliche Ökobilanzierung in der Landwirtschaft, Entwicklung von Werkzeugen für die Ökobilanzierung.

Gérard Gaillard, geboren am 9.4.1963 in Lausanne, dipl. Ing. génie rural EPF Lausanne, Dr. sc. Techn. (EPF Lausanne), seit 2000 Gruppenleiter Ökobilanzen an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Arbeitsgebiet: Ökobilanzierung in der Landwirtschaft (Methode, Daten, Anwendungen und Tools).

Danksagung

Wir möchten uns bei den drei Bundesämtern BAFU, BFE und BLW für die Finanzierung dieser Studie bedanken. Wir danken auch der Steuerungsgruppe und der Projektleitung für die gute Zusammenarbeit und die konstruktiven Feedbacks. Ein besonderes Dankeschön gilt Herrn Krummenacher (im Auftrag der Alcosuisse), der uns bei den Daten zu Kulturen für Bioethanol tatkräftig unterstützt hat.

Vorspann

Biotreibstoffe aus landwirtschaftlicher Biomasse sind stark im Kommen. Mittels Ökobilanz wird untersucht, wie die Biomasse möglichst umweltfreundlich produziert werden kann und welche Optimierungsmassnahmen sich dabei anbieten.



Abstract

The goal of this study is to analyse the following four points by means of a life cycle assessment (LCA): a) How to produce environment-friendly agricultural biomass for bioenergy? b) What is the environmental advantage of organic over integrated farming? c) Which criteria are crucial for the ecological assessment of the agricultural production? d) What is the potential for ecological optimisation? The LCA was carried out using the SALCA-methodology (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) of Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station (ART). The system boundary was set at the farm gate. The respective functional unit was kg dry matter of harvested products. The study shows the importance of an integrative resource, nutrient and pollutant management to develop environment-friendly production systems. Extensive grassland has the lowest environmental impact yet demands large areas. Organic farming uses less energy and pesticides but generates higher nutrient emissions than integrated farming. The main axes of optimisation, depending on the arable crop, are the reduction of the use of machinery, fertilisers and pesticides.

Keywords

Life Cycle Assessment, energy crops, organic farming, integrated production, environmental impact, SALCA,

1 Einleitung

Die Nutzung von Bioenergie aus landwirtschaftlicher Biomasse stösst sowohl in der Öffentlichkeit als auch in der Industrie auf steigendes Interesse. Politische Entscheide zur steuerlichen Begünstigung dieser Energieerzeugung stehen an. Die Bioenergie-Märkte in der EU entwickeln sich entsprechend dynamisch.

Die Strategie der langfristigen Energiepolitik der Schweiz eröffnet auch der Landwirtschaft interessante Perspektiven, zumal durch die WTO-Verhandlungen davon auszugehen ist, dass die Preise für Nahrungsmittel vorderhand weiter sinken werden, während der zunehmende Energieverbrauch die Preise für fossile Energieträger weiter in die Höhe treibt. Die Ausschöpfung des landwirtschaftlichen Potenzials im Energiebereich hängt dabei primär von den Preisen und den politischen Rahmenbedingungen ab. Mit der Produktion von Biomasse als Energieträger bietet sich für unternehmerische Landwirte ein interessanter Produktionszweig.

Im Rahmen des Projekts „Ökobilanz von Energieprodukten“ der schweizerischen Bundesämter für Energie (BFE), Umwelt (BAFU) und Landwirtschaft (BLW), welches in der politischen Diskussion im Bereich Energie-, Umwelt- und Klimapolitik gesicherte Entscheidungsgrundlagen bereitstellen soll, analysiert die vorliegende Studie die landwirtschaftliche Produktion von Biomasse zur Bereitstellung von Biotreibstoffen mittels Ökobilanz. Im Zentrum der Untersuchung stehen die Bewirtschaftungsaktivitäten des Landwirts wie Landbauform, Anbauintensität, Wahl der Kultur und Düngerform. Diese haben einen direkten Einfluss auf die Umweltwirkung der landwirtschaftlichen Produktion. Dabei soll folgenden Fragen nachgegangen werden:

- Wie ist die biologische im Vergleich zur integrierten Produktion (IP) zu bewerten?
- Wie kann Biomasse am ökologischsten produziert werden?



- Welches sind die relevanten Kriterien?
- Wo liegen die ökologischen Optimierungspotenziale?

Zum Untersuchungsrahmen gehört die landwirtschaftliche Produktion einschliesslich der Bereitstellung der Produktionsmittel (z.B. Düngerherstellung) und des Transports der Ernte zum Hoftor, wobei jeweils für jede untersuchte Kultur der Zeitraum nach der Ernte der Vorkultur bis zur Ernte der Hauptkultur berücksichtigt wird. Die Umwandlung der Ernteprodukte in Bioenergieträger und deren Nutzung sind nicht Gegenstand dieser Studie. Der Leser wird auf die Studie der EMPA (Zah et al. 2006) verwiesen.

Methode der Ökobilanzierung

Was ist eine Ökobilanz?

Die Ökobilanz ist eine Managementmethode, welche die potenziellen Umweltwirkungen eines Produkts oder einer Dienstleistung durch die Analyse des gesamten Lebenszyklus, von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung oder Wiederverwertung der Abfälle, quantifiziert und bewertet. Die Methode ist in den ISO-Normen 14040 und 14044 beschrieben (ISO 2006a und 2006b). Es werden vier Phasen unterschieden:

1. *Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens (Systemgrenzen)*
2. *Sachbilanz (Berechnung der Emissionen und des Ressourcenverbrauchs)*
3. *Wirkungsabschätzung (in dieser Studie anhand der Wirkungskategorien Energieverbrauch, Treibhauspotenzial, Ozonbildungspotenzial, Versauerung, Eutrophierung, Human- sowie terrestrische und aquatische Ökotoxizität, Bodenqualität und Biodiversität)*
4. *Interpretation (Aufzeigen von methodischen Grenzen und Ableitung von Empfehlungen)*

Ökobilanzmethode SALCA

Die Ökobilanzmethode der ART mit Namen SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Method) wurde mit dem Ziel entwickelt, allen Interessierten ein auf landwirtschaftliche Gegebenheiten angepasstes Verfahren anzubieten. Sie besteht aus eigenen Entwicklungen für spezifische Emissionen (Nitratauswaschung, Schwermetallflüsse oder Methanemissionen) und Wirkungskategorien (Bodenqualität und Biodiversität) sowie aus einer Auswahl bekannter Wirkungsabschätzungsmodelle für die Anwendung der Ökobilanzierung auf landwirtschaftliche Prozesse.

Für weiterführende Beschreibungen siehe www.art.admin.ch/themen/00617/index.html?lang=de



2 Rahmen und Methodik

Die Analyse bezieht sich auf 10 Ackerkulturen und den Grasanbau (siehe Tabelle 1). Für die Beantwortung der gestellten Fragen werden die Einflüsse der Produktionsregion (Tal, Hügel, Berg), der Landbauform (integriert und biologisch) sowie der Düngermengen und -formen untersucht. Bei der integrierten Produktion von Getreide und Raps werden zudem je eine Variante mit intensivem und mit extensivem Pflanzenschutz unterschieden. Die letztere entspricht der sogenannten „Extenso“-Produktion, welche auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren verzichtet und in der Schweiz mit speziellen Beiträgen gefördert wird. Beim Grasanbau umfasst die Analyse eine intensive und eine extensive Variante.

Die Bilanzierung der Umweltwirkungen erfolgt unter Berücksichtigung einer Bezugsgrösse, der sogenannten funktionellen Einheit (fE). Für die vorliegende Studie dient 1 kg Trockensubstanz (TS) als fE, d.h. die Umweltwirkungen der Kulturen und der verschiedenen Anbauformen werden auf 1 kg TS ab „Hofator“ bezogen. Bei den Ölkulturen kommen 1 kg im Erntegut enthaltenes Öl und bei den Kulturen für Bioethanol 1 kg im Erntegut enthaltene Stärke als fE zum Einsatz. Damit bezieht sich die vorliegende Studie auf die produktive Funktion der Landwirtschaft (vgl. Abschnitt 4.1).

Die Sachbilanz, d.h. die Zusammenstellung aller Rohstoffe und Emissionen, welche bei der Produktion der jeweiligen Biomasse benötigt werden bzw. entstehen, basiert auf folgenden Datenquellen:

- Die Kennzahlen der Bewirtschaftung wurden der FAL-Schriftenreihe 58 (Nemecek et al. 2005) entnommen. Dabei handelt es sich um für den Acker- und Futterbau repräsentative Erhebungen der typischen Kulturen für die Nahrungsmittelproduktion (Nemecek & Erzinger 2005). Die Daten wurden gegenüber der ecoinvent Version 1.3 aktualisiert.
- Die Ökoinventare stammen aus der ecoinvent-Datenbank Version 1.2, einem Update der Version 1.1 (Frischknecht et al. 2004a) und der SALCA-Datenbank (Nemecek et al. 2004; Nemecek & Erzinger 2005).

Die Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung werden mit dem von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) entwickelten Ökobilanzierungs-Werkzeug SALCA-Kultur Version 2.02 berechnet. Für die Allokation zwischen Körnern und Stroh bei Getreide kommt das ökonomische Prinzip zur Anwendung (Nemecek et al. 2005, S. 27).

Die Integrierte Produktion (IPint) erfüllt die Kriterien des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN, vgl. schweizerische Direktzahlungsverordnung vom 7.12.1998): ausgeglichene Nährstoffbilanz, ökologische Ausgleichsflächen, geregelte Fruchtfolgen und gezielter Pflanzenschutz. Die Extenso-Produktion von Getreide und Raps (IPext) verzichtet zudem auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren. Die wichtigsten Unterschiede des biologischen Landbaus zu der IP sind in dieser Studie der Verzicht auf chemisch-synthetische Mineraldünger und Pestizide. Die verwendeten Anbaudaten basieren grösstenteils auf Modellkulturen, welche sich aus durchschnittlichen Produktionsverfahren der letzten Jahre herleiten (Nemecek & Erzinger 2005). In sämtlichen biologischen Anbauvarianten kommen ausschliesslich Hofdünger zum Einsatz. Bei Szenarien der integrierten Produktion (IP) dominiert die Mineraldüngung (Anteile über 75% der Stickstoffdüngung). Ausnahmen bilden die Kartoffeln, die Zuckerrüben und der Silomais, bei denen der Anteil der



organischen Düngung über 40% des verfügbaren Stickstoffs ausmacht. Beim Getreide wird angenommen, dass rund die Hälfte des Stroh auf dem Acker verbleibt. Bei den anderen Kulturen, z.B. bei den Zuckerrüben, verbleiben sämtliche Ernterückstände auf dem Feld. Beim Silomais wird die ganze Pflanze geerntet sowie der Silierprozess mitberücksichtigt. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Produktionsdaten der Kulturen aufgelistet. Eine detaillierte Übersicht findet man in Nemecek et al. (2005).

Tabelle 1: Wichtigste Produktionskennzahlen für Kulturen aus Nemecek et al. (2005), welche für die Produktion von Biotreibstoffen gemäss Zah et al. (2006) und Jungbluth *et al.* (2006) in der Schweiz in Frage kommen. Die Daten beziehen sich auf das Talgebiet.

Einheit	Landbauform Intensivität	Energieträger	Ertrag Hauptprodukt kg TS / ha	Umrechnungsfaktor TS zu Stärke od. Öl kg St. od. Öl / kg TS	N-Mineraldünger netto g Nverf / l / kg TS	Gülle kg / kg TS	Mist mg / kg TS	Pestizide Tot Anz.	Durchg. Feldspritze Anz.	Mechanische Einsätze Anz.	Anzahl Nutzungen
Winterweizen IPint	IP intensiv	Ethanol	5461	0.71	24.9	0.60	0.02	490	3.4	7	
Winterweizen IPext	IP extensiv	Ethanol	4509		25.3	1.82	0.22	290	1	7	
Winterweizen BIO	Bio	Ethanol	3459		0.0	14.17	1.73	0	0	9	
Wintergerste IPint	IP Intensiv	Ethanol	5803	0.71	19.0	1.17	0.31	490	2.7	7	
Wintergerste IPext	IP extensiv	Ethanol	4593		19.8	1.68	0.07	350	1.2	7	
Wintergerste BIO	Bio	Ethanol	3530		0.0	11.13	1.36	0	0	9	
Winterroggen IPint	IP intensiv	Ethanol	6409	0.71	12.5	1.06	0.28	440	2.7	7	
Winterroggen IPext	IP extensiv	Ethanol	5074		16.2	1.52	0.06	320	1.2	7	
Winterroggen BIO	Bio	Ethanol	3546		0.0	9.93	1.21	0	0	9	
Kartoffeln IP	IP	Ethanol	8309	0.64	7.7	1.58	1.65	1150	6.8	10	
Kartoffeln BIO	Bio	Ethanol	5040		0.0	2.08	2.64	340	4.4	11	
Zuckerrüben	IP	Ethanol	16631	0.74	3.6	0.79	0.54	200	4.4	8	
Körnermais IP	IP	Ethanol	7980		13.8	1.48	0.98	200	1.7	6	
Körnermais BIO	Bio	Ethanol	6688		0.0	6.94	2.75	0	0	6	
Silomais IP	IP	Biogas	17208	0.70	5.0	1.38	0.69	60	1	7	
Silomais BIO	Bio	Biogas	13766		0.0	2.83	1.12	0	0	9	
Winterraps IPint	IP intensiv	Methylester	2926	0.42	35.9	2.90	1.88	830	3.5	5	
Winterraps IPext	IP extensiv	Methylester	2522		27.0	9.67	3.73	1110	1.9	5	
Winterraps BIO	Bio	Methylester	1901		0.0	10.52	15.78	0	0	7	
Sonnenblumen	IP	Methylester	2962	0.43	24.6	0.00	0.00	1350	1	5	
Soja IP	IP	Methylester	2610	0.18	1.9	3.60	0.84	1080	1.2	5	
Soja BIO	Bio	Methylester	2497		0.0	1.56	1.08	0	0	7	
Dauerwiese IP	IP intensiv	Biogas, Ethanol	11676	0.24*	2.5	6.68	0.00	0	0	25.5	5
Dauerwiese BIO	Bio intensiv	Biogas, Ethanol	9924		0.0	6.85	0.00	0	0	24.7	5
3j. Kunstwiese IP	IP intensiv	Biogas, Ethanol	10650	0.24*	2.3	6.87	0.00	0	0	24.4	4.5
3j. Kunstwiese BIO	Bio intensiv	Biogas, Ethanol	9585		0.0	6.81	0.00	0	0	24.0	4.5
Extensive Wiese	extensiv	Biogas, Ethanol	2702	0.24*	0.0	0.00	0.00	0	0	8.5	1

*Bei Gras ist nicht der Stärkegehalt sondern andere Zuckerarten entscheidend. Zu Vergleichszwecken werden die Stärkeäquivalentwerte der Ethanolausbeute angegeben (pers. Mitteilung P. Krummenacher, Okt. 2006).

SALCA berücksichtigt 10 Wirkungskategorien (vgl. Kasten). Auf eine Normalisierung oder Gewichtung wird verzichtet. Wirkungskategorien, welche statistisch untereinander korrelieren, werden gruppiert (Rossier & Gaillard, 2004; Nemecek et al. 2005, S. 42ff), was erlaubt, sich bei der Diskussion auf einzelne Wirkungskategorien zu beziehen:

- Ressourcen-Management: Bedarf an nicht-erneuerbaren Energieressourcen (EB) gemäss ecoinvent-Methodik (Frisknecht et al. 2004b), Treibhauspotenzial (THP) nach IPCC (2001), Ozonbildungspotenzial (OBP) gemäss EDIP 97 (Hauschild & Wenzel 1998)



- Nährstoff-Management: Eutrophierungspotenzial (EP), d.h. Anreicherung von Stickstoff und Phosphor und Versauerungspotenzial (VP) für empfindliche Ökosysteme, beide gemäss EDIP 97 (Hauschild & Wenzel 1998)
- Schadstoff-Management (v.a. Pestizide und Schwermetalle): Humantoxizität (HT) nach CML01 (Guinée et al. 2001), aquatische und terrestrische Ökotoxizität (AqÖ und TeÖ) gemäss EDIP 97 (Hauschild & Wenzel 1998) und CML01 (Guinée et al. 2001)
- Biodiversitäts-Management: flächenbezogene Betrachtung der gesamten Artenvielfalt und des Vorkommens von Arten mit hohen ökologischen Anforderungen nach Jeanneret et al. (2006)
- Bodenqualitäts-Management: flächenbezogene Betrachtung der physikalischen, chemischen und biologischen Indikatoren gemäss Oberholzer et al. (2006).

Für die Auswertung fällt die Beurteilung (günstiger, ungünstiger etc.) für die verschiedenen Umweltwirkungen wegen unterschiedlicher Variabilität und Unsicherheit anders aus (Details siehe in Nemecek et al. 2005, S. 57ff). Ein tieferer Wert ist prinzipiell günstiger, ausser bei der Biodiversität (BD), bei der eine hohe Punktzahl besser ist. Die farbliche Einteilung dient dem besseren visuellen Verständnis der Grafiken.

3 Ergebnisse der Ökobilanz

3.1 Integrierte Produktion (IP) im Vergleich mit Biolandbau

Im Vergleich mit der integrierten Produktion (IP) weist der Biolandbau pro kg TS (vgl. Tabelle 2) einen geringeren Energiebedarf (EB) auf, der vor allem auf den Verzicht auf Mineraldünger zurückzuführen ist. Eine Ausnahme bilden die Bio-Kartoffeln. Deren Erträge sind zu tief, um eine ökologisch effiziente Produktion zu ermöglichen. Bei Gras sind die Unterschiede zwischen den Landbauformen gering. Bei dem Treibhauspotential (THP) und dem Ozonbildungspotential (OBP) werden für biologisch produzierte Getreide, Kartoffeln und Raps hingegen höhere Werte festgestellt. Der Hauptgrund liegt einerseits im teilweise intensiveren Maschineneinsatz, da für das OBP die Traktoremissionen die Hauptrolle spielen, und andererseits in den erhöhten Hofdüngergaben, welche hohe Emissionen von aus Ammoniak und Nitrat induziertem Lachgas zur Folge haben. Bei Soja, Gras und Mais sind keine Unterschiede feststellbar.

Beim Eutrophierungs- und Versauerungspotential (EP und VP) schneidet der Biolandbau im Vergleich zu IP durchwegs ungünstiger ab mit Ausnahme von Soja und den Wiesen. Auch hier wirkt sich der häufigere Hofdüngereinsatz mit den damit verbundenen höheren Ammoniakverlusten negativ aus, da für die Versauerung Ammoniak die dominante Emission ist. Bei der Eutrophierung sind die Nitratverluste ausschlaggebend: Der Krankheits- und Schädlingsbefall führt bei einzelnen Kulturen zu einer Verminderung der Stickstoff-Aufnahme im Biolandbau (wie auch bei der Extenso-Produktion), so dass das Risiko der Nitratauswaschung gegen die Ernte hin ansteigt.

Bei der Human- und Ökotoxizität (HT und ÖT) sind die Werte im Biolandbau bei allen Kulturen generell tiefer als in der IP. Bei der terrestrischen ÖT gilt dies sogar für die Bio-Kartoffeln trotz des Kupfereinsatzes zur Krautfäulebekämpfung. Da bei der angewandten Methode EDIP 97 (Hauschild & Wenzel 1998) Kupfer kaum ins Gewicht fällt, andere Methoden jedoch teilweise zu unterschiedlichen Schlüssen kommen (vgl. Nemecek et al. 2005), ist hier bei der Interpretation Vorsicht geboten. Beim



Grasland sind keine Unterschiede auszumachen, weil hier auch in der IP kaum Pestizide eingesetzt werden.

Die Biodiversität ist im Biolandbau positiver zu bewerten als in der IP. Dies liegt an der Förderung der Flora und Fauna durch den Verzicht auf Pestizide und dem tieferen Düngungsniveau. Bezüglich Bodenqualität verbessert die höhere organische Düngung im Biolandbau die Humusbilanz und die damit verbundenen Indikatoren. Die Regenwurmbiomasse kann hingegen durch den Gülleeinsatz beeinträchtigt werden (Hansen & Engelstad 1999), was sich beim Winterweizen negativ auswirkt.

Tabelle 2: Vergleich der Landbauformen pro Kultur bezogen auf die jeweilige IPint Variante. Die Wahl der Referenz hat keinen Einfluss auf das Resultat. Die Bodenqualität wird für die Grasanbauvarianten mangels methodischer Grundlagen nicht berücksichtigt. Dunkelgrün = viel günstiger, hellgrün = günstiger, orange = ungünstiger, rot = viel ungünstiger (Bsp: der EB von Winterweizen Bio entspricht nur 62% des EB von IPint und ist somit deutlich geringer).

Umweltwirkung	Winterweizen			Wintergerste			Winterroggen			Körnermais		Silomais		
	IPint Tal	IPext Tal	Bio Tal	IPint Tal	IPext Tal	Bio Tal	IPint Tal	IPext Tal	Bio Tal	IP Tal	Bio Tal	IP Tal	Bio Tal	
EB MJ-Äq./kg TS	3.7	106%	62%	3	113%	70%	2.6	118%	85%	2.1	31%	1.8	73%	
THP g CO ₂ -Äq./kg TS	692	117%	132%	605	121%	133%	484	122%	159%	565	90%	280	91%	
OBP mg C ₂ H ₄ -Äq./kg TS	122	113%	141%	107	118%	141%	93	119%	160%	86	103%	72	107%	
EP g N-Äq./kg TS	17.4	136%	215%	19.4	134%	177%	14.2	127%	221%	12.5	112%	4.0	113%	
VP g SO ₂ -Äq./kg TS	5.1	129%	429%	4.8	110%	371%	3.98	114%	410%	6.44	188%	4.199	166%	
TeÖ TeÖ-Punkte/kg TS	0.11	80%	5%	0.14	41%	4%	0.13	39%	4%	0.086	3%	0.035	10%	
AqÖ AqÖ-Punkte/kg TS	0.32	119%	30%	0.11	109%	80%	0.10	111%	87%	0.093	62%	0.066	62%	
HT HT-Punkte/kg TS	0.30	80%	18%	0.22	85%	24%	0.20	86%	26%	0.053	24%	0.078	81%	
BD aggregierte Punkte	7.5	112%	116%	7.5	112%	116%	7.5	112%	116%	6.1	111%	6.2	111%	
Bodenqualität	Grobporenvolumen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
	Aggregatsstabilität	--	--	0	-	--	0	-	--	-	+	+	+	+
	Corg-Gehalt	--	--	+	-	--	+	-	--	0	+	+	+	+
	Schwermetallgehalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Org. Schadstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Regenwurmbiomasse	-	-	--	0	0	0	-	-	-	0	0	+	+
	Mikrobielle Biomasse	--	--	0	-	--	0	-	--	-	0	+	+	+
	Mikrobielle Aktivität	--	--	0	-	--	0	-	--	-	0	+	+	+



Umweltwirkung	Soja		Winterraps			Kartoffeln		Dauerwiese Siloballen		3j. Kunstwiese Siloballen	
	IP Tal	Bio Tal	IPint Tal	IPext Tal	Bio Tal	IP Tal	Bio Tal	Int Tal	Int Bio Tal	Int Tal	Int Bio Tal
EB MJ-Äq./kg TS	5.1	76%	6.3	94%	44%	3.4	110%	1.5	87%	1.6	104%
THP g CO ₂ -Äq./kg TS	1532	97%	1304	103%	119%	653	117%	294	88%	340	102%
OBP mg C ₂ H ₄ -Äq./kg TS	218	87%	207	117%	123%	174	139%	90	100%	98	115%
EP g N-Äq./kg TS	25.9	102%	19.7	149%	152%	13.2	167%	5.8	97%	9.0	107%
VP g SO ₂ -Äq./kg TS	8.6	72%	14.4	147%	275%	8.3	135%	11.1	104%	11.5	118%
TeÖ TeÖ-Punkte/kg TS	0.212	5%	0.311	21%	2%	1.352	1%	0.004	73%	0.005	97%
AqÖ AqÖ-Punkte/kg TS	0.164	89%	1.891	173%	9%	0.113	142%	0.050	88%	0.051	104%
HT HT-Punkte/kg TS	0.117	70%	0.211	83%	15%	0.152	102%	0.030	79%	0.033	97%
BD aggregierte Punkte	6.8	112%	7.2	111%	115%	6.1	115%	6.1	110%	6.1	100%
Bodenqualität	Grobporenvolumen	-	-	-	-	-	0	0			
	Aggregatsstabilität	0	0	0	0	0	+	+			
	Corg-Gehalt	+	+	+	+	+	+	+			
	Schwermetallgehalt	0	0	0	0	0	0	-			
	Org. Schadstoffe	0	0	0	0	0	0	0			
	Regenwurmbiomasse	-	-	0	0	0	0	0			
	Mikrobielle Biomasse	0	0	0	0	0	+	0			
Mikrobielle Aktivität	0	0	0	0	0	+	0				

Die Auswertung pro kg TS zeigt für Getreide, Raps und Kartoffeln ähnliche Tendenzen auf: Ungünstigere Werte für den Biolandbau beim EP und VP (höhere Stickstoffemissionen) sowie beim THP (Lachgasemissionen) und OBP (Traktor bedingte Emissionen) und mindestens gleich gute oder bessere Werte in den anderen Umweltkategorien infolge des Verzichts auf Mineraldünger und Pestizide. Einzig der Anbau von Bio-Kartoffeln kann sich im Vergleich zu IP-Kartoffeln wegen der Anwendung von Kupfer negativ auf die Bodenqualität auswirken. Der Bioanbau von Körner- und Silomais hat nur beim VP schlechtere Werte wegen Ammoniakemissionen aus der Gülle, ansonsten ist seine Umweltlast gleich oder tiefer. Die biologische Produktion von Soja ist in allen Bereichen gleich gut oder günstiger als die IP. Für Zuckerrüben und Sonnenblumen sind keine Vergleiche möglich, da abgesicherte Daten nur für die IP vorhanden sind. Die biologische Bewirtschaftung von Grasland führt pro kg TS zu sehr ähnlichen Werten wie die IP.

Der Vergleich des Biolandbaus mit der IP zeigt somit, dass der Biolandbau für die Bioenergieproduktion aus ökologischer Sicht vor allem bei Soja sinnvoll ist. Abgesehen vom VP beim Mais und der terrestrischen ÖT sowie BD bei den Kartoffeln ist der Biolandbau auch bei Mais zu bevorzugen während bei Kartoffeln die IP vorzuziehen ist. Beim Grasland ist für die Bioenergieproduktion die IP-Variante vorzuziehen, da diese in der Regel 10-15% mehr Ertrag abwirft als der biologische Landbau und wenige Unterschiede in den Umweltwirkungen feststellbar sind. Der Biolandbau bei Getreide und Raps weist sowohl Vor- und Nachteile auf.

3.2. Produktionsintensität

Vergleicht man die Produktionsintensitäten, so schneidet die extensive Produktion von Getreide und Raps beim EB, THP, OBP, EP und VP etwas ungünstiger ab als die integrierte Produktion, da die Ertragseinbusse grösser ist als die Emissionseinsparung (siehe Tabelle 2). Der Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren bei Getreide und Raps führt zwar zu einer



reduzierten Toxizität. Da bei der Extenso-Produktion die Verwendung von Herbiziden jedoch erlaubt ist, ist die Umweltlast bei der HT und ÖT schliesslich nur wenig geringer, wenn überhaupt, als bei der integrierten Produktion. Die Biodiversität wird durch den Verzicht auf Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren allerdings gefördert. Die schlechtere Bodenqualität der IP Varianten bei Gerste und Roggen sind auf den unterschiedlichen Einsatz von Hofdüngern zurückzuführen.

Wie schon von Gaillard & Nemecek (2002) und Nemecek et al. (2005) ausgeführt, müssen in einer extensiven Produktion auch beim Einsatz von Düngern und Herbiziden Anstrengungen unternommen werden, um die negativen Auswirkungen auf die Umwelt weiter einzudämmen. Zwischen Pflanzenschutz- und Düngungsmassnahmen besteht zudem ein Zielkonflikt: Ein Verzicht auf Pestizidbehandlungen wirkt sich positiv auf die HT, ÖT und die Biodiversität aus. Resultiert dadurch jedoch ein markanter Ertragsverlust, erhöhen sich der Energiebedarf und die Nährstoffverluste pro kg TS. Andererseits kann eine hohe Düngermenge bewirken, dass die Pflanzen krankheitsanfälliger werden.

Extensiv bewirtschaftete Wiesen haben pro kg produzierte TS tiefere Umweltlasten als intensiv bewirtschaftete. Beim Grasanbau bringt eine mittlere Bewirtschaftungsintensität keine Vorteile, da die Reduktion der Umweltlast kleiner ist als der Ertragsverlust. Sowohl intensiv als auch extensiv bewirtschaftete Wiesen erbringen pro Produkteinheit günstigere Ergebnisse (Nemecek et al 2005).

3.3 Düngung: Form und Menge

Der Vergleich von mineralischen und organischen Düngern wurde ausführlich von Gaillard & Nemecek (2006) diskutiert. Sie zeigen, dass beide Formen Vor- und Nachteile aufweisen (vgl. Tabelle 3). Die Produktion von Mineraldüngern erfordert beträchtliche Mengen an fossiler Energie (vgl. Nemecek & Erzinger 2005) und erzeugt klimawirksame bzw. luftbelastende Emissionen von Kohlendioxid, Ammoniak und Lachgas. Ferner führt der Einsatz von mineralischem Phosphor- und Kalium-Düngern zu einem Abbau nicht erneuerbarer Ressourcen. Dahingegen treten bei der Lagerung und Ausbringung von Hofdüngern namhafte Verluste von Ammoniak auf, weshalb das VP erhöht ist. Ein intensiver Einsatz von organischen Düngern führt zudem zu einer erhöhten Nitratauswaschung und Eutrophierung. Bei mineralischen Düngern sind vor allem Verunreinigungen durch Cadmium und Chrom problematisch, während Hofdünger relativ hohe Gehalte an Zink und Kupfer aufweisen (Desaules & Studer 1993). Der Hofdünger hat einen positiven Einfluss auf die Bodenqualität, indem er die Humusbilanz und somit auch die Bodenstruktur und die mikrobielle Aktivität verbessert. Die Biodiversität ist ähnlich, da die Menge der Nährstoffe wichtiger als die Form ist.

Für die meisten Umweltwirkungen ist im Ackerbau eine mittlere Düngungsmenge optimal. Diese ist geringer als die praxisüblichen, empfohlenen Mengen und steht somit im Zielkonflikt mit möglichst hohen Erträgen.



Tabelle 3: Zusammenfassung der Umweltwirkungen der Hofdünger im Vergleich zu Mineraldüngern (gemäss Gaillard & Nemecek 2006). Wirkung der Hofdünger ist viel günstiger (++) , ähnlich (0) oder ungünstiger (-) als jene der Mineraldünger.

Ressourcen-Management	Nährstoff-Management	Schadstoff-Management	Bodenqualität	Biodiversität
++	-	0	++	0

3.4 Produktionsregion

Für Getreide, Mais, Kartoffeln und Grasland analysierten Nemecek et al. (2005, S. 95ff) die Produktionsregionen Tal, Hügel und Berg. Die Unterschiede sind im Vergleich zur anderen Faktoren (Landbauform, Produktionsintensität etc) eher gering. Der Anbau in höheren Lagen weist gleich grosse oder leicht zunehmende Umweltlasten pro kg TS auf verglichen mit der Produktion in Talflächen.

3.5 Wahl der Kultur

Nicht alle Kulturen sind aus ökologischer Sicht gleich gut geeignet, Biomasse für die Bioenergieerzeugung herzustellen. Für die Auswahl der Kulturen werden die IP-Varianten im Talgebiet miteinander verglichen, da die IP die häufigste Landbauform ist (BfS 2006) und ein umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung steht. Um die Umweltwirkungen auf die Produkte und Co-Produkte aufzuteilen, wird eine ökonomische Allokation angewendet basierend auf den Schweizer Preisen für die jeweiligen Produkte und Co-Produkte (Daten nach Jungbluth et al. 2006 und Streun 2006). Da eine Veränderung der Preise eine Veränderung der Umweltlast der Produkte bewirkt, haben die Resultate Gültigkeit, solange sich die Preise nicht markant ändern.

Vergleich von Kulturen für die Biogasherstellung

Pro produziertem kg TS verursachen intensiv bewirtschaftete Dauer- und Kunstwiesen ein höheres OBP wegen mehr Traktoremissionen durch intensiveren Maschineneinsatz und sie schneiden beim EP und VP infolge Ammoniak aus der Hofdüngerausbringung schlechter ab als Silomais (vgl. Tabelle 4). Bei der Toxizität sind die Werte dank einem geringeren Pestizideinsatz kleiner. Am ökologischsten ist die extensive Dauerwiese, die auch mit Abstand die meisten Biodiversitätspunkte vorweist. Die Konservierungsart ist hier Bodenheu, da sich die Daten auf die gängige Praxis im Futterbau beziehen. Gemäss Nemecek et al (2005, S. 106ff) sind die Umweltauswirkungen der Konservierungsart Silageballen und Bodenheu allerdings sehr ähnlich.



Tabelle 4: Vergleich der Produktion von für Biogas geeigneten Kulturen (siehe auch Legende Tabelle 2).

Umweltwirkung		Silomais IP Tal	Dauerwiese Siloballen Int Tal	3j. Kunstwiese Siloballen Int Tal	Dauerwiese Bodenheu Ext Tal
EB	MJ-Äq./kg TS	1.8	84%	92%	44%
THP	g CO ₂ -Äq./kg TS	280	105%	121%	30%
OBP	mg C ₂ H ₄ -Äq./kg TS	72	126%	137%	63%
EP	g N-Äq./kg TS	4.0	146%	226%	46%
VP	g SO ₂ -Äq./kg TS	4.2	265%	273%	9%
TeÖ	TeÖ-Punkte/kg TS	0.035	11%	15%	9%
AqÖ	AqÖ-Punkte/kg TS	0.066	76%	78%	38%
HT	HT-Punkte/kg TS	0.078	38%	43%	44%
BD	aggregierte Punkte	6.2	98%	98%	344%

Vergleich von Kulturen für die Herstellung von Bioethanol

Hackfrüchte belasten die Umwelt pro kg enthaltene Stärke im Erntegut weniger als Getreide (mehr Ertrag bei weniger Mineraldünger) mit Ausnahme der Kartoffeln (vgl. Tabelle 5). Hier fällt vor allem die hohe terrestrische ÖT auf (Krautvernichtungsmittel). Roggen ist das Getreide mit den geringsten Umweltwirkungen. Ferner erzielen die Getreide grundsätzlich mehr Biodiversitätspunkte. Zusammen mit Grasland besitzen die Zuckerrüben die tiefsten Umweltlasten. Die Zuckerrüben weisen trotz dem Bodenverdichtungsrisiko eine gute Bodenqualität auf, da einerseits der Anteil an organischem Dünger höher ist als beim Getreide und andererseits die Rübenblätter gänzlich auf dem Feld bleiben, was die Humusbildung fördert. Intensive Dauer- und Kunstweiden haben ihrerseits ein erhöhtes VP infolge des Hofdüngereinsatzes.



Tabelle 5: Vergleich der Produktion von für Bioethanol geeigneten Kulturen (siehe auch Legende Tabelle 2).

		Winterweizen IPint Tal	Wintergerste IPint Tal	Winterroggen IPint Tal	Kartoffeln IP Tal	Zuckerrüben IP Tal	Körnermais Corn-Cob-Mix IP Tal	Dauerwiese Siloballen Int Tal	3j. Kunstwiese Siloballen Int Tal	Dauerwiese Bodenheu Ext Tal
Umweltwirkung										
EB	MJ-Äq./kg Stärke	4.5	81%	69%	97%	36%	58%	40%	43%	21%
THP	g CO ₂ -Äq./kg Stärke	837	87%	70%	99%	42%	82%	42%	49%	12%
OBP	mg C ₂ H ₄ -Äq./kg Stärke	147	88%	77%	150%	50%	71%	73%	80%	37%
EP	g N-Äq./kg Stärke	21.0	111%	82%	80%	16%	72%	33%	51%	11%
VP	g SO ₂ -Äq./kg Stärke	6.2	94%	78%	171%	68%	127%	216%	222%	7%
TeÖ	TeÖ-Punkte/kg Stärke	0.1	127%	119%	1295%	109%	78%	3%	5%	3%
AqÖ	AqÖ-Punkte/kg Stärke	0.4	34%	32%	37%	28%	29%	15%	16%	8%
HT	HT-Punkte/kg Stärke	0.4	73%	65%	53%	11%	18%	10%	11%	11%
BD	aggregierte Punkte	7.5	100%	100%	81%	80%	81%	81%	81%	284%
Bodenqualität	Grobporenvolumen	-	-	-	0	0	0			
	Aggregatsstabilität	--	-	-	+	+	+			
	Corg-Gehalt	--	-	-	+	+	+			
	Schwermetallgehalt	0	0	0	0	0	0			
	Org. Schadstoffe	0	0	0	0	0	0			
	Regenwurmbiomasse	-	0	-	0	-	0			
	Mikrobielle Biomasse	--	-	-	+	0	0			
	Mikrobielle Aktivität	--	-	-	+	0	0			

Vergleich von Kulturen für die Herstellung von ölbasierten Biotreibstoffen (Methylester)

Pro kg enthaltenes Öl im Erntegut sind die Umweltwirkungen von Raps und Sonnenblumen im Vergleich mit Soja geringer oder etwa gleich hoch mit Ausnahme des Energiebedarfs der Sonnenblumen und der aquatischen ÖT (vgl. Tabelle 6). Im Gegensatz zu den beiden anderen Verwertungslinien gestalten sich detailliertere Aussagen schwierig, da gegenläufige Ergebnisse bei EB und aquatische ÖT auftreten, die unter anderem auch auf die ökonomische Allokation der Umweltwirkungen auf die Produkte und Co-Produkte zurückzuführen sind.



Tabelle 6: Vergleich der Produktion von für Biodiesel geeigneten Kulturen (siehe auch Legende Tabelle 2).

		IP Soja	Winterraps	Sonnenblumen
Umweltwirkung		Tal	IPint Tal	IP Tal
EB	MJ-Äq./kg Öl	15	86%	123%
THP	g CO ₂ -Äq./kg Öl	4506	60%	58%
OBP	mg C ₂ H ₄ -Äq./kg Öl	641	66%	87%
EP	g N-Äq./kg Öl	76.2	53%	62%
VP	g SO ₂ -Äq./kg Öl	25.3	117%	67%
TeÖ	TeÖ-Punkte/kg Öl	0.624	103%	32%
AqÖ	AqÖ-Punkte/kg Öl	0.482	806%	377%
HT	HT-Punkte/kg Öl	0.344	126%	142%
BD	aggregierte Punkte	6.8	106%	103%
Bodenqualität	Grobporenvolumen	-	-	-
	Aggregatsstabilität	0	0	0
	Corg-Gehalt	+	+	+
	Schwermetallgehalt	0	0	0
	Org. Schadstoffe	0	0	0
	Regenwurmbiomasse	-	0	-
	Mikrobielle Biomasse	0	0	0
	Mikrobielle Aktivität	0	0	0

4 Diskussion

4.1 Multifunktionalität der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft erfüllt verschiedene Funktionen für die Umwelt und die Gesellschaft. Die ursprünglichste ist die produktive Funktion, bei der es um die Bereitstellung von Nahrungsmitteln zur Versorgung der Bevölkerung geht. Mit der Thematik der Energieerzeugung aus landwirtschaftlicher Biomasse wird die produktive Funktion erweitert, wie die vorliegende Studie zeigt. Aus Sicht der Landwirte ist die finanzielle Funktion ebenfalls relevant, nämlich die Erwirtschaftung eines befriedigenden Einkommens. Im Interesse der Gesellschaft steht zudem die Funktion der Landbewirtschaftung zwecks Erhaltung der Produktionsbereitschaft und eines ansprechenden Landschaftsbildes sowie Erhaltung möglichst natürlicher Lebensgrundlagen. Diese drei Funktionen dienen in der landwirtschaftlichen Ökobilanzierung als Grundlage für die Wahl der Bezugsgrösse, der funktionellen Einheit (fE). Während für die Ökobilanz industrieller Güter die Wahl einer einzigen fE gängig ist (ISO 2006), werden für landwirtschaftliche Produkte oft mehrere gleichzeitig angewandt (Hayashi et al. 2005), weil dadurch die Multifunktionalität am sinnvollsten veranschaulicht wird. Im Kontext einer Erweiterung der produktiven Funktion auf die Energieerzeugung stehen für die vorliegende Studie die produktiven fE kg TS, kg Öl und kg Stärke im Vordergrund. Wäre jedoch die Funktion der Landbewirtschaftung das zentrale Anliegen, würden sich die Ergebnisse unterscheiden. So schneidet der Biolandbau verglichen mit der IP meist günstiger ab pro Fläche als pro kg TS, da sich die geringeren Erträge im Biolandbau pro Fläche nicht auswirken (Nemecek et al. 2005).



4.2 Systemgrenze Fruchtfolge

Nemecek et al. (2005) haben gezeigt, wie entscheidend die Wahl der zeitlichen Systemgrenzen für die Aussage ist. So kann die Betrachtung einer einzelnen Kultur zu anderen Schlüssen bezüglich der Anbauform und -intensität führen, als wenn eine ganze Fruchtfolge analysiert wird. Durch die Bilanzierung ganzer Fruchtfolgen wird berücksichtigt, dass die einzelnen Kulturen sich gegenseitig beeinflussen und erst durch die geschickte Kombination eine optimierte Produktion möglich ist. So führt z.B. die Stickstofffixierung durch Körnerleguminosen oder die Einarbeitung von Ernterückständen zu Vorteilen bei der Düngung, welche nur auf Stufe Fruchtfolge sinnvoll quantifiziert werden können. Die Sicherstellung einer möglichst kontinuierlichen Bodenbedeckung vermindert die Nährstoffverluste. Ferner werden die Wirkungen in den Bereichen Bodenqualität und Biodiversität erst mit längeren Betrachtungshorizonten erfassbar. Die ökologische Gestaltung von Fruchtfolgen für die Bioenergieerzeugung wurde bis jetzt unseres Wissens nicht untersucht und sollte Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte sein.

4.3 Relevante Kriterien für eine ökologische Bewertung

Wie im Abschnitt 2 erläutert, korrelieren die Ergebnisse der Wirkungskategorien teilweise untereinander, da sie entweder von den gleichen Emissionen oder durch dieselben Produktionsmittel und Prozesse bestimmt werden. Aus dieser Erkenntnis haben Nemecek et al. (2005) das Management-Dreieck von Anbausystemen (Abbildung 1) abgeleitet. Dadurch werden die drei wesentlichen Handlungsachsen des Bewirtschafters sichtbar, nämlich das Management der Ressourcen, der Nährstoffe und der Schadstoffe. Für die Biodiversität und die Bodenqualität drängt sich eine gesonderte Betrachtung auf, weil sie von den drei Achsen beeinflusst werden. Während bei der Bodenqualität vor allem der Einsatz an organischen Düngern, das Management der Ernterückstände und die Verwendung schwerer Landmaschinen dominieren, sind für die Biodiversität mechanische Eingriffe wie die Bodenbearbeitung, Unkrautregulierung oder Wiesenmahd zentrale Einflussfaktoren. Das Düngungsniveau und der Pestizideinsatz spielen ebenfalls eine wichtige Rolle für die Artenvielfalt.

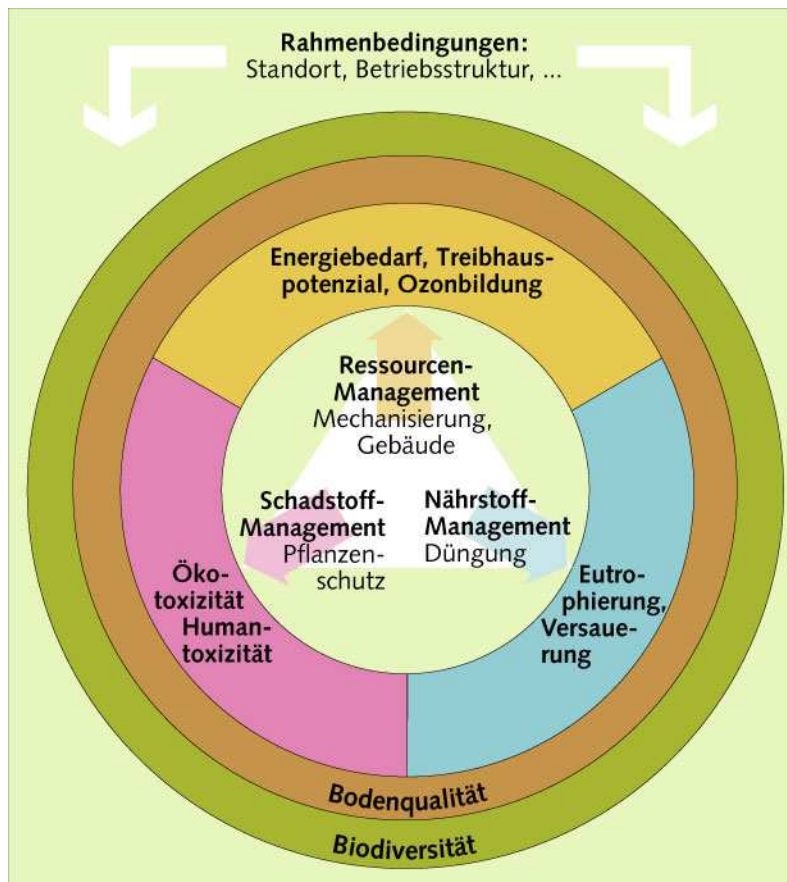


Abbildung 1: Management-Dreieck von Anbausystemen aus Nemecek et al. (2005)

Je nach Produktionssystem sind unterschiedliche Bereiche wichtig (Nemecek et al. 2005):

- Bei Getreide dominiert die Düngung. Der Maschineneinsatz und der Pflanzenschutz sind weiter von Bedeutung.
- Hackfrüchte wie Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben bedingen einen intensiven Maschineneinsatz und stellen auch in Bezug auf den Pflanzenschutz hohe Ansprüche. Die Düngung ist vergleichsweise weniger wichtig.
- In Graslandssystemen dominiert der Maschineneinsatz die Umweltwirkungen, gefolgt von der Düngung, während Pflanzenschutzmittel kaum eine Rolle spielen.
- Bei den Ölfrüchten wie Soja, Raps und Sonnenblumen haben alle Bereiche eine ähnliche Bedeutung. Bei Raps steht am ehesten die Düngung im Vordergrund.

4.4 Optimierungsmassnahmen

Basierend auf der Analyse von Nemecek et al. (2005) ergibt sich folgende Auswahl an Hinweisen und Ansätzen zur Verminderung der Umweltlasten oder zur Steigerung der Umweltleistung (vgl. Tabelle 7).

Massnahmen im Ressourcen-Management betreffen vor allem den Maschinenpark. So ist eine hohe Auslastung durch einen überbetrieblichen Einsatz oder eine längere Nutzungsdauer von Maschinen sowie eine Begrenzung der Anzahl Durchfahrten durch die Anwendung kombinierter Verfahren beim Biolandbau und bei der Graslandbewirtschaftung anzustreben. Eine reduzierte



Bodenbearbeitung wie z.B. die Anwendung von Direkt-, Mulch- oder Streifenfrässaat fördert neben der Ressourceneinsparung auch die Bodenqualität.

Im Nährstoff-Management wirken in erster Linie düngungsspezifische Massnahmen. Werden bei der Stickstoffdüngerausbringung die Witterung und der Nährstoffbedarf genau berücksichtigt und die Ausbringungstechnik optimiert (z.B. Gülleausbringung mit Schleppschlauch), fallen die Ammoniak- und Nitratemissionen beträchtlich geringer aus. Die Nährstoffverluste sind zudem durch die Gestaltung der Fruchtfolge (Bodenbedeckung) und eine reduzierte Bodenbearbeitungstechnik vermindert. Bei der IP vermindern tiefere Düngergaben und ein effizienter Einsatz von Techniken der Präzisionslandwirtschaft die Umweltlasten. Eine Senkung der Düngung bei der Extensio-Produktion hat auch Vorteile für die Biodiversität. Weniger häufige Gülleanwendungen oder eine Gülleverdünnung im Biolandbau kommt auch der Bodenqualität, besonders den Regenwürmern, zugute.

Das Schadstoff- und Biodiversitäts-Management betrifft hauptsächlich Pflanzenschutz-Massnahmen. Bei der IP erfolgt eine Reduktion der Wirkstoffmengen durch resistente Sorten, konsequentes Anwenden von Schadensschwellen, Präzisionslandwirtschaft und gezielte Behandlungstechnik. Zusätzlich sind Wirkstoffe mit geringeren Nebenwirkungen auszuwählen. Im biologischen Landbau vermindern resistente Sorten, Mischkulturen sowie der gezielte Einsatz oder Ersatz von Kupfer die Umweltbelastung. Weniger häufiges Hacken begünstigt in erster Linie die Biodiversität. In der Extensio-Produktion ist eine Optimierung des Herbizideinsatzes anzustreben.

Weitere Massnahmen wie eine Ertragssteigerung bei Getreide und Kartoffeln, die Stärkung der Konkurrenzkraft der Kulturpflanzen, die Sortenwahl und ein gezieltes Nährstoffmanagement können besonders beim Biolandbau die Umweltleistung verbessern.

Bei der Graslandbewirtschaftung ist überdies eine dem Standort angepasste intensive Nutzung sowie eine Ökologisierung anderer Flächen einer mittel intensiven Bewirtschaftung aller Wiesen eines Betriebes vorzuziehen.



Tabelle 7: Übersicht über die ökologischen Optimierungspotenziale gruppiert gemäss dem Managementdreieck von Anbausystemen von Nemecek et al. (2005).

Bereich	Optimierungsmassnahmen
Ressourcen Management → Mechanisierung	<ul style="list-style-type: none">▪ Hohe Auslastung der Maschinen durch überbetrieblichen Einsatz▪ Anwendung kombinierter Verfahren und Reduktion der Bodenbearbeitung (Direktsaat)
Nährstoffmanagement → Düngung	<ul style="list-style-type: none">▪ Reduzierte Bodenbearbeitung▪ Optimale Ausbringungstechnik und Wahl des Zeitpunkts▪ Gestaltung der Fruchtfolge
Schadstoffmanagement → Pflanzenschutz	<ul style="list-style-type: none">▪ Gezielter Pflanzenschutz▪ Züchtung resistenter Sorten
Biodiversität und Bodenqualität	<ul style="list-style-type: none">▪ Verminderter Herbizideinsatz▪ Wahl des optimalen Zeitpunktes für die Gülleanwendung▪ Statt mittelintensive Wiesen vermehrt intensive Wiesen gepaart mit Steigerung der ökologischen Ausgleichsfläche

5 Fazit

Vergleich der biologischen und integrierten Produktion (IP)

Der Biolandbau ist im Vergleich mit IP besser zu bewerten im Bereich des Energiebedarfs, des Schadstoff-Managements und der Biodiversität. Beim Nährstoff-Management hat er für die betrachteten Kulturen mit Ausnahme von Soja jedoch höhere Umweltlasten. Der biologische Anbau für die Bioenergienutzung ist aus ökologischer Sicht vor allem für Körnermais, Silomais und Soja geeignet. Demgegenüber macht eine integrierte Produktion Sinn bei Kartoffeln und beim Grasanbau. Beim Getreide und Winterraps hat der Biolandbau sowohl ökologische Vor- als auch Nachteile.

Ökologische Biomasseproduktion

Neben der Landbauform sind weitere Aspekte zu berücksichtigen:

- Der Verzicht auf Pestizide und Wachstumsregulatoren bei Getreide und Raps (Extenso-Produktion) bewirkt eine gewisse Verbesserung beim Schadstoff-Management und bei der Biodiversität. Beim Ressourcen- und Nährstoffmanagement fallen die Umweltlasten jedoch meist höher aus. Ohne zusätzliche Bestimmungen bei der Dünger- und Herbizidausbringung kann bei der Extenso-Produktion insgesamt kaum von einer ökologisch besseren Variante gesprochen werden. Die extensive Bewirtschaftung des Graslands bringt ihrerseits eine Reduktion aller Umweltlasten.
- Die organische Düngung bewirkt im Vergleich zur mineralischen eine Reduktion des Ressourcenbedarfs sowie eine Verbesserung der Bodenqualität. Sie trägt jedoch zu einer höheren



Umweltlast im Nährstoff-Management bei. Da auf Betrieben mit Tierhaltung Hofdünger anfallen, ist deren Verwendung im Sinne des Recyclings jedoch sinnvoll.

- Die Produktionsregion hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung.
- Bei den untersuchten Kulturen für Biogas haben die extensiven Wiesen die geringsten Umweltwirkungen pro kg TS und eine sehr hohe Biodiversität. Man sollte jedoch bedenken, dass man im Vergleich zu intensiven Wiesen viermal mehr Fläche für den gleichen Ertrag an Trockensubstanz benötigt. In Anbetracht der Tatsache, dass im Berg- und Hügelgebiet immer mehr Landwirtschaftsfläche aufgegeben wird (BfS 2006), könnte die Biogasproduktion zum Erhalt von extensiven Wiesen beitragen.
- Unter den analysierten Kulturen für Bioethanol weist der Anbau von Zuckerrüben und Wiesen die geringsten Umweltwirkungen auf pro kg im Erntegut enthaltener Stärke. Ebenfalls relativ geringe Umweltlasten hat die Produktion von Roggen und Körnermais. Die höchsten Umweltlasten ergibt die Kartoffelproduktion.
- Von den betrachteten Kulturen für Biodiesel haben Raps und Sonnenblumen pro kg enthaltenes Öl im Erntegut bessere Werte im Ressourcen- und Nährstoffmanagement als Soja.

Relevante Kriterien

Unter Berücksichtigung des Managementdreiecks zeigt sich, dass man mit 5 Indikatoren, nämlich jeweils einer aus dem Ressourcen- Nährstoff- und Schadstoff-Management sowie der Biodiversität und Bodenqualität eine gute Beurteilung der Umweltfreundlichkeit der landwirtschaftlichen Produktion erreicht.

Ökologische Optimierungspotenziale

Um Optimierungen in der landwirtschaftlichen Produktion zu erreichen, sind Massnahmen zu treffen, welche sowohl das Ressourcen-, Nährstoff- und Schadstoffmanagement als auch die Biodiversität und die Bodenqualität berücksichtigen.

6 Literaturverzeichnis

- BfS (Bundesamt für Statistik), 2006. Thema 07: Land- und Forstwirtschaft: Landwirtschaft.
www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/land-_und_forstwirtschaft.html (abgerufen 25.8.2006)
- Desaules, A. & Studer, C., 1993. NABO - Nationales Beobachtungsnetz, Messresultate 1985-1991. BUWAL, Bern, Schriftenreihe Umwelt Nr. 200, 175 p.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Hellweg S., Hirschier R., Nemecek T., Rebitzer G. & Spielmann M., 2004a. Overview and Methodology - ecoinvent data v1.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories (ecoinvent), Dübendorf; ecoinvent report 1, 75 p.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Hellweg S., Hirschier R., Nemecek T., Margni M. & Spielmann M., 2004b. Implementation of life cycle assessment methods - ecoinvent data v1.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories (ecoinvent), Dübendorf; ecoinvent report 3, 116 p.



- Gaillard G. & Nemecek T., 2002. Ökobilanzierung des Extensioanbaus von Getreide und Raps. *Agrarforschung*, 9: 490-495.
- Gaillard G. & Nemecek T., 2006. Ökobilanz des Einsatzes von Wirtschafts- und Mineraldünger im Acker- und Futterbau. *KTBL-Schrift 444: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft - Nutzen und Risiken*, 19.-20.2006, Osnabrück. KTBL, Darmstadt, 63-74.
- Guinée J. B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M. A. J., Lindeijer E., Roorda A. A. H. & Weidema B. P., 2001. Life cycle assessment - An operational guide to the ISO standards. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, Netherlands.
- Hansen S. & Engelstad F., 1999. Earthworm populations in a cool and wet district as affected by tractor traffic and fertilisation. *Applied Soil Ecology*, 13: 237-250.
- Hauschild M & Wenzel H., 1998. *Environmental Assessment of Products: Scientific background*. Chapman&Hall, London, 565 p.
- Hayashi, K., Gaillard, G. & Nemecek, T., 2005. Life cycle assessment of agricultural production systems: current issues and future perspectives, *International Seminar on Technology Development for Good Agriculture Practice in Asia and Oceania*, Epochal Tsukuba, 154-171.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. In: Houghton, J. T. et al. (eds.), *Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, The Edinburgh Building Shaftesbury Road, Cambridge, UK.
- ISO, 2006a. ISO 14040, 2nd Edition, - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, Geneva, 20 p.
- ISO, 2006b. ISO 14044, 1st Edition, - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, Geneva, 46 p.
- Jeanneret P., Baumgartner D., Freiermuth R. & Gaillard G., 2006. Méthode d'évaluation de l'impact des activités agricoles sur la biodiversité dans les bilans écologiques – SALCA-BD. Agroscope FAL Reckenholz, Online at <http://www.reckenholz.ch/doc/fr/forsch/control/bilanz/salca-bd.pdf>, 67 p.
- Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Spielmann M., Stettler C. and Sutter J., 2007. *Life Cycle Inventories of Bioenergy*. Final report ecoinvent No. xx (draft). ESU-services, Uster, CH.
- Krummenacher P., 2006. Persönliche Mitteilung von P. Krummenacher im Auftrag von Alcosuisse, 22.10.2006
- Nemecek T. & Erzinger S., 2005. Modelling Representative Life Cycle Inventories for Swiss Arable Crops. *Int J LCA*, 10: 68-76.
- Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux D. & Zimmermann A., 2004. Life cycle inventories of agricultural production systems - ecoinvent data v1.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.; ecoinvent report 15, 289 p.
- Nemecek T., Huguenin-Elie O., Dubois D. & Gaillard G., 2005. Ökobilanzierung von Anbausystemen im schweizerischen Acker- und Futterbau. Agroscope FAL Reckenholz, Zürich; Schriftenreihe der FAL 58, 155 p.
- Oberholzer H.-R., Weisskopf P., Gaillard G., Weiss F. & Freiermuth R., 2006. Methode zur Beurteilung



der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen – SALCA-SQ. Agroscope FAL Reckenholz, Online at <http://www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/control/bilanz/salca-sq.pdf>, 98 p.

Rossier D. & Gaillard G., 2004. Ökobilanzierung des Landwirtschaftsbetriebs - Methode und Anwendung in 50 Landwirtschaftsbetrieben. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Zürich; FAL-Schriftenreihe 53, 142 p.

Streun, C., 2006. Ölsaaten: Nach dem Raps sind nun auch die Sonnenblumen kontrahiert. www.swissgranum.ch/chf/2_compress/details.php?recordID=360 (abgerufen 6.9.2006)

Zah R., Böni H., Gauch M., Hischier R., Lehmann M, Wäger P., Bach C. & Stucki S., 2007. Ökobilanz von Energieprodukten - Ökologische Bewertung mit Schwerpunkt Treibstoff-Betrachtung, (unpublished).