

# Umwelt

## Referenzwerte für Ökobilanzen von Landwirtschaftsbetrieben

Thomas Nemecek und Gérard Gaillard, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich

Albert Zimmermann, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

Auskünfte: Thomas Nemecek, E-Mail: thomas.nemecek@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 72 54

### Zusammenfassung

**F**ür die Auswertung betrieblicher Ökobilanzen werden Referenzwerte benötigt. Zu diesem Zweck wurden 27 Modellbetriebe für die Schweizer Landwirtschaft definiert, welche jeweils bestimmte Betriebsgruppen repräsentieren, aufgeteilt nach den Kriterien Betriebstyp (gemäss FAT-Typologie), Produktionsregion (Tal, Hügel, Berg) und Landbauform (integriert, biologisch). Die Betriebsdaten wurden aus Buchhaltungsdaten, Beratungsunterlagen, Empfehlungen und Expertenwissen hergeleitet. Bezüglich Umweltwirkungen pro Hektare landwirtschaftlicher Nutzfläche schnitten extensiv produzierende Modellbetriebe (Bergbetriebe, Mutterkuh- und Biobetriebe) sowie Ackerbaubetriebe günstig ab, während Schweinemastbetriebe besonders hohe Umweltbelastungen aufwiesen. Bezogen auf die produzierte Nahrungsenergie war ein hoher Anteil pflanzlicher Produktion günstig für die Umwelt, eine extensive Produktion erwies sich hingegen als ungünstig. Bezüglich Rohleistung waren die Ergebnisse ziemlich ausgeglichen. Der Energieaufwand für ein Kilogramm Milch unterschied sich wenig zwischen Betriebstypen und Landbauformen, stieg jedoch mit zunehmender Höhenlage an.

Eine Voraussetzung für die Verbesserung der Umweltleistungen von Landwirtschaftsbetrieben ist die Kenntnis der Umweltwirkungen der Betriebe. Die aus der Industrie stammende Methode der Ökobilanz verfolgt eine möglichst umfassende Beurteilung der verschiedenen Umweltwirkungen eines Produktionssystems unter Berücksichtigung der Vor- und Nachstufen, das heisst der Produktionsmittelbereitstellung und der Abfallentsorgung (FAL 2002). In den letzten Jahren fand diese Methode auch in der Landwirtschaft An-

wendung, zum Beispiel für die Beurteilung von nachwachsenden Rohstoffen (Wolfensberger und Dinkel 1997), von Ackerkulturen (Audsley *et al.* 1997; Nemecek *et al.* 2002) und von Milchproduktionssystemen (Erzinger *et al.* 2004).

Für das Umweltmanagement ist jedoch eine Betrachtung ausschliesslich auf Stufe Parzelle oder Produkt ungenügend, denn die Handlungen der Landwirte und viele Ökomassnahmen beziehen sich auf den Gesamtbetrieb (Abb. 1). Deshalb wurden in den letzten Jahren auch Ökobilanzen für Landwirtschaftsbetriebe erstellt (Rossier und Gaillard 2001; Haas *et al.* 2001).

### Definition der Modellbetriebe

Ein wichtiges Problem bei der Beurteilung der Umweltleistungen von Betrieben waren bislang jedoch fehlende Vergleichsgrößen. Solche Referenzwerte können Werte früherer Jahre sein, oder Werte vergleichbarer Be-

triebe und Betriebsgruppen (Rossier und Gaillard 2001). In der vorliegenden Arbeit werden solche Referenzwerte für Schweizer Landwirtschaftsbetriebe abgeleitet. Dazu wurden Durchschnittsbetriebe definiert, nachfolgend «Modellbetriebe» genannt, welche jeweils eine bestimmte Betriebsgruppe repräsentieren.

Die Einteilung der Modellbetriebe erfolgte nach drei Kriterien (Tab. 1):

■ **Betriebstyp** anhand der Betriebstypologie der FAT (Hausheer und Meier 2003),

■ **Produktionsregion**, eingeteilt in Tal-, Hügel- und Bergregion, und

■ **Landbauform**, das heisst integrierte Produktion und biologischer Landbau. Mit integrierter Produktion (IP) werden nachfolgend Betriebe bezeichnet, welche den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN), nicht jedoch die Bio-Richtlinien erfüllen.

Es wurden nur für diejenigen Betriebsgruppen Modellbetriebe definiert, die in der Zentralen Auswertung von Buchhaltungsdaten der Agroscope FAT Tänikon, der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, in genügender Anzahl vertreten waren. Dabei wurde für Bio-Betriebe eine geringere Anzahl in Kauf genommen. Reine Spezialkultur- und Veredlungsbetriebe (Betriebstypen 12 und 41) sowie Pferde-, Schaf- und Ziegen-

Abb. 1. Die Umweltwirkungen eines Landwirtschaftsbetriebs werden durch den Betriebstyp, die Produktionsregion und die Landbauform beeinflusst. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope FAL Reckenholz)



haltungsbetriebe (Betriebstyp 31) wurden nicht berücksichtigt, weil für diese Typen viele Datengrundlagen noch fehlen und gleichzeitig deren zahlenmässige Bedeutung beschränkt ist. Insgesamt ergaben sich 27 Modellbetriebe (Tab. 1).

### Berechnung der Ökobilanzen

Das Vorgehen bei der Berechnung der Ökobilanzen ist analog zu jenem, wie es in Rossier und Gaillard (2001) beschrieben ist. Als Systemgrenze wurde der landwirtschaftliche Betrieb während jeweils eines Jahres definiert (Bilanzjahr). Für den Acker- und Gemüsebau beginnt der Bilanzzeitraum nach der Ernte der Hauptkultur des Vorjahres und endet mit der Ernte der Hauptkultur im Bilanzjahr. Nicht zum System gerechnet wurden die Bewirtschaftung des Waldes, die Verarbeitung von Nahrungsmitteln, ausserlandwirtschaftliche Tätigkeiten und der Haushalt der Bauernfamilie.

Die Berechnung erfolgte unter Verwendung der Ökoinventar-Datenbank SALCA (Nemecek *et al.* 2003) und der Modelle für die direkten Hof- und Feldemissionen aus dem Berechnungswerkzeug SALCA-Betrieb (Nemecek 2003).

Die Auswertung unterscheidet zwischen den Ebenen **Gesamtbetrieb** und **Produktgruppe**. Für eine detaillierte Beschreibung der Methode sei auf Rossier und Gaillard (2001) verwiesen.

### Auswertung auf Ebene Gesamtbetrieb

Die Umweltwirkungen werden in Ökobilanzen nicht absolut, sondern immer in Bezug auf eine bestimmte Funktion oder funktionelle Einheit betrachtet. Da die Landwirtschaft multifunktional ist, genügt die Betrachtung einer einzigen Funktion nicht. In der Studie wurden die folgenden

**Tab. 1. Übersicht über den prozentualen Anteil<sup>1</sup> der Betriebsgruppen an der Grundgesamtheit der Betriebe in der Schweiz. Betriebsgruppen, für die Modellbetriebe definiert wurden, sind farbig unterlegt (IP = ÖLN-Betriebe ohne Bio-Betriebe, Bio = Bio-Betriebe).**

Nr.	Bereich	Betriebstyp	Tal		Hügel		Berg		Total Modellbetriebe	Total CH <sup>2</sup>
			IP	Bio	IP	Bio	IP	Bio		
11	Pflanzenbau	Ackerbau	5,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	5,6	6,2
12	bau	Spezialkulturen	5,1	0,4	0,6	0,0	0,4	0,2	0,0	7,3
21	Tierhaltung	Verkehrsmilch	6,1	0,5	11,8	1,1	10,8	3,1	33,4	34,4
22		Mutterkühe	0,3	0,2	0,5	0,3	0,7	0,8	2,4	2,8
23		Anderes Rindvieh	0,3	0,1	0,9	0,3	4,7	0,6	5,3	6,9
31		Pferde/Schafe/Ziegen	1,0	0,0	0,7	0,2	1,9	0,5	0,0	4,3
41	Kombiniert	Veredlung	1,1	0,0	0,9	0,1	0,3	0,0	0,0	2,8
51		Verkehrsmilch/Ackerbau	8,9	0,2	1,2	0,0	0,0	0,0	10,2	10,4
52		Mutterkühe	0,4	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9
53		Veredlung	6,1	0,1	3,5	0,1	0,9	0,1	10,6	10,8
54		Anderer	7,6	0,4	4,0	0,2	1,0	0,2	12,2	13,4
Total			34,7	1,4	20,9	1,7	17,2	4,5	80,4	100,0

<sup>1</sup> Anteil der jeweiligen Betriebsgruppe in der Schweiz, Mittel nach AGIS-Daten 1999 bis 2001.

<sup>2</sup> Vertretung des Betriebstyps in der Schweiz insgesamt (inkl. der Betriebsgruppen ohne definierte Modellbetriebe und inkl. konventioneller Betriebe).

funktionellen Einheiten als Bezugsgrössen auf der Ebene Betrieb verwendet:

■ **Funktion landwirtschaftliche Nutzung:** Das Ziel ist, eine bestimmte Fläche unter Minimierung der Umweltbelastung zu bewirtschaften. Funktionelle Einheit: *1 Hektare landwirtschaftliche Nutzfläche* (ha LN).

■ **Produktive Funktion:** Das Ziel ist, Nahrung mit möglichst geringer Umweltbelastung zu produzieren. Funktionelle Einheit: *1 MJ verdauliche Energie für die menschliche Ernährung* (MJ VE). Bei der Berechnung dieser Grösse werden die Energieverluste bei der Umsetzung durch das Tier berücksichtigt.

■ **Finanzielle Funktion:** Das Ziel ist, einen Produktionswert unter Minimierung der Umweltbelastung zu erwirtschaften. Die Rohleistung, das heisst der Wert aller Produkte und Dienstleistungen, dient dabei als ein Mass für den geschaffenen Produktionswert. Die Berechnung erfolgte gemäss dem Vorgehen im Deckungsbeitrags-

katalog der landwirtschaftlichen Beratungszentralen: Die Mengen der verkauften Produkte wurden mit den jeweiligen Produktpreisen multipliziert. Die Anbaubeiträge, Beiträge für extensive Produktion und ökologischen Ausgleich wurden dazuaddiert, nicht aber alle übrigen Direktzahlungen. Funktionelle Einheit: *1 Franken Rohleistung* (Fr.).

### Auswertung auf Ebene Produktgruppen

Für ein besseres Verständnis der Prozesse müssen auch die Vorgänge innerhalb eines Landwirtschaftsbetriebs analysiert werden. Deshalb wurden die verschiedenen landwirtschaftlichen Betriebszweige in Produktgruppen mit jeweils ähnlichen Produkten zusammengefasst: Ackerbau, Futterbau, Gemüsebau, Milch, Fleisch, Aufzucht und Eier (analoges Vorgehen zu Rossier und Gaillard 2001).

### Herleitung der Betriebsdaten

Die Produktionsinventare der Modellbetriebe mit der Beschreibung der Produktionsverfahren und des Produktionsmittelbe-

darfs sind auf Praxisverhältnisse ausgerichtet und beruhen deshalb vorwiegend auf statistischen Daten, Pilotbetriebsnetzen und Beratungsunterlagen (Tab. 2). Die Betriebsdaten wurden ausgehend von den jeweiligen Flächen- und Tierbeständen jeder Betriebsgruppe modelliert. Die Ertragszahlen sind nach Regionen und Landbauformen differenziert. Die Ermittlung der Zu- oder Wegfuhr von Dünge- und Futtermitteln erfolgte anhand gesamtbetrieblicher Bilanzierungen.

Alle Inputs wurden den verschiedenen Produktgruppen zugewiesen. In vielen Fällen war eine eindeutige Zuweisung zu einer Produktgruppe möglich, wie dies zum Beispiel bei Pestiziden im Ackerbau meist der Fall ist. Wo jedoch eine Allokation, das heisst eine Aufteilung auf mehrere Produktgruppen, erforderlich war, wurde die Zuweisung anhand physischer Grössen vorgenommen, wie zum Bei-

spiel dem Futtermittelverzehr der verschiedenen Tierkategorien, oder anhand der Marktwerte der Produkte, wie im Fall der Koppelproduktion von Milch und Fleisch.

### Referenzwert-Ermittlung

Da die Vertretung der verschiedenen Betriebsgruppen in der Schweiz sehr unterschiedlich ist, wurden für die Auswertung jeweils gewichtete Mittelwerte der Umweltwirkungen über alle Betriebe oder über bestimmte Betriebsgruppen wie zum Beispiel die Betriebe der Bergregion berechnet. Die Gewichtungsfaktoren ergaben sich aus der Vertretung der jeweiligen Betriebsgruppe in der Schweiz (Tab. 1) und der jeweiligen funktionellen Einheit der Betriebsgruppe, zum Beispiel die durchschnittliche landwirtschaftliche Nutzfläche oder die produzierte Milchmenge pro Betrieb. Sie sind somit je nach Untersuchungsebene (Betrieb, Produktgruppe) und

funktioneller Einheit unterschiedlich. Beispielsweise haben die kombinierten Veredelungsbetriebe aufgrund ihrer bedeutenden Produktion ein viel grösseres Gewicht für die Produktgruppe Fleisch als für die Produktgruppe Milch.

Die Referenzwerte stellen eine Beschreibung des Ist-Zustandes für durchschnittliche Schweizer Landwirtschaftsbetriebe im Zeitraum von 1999 bis 2002 dar. Sie sind keine Zielgrössen oder Sollwerte. Für Praxisbetriebe ermittelte Werte können aufgrund von unterschiedlichen Produktionsverfahren (zum Beispiel höherer Kraftfutteranteil in der Futterration) und betrieblichen Voraussetzungen (zum Beispiel Auslastung der Maschinen) erheblich davon abweichen. Diese Referenzwerte dürfen nicht auf den gesamten landwirtschaftlichen Sektor hochgerechnet werden, weil Produkte, die von einem Betrieb erzeugt und von einem anderen gekauft werden, dabei doppelt erfasst würden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse zuerst für die drei funktionellen Einheiten auf Stufe Betrieb, anschliessend beispielhaft für die Produktgruppe Milch vorgestellt.

### Gesamtbetriebe: Unterschiede je nach Bezugsgrösse

Die Referenzwerte (Tab. 3) dienen als Grundlage für die Beurteilung der Umweltleistungen und -wirkungen eines Betriebes, berechnet anhand der vorgestellten Ökobilanz-Methodik. Die Referenzwerte können aber auch untereinander verglichen werden. Dabei fällt die Interpretation je nach funktioneller Einheit unterschiedlich aus:

■ **Funktionelle Einheit «Landwirtschaftliche Nutzfläche»:** Betriebstypen mit Pflanzenbau (Typ 11) und extensiver Tierhaltung (Mutterkuhbetriebe Typ 22

**Tab. 2. Übersicht über die Datengrundlagen der Modellbetriebe. Eine detaillierte Beschreibung ist in Zimmermann (2004) enthalten.**

Modelldaten	Quelle
Flächennutzungen und Tierbestände	Basis: Mittel von Daten der Zentralen Auswertung der FAT 2000 bis 2002 Winter-/Sommergetreide: Daten aus dem Öko-Pilotbetriebsnetz 1994 bis 1996 Zusätzliche Ökoflächen: AGIS-Daten 1999 bis 2001 Umverteilung von unrealistischen Kleinstflächen und -beständen: eigene Annahmen
Erträge, Leistungen	Mittel des Kostenstellenberichtes bzw. des Bioberichts der FAT 1999 bis 2001 Deckungsbeitragskatalog 2002
Saatgut	Deckungsbeitragskatalog 2002
Düngemittel	Mengen: Suisse-Bilanz Arten: eigene Annahmen Verteilung auf die Kulturen: eigene Annahmen Düngungstermine: Arbeitsvoranschlag FAT 1996
Pflanzenschutzmittel	Daten Öko-Pilotbetriebsnetz 1994 bis 1996 Expertenangaben
Dieserverbrauch	ecoinvent-Datenbank v1.0 (2003)
Wiesenfutter	Grundfutterbilanz gemäss Suisse-Bilanz (Import bzw. Export nur wenn grösser +/- 5 %)
Kraftfutter	Kraftfutterbilanz: Bedarf gemäss Deckungsbeitragskatalog 2002, eigenes Angebot gemäss Ertragszahlen
Mechanisierung	Bedarf: Deckungsbeitragskatalog 2002 Nutzungsdauer/Auslastung: Maschinenkosten FAT 2002
Gebäude	Volumen- bzw. Flächenbedarf: Expertenangaben FAT

und 52) weisen vergleichsweise tiefe Umweltwirkungen auf, kombinierte Veredlungsbetriebe (Typ 53, mit Schweinemast) hingegen hohe. Die hohe aquatische Ökotoxizität bei Ackerbaubetrieben lässt sich durch den Einsatz von Pestiziden und Verunreinigungen in P-Düngern erklären. Die Umweltwirkungen nehmen mit zunehmender Höhenlage ab. Bio-Betriebe weisen durchwegs tiefere Umweltbelastungen pro Flächeneinheit auf. Eine Verringerung der Umweltbelastung pro Flächeneinheit lässt sich also am besten mit extensiver Produktion wie bei Mutterkuhhaltung, auf Bergbetrieben und im Biolandbau erzielen. Intensiv produzierende Be-

triebe mit Schweinemast verursachen eine vergleichsweise hohe Umweltbelastung pro Flächeneinheit, was sich in Problemen wie zum Beispiel Überdüngung der Gewässer in den entsprechenden Regionen niederschlägt.

■ **Funktionelle Einheit «Verdauliche Energie»:** Betrachtet man die Ergebnisse im Hinblick auf die menschliche Ernährung (MJ VE), so ändert sich das Bild grundlegend. Wegen der Energieverluste bei der Umwandlung durch das Tier schneiden jene Betriebe besonders günstig ab, die einen hohen Anteil an pflanzlicher Nahrungsenergie liefern (Tab. 3, Anteil VE aus Pflanzen-

bau). Extensive Produktionsrichtungen wie Mutterkuhhaltung, Bergbetriebe und Bio-Betriebe schneiden dementsprechend im Vergleich ungünstig ab, weil hier neben geringeren Erträgen und Tierleistungen der Anteil der pflanzlichen Produkte besonders klein ist. So wird zum Beispiel in der Mutterkuhhaltung ein tierisches Produkt (Milch) nochmals durch das Tier umgesetzt, was zu einer sehr tiefen Ausbeute führt.

■ **Funktionelle Einheit «Rohleistung»:** Betrachtet man die Referenzwerte bezogen auf einen Franken Rohleistung, so sind die Unterschiede geringer als bei den anderen beiden funktionellen

**Tab. 3. Gesamtbetriebliche Referenzwerte (gewichtete Mittelwerte) für alle Betriebe sowie pro Betriebstyp, Region und Landbauform, jeweils bezogen auf die funktionellen Einheiten Hektare landwirtschaftlicher Nutzfläche (ha LN), MJ verdauliche Energie für die menschliche Ernährung (MJ VE) und Franken Rohleistung (Fr.). Die Farben stellen eine Beurteilung des Ausmasses der Abweichungen vom Mittel aller Betriebe dar (Beurteilungsklassen gemäss Expertenschätzung analog zu Nemecek et al. 2002).**

Sehr günstig	<50 %
Günstig	50-80 %
Vergleichbar	80-125 %
Ungünstig	125-200 %
Sehr ungünstig	>200 %

Betriebsdaten	Betriebstyp-Nr.	nach Betriebstyp									nach Region			nach Landbauform			
		11		21		22		51		52	53	54	Tal	Hügel	Berg	IP	Bio
		Bereich:		Pflanzenbau		Tierhaltung		Kombiniert		Veredlung	Andere						
	Alle Betriebe	Ackerbau	Verkehrsmilch	Mutterkühe	Anderes Rindvieh	Verkehrsmilch/Ackerbau	Mutterkühe	Veredlung	Andere								
ha LN/Betrieb	20.2	24.2	18.7	19.2	16.5	24.9	25.9	19.4	20.5	21.5	18.9	19.2	20.2	19.7			
GJ VE/Betrieb	553	1489	280	67	128	1006	601	790	562	887	374	183	587	224			
Anteil VE aus Pflanzenbau	46%	91%	2%	12%	0%	63%	83%	32%	45%	60%	14%	0%	47%	16%			
Fr. Rohleistung/Betrieb	117'530	126'921	90'635	40'378	60'942	162'366	109'147	192'270	124'652	151'399	109'268	69'679	120'766	86'361			
<b>Gewichtungsfaktoren</b>																	
bezogen auf ha LN	100%	8.4%	38.5%	2.8%	5.4%	15.7%	1.1%	12.7%	15.4%	48.0%	26.3%	25.7%	90.8%	9.2%			
bezogen auf MJ VE	100%	18.8%	21.0%	0.4%	1.5%	23.2%	0.9%	18.8%	15.4%	72.1%	19.0%	8.9%	96.2%	3.8%			
bezogen auf Fr.	100%	7.5%	32.0%	1.0%	3.4%	17.6%	0.8%	21.5%	16.1%	57.9%	26.1%	16.0%	93.1%	6.9%			
<b>Funktionelle Einheit = ha LN</b>																	
Energieressourcen [MJ Äq./ha LN]	53'109	40'004	45'222	32'620	43'682	54'168	41'210	90'265	56'178	59'823	54'599	39'053	54'795	36'465			
Treibhauspotenzial (100 Jahre) [kg CO2 Äq./ha LN]	6'369	3'832	5'739	4'867	4'986	6'743	6'027	9'628	7'038	7'027	6'763	4'737	6'546	4'621			
Ozonbildung [kg C2H4 Äq./ha LN]	22	19	19	15	17	24	20	32	24	25	22	16	23	16			
aquatische Ökotoxizität [g Zn Äq./ha LN]	1'664	2'101	1'234	863	1'163	1'818	1'455	2'977	1'599	2'041	1'565	1'060	1'750	806			
terrestrische Ökotoxizität [g Zn Äq./ha LN]	173	154	65	31	57	176	107	695	92	241	155	64	183	73			
aquatische Eutrophierung [kg PO4 Äq./ha LN]	2.5	1.7	2.6	2.2	2.3	2.1	1.7	3.6	2.3	2.4	2.5	2.6	2.5	2.2			
terrestrische Eutrophierung [kg PO4 Äq./ha LN]	24	4	27	12	18	23	14	37	25	24	28	21	25	22			
Gesamteutrophierung [kg PO4 Äq./ha LN]	49	28	42	26	30	50	40	90	50	55	52	34	50	36			
Versauerung [kg SO2 Äq./ha LN]	143	27	155	73	110	136	83	221	147	141	165	124	145	125			
<b>Funktionelle Einheit = MJ VE</b>																	
Energieressourcen [MJ Äq./MJ VE]	1.9E+00	6.5E-01	3.0E+00	9.3E+00	5.6E+00	1.3E+00	1.8E+00	2.2E+00	2.1E+00	1.5E+00	2.8E+00	4.1E+00	1.9E+00	3.2E+00			
Treibhauspotenzial (100 Jahre) [kg CO2 Äq./ha LN]	2.3E-01	6.2E-02	3.8E-01	1.4E+00	6.4E-01	1.7E-01	2.6E-01	2.4E-01	2.6E-01	1.7E-01	3.4E-01	5.0E-01	2.3E-01	4.1E-01			
Ozonbildung [kg C2H4 Äq./MJ VE]	8.0E-04	3.1E-04	1.3E-03	4.3E-03	2.2E-03	6.0E-04	8.6E-04	7.9E-04	8.6E-04	6.0E-04	1.1E-03	1.7E-03	7.8E-04	1.4E-03			
aquatische Ökotoxizität [g Zn Äq./MJ VE]	6.1E-02	3.4E-02	8.2E-02	2.5E-01	1.5E-01	4.5E-02	6.3E-02	7.3E-02	5.8E-02	5.0E-02	7.9E-02	1.1E-01	6.0E-02	7.1E-02			
terrestrische Ökotoxizität [g Zn Äq./MJ VE]	6.3E-03	2.5E-03	4.3E-03	8.9E-03	7.3E-03	4.4E-03	4.6E-03	1.7E-02	3.3E-03	5.8E-03	7.8E-03	6.8E-03	6.3E-03	6.4E-03			
aquatische Eutrophierung [kg PO4 Äq./MJ VE]	9.1E-05	2.8E-05	1.7E-04	6.3E-04	3.0E-04	5.3E-05	7.4E-05	9.0E-05	8.3E-05	5.9E-05	1.3E-04	2.7E-04	8.7E-05	1.9E-04			
terrestrische Eutrophierung [kg PO4 Äq./MJ VE]	8.8E-04	5.9E-05	1.8E-03	3.4E-03	2.4E-03	5.7E-04	5.9E-04	9.1E-04	9.1E-04	5.7E-04	1.4E-03	2.3E-03	8.4E-04	1.9E-03			
Gesamteutrophierung [kg PO4 Äq./MJ VE]	1.8E-03	4.6E-04	2.8E-03	7.3E-03	3.9E-03	1.2E-03	1.7E-03	2.2E-03	1.8E-03	1.3E-03	2.6E-03	3.6E-03	1.7E-03	3.2E-03			
Versauerung [kg SO2 Äq./MJ VE]	5.2E-03	4.3E-04	1.0E-02	2.1E-02	1.4E-02	3.4E-03	3.6E-03	5.4E-03	5.4E-03	3.4E-03	8.3E-03	1.3E-02	5.0E-03	1.1E-02			
<b>Funktionelle Einheit = Fr.</b>																	
Energieressourcen [MJ Äq./Fr.]	9.1E+00	7.6E+00	9.3E+00	1.5E+01	1.2E+01	8.3E+00	9.8E+00	9.1E+00	9.3E+00	8.5E+00	9.4E+00	1.1E+01	9.2E+00	8.3E+00			
Treibhauspotenzial (100 Jahre) [kg CO2 Äq./ha LN]	1.1E+00	7.3E-01	1.2E+00	2.3E+00	1.4E+00	1.0E+00	1.4E+00	9.7E-01	1.2E+00	1.0E+00	1.2E+00	1.3E+00	1.1E+00	1.1E+00			
Ozonbildung [kg C2H4 Äq./Fr.]	3.8E-03	3.6E-03	3.9E-03	7.2E-03	4.6E-03	3.7E-03	4.8E-03	3.3E-03	3.9E-03	3.5E-03	3.9E-03	4.5E-03	3.8E-03	3.6E-03			
aquatische Ökotoxizität [g Zn Äq./Fr.]	2.9E-01	4.0E-01	2.5E-01	4.1E-01	3.1E-01	2.8E-01	3.5E-01	3.0E-01	2.6E-01	2.9E-01	2.7E-01	2.9E-01	2.9E-01	1.8E-01			
terrestrische Ökotoxizität [g Zn Äq./Fr.]	3.0E-02	2.9E-02	1.3E-02	1.5E-02	1.5E-02	2.7E-02	2.5E-02	7.0E-02	1.5E-02	3.4E-02	2.7E-02	1.8E-02	3.1E-02	1.7E-02			
aquatische Eutrophierung [kg PO4 Äq./Fr.]	4.3E-04	3.3E-04	5.4E-04	1.1E-03	6.4E-04	3.3E-04	4.1E-04	3.7E-04	3.7E-04	3.5E-04	4.3E-04	7.2E-04	8.4E-04	5.0E-04			
terrestrische Eutrophierung [kg PO4 Äq./Fr.]	4.2E-03	6.9E-04	5.5E-03	5.7E-03	5.0E-03	3.5E-03	3.2E-03	3.7E-03	4.1E-03	3.4E-03	4.9E-03	5.9E-03	4.1E-03	4.9E-03			
Gesamteutrophierung [kg PO4 Äq./Fr.]	8.3E-03	5.4E-03	8.8E-03	1.2E-02	8.2E-03	7.7E-03	9.6E-03	9.1E-03	8.2E-03	7.8E-03	9.0E-03	9.3E-03	8.4E-03	8.2E-03			
Versauerung [kg SO2 Äq./Fr.]	2.5E-02	5.1E-03	3.2E-02	3.5E-02	3.0E-02	2.1E-02	2.0E-02	2.2E-02	2.4E-02	2.0E-02	2.9E-02	3.4E-02	2.4E-02	2.8E-02			

Einheiten. Dies wird primär durch die höheren Preise tierischer und extensiv erzeugter Produkte wie Fleisch aus Mutterkuhhaltung oder Bio-Produkte bewirkt. Bezüglich der Ökotoxizität lässt sich feststellen, dass Biobetriebe - wie bei den zwei anderen funktionellen Einheiten - vergleichbare oder günstigere Ergebnisse erzielen, weil einerseits die Kreisläufe besser geschlossen sind und somit weniger Inputs zugeführt werden als bei integriert bewirtschafteten Betrieben, und andererseits auf potenziell toxisch wirkende Produktionsmittel wie Pestizide verzichtet wird.

Vergleiche mit Ökobilanzen von 50 Praxisbetrieben (Rossier und Gaillard 2001) ergaben, dass die Referenzwerte innerhalb der Streubreite der beobachteten Werte liegen, aber meist etwas über deren Mittelwerten. Dies könnte daran liegen, dass bei der Auswahl der Betriebe aus verschiedenen Pilotnetzen in Rossier und Gaillard (2001) besonders ökologisch wirtschaftende Betriebe erfasst wurden.

### Gesamtbetriebe: Region und Landbauform

Am Beispiel der spezialisierten Verkehrsmilchbetriebe (Typ 21) wird der Verbrauch nicht erneuerbarer Energieressourcen näher dargestellt (Abb. 2). Massgebend sind der Verbrauch der Energieträger Diesel und Elektrizität, die vor allem für die Heubelüftung

benötigt wird, sowie die Gebäude und die Maschinen.

Mit zunehmender Höhenlage ist infolge der extensiveren Bewirtschaftung eine Abnahme des Energieverbrauchs je Flächeneinheit zu verzeichnen, bezogen auf die verdauliche Energie und die Rohleistung verhält es sich hingegen umgekehrt.

Wegen einer tieferen Produktionsintensität einerseits und höheren Preisen der Produkte andererseits verbrauchen die Biobetriebe weniger Energieressourcen pro Hektare und pro Franken, aber etwa gleich viel pro Einheit Nahrungsenergie.

### Produktgruppe: Beispiel Milch

Die Vergleiche von Produktgruppen aus verschiedenen Modellbetrieben können eine Antwort auf die Frage geben, in welchem Betriebstyp, welcher Region oder welcher Landbauform sich eine bestimmte Produktgruppe am ökologischsten erzeugen lässt. Im Gegensatz zu den vorgängig dargestellten Ergebnissen wird nicht der gesamte Betrieb, sondern nur die Produktgruppe Milch analysiert (Abb. 3).

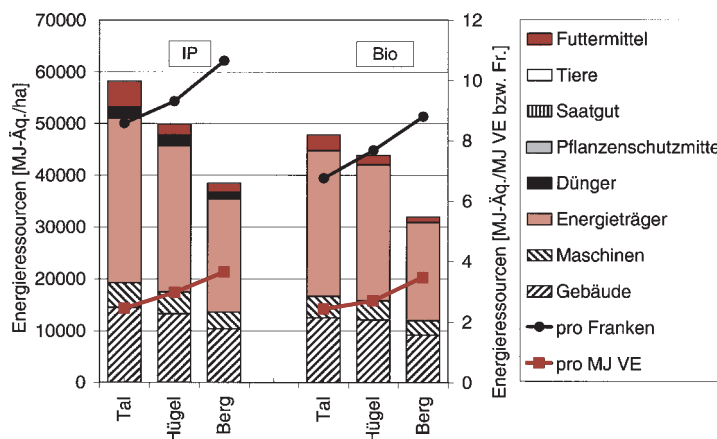
Die Ergebnisse legen nahe, dass der Betriebstyp eine untergeordnete Rolle spielt. Spezialisierte Betriebe (Typ 21) schneiden nicht besser ab als kombinierte (Typ 53).

Die Landbauform spielt ebenfalls kaum eine Rolle. Hingegen lässt sich feststellen, dass der Energieaufwand pro Kilogramm Milch mit zunehmender Höhenlage ansteigt (Ausnahme Typ 53 bei Bio). Dies ist auf ungünstigere Standortbedingungen zurückzuführen, das heisst auf die tieferen Erträge im Futterbau und den höheren Aufwand für die Konservierung.

### Schlussfolgerungen

Die betrachteten Umweltwirkungen pro Flächeneinheit lassen sich am besten mit extensiver Produktion minimieren. Hinsichtlich einer hohen Ökoeffizienz bei der Erzeugung von Nahrungsenergie sind extensive Produktionsweisen hingegen oft ungünstig, weil die Erträge beziehungsweise Leistungen stärker sinken als die Umweltwirkungen. Zwischen den beiden Zielen landwirtschaftliche Nutzung und Nahrungsmittelproduktion besteht also ein Konflikt. Nahrungsenergie lässt sich im Weiteren umweltschonender mit pflanzlichen als mit tierischen Nahrungsmitteln produzieren. Bezogen auf die Rohleistung unterscheiden sich die Umweltwirkungen der verschiedenen Betriebsgruppen weniger stark als hinsichtlich der Fläche und der Nahrungsenergie. Der Betriebstyp erwies sich als entscheidend für die Ergebnisse auf Betriebsebene, für die Produktgruppe Milch hingegen spielte er eine untergeordnete Rolle.

**Abb. 2. Verbrauch nicht erneuerbarer Energieressourcen bezogen auf 1 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (Säulen) sowie auf 1 MJ verdauliche Energie (VE) bzw. 1 Franken Rohleistung (Fr.) für die Modellbetriebe des Typs 21 (Tierhaltung: Verkehrsmilch).**



Die vorliegende Arbeit präsentiert erstmals repräsentative Referenzwerte für die Beurteilung der Umweltwirkungen von Schweizer Landwirtschaftsbetrieben mittels Ökobilanzen. Sie erlauben eine Positionierung von Praxisbetrieben hinsichtlich ihrer ökologischen Leistung.

Daten aus dem neuen Projekt «Zentrale Auswertung einzelbetrieblicher Ökobilanzen» (Pfe-

ferli *et al.* 2001) werden eine statistische Absicherung dieser Referenzwerte und eine vertiefte Analyse der Umweltwirkungen der Landwirtschaft ermöglichen.

## Literatur

- Audsley E., Alber S., Clift, R., Cowell S., Crettaz P., Gaillard G., Hausheer J., Jolliet O., Kleijn R., Mortensen B., Pearce D., Roger E., Teulon H., Weidema B. and van Zeijts H., 1997. Harmonisation of life cycle assessment for agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission DG VI Agriculture.
- Erzinger S., Badertscher Fawaz R., Dux D. und Zimmermann A., 2004. Ökologie und Wirtschaftlichkeit in der Milchproduktion. *Agrarforschung*, **11** (4), 120-125.
- FAL, 2002. Ökobilanzen - Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft. FAL, Zürich, Schriftenreihe der FAL 38, 37 S.
- Haas G., Wetterich F. und Köpke U., 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **83** (1-2): 43-53.
- Hausheer J. und Meier B., 2003. Grundlagenbericht 2002. Ergebnisse der Zentralen Auswertung von

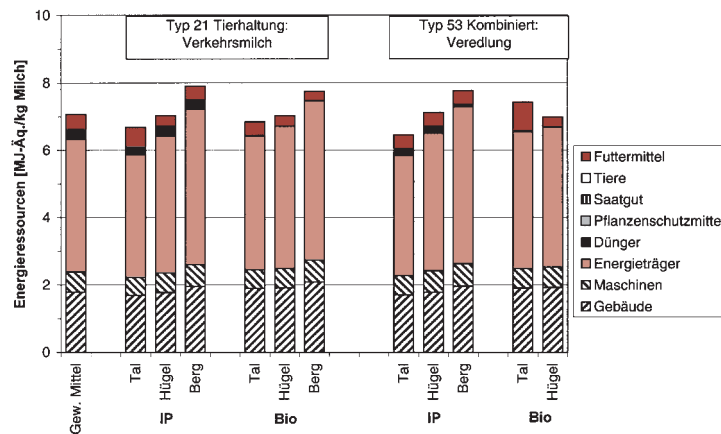


Abb. 3. Verbrauch nichterneuerbarer Energieressourcen bezogen auf 1 kg produzierter Milch in den Betriebstypen 21 (Tierhaltung: Verkehrsmilch) und 53 (Kombiniert: Veredlung).

Buchhaltungsdaten. FAT Tänikon, 180 S.

- Nemecek T., 2003. SALCA-Templates - Swiss agricultural life cycle assessment database - Beschreibung der Mustersysteme «Betrieb» und «Kultur», Version 1.31, August 2003. Interner Bericht, FAL Reckenholz, Zürich, 35 S.
- Nemecek T., Heil A., Erzinger S. und Zimmermann A., 2003. SALCA - Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Database, Umweltinventare für die Landwirtschaft, Version 031a, Mai 2003. Bericht FAL und FAT, 86 S.
- Nemecek T., Kufirin P., Menzi M., Hebeisen T. und Charles R., 2002. Ökobilanzen verschiedener Anbauvarianten wichtiger Ackerkulturen. VDLUFA-Schriftenreihe 58, 564-573.

- Pfefferli S., Graf M., Nemecek Th. und Gaillard G., 2001. Monitoring und Management der potenziellen Umweltwirkungen der Landwirtschaft - Machbarkeitsstudie zur zentralen Auswertung einzelbetrieblicher Ökobilanzen. Bericht FAT, LBL, FAL, 88 S.
- Rossier D. et Gaillard G., 2001. Bilan écologique de l'exploitation agricole - méthode et application à 50 entreprises. Rapport SRVA, FAL sur mandat de l'Office fédéral de l'agriculture, 105 p.
- Wolfensberger U. und Dinkel F., 1997. Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993-1996. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, 230 S.
- Zimmermann A., 2004. Dokumentation zur Definition der Modellbetriebe. Interner Arbeitsbericht, Agroscope FAT Tänikon, 21 S.

## RÉSUMÉ

### Valeurs de référence pour les bilans écologiques d'exploitations agricoles

Des valeurs de référence sont nécessaires pour l'analyse de bilans écologiques d'exploitations agricoles. A cet effet, 27 exploitations modèles ont été définies pour l'agriculture suisse, chacune représentant un groupe d'exploitations classifié selon le type d'exploitation (d'après la typologie développée par Agroscope FAT Tänikon), la région de production (plaine, colline, montagne) et le système de production (intégré, biologique). Les données d'exploitation se basent sur des comptabilités, des documents de la vulgarisation, des recommandations et des avis d'experts. Par unité de surface agricole utile, l'impact environnemental des exploitations extensives (en montagne, avec des veaux de vaches allaitantes, ou exploitations biologiques) ainsi que des exploitations de grandes cultures s'est montré favorable, alors qu'il était particulièrement élevé pour les exploitations avec engraissement de porcs. Relativement à l'énergie nutritive, une part de production végétale élevée s'est révélée favorable pour l'environnement, une production extensive par contre défavorable. Les résultats relatifs à la prestation brute ont montré peu de différences. La consommation d'énergie pour 1 kg de lait produit a été peu différente entre les types d'exploitation et les systèmes de production, mais a augmenté avec l'altitude.

## SUMMARY

### Reference values for life cycle assessment of farms

Reference values are required to analyse life cycle assessments of farms. For this purpose 27 model farms were defined for Swiss agriculture, each representing a group of farms, classified by the farm type according to the typology developed by Agroscope FAT Tänikon, by the production region (lowlands, hill, mountains) and by the farming system (integrated, organic). Farm accountancies, extension documents, recommendations and expert knowledge were used for the definition of the farm data. Per area unit the environmental impact was favourable for farms with extensive production such as farms in the mountains, with suckling cows or organic production, and for arable farms, while pig fattening farms had high environmental impacts. Referring to the produced nutritional energy, a high proportion of plant production was environmentally better, extensive production was unfavourable. The results referring to the raw performance showed little differences. Energy consumption for 1 kg milk differed little between farm types and farming systems, but increased with altitude.

**Key words:** environmental life cycle assessment, LCA, farm LCA, model farms