

# HOW CAN THE ENERGY USE IN SWISS AGRICULTURE BE ASSESSED IN ECONOMIC AND ECOLOGICAL TERMS?

Gabriele Mack, Ali Ferjani, Tim Kränzlein, Stefan Mann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Tänikon, Ettenhausen, Schweiz



*Paper prepared for presentation at the 47<sup>th</sup> annual conference of the GEWISOLA (German Association of Agricultural Economists) and the 17<sup>th</sup> annual conference of the ÖGA (Austrian Association of Agricultural Economists), 'Changing Agricultural and Food Sector', Freising/Weihenstephan, Germany, September 26-28, 2007*

*Copyright 2007 by authors. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.*

# HOW CAN THE ENERGY USE IN SWISS AGRICULTURE BE ASSESSED IN ECONOMIC AND ECOLOGICAL TERMS?

*Gabriele Mack, Ali Ferjani, Tim Kränzlein, Stefan Mann\**

## **Abstract**

This contribution aims to assess agricultural production in energetic and economic terms taking the example of Switzerland. The concept of eco-efficiency is applied. From a methodological point of view, the maximal level of efficiency of energy input is analysed using multi-objective optimisation. From a limited number of alternatives, the economic and energetic efficient alternative is chosen that shows the highest sectoral income in relation to its energy input. The calculations show, that in Swiss plant production more room exists for efficient energy savings than in animal production. In Swiss plain regions, from an solely economic point of view, energy input is considerably higher than under the consideration of energetic aspects in the objective function. On the other hand, in the hill and mountain region, energy use shows a relatively high level of efficiency.

## **Keywords**

Energy use, income maximisation, multi-objective programming, efficiency.

## **1 Einleitung**

Der sparsame Input nicht erneuerbarer Energieressourcen in der Landwirtschaft spielt mit zunehmender Ressourcenverknappung und sich abzeichnender Klimaveränderung eine immer grössere Rolle. Der Energie-Input ist von sehr vielen Faktoren abhängig, welche bereits intensiv erforscht wurden. Zahlreiche Autoren haben einen überproportional zunehmenden Energiebedarf mit steigender Produktivität in der Landwirtschaft festgestellt (PIMENTEL 1980; FLUCK 1992, STOUT 1990). Auch zeigen Zeitreihenanalysen, dass der Energie-Input für die Nahrungsmittelproduktion stärker wächst als dessen Energieoutput (MARTINEZ-ALIER 1987, OKZAN ET AL. 2004). Viele Autoren haben den Energie-Input ökologischer und konventioneller Produktionsverfahren verglichen (BASSET-MENS 2005; GRÖNROOS ET AL., 2006; NEMECEK ET AL., 2005). Beispielsweise schneidet in Finnland die biologisch-organische Milchproduktion je kg Milch deutlich besser ab als konventionell erzeugte Milch (GRÖNROOS ET AL., 2006). Dennoch zeigen die Studien, dass der Energiebedarf ökologischer Produktionsverfahren pro Einheit des produzierten Produktes nicht grundsätzlich niedriger ist, sondern stark vom Produkt und der gewählten Bezugsebene abhängt. CONFORTI ET AL. (1997) haben in internationalen Vergleichen gezeigt, dass der Energie-Input im Allgemeinen umso höher ist, je knapper die Flächenressourcen sind. Länder wie die Schweiz, Japan und Neuseeland weisen dementsprechend weltweit die höchsten Energie-Inputs je Flächeneinheit aus.

Dieser Beitrag hat zum Ziel, die landwirtschaftliche Produktion am Beispiel der Schweiz sowohl energetisch als auch ökonomisch zu bewerten und damit die Nachhaltigkeit<sup>1</sup> des Energie-Inputs abzuschätzen. Wenn ökologische und ökonomische Aspekte gleichzeitig berücksichtigt werden sollen, bietet sich das Konzept der Öko-Effizienz an (WIRTH, 1997). Die Öko-Effizienz misst den wirtschaftlichen Wert eines Produktes in Relation zu den Auswirkungen

---

\* Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,  
E-Mail: gabriele.mack@art.admin.ch

<sup>1</sup> Die soziale Komponente der Nachhaltigkeit wird im folgenden nicht berücksichtigt.

auf die Umwelt. Eine Verbesserung der Öko-Effizienz wird dabei als Indikator für eine nachhaltige Entwicklung angesehen<sup>2</sup>. Auf diesem Konzept basiert auch der vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung entwickelte IW-Umwelt-Effizienz-Indikator, der den Ressourcenverbrauch bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) errechnet und für internationale Vergleiche genutzt wird (DIW, 2006). In diesem Beitrag bezeichnet die Effizienz des Energie-Inputs das Sektoreinkommen der Landwirtschaft (Nettounternehmenseinkommen) im Verhältnis zum Bedarf an nicht erneuerbaren Primärenergieäquivalenten<sup>3</sup>. Dabei deckt die hier angewendete Methodik den Einsatz an nicht erneuerbaren Primärenergieäquivalenten aller fossilen und nuklearen Energieaufwendungen bei der Bereitstellung der Inputs für die landwirtschaftliche Produktion ab. Dieser Einsatz wird mittels Energiekoeffizienten, basierend auf einer einheitlichen methodischen Basis (SALCA061, 2006), abgebildet. Die ausschliessliche Betrachtung der nicht-erneuerbaren Primärenergieäquivalente erfolgt in Anlehnung an den Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)-Ansatzes (DONES, 2006). Dieser Ansatz fasst in verschiedenen Kategorien unter wissenschaftlichen Aspekten Kriterien der Nachhaltigkeit zusammen und stellt im Rahmen von HIRSCHBERG ET AL. (2004) den Einsatz von nicht-erneuerbaren fossilen Energieträgern als Kriterium in die „no degradation of resources“-Kategorie zur Evaluierung der energiebezogenen Technikanalyse unter der Nebenbedingung der Nachhaltigkeit.

Folgende Hypothese wird in dieser Arbeit überprüft: Die Schweizer Landwirtschaft hat im internationalen Vergleich einen relativ hohen Energie-Input je Flächeneinheit (CONFORTI ET AL., 1987; KRÄNZLEIN ET AL., 2006). Dieser Input ist jedoch nicht nur ökonomisch optimal, sondern weist unter den gegebenen agrarpolitischen Rahmenbedingungen auch einen hohen Grad an Effizienz auf.

Die Ermittlung der Effizienz des Energie-Inputs erfolgt mit Hilfe des schweizerischen Sektormodells SILAS-dyn (Sektorales Informations- und Prognosesystem für die Landwirtschaft Schweiz, mehrperiodisch-dynamisch, MACK ET AL., 2006). Dabei wird die Methode der Mehrzieloptimierung angewandt: Das Sektoreinkommen wird maximiert und der Energie-Input minimiert. Aus einer begrenzten Anzahl von Varianten wird die ökonomisch und energetisch effizienteste Variante ausgewählt, welche das höchste Sektoreinkommen in Relation zum Energie-Input aufweist.

Das folgende Kapitel 2.1 beschreibt die Datengrundlagen, Berechnungsmethoden und Systemgrenzen zur Ermittlung des direkten und indirekten Energiebedarfs der Landwirtschaft. Ferner wird die Integration der Energiekoeffizienten in das Sektormodell SILAS-dyn dargestellt. Kapitel 2.2 erläutert das methodische Konzept zur Ermittlung eines in ökonomischer und energetischer Hinsicht effizienten Energie-Inputs. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen folgen in Kapitel 3 und 4.

## **2 Methodische Vorgehensweise**

### **2.1 Ermittlung des Energie-Inputs**

Die Berechnung des Inputs an nicht erneuerbarer Energie im Schweizer Landwirtschaftssektor richtet sich nach den in der Norm DIN EN ISO 14044 (siehe DIN, 2006) festgelegten Prinzipien der Sachbilanz. Erfasst sind sowohl die direkten als auch die indirekten Energieanteile (siehe DIEPENBROCK, 1995 und KALK ET AL., 1996). Der direkte Energie-Input besteht aus den Endenergieträgern Kraftstoff, Brennstoff und Strom, der indirekte Input („graue E-

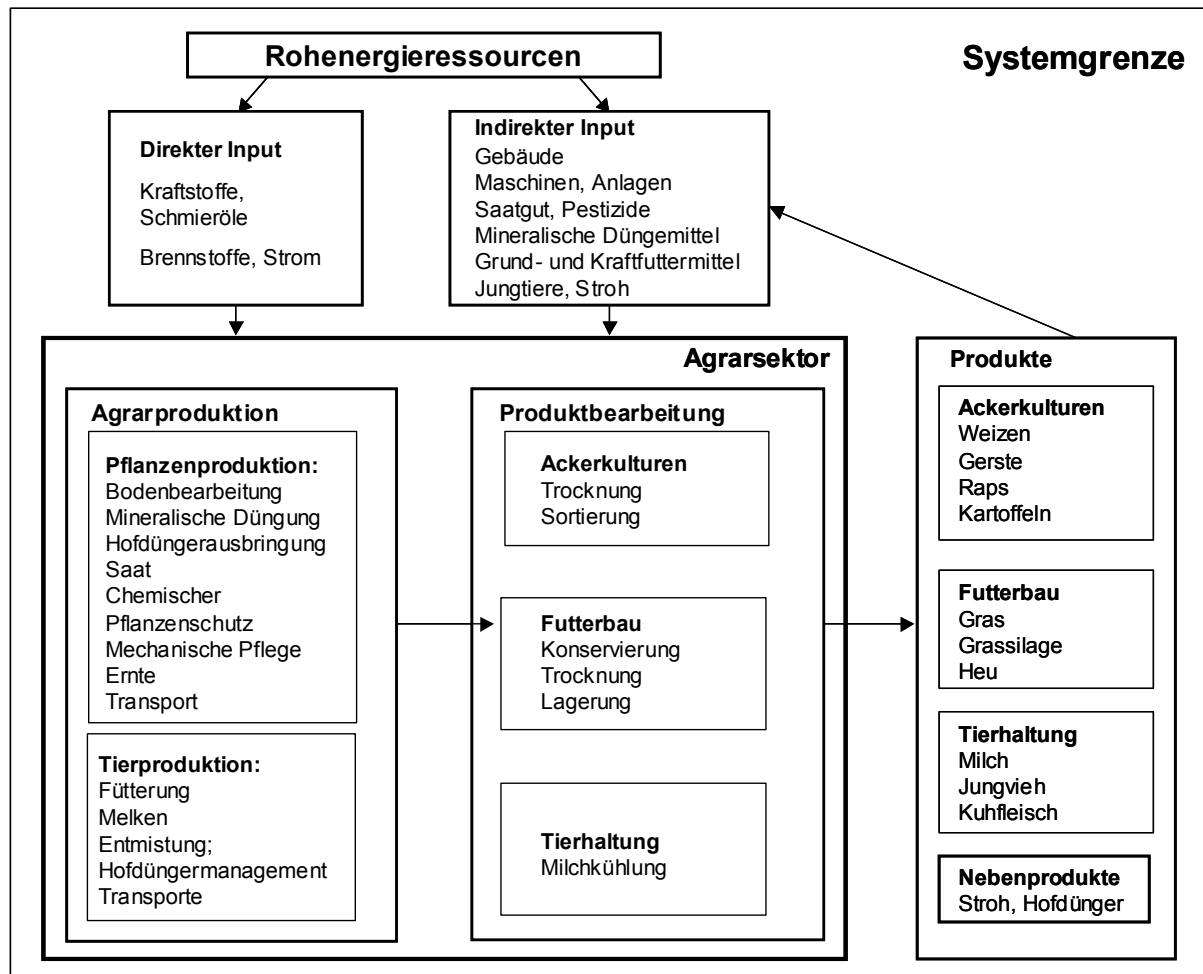
---

<sup>2</sup> Beim Konzept der Öko-Effizienz geht es somit nicht um Instrumente, mit denen bestimmte umweltpolitische Ziele möglichst kostensparend erreicht werden.

<sup>3</sup> Weitere Umweltindikatoren wie beispielsweise Lachgas- oder Ammoniakemissionen sind in diesem Beitrag nicht berücksichtigt. Deshalb können keine umfassenden Aussagen über die ökologische Nachhaltigkeit der Schweizer Landwirtschaft gemacht werden.

nergie“) ist gebunden an die übrigen Betriebsmittel und Werkstoffe (Abb. 1). Für alle Inputs wird der zu ihrer Bereitstellung erforderliche Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie ermittelt. Die Abgrenzung des Agrarsektors orientiert sich an den für landwirtschaftliche Ökobilanzen angewandten Systemen. Berücksichtigt sind die Produktions- und Bearbeitungsprozesse, die in der Regel auf den Betrieben oder bei der Rohproduktannahme stattfinden, und die damit verbundenen Vorstufen und Entsorgungsprozesse, nicht aber die weitere Verarbeitung, Verteilung und der Konsum der Nahrungsmittel.

**Abb. 1: Systemgrenze für die Quantifizierung des direkten und indirekten Energie-Inputs im Landwirtschaftssektor (verändert nach NEMECEK ET AL., 2003)**



Der direkte und indirekte Energie-Input wurde in das regionalisierte Sektormodell für die Schweizer Landwirtschaft (SILAS-dyn) integriert (MACK ET AL., 2006). Das Sektormodell bildet die in der schweizerischen Landwirtschaft vorherrschenden Kultur- und Tierarten aktivitätsspezifisch ab (36 Kulturarten, 17 Tierarten). In diesem Regionshofmodell bilden die acht schweizerischen Produktionszonen je eine betriebliche Einheit. Die Zonen unterscheiden sich in erster Linie in der Höhenstufe und reichen von der Ackerbauzone bis zur Bergzone<sup>4</sup>. Für jede Kultur- und Tierart sind verschiedene Landbauformen (konventionell, ökologischer Leistungsnachweis ÖLN, Bio) und Intensitätsstufen (extensiv, wenig intensiv, mittel-intensiv und intensiv) modelliert, die sich im Naturalertragsniveau und damit auch im Energie-Input unterscheiden. Das regions- und intensitätsspezifische Naturalertragsniveau basiert auf Buchhal-

<sup>4</sup> Für die Ergebnisdarstellung werden die acht Zonen zu den drei Regionen Talregion, Hügelregion und Bergregion aggregiert.

tungs- und Normdaten<sup>5</sup>. Verschiedene Produktionsbereiche werden modellendogen unter Berücksichtigung von tier- und pflanzenphysiologischen Constraints optimiert, insbesondere die Fütterung (Kraft- und Grundfuttereinsatz in der Tierhaltung, Grundfutteraufbereitung zu Heu, Silage oder Eingrasen), die Düngung (mineralische und organische Düngung) und der Arbeitseinsatz (familieneigene und -fremde Arbeitskräfte). Ferner sind einzelbetriebliche Umweltauflagen, wie beispielsweise die Anforderungen an einen ausgeglichenen Nährstoffhaushalt für Stickstoff und Phosphor, im Modell auf Regionshofebene implementiert.

Die Optimierung erfolgt für das Jahr 2008 nach der Methode der positiven mathematischen Programmierung (PMP) (HOWITT, 1995). Die PMP-Kalibrierung basiert auf exogenen Elastizitäten (siehe GOCHT, 2005), die mangels genauer Werte für die schweizerische Landwirtschaft als eins definiert wurden. Die Zielfunktion in der Ausgangsvariante maximiert die Bruttowertschöpfung<sup>6</sup> aller acht Zonen simultan, weshalb eine optimale regionale Allokation der Produktion sichergestellt ist. Für die mengenmässige Abbildung der verschiedenen Inputfaktoren (Tab. 1) werden Planungsdaten, Statistiken und ergänzende Literaturdaten verwendet. Die energetische Bewertung aller Inputfaktoren erfolgt auf der Grundlage von Ecoinvent-Umweltinventaren (FRISCHKNECHT ET AL., 2006) im Rahmen des MCDA-Ansatzes (DONES, 2006).

## 2.2 Ermittlung der Effizienz des Energie-Inputs

In dieser Studie werden ökonomische und energetische Ziele in einer Zielfunktion mittels Mehrzieloptimierung abgebildet (MOLP)<sup>7</sup>. Es wurde der sogenannte “Weighting approach of multi-objective programming” angewandt, der zwei Ziele mittels Gewichte  $w$  in einer Zielfunktion vereinigt:

1. Ökonomisches Ziel (Z1): Maximierung des Sektoreinkommens; Gewichtung mit  $w_1$
2. Ökologisches Ziel (Z2): Minimierung des Energie-Inputs, Gewichtung mit  $w_2$

Die Zielfunktion MZ kann wie folgt dargestellt werden:

$$\text{MAX MZ: } Z1 * w_1 - Z2 * w_2;$$

Für die Berechnungen wurde das Gewicht  $w_2$  des ökologischen Ziels in 1 % Schritten von 0 bis 20 % variiert, während das ökonomische Ziel grundsätzlich mit  $w_1 = 1$  gewichtet wurde.<sup>8</sup> Durch die Parametrisierung der Gewichte  $w$  wird eine Reihe von – für die jeweilige Zielgewichtung – optimalen Lösungen erzeugt. Die Variante, bei der das ökonomische Ziel Z1 mit 1 und das ökologische Ziel mit 0 gewichtet wird, entspricht der Einkommensmaximierung. Das ökologische Ziel der Minimierung des Energie-Inputs steht normalerweise in Zielkonflikt mit dem ökonomischen Ziel der Einkommensmaximierung. Die ökonomisch und energetisch effiziente Zielkombination aus der Stichprobe von insgesamt 21 Berechnungsvarianten ermittelt sich gemäss dem Konzept der Öko-Effizienz. Es wird diejenige Variante ausgewählt, welche das höchste Sektoreinkommen der Schweizer Landwirtschaft (Nettounternehmenseinkommen) in Relation zum Energie-Input aufweist.

---

<sup>5</sup> Die Marktfruchterträge stützen sich auf Dreijahresmitteln (2002-2004). Die Erträge der Wiesen und Weiden wurden aufgrund von Normdaten festgelegt. Sie sind von der Höhenstufe und vom Intensitätsniveau abhängig.

<sup>6</sup> Abzüglich der Löhne für Fremdarbeitskräfte (Arbeitnehmerentgelt) und abzüglich der Kosten für Ersatz- und Neuinvestitionen

<sup>7</sup> MOLP= Multiple objective linear programming. Die Mehrzieloptimierung erzeugt ein Set (pareto)-optimaler Lösungen. Alle diese Lösungen sind effizient, weil die unterschiedlichen Indikatoren nicht gegeneinander abgewogen werden (REHMAN ET AL., 1984).

<sup>8</sup> Eine stärkere Gewichtung ist modelltechnisch nicht möglich, da die Zielfunktion ansonsten negativ wird.

**Tab. 1: Modellierung des direkten und indirekten Energie-Inputs**

Inputfaktor	Modellierung im Sektormodell SILAS-dyn
Diesel	Kulturartspezifisch in Abhängigkeit der Maschinenstunden (h/ha) und des Dieselverbrauchs (l/h).
Strom	<i>Milchkühlung</i> : Bezogen auf die Milchmenge (kWh/l). <i>Melken, Füttern, Heizen, Futtervorlage, Entmisten</i> : Tierspezifisch auf der Grundlage von Normwerten (kWh/Tier). <i>Futtereinlagerung, Futterauslagerung, Heutrocknung (Kaltbelüftung)</i> : Geknüpft an die Futteraktivitäten (kWh/dt Futter). <i>Mahlen, Mischen von Kraftfutter</i> : Geknüpft an die Futteraktivitäten (kWh/dt Futter).
Heizöl	Durchschnittlicher Heizölverbrauch je ha Unter-Glas Gemüseanbau in der Schweiz bei ganzjähriger Bewirtschaftung (l/ha).
Mineraldünger	Kulturartspezifisch in Abhängigkeit des Nährstoffbedarfs und des Anfalls an organischem Dünger; modellendogene Optimierung.
Saatgut	Normwerte für die Bedarfsmengen je Kultur und die Anteile an zertifiziertem Saatgut.
Pestizide	Abschätzung des Pestizideinsatzes je Kulturart auf der Grundlage von nationalen Statistiken (Mittelmengen, Mittelausgaben) und Buchhaltungsdaten.
Kraftfuttermittel	<i>Importierte Futtermittel bzw. Futtermittelbestandteile</i> : Mittlere Annahmen für Produktion, Verarbeitung, Transportmittel und Transportdistanzen. <i>Im Inland hergestellte Handelsfuttermittel</i> : Mittlere Annahmen für Verarbeitung und Transport in der Schweiz. Die Menge an importiertem Futtermittel wird modellendogen in Abhängigkeit des schweizerischen Futterbedarfs und der inländischen Futterproduktion ermittelt.
Maschinen	Ermittlung der Maschinengewichte mit Hilfe regionsspezifischer Maschinenstatistiken und Gewichtstabellen. Zuteilung der regionalen Maschinengewichte auf die Kulturarten (Verteilungsschlüssel: Flächennutzung, Maschinenzeiten je Kulturart und mittlere Nutzungsdauer je Maschinenart).
Gebäude	<i>Remisen</i> : Bedarf je Kulturart in Abhängigkeit vom Maschinenbestand und Gebäudebedarfskoeffizienten. <i>Stallgebäude</i> : Bedarf an neuen Stallplätzen. Bei Gebäuden wird unterschieden zwischen dem Bestand im Basisjahr (der entsprechend der mittleren Nutzungsdauer mit zunehmendem Prognosezeitraum abnimmt) und dem Bedarf an Neuinvestitionen.
Primärenergiebedarf	Verknüpfung der direkten und indirekten Inputfaktoren mit ihrem Gehalt und Aufbereitungsbedarf an Primärenergie.

Quelle: eigene Aufstellung

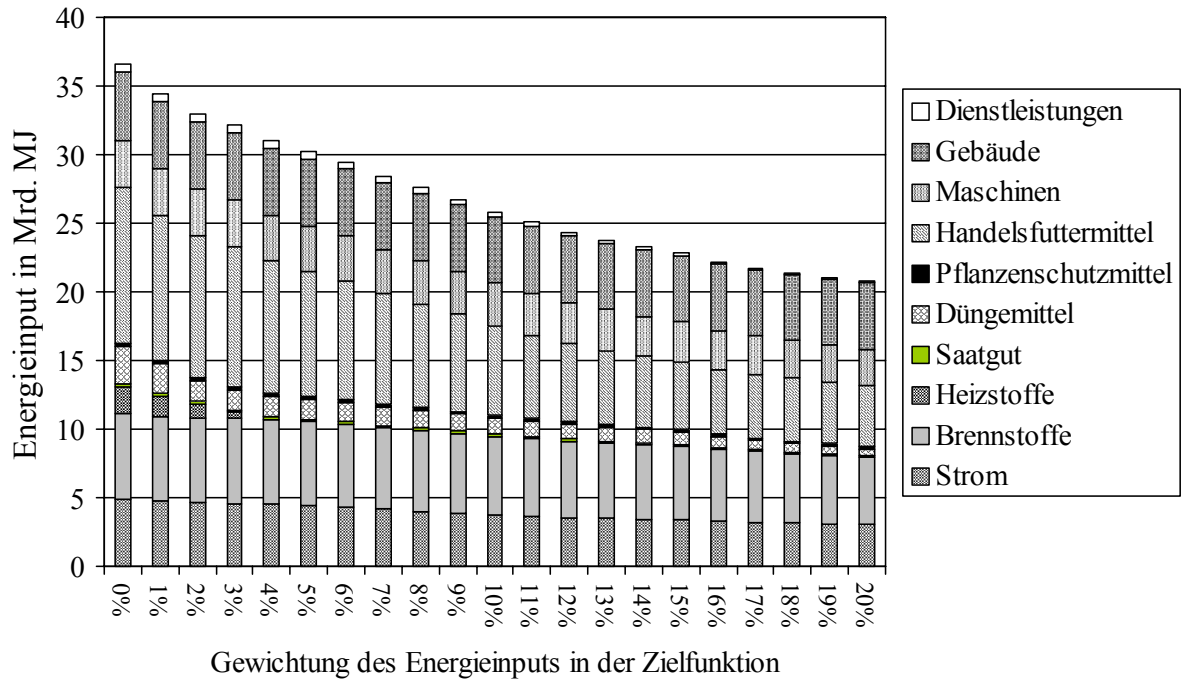
### 3 Ergebnisse

Der optimale Energie-Input der Schweizer Landwirtschaft bei sich ändernder Zielgewichtung ist in Abbildung 3 unterteilt nach direkten und indirekten Komponenten dargestellt. Der ökonomisch optimale Energie-Input – ohne Berücksichtigung des ökologischen Ziels der Energieeinsparung in der Zielfunktion<sup>9</sup> – beträgt im Untersuchungsjahr 2008 rund 37 Mrd. MJ (in Abb. 3 bei Gewichtung des Energie-Inputs mit 0 %). Die Mehrzieloptimierung ergibt am Beispiel der Schweizer Landwirtschaft den in der Theorie beschriebenen Zusammenhang: Mit steigender Gewichtung des Energie-Inputs in der Zielfunktion geht das Sektoreinkommen in der Landwirtschaft annähernd linear zurück. Gemäss dem Konzept der Öko-Effizienz erreicht die 16 % Gewichtung des Energie-Inputs den höchsten Grad an Effizienz. Bei dieser Gewichtung ist das Einkommen in Relation zum Energieinput maximal (vgl. Abb. 4) Dabei verringert sich der sektorale Energiebedarf um 39 % von rund 37 Mrd. MJ auf 22 Mrd. MJ bei einer gleichzeitigen Einkommensenkung um 15 % (vgl. Abb. 4). Bis zu dieser Grenze ist es möglich, die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche zu bewirtschaften. Eine weitere Verringerung

<sup>9</sup> Diese Variante wird im folgenden auch als Referenzlösung bezeichnet.

des Energie-Inputs unter 22 Mrd. MJ ist dagegen nur möglich, wenn Ackerflächen nicht mehr genutzt werden. Die Nichtnutzung ist jedoch mit überproportionalen Einkommensverlusten verbunden.

**Abb. 3: Energie-Input der Schweizer Landwirtschaft bei Gewichtung des Inputs mittels Mehrzieloptimierung.**



Quelle: eigene Berechnungen

**Tab. 3: Einkommen und Energie-Input bei ökonomischem Optimum und bei maximaler Effizienz**

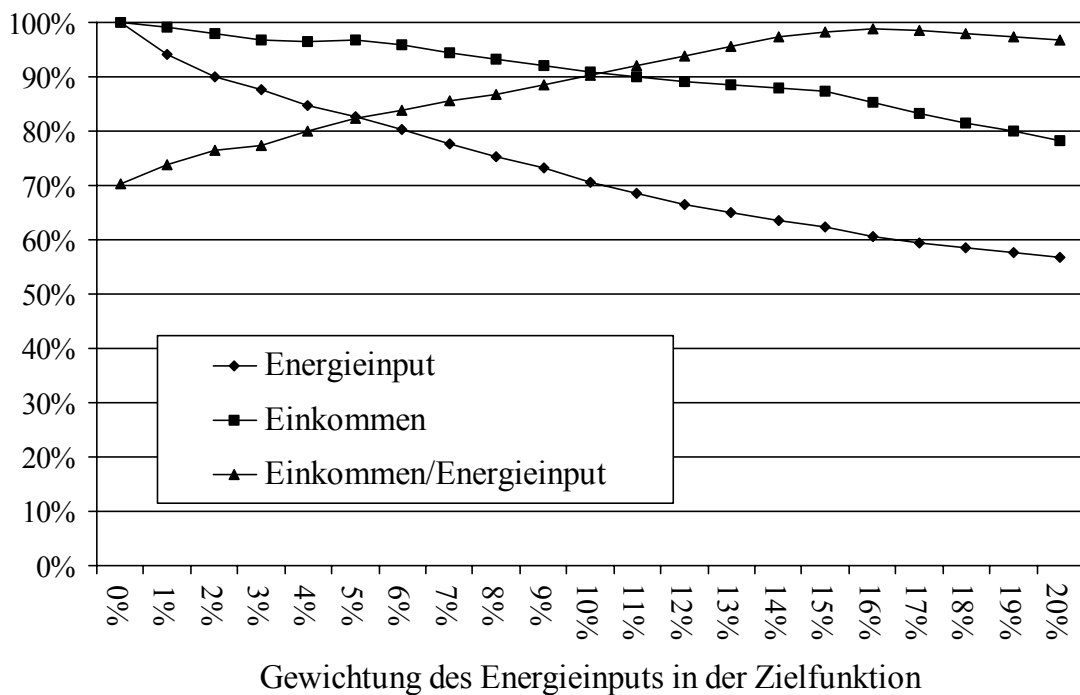
		Referenzlösung: Ökonomisches Optimum				Maximale Effizienz des EnergieInputs Veränderung gegenüber Referenzlösung			
		Alle Regionen	Tal	Hügel	Berg	Alle Regionen	Tal	Hügel	Berg
Einkommen	Fr./ha LN	2'412	2'930	1'897	1'997	-15 %	-18 %	-10 %	-11 %
Energiebedarf	MJ/ha LN	34'354	42'918	34'409	19'537	-39 %	-46 %	-34 %	-23 %

Quelle: eigene Berechnungen

Die verhältnismässig geringe Einkommensreduktion deutet darauf hin, dass die Energieeinsparungen nicht nur mit beachtlichen Kostensenkungen verbunden sind, sondern auch durch ökologische Direktzahlungen kompensiert werden können. Um eine entsprechende Energieeinsparung zu erzielen, ist es aus ökonomischer und energetischer Sicht am effizientesten, den Einsatz von Düngemitteln, Kraftfuttermitteln und von Heizstoffen für den Gemüseanbau in Gewächshäusern stark einzuschränken ( $> | -50 \% |$ ). Allerdings wird die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche bewirtschaftet. Generell lassen sich die geeigneten Massnahmen zur Reduktion des Energie-Inputs bis zur maximalen Effizienz aufgrund der Modellrechnungen in folgende Kategorien einteilen:

1. Extensivierung (siehe Tab. 4): Extensivierung des Grünlands, Zunahme des extensiven Getreideanbaus.
2. Energiesparende Raufutteraufbereitung: Zunahme der Weidehaltung (Talregion: +15 %), Reduktion energieintensiver Futteraufbereitungsverfahren wie Heubelüftung (Talregion: – 94 %).
3. Optimierung des Kraftfuttereinsatzes: Reduktion des Milchpulvereinsatzes in der Rindviehhaltung, Ersatz energieintensiver Importfuttermittel durch einheimisch erzeugte Futtermittel. Verringerung des Schweinebestandes.
4. Änderung der Produktionsrichtung (siehe Tab. 5): Verringerung vor allem der pflanzlichen Nahrungsmittelproduktion; Umwandlung offener Ackerfläche in Grünlandstandorte und Abnahme der Tierbesatzdichte; bessere Ausschöpfung der ökologischen Direktzahlungen .
5. Abbau der beheizten Gewächshäuser (siehe Tab. 5): Nahezu vollständiger Verzicht auf die beheizte Unter-Glas-Produktion.

**Abb. 4: Relative Veränderung des Einkommens, des Energie-Inputs und der Effizienz (Einkommen/Energie-Input) bei zunehmender Gewichtung der Energie in der Zielfunktion**



Quelle: eigene Berechnungen

Die regionalen Ergebnisse zeigen, dass die Talregion mit rund drei Vierteln überdurchschnittlich stark zur Energieeinsparung beitragen müsste, während die Hügel- und Bergregion nur zu geringfügigen Anpassungen gezwungen wären (Tab. 3). In der Talregion müsste aus diesem Grund die extensiv genutzte Fläche besonders stark erhöht werden (Tab. 4). Darüber hinaus wäre es erforderlich, die Intensität von Wiesen und Weiden mit einem hohen indirekten Energie-Input (Düngung, Maschineneinsatz) zu verringern. Dies würde neben der Tal- vor allem die Hügelregion betreffen. Der Silomaisanbau ist in der Hügel- und Bergregion unter energetischen Aspekten nicht optimal. Für die Bergregion zeigen die Ergebnisse, dass eine Umlagerung von der wenig extensiven zur extensiven Nutzung aus energetischer Sicht besser wäre.



Eine Verbesserung der Effizienz des Energie-Inputs ist mit einer tendenziell stärkeren Reduktion der pflanzlichen als der tierischen Erzeugung verbunden (Tab. 5). So müsste die pflanzliche Produktion - mit Ausnahme von Futtergetreide und Kartoffeln - um über 50 % gesenkt werden. Überdurchschnittlich stark wäre der Rückgang bei den Ölsaaten und beim beheizten Gewächshausgemüse, das in der Schweiz einen sehr hohen Heizölbedarf aufweist. Demgegenüber würde es sich aus energetischen Gründen lohnen, den einheimischen Anbau von extensivem Futtergetreide zu erhöhen. Einen deutlich geringeren Einfluss als der Ackerbau hat die Mehrzieloptimierung auf die Erzeugungsmengen bei Milch und Rindfleisch.

**Tab. 4 : Extensivierung bei ökonomischem Optimum und bei maximaler Effizienz des Energie-Inputs**

		Referenzlösung: Ökonomisches Optimum				Maximale Effizienz des Energie- Inputs % Veränderung gegenüber Referenzlösung			
		Alle Regionen				Alle Regionen	Tal	Hügel	Berg
Ackerfläche <sup>1)</sup>	1000 ha	244	201	37	6	-27%	-27%	-6%	-29%
Futterfläche	1000 ha	817	302	233	233	+5%	+14%	+1%	+1%
Wiesen/Weiden extensiv	1000 ha	130	69	23	38	+86%	+96%	+75%	+75%
Wiesen/Weiden wenig intensiv	1000 ha	66	19	16	30	+43%	+51%	+151%	-20%
Wiesen/Weiden mittelintensiv	1000 ha	267	87	87	93	+5%	0%	+7%	+8%
Wiesen/Weiden intensiv	1000 ha	322	102	99	121	-33%	-31%	-45%	-24%
Silomais	1000 ha	33	25	7	1	-16%	-12%	-24%	-100%

1) Ackerfläche ohne Ackerfutterbau

Quelle: eigene Berechnungen

**Tab. 5: Veränderung der Nahrungsmittelproduktion bei ökonomischem Optimum und bei maximaler Effizienz des Energie-Inputs**

		Referenzlösung: Ökonomisches Optimum				Maximale Effizienz des Energie-Inputs % Veränderung gegenüber Referenzlösung			
		Alle Regionen				Alle Regionen	Tal	Hügel	Berg
Getreide	1000 t	789	629	151	9	-12%	-12%	-9%	-44%
Kartoffeln	1000 t	384	344	37	3	-33%	-39%	27%	-84%
Ölsaaten	1000 t	62	56	59	0	-68%	-67%	-76%	-76%
Zuckerrüben	1000 t	1'360	1'343	17	0	-51%	-51%	-61%	0%
Körnermais	1000 t	159	152	7	0	-78%	-78%	-78%	-100%
Frischgemüse	1000 t	341	333	8	0	-72%	-72%	-80%	0%
Beheiztes Gewächshausgemüse	1000 t	115	115	0	0	-100%	-100%	0%	0%
Milch	1000 t	3'853	1'822	1'184	847	-18%	-22%	-17%	-11%
Rindfleisch	1000 t	99	50	27	22	-10%	-9%	-11%	-9%
Kalbfleisch	1000 t	34	15	11	8	-25%	-36%	-14%	-22%
Schafe und Ziegen	1000 t	6	2	1	3	0%	-1%	0%	0%
Schweinefleisch	1000 t	202	126	59	17	-40%	-43%	-39%	-24%
Geflügelfleisch	1000 t	43	29	12	1	0%	0%	0%	0%
Eier	Mio. Stk	635	365	183	88	-50%	-50%	-52%	-46%

Quelle: eigene Berechnungen

Dagegen wäre die Kalbfleischproduktion auf Milchpulverbasis unter energetischen Aspekten wenig optimal und müsste vor allem in der Tal- und Bergregion reduziert werden. Auch die Schweinefleischproduktion auf der Basis importierter Futtermittel müsste eingeschränkt werden. Insgesamt zeigen die Berechnungen, dass die Mehrzieloptimierung der Schweizer Landwirtschaft die Wettbewerbsfähigkeit der Milch- und Rindfleischproduktion deutlich weniger schwächt als jene der übrigen tierischen Produkte und vor allem der pflanzlichen Betriebszweige. Besonders die Milchproduktion weist somit sowohl ökonomisch als auch unter energetischen Aspekten komparative Vorteile auf.

#### **4 Schlussfolgerungen**

Die Ergebnisse zeigen, dass der Energie-Input in der Talregion bei einer ökonomischen Optimierung deutlich höher ist als unter Berücksichtigung energiesparender Aspekte. Somit kann die anfangs gestellte Hypothese, dass der Energie-Input sowohl ökonomisch als auch ökologisch optimal ist, für die Talregion nicht bestätigt werden. Für die Hügel- und Bergregion zeigen sich dagegen geringere Unterschiede zwischen dem ökonomisch optimalen und dem Energie-Input bei einer Mehrzieloptimierung. Zumindest für diese beiden Regionen scheint also die Hypothese zuzutreffen. Interessant ist insbesondere, dass die pflanzliche Produktion grössere Spielräume zur effizienten Energieeinsparung aufweist als die tierische Produktion. Dabei ist zu beachten, dass die Effizienz des Energie-Inputs in diesem Beitrag das Sektoreinkommen bezogen auf den Energiebedarf bezeichnet. Würde statt des Einkommens der Energieoutput betrachtet, wären die pflanzlichen Produkte im Vorteil, die bekanntlich pro Einheit erzeugter Nahrungsenergie deutlich geringere Wertschöpfung erzielen als die tierischen Produkte. Somit sollten die Produktionsbereiche, in denen die Schweiz im internationalen Kontext ohnehin keine komparativen Kostenvorteile aufweist, nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus energetischen Gründen umgestaltet oder in ihrem Umfang verringert werden. Zukünftige Forschungsprojekte könnten die Frage beantworten, ob energetische und ökonomische Effizienz auch in anderen Regionen so kompatibel miteinander sind. Denkt man auf der Grundlage der hier vorgestellten Ergebnisse über politische Maßnahmen nach, mit denen eine deutliche Energieeinsparung bei moderatem Einkommensverlust erreicht werden soll, so wären eine Besteuerung der Energie insbesondere für Gewächshäuser, ein stärkerer Grenzschutz für Kraftfutter und Anreizzahlungen für eine Extensivierung des Pflanzenbaus sicherlich Optionen, die zu prüfen wären.

#### **Literatur**

- BASSET-MENS, C. AND H. M. G. WERF VAN DER (2005): Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127-144.
- CONFORTI, P. AND M. GIAMPIETRO (1997): Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65, 231-243.
- DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.) (1998): DIN EN ISO 14041: Umweltmanagement Ökobilanz: Prinzipien und allgemeine Anforderungen.
- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) (2006): Umwelt-Effizienz im internationalen Vergleich; *IW-Trends* 4 (33) 2006, Köln.
- DIEPENBROCK, W., B. PELZER, J. RADTKE (1995): Energiebilanz im Ackerbaubetrieb; Arbeitspapier, KTBL 211; Darmstadt.
- DONES, R. (2006): Sustainability of Electricity Systems: LCA applied in External Cost and Multi-Criteria Assessments; Proc.of the 7<sup>th</sup> Int. Conf. on EcoBalance, Tsukuba/Japan.
- FRISCHKNECHT, R., H.J. ALTHAUS, C. BAUER, C. CAPELLO, G. DOKA, R. DONES, M.F. EMMENEGGER, R. HISCHIER, N. JUNGBLUTH, M. MARGNI, D. KELLENBERGER, T. NEMECEK, AND M. SPIELMANN (2006): Documentation of changes implemented in ecoinvent Data v1.2 and v1.3. Ecoinvent report No. 16. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 114 pp.

- FLUCK, R. C. ED, (1992): Energy in World Agriculture. Elsevier. Amsterdam. 13-29 S.
- GOCHT, A. (2005): Assessment of simulation behavior of different mathematical programming approaches. 89. EAAE Seminar: Modelling Agricultural Policies: State of the Art and new Challenges. 3-5 February 2005 – Parma.
- GRÖNROOS, J. ET AL. (2006): Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 117, 109-118.
- HIRSCHBERG, S. ET AL. (2004): Sustainability of Electric Supply Technologies under German Conditions: A Comparative Evaluation; PSI Bericht Nr. 04-15, Villigen.
- HOWITT R.E. (1995): Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 329-342.
- KALK, W.-D.; K.-J. HÜLSBERGEN (1996): Methodik zur Einbeziehung des indirekten Energieverbrauchs mit Investitionsgütern in Energiebilanzen von Landwirtschaftsbetrieben; *Kühn-Arch.* 90, 1, S. 41-56.
- KRÄNZLEIN T. UND G. MACK (2006): Analyse der Energieeffizienz der schweizerischen und österreichischen Landwirtschaft: ein regionalisierter Ansatz. Tagungsbeitrag an der 16. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, 28.-29. Sept. 2006, Wien.
- MACK G. UND C. FLURY (2006): Auswirkungen der AP2011. Modellrechnungen für den Agrarsektor mit Hilfe des Prognosesystems SILAS. Im Auftrag des Bundesamts für Landwirtschaft. <http://www.blw.admin.ch/themen/00005/00044/index.html?lang=de>.
- MARTINEZ-ALIER, J. (1987) : *Ecological Economics*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- NEMECEK ET AL. (2003): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems; Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- NEMECEK, M. MARGNI, AND M. SPIELMANN (2005): Implementation of life cycle assessment methods - ecoinvent data v1.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories (ecoinvent), Dübendorf, ecoinvent report 3, 116 pp.
- OZKAN, B., H. AKCAOZ, AND C. FERT (2004): Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29 p. 39-51 (2004)39-51.
- PIMENTEL, D. (1980): *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*; CRC Press, Inc., Boca Raton (Florida).
- SALCA061 (2006): Regularly update and enlargement of ecoinvent (2003) agricultural inventories including the impact assessment factors (not published); Agroscope ART Reckenholz, Zürich.
- STOUT, B.A. (1990): *Handbook of Energy for World Agriculture*, Elsevier Applied Science, Essex, UK.
- REHMAN, T., AND C. ROMERO (1984): Multiple-criteria decision-making techniques and their role in livestock ration formulation. *Agric. Syst.* 15:23–49.
- WIRTH, M. (1997): Ökoeffizienz als Herausforderung an die Industrie. In Schmidt-Bleek et.al. *Oekointelligentes Produzieren und Konsumieren*, Birkhäuser Verlag, Basel.