

Energieaufwand und Nahrungsproduktion, 2. Teil

**Hans-Diedrich Cremer und Ulrich Oltersdorf,
Institut für Ernährungswissenschaft der Justus-Liebig-Universität Gießen**

■ *Energieaufwand für Nahrungsmittelproduktion und -verarbeitung / pflanzliche und tierische Nahrungsmittel / Agrarsysteme*

Was hat eine Energieanalyse der Nahrungsproduktion eigentlich für einen Sinn? Inwieweit kann, wenn man nur einen der vielen für die Produktion wichtigen Faktoren in den Mittelpunkt stellt, eine Energieanalyse mehr aussagen als dies mit Hilfe konventioneller ökonomischer Verfahren möglich ist? — Die Energieanalyse versucht nicht, an die Stelle der ökonomischen Analyse zu treten, sondern diese nur zu ergänzen und Grundlagen zur Einsparung von Energie zu schaffen.

Primärenergie und Nahrungsenergie

Zur Deutlichmachung der enormen Steigerung der zur Nahrungsproduktion aufgewandten Primärenergie bietet sich eine historische Betrachtung über die Entwicklung des zur Nahrungsproduktion notwendigen Energieaufwandes an.

Die Abbildung 2 bringt Beispiele für den unterschiedlichen Energieaufwand bei verschiedenen Wirtschaftsformen

— für die Gewinnung *verschiedener* Nahrungsmittel

— für die Gewinnung der *gleichen* Nahrungsmittel unter verschiedenen Produktionsbedingungen.

Im Wanderfeldbau oder bei der traditionellen Reiskultur in China und Indonesien war die zur Gewinnung von Nahrungsenergie einzusetzende Energie außerordentlich gering ($\ll 10\%$). Die Nahrungsproduktion wurde im Laufe der Zeiten immer aufwendiger.

An der Spitze stehen heute die Hochseefischerei und die Rindermast sowie die Gewächshauskulturen. Daraus wird deutlich, daß nicht etwa gesteigerter Fischfang oder die Gewinnung von Fischeiweißkonzentraten das Welternährungsproblem lösen können. Der hierfür notwendige Aufwand liegt etwa doppelt so hoch wie der für Weidevieh oder Eier (Abb. 2).

Zur Gewinnung *einer* Nahrungskalorie muß man bis zu 20 Kalorien als Gesamt-Energieaufwand rechnen. Bei den Primitivkulturen dagegen konnten mit *einer* in Form von menschlicher Arbeit eingesetzten Kalorie 10 bis 50 Nahrungskalorien gewonnen werden. Der historische Vergleich zwischen dem bei den Primitivkulturen notwendigen Energieaufwand und dem bei der modernen Nahrungsgewinnung ist also recht lehrreich (Abb. 2).

Aus einem Vergleich der in den folgenden Tabellen 3 bis 6 aufgeführten

Nahrungsmittel und der zu ihrer Gewinnung notwendigen Energiemengen wird deutlich,
— wieviel Energie bei Auswahl bestimmter Produktionsverfahren eingespart werden kann,
— wie energieaufwendig andere Produktionen sind.

So zeigt die Tabelle 3 ein Beispiel für niedrige Energiezufuhr und hohen Energiegewinn, also günstige Energiequotienten beim Wanderfeldbau bzw. überhaupt in einer traditionellen Subsistenzwirtschaft. Für das gleiche Produkt können die Energiequotien-

Tab. 3: Energieaufwand und -gewinn beim Wanderfeldbau (Kongo) und der Subsistenzwirtschaft (Indien) (10^6 kJ/ha/Jahr) (nach LEACH (11))

	Energie-		
	Zufuhr	Gewinn	Quotient
Kongo			
Menschl. Arbeit	0,23		65
Werkzeug	0,01		
	0,24		
Reis 80 kg		1,21	14,8
Maniok 1500 kg		9,62	
Bananen 1000 kg		4,86	
		15,69	
Indien			
Menschl. Arbeit	0,70		14,8
Reis 618 kg		10,47	
Wildkräuter		2,93	
Fleisch und Milch		0,09	
abzügl. Viehfutter (Reis u. a.)		3,14	
		10,35	

Tab. 4: Energieaufwand und -gewinn beim Maisanbau in verschiedenen Ländern (10⁶ kJ/ha/Jahr) (nach LEACH (11))

	Mexiko	Guatemala	Nigeria	Philippinen	USA
Menschl. Arbeit	0,91	1,13	0,56	0,49	0,24
Werkzeug	0,05	0,05		0,05	
Zugvieh			2,49		1,17
Maschinen einschl. Betriebsstoff		1,01		1,01	17,70
Dünger und Chemikalien			0,90	0,38	11,33
Bewässerung					0,80
Summe Aufwand	0,96	1,18	4,06	1,44	2,80
Ertrag kg	1934	1056	1056	944	930
Energie Gewinn	29,4	16,0	16,0	15,1	14,15
Energie Quotient	30,6	13,6	3,94	10,5	5,06

ten — abhängig von Wirtschaftsform, Energieeinsatz und Ertrag — beträchtlich schwanken, wie das für in 5 verschiedenen Regionen angebaute Mais in Tabelle 4 dargestellt ist.

Steigender Energieaufwand mit Entwicklung moderner Agrarsysteme

Wenn man bedenkt, mit wie geringem Energieeinsatz unsere Vorfahren ihre Nahrung zu gewinnen vermochten, kann man daraus schließen, daß sie eigentlich — und das gilt heute noch für viele Menschen in manchen Entwicklungsländern — als Jäger und Sammler und als Bauern in dem Vorindustrienzeitalter ein goldenes Leben in Überfluß führen konnten (wenn ihr Wirtschaftsraum genügend groß ist). Hierfür ein hypothetisches Beispiel: Nehmen wir an, ein Bauer hat drei erwachsene Familienmitglieder, die von ihm abhängen. Sie brauchen jeder 12 MJ (3000 Kalorien) an Nahrungsenergie pro Tag. Die Gesamtenergieaufnahme der Gruppe liegt also unter 50 MJ pro Tag. Wenn der Energiequotient, wie es typisch für Subsistenzwirtschaft sein kann, bei 25 liegt, muß der Bauer täglich nur 2 MJ an körperlicher Arbeit aufwenden, d. h. 2 bis 3 Stunden am Tag, nur den Bruchteil eines „Standard-Achtstundentages“. In der Tat ist es so, daß die Bauern in der Vorindustriezeit nur etwa 25% ihrer täglichen Arbeitszeit zur Nah-

rungsgewinnung aufwenden mußten. So konnte z. B. ein Buschmann in der Kalahariwüste, und dies galt für % der Bevölkerung, in 2 bis 3 Tagen die für die Woche notwendige Nahrung sammeln. In der restlichen Zeit brauchte er gar nichts zu tun.

Im deutschen Schrifttum gibt es kaum Literatur, die den außerordentlich schnellen Wandel vom halbindustriellen zum hochindustrialisierten System der Nahrungsproduktion so anschaulich darstellt, wie es LEACH in seinem 1976 erschienenen Buch „Energy and Food Production“ tut (11). LEACH bringt instruktive Zahlenbeispiele aus der Landwirtschaft in England um die Jahrhundertwende. Der Energieaufwand zur Nahrungsgewinnung wurde durch die Arbeit von etwa über 1 Mill. Landarbeitern und, in England und Wales allein, durch etwa 920 000 Pferde geleistet. 1901 hatte Großbritannien ca. 3,5 Mill. Pferde, von denen etwa 1,1 Mill. der landwirtschaftlichen Produktion dienten und etwa 2 Millionen, um Güter vom Lande zur Stadt bzw. zum Verbraucher zu transportieren.

1920 befand sich die Landwirtschaft in England noch im frühen Stadium der Halbindustrialisierung. Im Jahre 1920 waren in der Landwirtschaft etwa 10 000 Traktoren eingesetzt, heute dagegen sind es etwa 500 000. Die meisten landwirtschaftlichen Betriebe hatten kleine mit Kohle oder Mineralöl betriebene Maschinen, deren Energieleistung bei etwa 2,5 PS/Stunde (7 MJ) per ha lag.

Wenn man den Gesamtwirkungsgrad auf etwa 5% schätzt, betrug der

Energieeinsatz für Brennstoffe allein etwa 150/MJ/ha/Jahr, verglichen mit rund 9000 MJ/ha/Jahr heutzutage. Die Elektrifizierung der Bauernhöfe war gerade im Beginn: 1935 noch waren nur etwa 6% der Bauernhöfe mit Strom versorgt, der Gesamtverbrauch lag bei 25 Gwh (90 000 GJ), d. h. weniger als 1% des Elektrizitätsverbrauchs von heute.

Heute werden nur 8,3% des Agrarlandes dazu verwandt, um Produkte zu gewinnen, die direkt als Nahrungsmittel für den Menschen dienen. Der Rest von etwa 92% wird benötigt, um Vieh aufzuziehen und zu nutzen.

Es wurde schon betont, daß die Gewinnung pflanzlicher Lebensmittel einen etwa 9fach höheren Wirkungskoeffizient hat als die Gewinnung tierischer Lebensmittel. Auch wieder auf England angewandt könnte man sagen, daß, wenn man die gesamte Bevölkerung nur mit einer aus pflanzlichen Nahrungsmitteln bzw. Getreide bestehenden Kost ernähren wollte, man ohne Schwierigkeiten 250 Mill. Menschen ernähren könnte.

Nahrungswahl und Möglichkeiten zur Energieeinsparung

Gewinnung bzw. Einsparung von Energie ist heute politisch ein heißes Eisen. Von der Möglichkeit, auch bei Nahrungsproduktion und Verzehr energiesparende Maßnahmen vorzusehen, ist viel zu wenig die Rede. Die Wissenschaften von Nahrung und Ernährung könnten hierzu einen beachtlichen Beitrag leisten. Dieser Tatsache ist bis heute zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden.

Wenn man sich darüber Gedanken macht, wie man etwa vermehrt solche landwirtschaftlichen Produkte bzw. Nahrungsmittel einsetzt, deren Gewinnung weniger energieintensiv ist, muß man ihre Energiequotienten (Energiezufuhr/Energiegewinn) vergleichen.

Tabelle 5 zeigt dies beispielsweise für 4 verschiedene Gemüsearten. Die enormen Unterschiede in den Energiequotienten sind in erster Linie durch die verschiedenen hohen Werte der Energiezufuhr bedingt. Geradezu astronomische Werte ergeben sich hier bei Treibhaussalat, den man

energetisch mit Recht wohl als „Luxusprodukt“ bezeichnen kann.

Tabelle 6 faßt die Energiequotienten aus den Tabellen 4 und 5 noch einmal zusammen und setzt sie in Beziehung zu einigen Lebensmitteln tierischer Herkunft. Gleichzeitig ist hier für alle aufgeführten Produkte der Energieaufwand für die Schaffung von 1 kg Protein angegeben.

Dabei sei vor allem auf zwei Produkte hingewiesen:

1. Bei Einzeller-Proteinen ist der Energieaufwand vergleichsweise gering und liegt in der Größenordnung des Aufwandes für pflanzliche Produkte wie Möhren oder Rosenkohl. Aus energetischer Sicht lohnt sich also schon heute die Gewinnung dieser auch biologisch hochwertigen Proteine.
2. Bei Krabben ist der Energieaufwand in Mexiko 10 mal so hoch wie in Australien. Der Grund liegt in der Entfernung der Fanggründe von den Fischereihäfen und dem dadurch bedingten Mehrverbrauch an Betriebsstoff für die Fangschiffe.

Bei den bisher gebrachten Beispielen waren die Energiequotienten nur für das Rohprodukt berechnet worden. Der Energieaufwand für Verarbeitung und Zubereitung müßte gegebenenfalls noch hinzuaddiert werden. Was das für den endgültigen Energiequotienten bei verzehrfertigen Produkten ausmachen kann, soll am Beispiel des Brotes dargelegt werden.

In Abbildung 3 ist ein Kastenweißbrot dargestellt, das man in „Energiescheiben“ aufgeteilt hat.

Für den Verzehr ergibt sich für das Kilo Brot ein Energiegehalt von 10,6 MJ. Der Energiequotient berechnet sich daraus mit 0,525. Wenn man damit die durchschnittlichen Energiequotienten für in den Jahren 1968 bis 1972 in England produzierten Weizen vergleicht, die nach LEACH zwischen 3,8 und 4,9 lagen, ist der durch Verarbeitung zu Brot entstehende Energieverlust doch beeindruckend.

Was kann man angesichts des in den letzten Jahrzehnten so stark angestiegenen Energieaufwandes für die Nahrungsproduktion tun? Gibt es Möglichkeiten, auch auf dem Ernährungsgebiet zur Einsparung von Energie beizutragen? Hier seien 3 Gebiete genannt, auf denen die For-

Tab. 5: Energiequotienten von Gemüse (10⁶ kJ/ha in England 1971) (nach LEACH (11))

	Energiezufuhr	Energiegewinn	Quotient
Grüne Erbsen	10,93	10,27	0,94
Rosenkohl	47,94	9,09	0,19
Möhren	27,59	30,0	1,1
Wintersalat (Treibhaus)	5000	10,0	0,002

sicherung sicherlich weitere Möglichkeiten zur Einsparung aufzeigen kann:

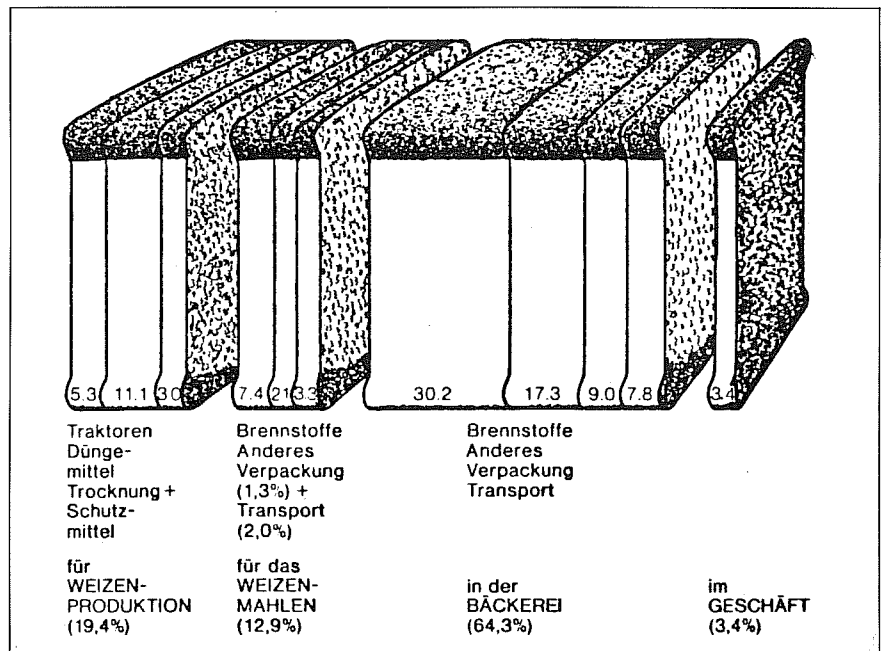
1. Untersuchungen darüber, inwieweit auch zur Nahrungsproduktion Energiequellen herangezogen werden können, die die von uns jetzt eingesetzten Energieformen ganz oder zum Teil ersetzen könnten. Gedacht ist hier etwa an Sonne, Wind u. a. als Energiequellen.
2. Vermehrter Anbau bzw. gesteigerte Erzeugung von solchen zur Ernährung dienenden Produkten, bei denen der Energiegewinn – verglichen mit dem Energieeinsatz – besonders hoch ist.

Die Möglichkeiten, die auf letztgenanntem Gebiet liegen, sollen etwas eingehender dargestellt werden: Wir kennen etwa 80 000 verschiedene eßbare Pflanzenarten. Von diesen werden jedoch nur etwa 50 in größerem Ausmaß kultiviert. Etwa 90% der Weltenernte erstrecken sich auf nur 12 pflanzliche Spezies. Sollte man hier

Tab. 6: Energieaufwand/kg Protein (MJ) (P) und Energiequotient (Q) für ausgewählte Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft (nach LEACH (11))

	P	Q
Grüne Erbsen	48,4	0,94
Rosenkohl	196	0,19
Möhren	126	1,10
Treibhaus-Salat		0,002
Mais – Mexiko	5,22	30,6
Guatemala	11,8	13,6
Guatemala	40,6	3,94
Nigeria	15,3	10,5
Philippinen	31,6	5,06
USA	79,4	2,58
Fisch England	489	0,05
Krabben Mexiko	3450	0,006
Australien	366	0,06
Milch England	208	0,38
Masthähnchen	290	0,10
Eier (Batterie)	353	0,15
Einzeller-Proteine (Methanol-Basis)	170	0,10

Abb. 3: Prozentuale Verteilung des Energieaufwandes bei der Herstellung eines Weizenbrotes. Für 1 kg Weizenbrot werden in England 20,7 MJ Energie benötigt. LEACH (11), aus CREMER und OLTERS DORF (6).



nicht untersuchen, ob sich weitere brauchbare und ertragreiche Pflanzenarten aufzeigen lassen, die sich möglicherweise für bestimmte Regionen oder Klimaten besser eignen als das, was z. Z. als Hauptprodukt angebaut wird? Ein Beispiel hierfür wäre etwa die Lupine. In ihrem Reichtum an Fett und Eiweiß ähnelt sie der Sojabohne. Während aber der Anbau von Soja auf tropische bzw. subtropische Gebiete beschränkt ist, kann man die Lupine als die Soja der gemäßigten Zonen und der großen Höhen bezeichnen. Die Lupine gibt ausgezeichnete Erträge selbst in Höhen von bis zu 4000 m, wenn die klimatischen Bedingungen dort einen Ackerbau ermöglichen. In Südamerika ist die Lupine keinesfalls ein neues Lebensmittel, sondern seit Inka-Zeiten bekannt. Sie eignet sich vorzüglich zur Ernährung von Mensch und Tier. Nur müssen die natürlicherweise vorkommenden bitteren Sorten vorher durch Quellen, Kochen und Wässern entbittert werden. Eine andere Möglichkeit ist die der Züchtung von Süßlupinen, wie sie auch bei uns vor Jahrzehnten mal begonnen wurde. Anbauwürdige Süßlupinenarten werden z. Z. in Chile gezüchtet, und nicht nur dort, sondern auch schon in Bolivien und Peru angebaut. Über den Energiequotienten von Lupinen gibt es noch keine Angaben in der Literatur, doch steht zu erwarten, daß sie — genau wie Soja — energetisch eine ausgezeichnete Bilanz aufweisen.

In letzter Zeit ist die Frage der Eignung von Lupinen für die Ernährung des Menschen in verschiedenen Publikationen behandelt worden (1—4, 7—9).

Energieintensive Nahrungsproduktion ist keine Zukunftshoffnung

Anhand einer Reihe von Beispielen konnte gezeigt werden, wie unterschiedlich der für die Produktion einzelner Nahrungsmittel notwendige Energieaufwand ist. Abschließend soll das Problem „Nahrungsproduktion und Energieaufwand“ in den Kontext der gesamten Energiefrage gestellt werden. Sie sei mit einigen Globalzahlen belegt. Interessant ist beispielsweise ein Vergleich zwischen dem Energieaufwand für die

gesamte Landwirtschaft — ausgedrückt in Erdölverbrauch — in den USA und in Indien. Die amerikanische Landwirtschaft braucht z. Z. für Dünger, Chemikalien, Maschinen und Bewässerung pro Hektar etwa 900 Liter Erdöl. Weniger als 10% hiervon, nämlich nur 73 Liter Erdöl, werden hierfür in Indien aufgewandt, vorwiegend in Form von Dünger. Man kann es auch anders ausdrücken: In den USA muß man für 1 Glas Milch ein halbes Glas Dieselöl rechnen. Man muß 2 Kalorien in Form von technischer Energie aufwenden, um 1 Kalorie an Nahrungsmitteln zu schaffen, dies bei Anwendung „moderner“ Methoden. In Indien werden durch 1 Kalorie technischer Energie 16 Kalorien Nahrungsmittel erzeugt.

In diesem Zusammenhang paßt folgendes Zitat: „Die Übernahme der technischen Strukturen der heutigen Industrieländer für die Entwicklungsländer ist nicht nur finanziell unmöglich, sondern verhindert auch deren Entwicklung zu wirtschaftlicher Eigenständigkeit und zu funktionierenden Sozialstrukturen. Am Beispiel der Energiefrage wird besonders deutlich, wie gerade für die Entwicklungsländer viele der mit dem Stichwort „alternative“ oder „angepaßte“ Technologien bezeichneten Möglichkeiten der Energieversorgung sich als zukunftsgerecht erweisen könnten“ (14).

Das, was hier über den zur Schaffung von Nahrungsmitteln notwendigen Energieaufwand berichtet wurde, ist nur ein Teil des gesamten Energieverbrauchs. Wenn man hier die Zahlen von Industrieländern und Entwicklungsländern vergleicht, werden die Unterschiede noch größer als auf dem Nahrungsgebiet. An Gesamtenergie verbraucht heute ein Deutscher so viel wie 30 Inder, wie 80 Einwohner von Tanzania oder 550 Einwohner von Ruanda. Die 6% der Weltbevölkerung in den USA verbrauchen mehr Energie als die zwei Drittel der Menschheit in Entwicklungsländern.

Die Wirtschaftstechnokraten meinen, die Wirtschaft der Industrieländer breche zusammen, wenn die Energieproduktion nicht mehr jährlich um 7% zunehme, was bedeuten würde, daß sie sich in 10 Jahren verdoppelt und in 100 Jahren mehr als vertausendfacht.

Das Gegenteil ist richtig, darauf weist HAVEMANN in der DDR hin: Es müßten neue Technologien entwickelt werden, die immer weniger Ener-

gie benötigen und immer sparsamer mit ihr umgehen, damit endlich mit der gegenwärtigen Energieverschwendung Schluß gemacht wird. Für den Energieaufwand bei der Nahrungsproduktion bedeutet das, daß es auf lange Sicht gesehen nur die Alternative gibt: Einsparung von Energie bei der Nutzungsgewinnung oder aber Hungersnot in weiten Gebieten der Erde (12).

Literatur:

1. *Aguilera, J. M.; Trier, A.*: The Revival of the Lupin. *Food Technology* 32, (1978), S. 70—76.
2. *von Baer, E.*: Süßlupinenanbau in Südchile. *Landwirt im Ausland* 6 (4) (1972), S. 82—83.
3. *von Baer, E.*: Lupinen in den Entwicklungsländern. *Entwickl. u. Ländl. Raum* 9 (4) (1975), S. 20—22
4. *von Baer, E.; Gross, R.*: Auslese bitterstoffarmer Formen von *L. mutabilis*. *Z. f. Pflanzenzüchtung* 79 (1977), S. 52—58.
5. *Borgstrom, G.*: Feed, Food and Energy. *Annals New York Academy of Sciences* 267, (1975), S. 150—158.
6. *Cremer, H.-D.; Oltersdorf, U.*: Der Energieaufwand der Nahrungsversorgung, S. 256—272, in *Wenk, K.; Trommer, G.* (Hrsgb.): *Naturscheinung Energie, Braunschweig: Westermann, 1975.*
7. *Gross, R.; von Baer, E.*: Die Lupine, ein Beitrag zur Nahrungsversorgung in den Anden. 1. *Z. Ernährungswiss.* 14, (1975), S. 224—228.
8. *Gross, R.; von Baer, E.*: Eiweißproduktion, aber wie? *Umschau* 76, (1976), S. 305—308.
9. *Gross, R.; Morales, E.; Gross, U.; von Baer, E.*: Die Lupine, ein Beitrag zur Nahrungsversorgung in den Anden. 3. *Z. Ernährungswiss.* 15, (1976), S. 391—395.
10. *Hirst, E.*: Food-Related Energy Requirements. *Science* 184, (1974), S. 134—138.
11. *Leach, G.*: *Energy and Food Production.* Guilford, IPC Science and Technology Press, 1976.
12. *Steinhart, J. S.; Steinhart, C. E.*: Energy Use in the U.S. Food System. *Science* 184 (1974), S. 307—316.
13. *Witt, M.*: Einige ernährungspolitisch zu beachtende Besonderheiten der Rinderbestände in der Welt und in der E. G. *Ernähr. Umschau* 24, (1977), S. 136—146.
14. *Anonym: Radius, November 1977.*

Anschrift der Verfasser:

*Prof. Dr. Hans-Diedrich Cremer
Dr. Ulrich Oltersdorf*

Institut für Ernährungswissenschaft
der Justus-Liebig-Universität
Wilhelmstr. 20, 6300 Gießen