

Wolf-Dieter Kalk, Potsdam-Bornim, und Kurt-Jürgen Hülsbergen, Halle

# Bestimmung der Energieausnutzung in der Pflanzenproduktion

**Energetische Kennzahlen erlauben Aussagen zur Bewirtschaftungsintensität und zu Umweltwirkungen der Landwirtschaft. Zur Bewertung des Energiehaushaltes in Landwirtschaftsbetrieben sind Indikatoren und Zielwerte erforderlich. In der Pflanzenproduktion eignen sich hierfür der Energieeinsatz sowie Kenngrößen der Energieausnutzung. Da ein möglichst geringer Energieeinsatz für die Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffen volkswirtschaftlich sinnvoll ist, wurde als Indikator der Energieausnutzung die Energieintensität (Verhältnis aus Energieeinsatz und Produktmenge in Getreideeinheiten) gewählt. Zur Ableitung energetischer Kennzahlen in der Pflanzenproduktion werden Dauerfeldversuche ausgewertet. Ausgehend vom Anbauverhältnis kann mit standort- und fruchtartenbezogenen Zielwerten ein betrieblicher Zielwert errechnet werden.**

Der Energiehaushalt in den Landwirtschaftsbetrieben steht in engem Zusammenhang zur Betriebsstruktur (Anbauverhältnis, Tierbesatz), zum Intensitätsniveau (Einsatz direkter Energie), zum Stoffhaushalt (Mineraldünger-, Futtermittelzukauf), zum Ertrags- und Leistungslevel sowie zur Verfahrensgestaltung (Arbeitsabfolge, Gebäudeausstattung, Maschinenbesatz). Dieser Zusammenhang erlaubt die Nutzung energetischer Kennzahlen zur Beschreibung der Bewirtschaftungsintensität [1] und der Umweltwirkungen der Landwirtschaft [2]. Voraussetzung ist eine betriebliche Energiebilanzierung [3], für die eine standardisierte Methodik bisher nicht vorliegt.

## Bilanzierungsansatz

Die Energiebilanzierung in Landwirtschaftsbetrieben erfordert die Einbeziehung

des fossilen Energieeinsatzes, der innerbetrieblichen Energieflüsse und der Energieabfuhr. Dem Energieeinsatz werden der Energieträgerverbrauch und die Primärenergie für industrielle Vorleistungen zur Produktion der Betriebsmittel und Investitionsgüter zugeordnet [4]. Die Energieabfuhr (Umrechnung der Produkte mit Energieäquivalenten auf Heizwertbasis) enthält alle vom Feld abgefahrenen Ernteprodukte abzüglich der Konservierungs- und Lagerungsverluste sowie des Saatgutzukaufs.

Zur Einschätzung der Energieausnutzung dienen der Energiegewinn (Differenz aus Energieabfuhr und Energieeinsatz [3]), das Output-Input-Verhältnis (Verhältnis aus Energieabfuhr und Energieeinsatz [5]) und die Energieintensität (Verhältnis aus Energieeinsatz und Produkt in Getreideeinheiten [6]).

Die Nutzung von Agrar-Umweltindikatoren [7] erfordert Festlegungen zu Zielwertbereichen, um eine Bewertung vornehmen zu können. Die Ableitung von Zielwerten durch Erhebungen in Betrieben [8] würde wegen der Verschiedenartigkeit der Betriebskonzepte und Produktionsweisen einen nicht vertretbaren Zeitaufwand zur statistischen Sicherung der Ergebnisse erfordern. Rationeller ist die Kalkulation betrieblicher Zielwerte für den umweltverträglichen Einsatz von Energie durch Auswertung langjährig ermittelter Meßwerte in Dauerfeldversuchen.

Als Beispiel wird ein seit 30 Jahren laufender Versuch auf einem Sandlöß-Standort (sandiger Lehm, Ackerzahl 58/61) mit der Fruchtfolge Zuckerrüben, Sommergerste, Kartoffeln, Winterweizen, Wintergerste genutzt. Im Versuch werden die Langzeitwirkungen organischer und mineralischer Düngemittel (vier Mineral- und vier Stallungstickstoffstufen von 0 bis 150 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>) auf Erträge, Humus- und Nährstoffhaushalt untersucht. Der Stallung wird jeweils zu den Hackfrüchten gegeben. Die Grunddüngung erfolgt einheitlich auf allen Parzellen.

Nachfolgend wird die letzte vollständige Fruchtfolge unter Einbeziehung von Haupt- und Nebenprodukten (Stroh und Rübenblatt) ausgewertet. Die Bestimmung der Maschinengröße und der Maschineneinsatzzeit erfolgte anhand der registrierten Arbeitsgänge unter Zugrundelegung von 20-ha-Schlägen. Der Kraftstoffverbrauch wurde mit ertragsbeziehungsweise aufwandsbezogenen Regressionen errechnet. Als Datengrundlage dienen Meß- und Kalkulationswerte [9, 10]. Die Ermittlung des fossilen Energieeinsatzes für industrielle Vorleistungen bei Investitionsgütern berücksichtigt die für Maschinen abgeleiteten Energieäquivalente [11], die Maschinengröße und Maschineneinsatzzeit [12].

Bei der Energiebilanzierung in Feldversuchen hat es sich wegen der Ertragswirkungen organischer Dünger als zweck-

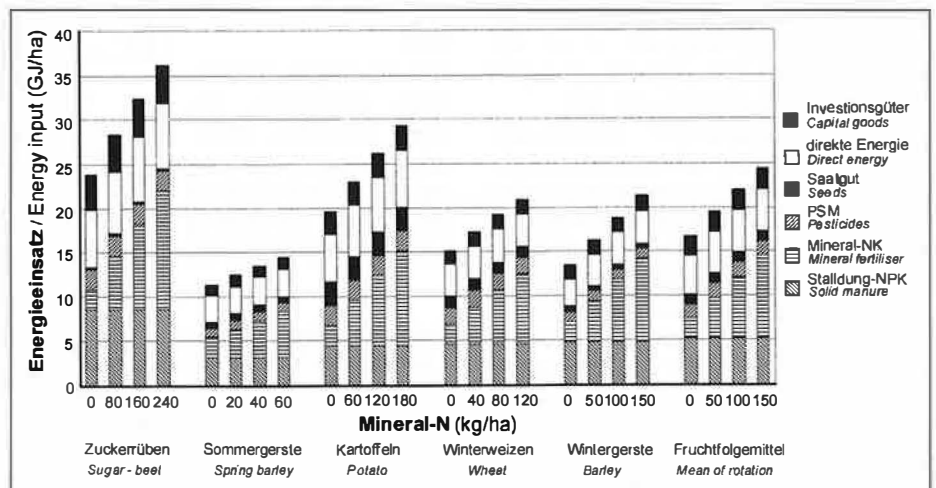


Bild 1: Energieeinsatz in einer Fruchtfolge (Stallungeneinsatz: 20 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> = 124 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>)

Fig. 1: Energy input in a rotation (use solid manure 20 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)

Dr. sc. techn. Wolf-Dieter Kalk ist wiss. Mitarbeiter in der Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe am Institut für Agrartechnik Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim, e-mail: .wkalk@atb.uni-potsdam.de (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zanke).  
Dr. agr. Kurt-Jürgen Hülsbergen ist wiss. Mitarbeiter am Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle, Ludwig-Wucherer-Str. 2, 06108 Halle (Direktor: Prof. Dr. habil. Wulf Diepenbrock).  
**Referierter Beitrag der Landtechnik**

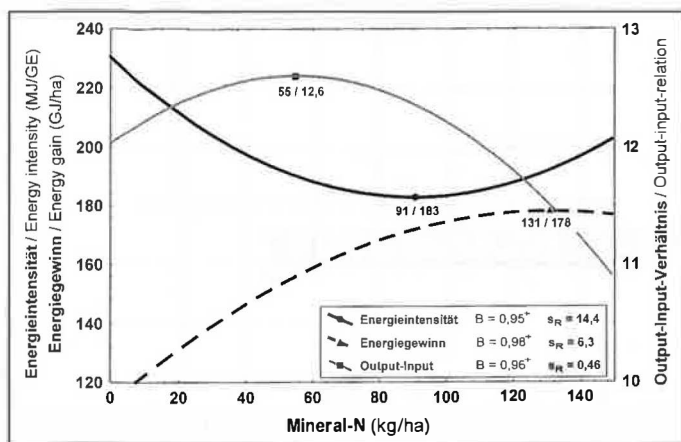


Bild 2: Energieausnutzung im Mittel der Fruchtfolge (Varianten ohne Stallungeinsatz)

Fig. 2: Energy efficiency of a rotation (variants without solid manure application)

mäßig erwiesen, neben fossilem Energieeinsatz die organisch gebundenen Nährstoffe als regenerative Energie zu berücksichtigen. Es wurden versuchsbezogene Mineraldüngeräquivalente für die Nährstoffe in organischen Düngern ermittelt (N = 35 bis 60 % je nach Stallungstufe; P, K = 100 %) und in Primärenergie umgerechnet. Um den Energieeinsatz einzelnen Fruchtarten zuordnen zu können, wurde eine Aufspaltung nach direkten Ertragswirkungen im Applikationsjahr und Nachwirkungen vorgenommen.

### Ergebnisse und Diskussion

Im Energieeinsatz zeigt sich eine große fruchtarten- und düngungsspezifische Differenziertheit (Bild 1). Gegenüber dem Mittelwert der analysierten Fruchtfolge war der Energieeinsatz bei Zuckerrüben (46 %) und Kartoffeln (19 %) erhöht, bei Sommergerste (37 %), Winterweizen (12 %) und Wintergerste (16 %) vermindert. Bezieht man alle Stallungsvarianten in die Betrachtungen ein, schwankt der Energieeinsatz bei Zuckerrüben zwischen 14 und 43 GJ/ha und bei Winterweizen von 9 bis 24 GJ/ha. Gegenüber dem aus Betriebsanalysen ermittelten Zielwertbereich von 10 GJ/ha für den Pflanzenbau [1] ergaben sich schon bei Wintergerste mit dem niedrigsten Energieeinsatz erhöhte Werte. Als Ursachen sind die Einbeziehung des Stallungs (im Mittel 5,2 GJ/ha in Bild 1) sowie fruchtfolgebezogen der hohe Hackfruchtanteil, die fehlende Fläche für Stilllegung und für extensiv genutztes Grünland anzuführen. Festzustellen ist, daß die Anbaustruktur eines Betriebes wesentlichen Einfluß auf den Energieeinsatz in der Pflanzenproduktion hat.

Beim Vergleich der Anteile am Energieeinsatz im Mittel der Fruchtfolge und der Mineraldüngung (Bild 1) ergaben sich für Saatgut 5 %, Pflanzenschutzmittel 8 %, Investitionsgüter 12 %, direkte Energie 23 %, organische Dünger 25 % und Mineraldünger 27 %. Der fossile Energieeinsatz für industrielle Vorleistungen bei Investitionsgütern liegt fruchtfolgebezogen mit 2,4 GJ/ha in der Größenordnung von Betriebsanalysen [4]. Der direkte Energieeinsatz betrug im Mittel der Fruchtfolge 4,6 GJ/ha (entspricht 117 l Diesel-

kraftstoff/ha). Differenziert nach Fruchtarten erforderten Hackfrüchte erhöhten und Getreide verminderten Dieselkraftstoffeinsatz. Der zu Hackfrüchten applizierte Stallung hat bei Zuckerrüben eine hohe direkte Wirkung und bei Sommergerste eine vergleichsweise geringe Nachwirkung. Bei Kartoffeln und den nachfolgenden Getreidefrüchten sind Wirkung und Nachwirkung auf dem Untersuchungsstandort nahezu gleich (Bild 1). Der Anteil der Mineraldünger am Energieeinsatz hängt bei allen Fruchtarten wesentlich von der Düngungsstufe ab. Fruchtfolgebezogen ergab sich ein Anteil zwischen 13 und 38 %.

Die Auswertung des Dauerversuches erlaubt einige grundsätzliche Gedanken zu Indikatoren der Energieausnutzung (Bild 2). Die Wahl des Indikators bestimmt wesentlich die optimale Düngungsintensität. Das günstigste Output-Input-Verhältnis wird unter den Bedingungen des Versuches bei 55 kg Mineral-N  $ha^{-1}a^{-1}$  erreicht, der höchste Energiegewinn bei 131 kg N  $ha^{-1}a^{-1}$ , die niedrigste Energieintensität bei 91 kg N  $ha^{-1}a^{-1}$ . Da ein möglichst geringer Energieeinsatz für die Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffen volkswirtschaftlich sinnvoll ist, wird dem Indikator Energieintensität für die Errechnung von betrieblichen Zielwerten der Vorzug gegeben. Während die Kennzahl Energiegewinn besonders für die Beurteilung des Energiepflanzenbaus geeignet ist, erscheint die Energieintensität als integrativer Indikator zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Landwirtschaftsbetrieben geeignet.

Für die Energieintensität wurden im Mittel der Fruchtfolge 183 bis 295 MJ/GE ausgewiesen (Bild 3). Das Minimum bei 91 kg Mineral-N /ha verschiebt sich mit zunehmendem Stallung-N-Einsatz zu geringeren Mineral-N-Werten. Zunehmende Stallunggaben führen zu höherem Energieeinsatz pro Getreideeinheit. Beachtet man die Reststreuung, ergibt sich für die untersuchte Fruchtfolge auf dem Sandlöß ein Bereich mit minimaler Energieintensität, der sich zwischen 60

und 120 kg Mineral-N sowie 0 und 40 kg Stallung-N pro Hektar und Jahr erstreckt. Bei höheren Mineral-N-Gaben war ein progressiver Anstieg der Energieintensität festzustellen. Für die einzelnen Fruchtarten wurden ohne organische Düngung folgende Minima der Energieintensität ermittelt: Zuckerrüben 93 MJ/GE bei 0 kg Mineral-N/ha, Sommergerste 194 MJ/GE bei 38 kg Mineral-N/ha, Kartoffeln 297 MJ/GE bei 125 kg Mineral-N/ha, Winterweizen 147 MJ/GE bei 49 kg Mineral-N/ha, Wintergerste 165 MJ/GE bei 93 kg Mineral-N/ha.

Die getroffenen Aussagen gelten unter den konkreten Versuchsbedingungen. In der Energieausnutzung spiegeln sich die Anbauverfahren ebenso wider wie jährliche (überwiegend witterungsbedingte) Ertragsschwankungen. Bedeutend ist der Einfluß des Standortes (unterschiedliches Ertragspotential). Zur Ableitung von Zielwerten der Energieausnutzung für Praxisbetriebe sind daher weitere Versuchsstandorte, Fruchtarten und Intensitätsstufen einzubeziehen. Ausgehend vom Anbauverhältnis kann mit standort- und fruchtartenbezogenen Zielwerten ein betrieblicher Zielwert errechnet werden.

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 98 328 erhältlich.

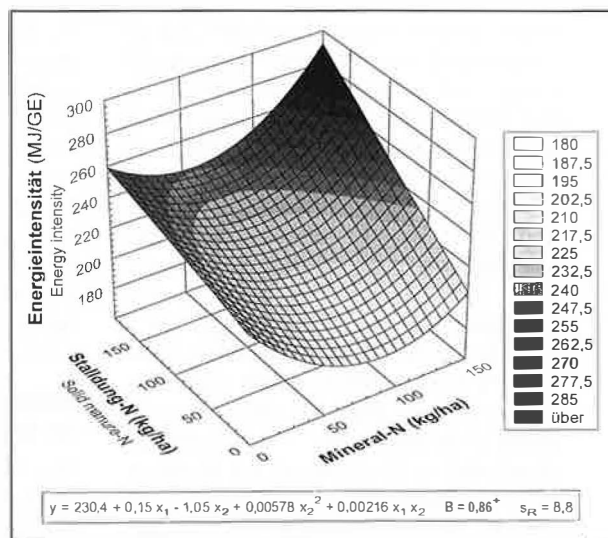


Bild 3: Energieintensität im Mittel der Fruchtfolge ( $x_1$  - Stallung-N,  $x_2$  - Mineral-N)

Fig. 3: Energy efficiency of a rotation ( $x_1$  - manure-N,  $x_2$  - mineral-N)

### Schlüsselwörter

Pflanzenbau, Energieeffizienz, Indikatoren, Zielwerte

### Keywords

Plant production, energy efficiency, indicators, objective values