

Volkhard Scholz, Potsdam-Bornim, und Jürgen Hahn, Berlin

# Energiebilanzen im Vergleich

**Mit Aufwand und Ertrag an Energie können ein Produkt und sein Bereitstellungsverfahren hinsichtlich der Energieeffizienz und der ökologischen Wirkung charakterisiert werden. Das unterstreicht die grundsätzliche Bedeutung von Energiebilanzen.**

**Wie Beispiele zeigen, kann der Energiebedarf zur Bereitstellung von Biofestbrennstoffen erheblich schwanken, was auf Bilanzierungsmethodische Ursachen zurückzuführen ist. Eine Abstimmung mit dem Ziel normierter Bilanzierungsmethoden ist erforderlich.**

Wettbewerbsnachteile und Akzeptanzprobleme erschweren eine raschere Substitution fossiler Energieträger durch pflanzenbürtige Festbrennstoffe. Einen wesentlichen Anteil daran, den Anwendungsbereich von Biofestbrennstoffen zu erweitern und ihre Einführung zu beschleunigen, können methodisch saubere und belastbare Energiebilanzen haben. Zwar wurden im zurückliegenden Jahrzehnt speziell für Biofestbrennstoffe zahlreiche Energiebilanzen veröffentlicht [1], doch ist die Aussagesicherheit und Vergleichbarkeit häufig unbefriedigend.

## Bilanzierungs-Methoden

Für den Vergleich werden drei Energiebilanzen ausgewählt, die zwischen 1993 und 1997 in Deutschland publiziert wurden und die die Ermittlung des Energieaufwandes für die Produktion und Bereitstellung von Winterweizen als Brennstoff zum Inhalt haben. Diese Bilanzen, nachfolgend A, B und C genannt, zeichnen sich gegenüber anderen Energiebilanzen durch definierte, weitgehend einheitliche Bilanzgrenzen und durch detaillierte Prozeßkettenanalysen aus [2, 3, 4]. Im Unterschied zu den Bilanzen B und C, in denen die Ganzpflanzenlinie verfolgt wird, werden in der Bilanz A die Korn- und die Strohlinie getrennt ausgewiesen.

In vorliegendem Vergleich werden die

landwirtschaftlichen Verfahren jeweils von der Bodenvorbereitung bis zum Transport des Weizens in Form von Quaderballen zur Feuerungsanlage betrachtet. Die jeder Bilanz zugrunde gelegten verfahrenstechnischen Basisdaten variieren in vertretbaren Grenzen und zeigen mit Ausnahme einzelner Düngergaben keine erheblichen Abweichungen zu den in der Bilanz N aufgeführten Normwerten oder allgemeinen Empfehlungen [5] zum Anbau von Winterweizen (Tab. 1).

Nachfolgend wird die aufgewendete Energie grundsätzlich als Primärenergie angegeben. Energieaufwendungen für die Infrastruktur sowie Sonnenenergie und menschliche Arbeitskraft bleiben unberücksichtigt. Der kumulierte Energieaufwand, wie er in der VDI-Richtlinie 4600 [6] definiert ist, also der Aufwand für die Herstellung, die Nutzung (Betrieb, Unterhaltung) und die Entsorgung von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln, wird in dieser Form in keiner der drei Bilanzen vollständig ermittelt. Lediglich in der Bilanz B wird neben dem Energieaufwand für die Herstellung und den Betrieb von Maschinen und Geräten auch der für deren Instandhaltung ausgewiesen. Weitere Detailangaben enthält [7]. Zweifellos

gehört zur Energiebilanz die quantitative Gegenüberstellung der ermittelten Energieinputs zum Energieinhalt der erzeugten Biomasse. Darauf wird hier aus Gründen der Verkürzung und Vereinfachung verzichtet.

## Ergebnis-Vergleich

Die in den drei Energiebilanzen ermittelten flächenbezogenen Energieaufwendungen für die Produktion von Winterweizen-Ganzpflanzenballen liegen zwischen 14,8 und 25,1 GJ/ha. Diese Spanne resultiert sowohl aus verfahrenstechnischen als auch aus bilanzierungsmethodischen Differenzen.

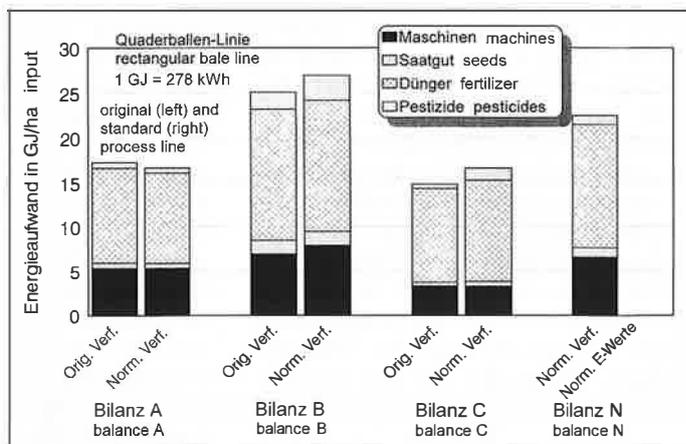
Um den Einfluß des zugrunde gelegten Produktionsverfahrens auf den Energieaufwand zu quantifizieren, wird ein fiktives, weitgehend auf Normdaten beruhendes Normverfahren aufgestellt (Bilanz N in Tab.1) und nach der jeweiligen Methode der Energieaufwand neu berechnet. Im Gegensatz zu Verbrauchsmaterialien wie Saatgut, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel, deren verfahrensbereinigte Energieaufwendungen recht genau zu ermitteln sind, können sie bei Maschinen mangels detaillierter Berechnungsgrundlagen und wegen teilweise aggregierter

Bild 1: Vergleich der Energiebilanzen

Fig. 1: Comparison of energy balances

Tab. 1: Verfahrenstechnische Basisdaten der Energiebilanzen

Table 1: Basic process data of the energy balances



Parameter	Einheit	Bilanz			
		A	B	C	N
Ganzpflanzenertrag	t <sub>M</sub> /ha	11,6	12,0	11,7	11,4
davon Komertrag	t <sub>M</sub> /ha	5,5	7,0	5,9	6,0
Feldgröße	ha	2,0	-	40,0	5,0
Zwischenlager-Entfernung	km	< 1	1,0	4,0	2,0
Feuerungsanlage-Entfernung	km	30,0	15,0	20,0	20,0
Saatgut	kg/ha	200	180	140	180
Dünger N	kg/ha	180	168	171	150
Dünger CaO	kg/ha	400	-	37	400
Dünger P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg/ha	65	83	75	110
Dünger K <sub>2</sub> O	kg/ha	135	145	136	190
Pestizide (Wirkstoff)	kg/ha	5,5	3,4	1,8	5,0

Dr.-Ing. Volkhard Scholz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung des Instituts für Agrartechnik Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim (Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zasko). Prof. Dr. Jürgen Hahn leitet das Fachgebiet Technik in der Pflanzenproduktion an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, Philippstr. 13, 10115 Berlin.

Tab. 2: Energieaufwand für Produktion und Transport von Winterweizen -Ganzpflanzenballen

Table 2: Energy input for production and transport of wheat bales

Betriebsmittel	Primär-Energieaufwand							
	Bilanz A		Bilanz B		Bilanz C		Bilanz N	
	MJ/kg	MJ/ha	MJ/kg	MJ/ha	MJ/kg	MJ/ha	MJ/kg	MJ/ha
<b>Maschinen</b>								
Herstellung, ges.	-		356		-		587	
Unterhaltung, ges.	-		466		-		249	
Entsorgung, ges.	-		-		-		5	
Betrieb								
Scheiben					740		403	
Pflügen					646		899	
Saatbettbereiten							539	
Drillen		2290		2756		214	167	
Spritzen, ges.						195	215	
Düngen, ges.						190	274	
Mähen <sup>1)</sup>			232		153		181	
Pressen <sup>1)</sup>	1335		622		581		998	
Bergen <sup>1)2)</sup>	870		1510		285		1134	
Transport <sup>1)3)</sup>	813		978		288		905	
<b>Material</b>								
Saatgut	3,2	630	8,7	1561	3,1	433	6,0	1080
Dünger N	46,0	8280	65,0	10918	47,1	8046	59,0	8850
Dünger CaO	1,8	720	-	-	2,1	79	3,0	1200
Dünger P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10,8	702	21,6	1781	15,8	1179	17,0	1870
Dünger K <sub>2</sub> O	7,2	972	13,7	1985	9,3	1262	10,0	1900
Pestizide, Wirkstoff	115	634	552	1898	274	482	200	1000
<b>Gesamt</b>		17246		25063		14773		22456

1) In Bilanz A aus der Stroh- und der Kornertelnie kalkuliert; 2) Beladen, Transport zum Zwischenlager und Entladen; 3) Beladen und Transport zur Feuerungsanlage

Werte nur näherungsweise bestimmt werden. Daraus resultierende Fehler halten sich in Grenzen, da Maschinen und Geräte nur etwa ein Viertel des Gesamtenergieaufwandes erfordern.

Es zeigt sich, daß zwischen dem Energieaufwand des von dem Autor gewählten, originären Verfahrens und dem des jeweiligen normierten Verfahrens lediglich Abweichungen von maximal 1,8 GJ/ha bestehen, also unter ± 12 % bezogen auf ersteres. Einzelne Komponenten weisen zwar höhere Abweichungen auf, etwa die Energieaufwendungen für bestimmte Maschinen oder Düngemittel, werden in der Summe jedoch wieder ausgeglichen (Bild 1).

### Bilanzierungsmethodisch bedingte Abweichungen

Den größten Einfluß auf die Abweichungen zwischen den analysierten Energiebilanzen haben zweifelsohne die verschiedenen Bilanzierungsmethoden. Selbst wenn die Produktionsverfahren rechnerisch vereinheitlicht werden, bestehen zwischen den Ergebnissen der drei Bilanzen noch Differenzen von bis zu 10,3 GJ/ha. Das entspricht einer relativen Abweichung von - 26 % bis + 20 % zu der sogenannten Normbilanz N (Tab.2).

Bei der normierten Bilanz N wurde, ausgehend von der genannten VDI-Richtlinie 4600, der kumulierte Energieaufwand für sämtliche Betriebsmittel und Prozesse des Normverfahrens berechnet. Die erforderlichen Energiekennwerte und Bedarfsdaten wurden aus Literaturre-

cherchen unter Berücksichtigung der zeitlichen Trends abgeleitet (Bild 2). Die Ergebnisunterschiede der verfahrensbeinigten Bilanzen resultieren aus Differenzen bei

- Energiekennwerten,
- Bilanzierungsgrenzen und
- Berechnungsalgorithmen.

Letzteres trifft insbesondere für die Berechnung des Prozeßenergieaufwandes zu, etwa für den Kraftstoffbedarf von Maschinen bei unterschiedlichen Lastkollektiven, für den Verbrauch sonstiger Betriebsstoffe sowie für den Energieeintrag aus der Maschinenherstellung.

Die mit Abstand größten Abweichun-

gen werden durch die differierenden Energiekennwerte, die sogenannten Energieäquivalente, verursacht. So resultiert allein aus den unterschiedlichen spezifischen Energiekennwerten von 46 bis 65 kJ/kg für die Bereitstellung von Stickstoffdünger eine Differenz von - 9 % bis + 4 % bezogen auf die Normbilanz N (Bild 2).

### Schlußfolgerungen

Ungeachtet des beträchtlichen Erkenntniszuwachses ist die Aussagesicherheit von Energiebilanzen begrenzt. Vergleichbare Energiebedarfskalkulationen, wie beispielsweise zur Bereitstellung von Weizen-Ganzpflanzen für die Nutzverbrennung, weisen Abweichungen von bis zu 60 % auf, selbst wenn die zugrunde liegenden Prozeßketten normiert werden. Hauptursache dieser Abweichungen sind die differierenden Energieäquivalente, daneben auch die Unterschiede in den Kalkulationsmodellen für den Prozeßenergieaufwand.

Um die Zuverlässigkeit und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Energiebilanzen zu erhöhen, ist eine über die vorhandene VDI-Richtlinie hinausgehende Normierung der Bilanzierungsmethoden unumgänglich.

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 98202 erhältlich.

### Schlüsselwörter

Energiebilanz, Energieaufwand, Biomasse, Weizen

### Keywords

Energy balance, energy demand, biomass, wheat

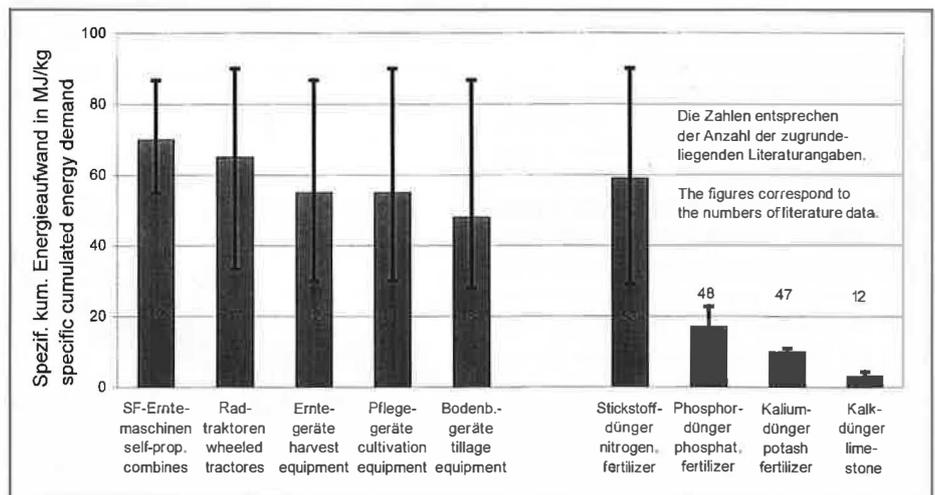


Bild 2: Spezifischer Energieaufwand für die Herstellung landwirtschaftlicher Betriebsmittel (Literaturoauswertung)

Fig. 2. Specific energy input for production of operational supplies in agriculture (literature evaluation)