

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

# Dieselmotoren in der Pflanzenproduktion

*Energiebilanzen werden zur Beurteilung pflanzlicher Produktionssysteme im Hinblick auf deren Intensität und Nachhaltigkeit verwendet. Ein methodisches Problem bei der Energiebilanzierung ist die Ermittlung des Kraftstoffverbrauches. Bisher wurden überwiegend mittlere Kalkulationswerte verwendet; der Einfluss der Standortbedingungen und der Verfahrensgestaltung blieb meist unberücksichtigt. Auf der Grundlage von Messwerten aus der Literatur wurden Regressionsgleichungen abgeleitet. Für einzelne Verfahrensschnitte werden sie dargestellt und interpretiert sowie die Randbedingungen definiert. Für die wichtigsten Arbeitsgänge sind die Daten über Internet abrufbar.*

Dr. sc. techn. Wolf-Dieter Kalk ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Agrartechnik Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wiss. Dir.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zasko); e-mail: wkalk@atb-potsdam.de. Dr. agr. Kurt-Jürgen Hülsbergen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle, Ludwig-Wucherer-Str. 2, 06108 Halle (Dir.: Prof. Dr. habil. Wulf Diepenbrock)

## Schlüsselwörter

Pflanzenbau, Dieselmotoren, Regressionsgleichung

## Keywords

Plant cultivation, diesel fuel input, regression equation

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99627 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

det werden; andere betriebliche Bedingungen wie Erträge, aufgewendete Betriebsmittel, Transportwege oder Standort bleiben jedoch unberücksichtigt.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, auf der Grundlage von Datenanalytischen Regressionsgleichungen für den Kraftstoffverbrauch im Pflanzenbau abzuleiten, in denen die betrieblichen Bedingungen weitgehend berücksichtigt werden können.

## Datenbasis und Kalkulationsansatz

In aktuellen Veröffentlichungen und Datenbanken zum Dieselmotoren(DK)-Verbrauch [3, 4, 5] werden überwiegend mittlere Kalkulationsdaten dargestellt, die auf gegenwärtig angewendete Verfahren und technische Lösungen zugeschnitten sind. Um betriebliche Bedingungen berücksichtigen zu können, musste auch auf ältere Messdaten [6] zugegriffen werden. Dabei war deren Übertragbarkeit auf aktuelle Bedingungen zu prüfen. Notwendige Einschränkungen der Gültigkeitsbereiche der Regressionsgleichungen und Begründungen für die getroffene Datenauswahl erfolgten.

## Ergebnisse und Diskussion

Erarbeitet wurde eine im Internet zugängli-

**E**nergetische Kennzahlen erlauben Aussagen zum Verbrauch endlicher Ressourcen, zur CO<sub>2</sub>-Freisetzung und Klimawirkung und sind daher als Agrar-Umweltindikatoren nutzbar. Die Errechnung energetischer Kennzahlen im Pflanzenbau erfordert die Ermittlung des Kraftstoffverbrauches. In der Regel werden Kalkulationswerte verwendet, mit denen Verfahrenseinflüsse nicht oder nur unzureichend abgebildet werden. Beispielsweise erfolgt die Kalkulation unter Nutzung des stündlichen Kraftstoffverbrauches bei mittlerer Motorbelastung und der Maschineneinsatzzeit [1]. Einen detaillierteren Ansatz haben Kaltschmitt und Reinhardt [2] erarbeitet, bei dem der Kraftstoffverbrauch unterschiedlicher Motorlaststufen und die Zeitanteile der Laststufen im genutzten Maschinenpark verwen-

Tab. 1: Regressionsgleichungen für den Kraftstoffverbrauch in Pflügebeispielen (nach [6])

Table 1: Regression equations for fuel consumption in ploughing examples (according to [6])

Arbeitsart	Gerät	Boden	Regressionsgleichung	Eingabe Arbeitstiefe l [cm]	DK-Einsatz [l/ha]	Gültigkeitsbereich Arbeitsbreite [m]	Regressionskoeffizienten		
							a	b	c
Saatt-furche	Pflug/SBB	S bis IS	DK=a+b*I	18 bis 27	14,4 bis 18,5	1,75 bis 2,8	6,1	0,46	
	Pflug/SBB	sL bis L	DK=a+b*I	18 bis 27	21,0 bis 26,4	1,4 bis 2,8	10,2	0,60	
	Pflug/SBB	L bis IT	DK=a+b*I	18 bis 27	27,4 bis 35,6	1,1 bis 2,5	10,8	0,92	
	Pflug/SBB	T	DK=a+b*I	18 bis 27	29,6 bis 37,8	1,1 bis 2,5	13,0	0,92	
Herbst-furche	Pflug	S bis IS	DK=a+b*I	23 bis 35	15,8 bis 26,8	1,4 bis 2,8	-5,4	0,92	
	Pflug	sL bis L	DK=a+b*I	23 bis 35	22,4 bis 39,4	1,1 bis 2,5	-10,3	1,42	
	Pflug	L bis IT	DK=a+b*I+c*I <sup>2</sup>	23 bis 35	29,3 bis 40,7	1,1 bis 2,5	63,8-	3,11	0,07
	Pflug	T	DK=a+b*I+c*I <sup>2</sup>	23 bis 35	36,5 bis 52,1	0,7 bis 2,1	103,2-	5,66	0,12

Tab. 2: Regressionsgleichungen für den Kraftstoffverbrauch in Düngungsbeispielen (nach [4, 6])

Table 2: Regression equations for fuel consumption in fertilizer application examples (acct. o [4, 6])

Arbeitsart	Ausbringverfahren	Regressionsgleichung	Eingabe Weg T [km]	Eingabe Menge M [dt/ha]	DK-Einsatz [l/ha]	Gültigkeitsbereich Ladung [dt]	Regressionskoeffizienten			
							a	b	c	
Gülle-Düngung	direkt	DK=(a+b*T+c*T <sup>2</sup> )*M/200	0,5 - 5	150 - 400	5,7 - 64,5	35 - 50	5,275	4,515	0,175	
	direkt	DK=(a+b*T+c*T <sup>2</sup> )*M/200	0,5 - 5	150 - 400	4,7 - 42,1	71 - 90	4,950	2,470	0,150	
	direkt	DK=(a+b*T+c*T <sup>2</sup> )*M/200	0,5 - 5	150 - 400	4,4 - 41,0	111 - 130	4,725	2,025	0,225	
<b>Arbeitsbreite</b>										
N	direkt	DK=(a+b*M)*(1+0,03*(T-6))	1 bis 12		0,5 - 7	1,2 - 2,4	>10,5 m	1,3	0,1	
AHL	geteilt	DK=((at+bt*T)*M/200)+(a+b*M+c*M <sup>2</sup> )*M	1 bis 8		0,5 - 7	1,0 - 3,0	<10 m	0,896	0,0008	7,5 E-7
PK	direkt	DK=(a+b*M)*(1+0,03*(T-6))	1 bis 12		0,5 - 7	1,5 - 3,3	<10 m	1,63	0,075	

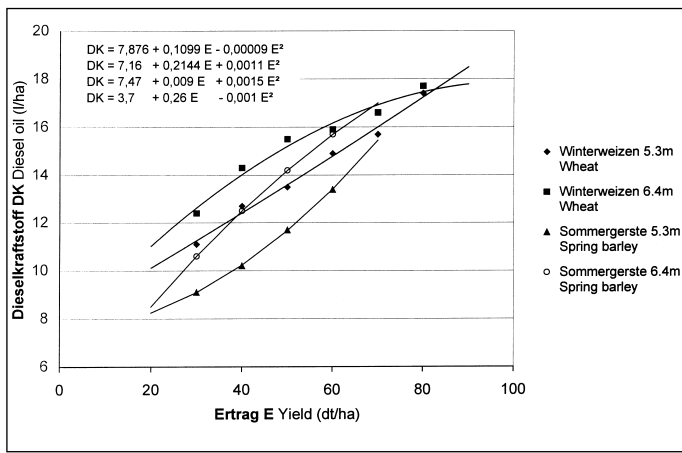


Bild 1: Kraftstoffverbrauch bei der Mähdescherernte in Abhängigkeit von Ertrag, Fruchtart und Arbeitsbreite

Fig. 1: Fuel consumption in combining, depending on yield, crop and working width

che Datei [7, www.atb-potsdam.de/publikationen/dk-einsatz.html] mit Regressionsgleichungen für den DK-Einsatz bei den wichtigsten Arbeitsgängen der Pflanzenproduktion. Die mit der Methode der kleinsten Quadrate errechneten linearen und quadratischen Regressionsgleichungen haben sehr hohe Bestimmtheitsmaße [7]. Beispiele der Ergebnisse und der Datenauswahl werden im Folgenden diskutiert.

Der DK-Einsatz bei der *Bodenbearbeitung* wird wesentlich von der Bodenart beeinflusst; beim Pflügen steigt er außerdem mit der Arbeitstiefe (Tab. 1). Die Errechnung der Spannen für den DK-Einsatz erfolgte durch Einsetzen der Extremwerte der Eingabegrößen in die Regressionsgleichungen. Da die Grundbodenbearbeitung bis 40% des DK-Einsatzes der Pflanzenproduktion erfordert, sollten die genannten Differenzierungen in betrieblichen Energiebilanzen berücksichtigt werden. Für die anderen Geräte wurden kalkulierte Daten für Flächengrößen von 5 bis 20 Hektar [4] genutzt.

Für die *Gülleausbringung* muss nach Behältergrößen differenziert werden [4]. Flächengröße und Transportentfernung sind nicht getrennt, sondern kombiniert ausgewiesen. Nimmt man nicht die Flächengröße, sondern die Entfernung als dominierend für den DK-Einsatz an, lässt sich aus den angegebenen Werten der DK-Einsatz in Abhängigkeit vom Transportweg errechnen [7]. Im direkten Verfahren ändert sich der DK-Einsatz bei unterschiedlichen Transportentfernungen proportional zur Güllemenge pro Hektar (Tab. 2). Eine gesonderte Anpassung war für Güllemengen unter 15 t/ha und für unterschiedliche Behältergrößen notwendig. Der Einfluss der Behältergröße (Ladung) auf den DK-Einsatz ist bei kleinen Behältern besonders ausgeprägt. Für emissionsmindernde Gülleverteilung auf dem Feld wurden je nach Verfahren konstante DK-Mengen [4] angerechnet (Schleppschlauchverteilung 3,1 l DK/ha, Injektionsgrubber 9,2 l DK/ha, Schlitzgerät 7,3 l DK/ha).

Der DK-Einsatz bei der Stallungausbringung lässt sich in Abhängigkeit von Transportweg, Stallungmenge/ha, Streuerladung und Ladegerät errechnen.

Die *Mineraldüngung* wurde während der

Ermittlung der hier verwendeten Daten [6] vorrangig mit einem landwirtschaftlichen Lastkraftwagen mit Spezialaufbau durchgeführt [8]. Bei der direkten und geteilten Stickstoffdüngung sind Düngermenge, Transportweg und Beladaufwand von Einfluss (Beispiele, Tab. 2). Bei geteilten Ausbringungsverfahren enthalten die Gleichungen jeweils einen Ausdruck für den Transport und die Ausbringung. Für die AHL-Düngung wurden Werte der PSM-Ausbringung zugrunde gelegt, bei der Kalkdüngung nur das geteilte Verfahren berücksichtigt.

Für *Aussaat, Pflege und Pflanzenschutz* fanden Mess- und Kalkulationsdaten des KTBL Verwendung [4, 6].

Anhand beispielhafter Regressionsfunktionen der *Getreideernte* nach Daten von [6] lässt sich die große Differenziertheit des DK-Einsatzes für verschiedene Fruchtarten und Erträge zeigen (Bild 1). Die Arbeitsbreiten der Mähdescher zum Zeitpunkt der Datenaufnahme entsprachen zwar den heute noch üblichen, die Motorleistung der untersuchten Mähdescher (85, 168 kW) war im Vergleich zu den heutigen jedoch wesentlich niedriger [4]. Ob die Übernahme der Regressionsfunktionen der untersuchten Arbeitsbreiten bei geänderten Motorleistungen noch sinnvoll ist, bedarf der präzisierenden Untersuchung.

*Getreidetransport und Strohbergung* wurden unter Nutzung von Daten aus zwei Literaturquellen abgedeckt [6, 4].

Für die *Futterernte* ist der DK-Einsatz je nach Arbeitsart und Erntegut sehr unterschiedlich (Tab. 3). Bei der Silomaisenernte ergeben sich, wie beim Mähdescher, aufgrund der erfolgten Motorleistungsentwicklung Grenzen bei der Nutzung der älteren Daten [6], da mit höheren Motorleistungen ein höherer DK-Verbrauch als in Tabelle 3 angegeben zu erwarten ist. Beim Futtertransport wurden Varianten unterschieden, bei denen das Futter im Parallelbetrieb während der Ernte geladen und zum Lager transportiert wird [6], von Varianten, bei denen der Transportvorgang im Parallelbetrieb am Feldrand endet [4]. Im letzten Fall wurde ein zusätzlicher Transport bis zur Futterverwertung oder -einlagerung in die Regressionsgleichungen eingeordnet.

Bei der Zucker- und Futterrübenenernte konnte der DK-Einsatz nur ohne Ertragseinfluss ausgewiesen werden [4]. Die vorliegenden Daten der Kartoffelernte [4] ermöglichten ertragsabhängige Regressionsgleichungen.

### Schlussfolgerungen

Die vorgestellten Regressionsgleichungen erlauben die detaillierte Berechnung des DK-Einsatzes im Pflanzenbau für definierte Arbeitsgänge unter Berücksichtigung der Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen. Durch Verwendung der im Internet zugänglichen Gleichungen können Energiebilanzen und ökonomische Analysen präzisiert werden. Diese Datengrundlagen sollen in ein praxisanwendbares Betriebs-Bilanzierungsmodell (REPRO [9]) integriert werden, um die verfahrensabhängige Stoff- und Energiebilanzierung zu unterstützen.

Tab. 3: Regressionsgleichungen für den Kraftstoffverbrauch in Futtererntebeispielen (nach [6])

Table 3: regression equations for fuel consumption in forage harvesting examples (acc. to [6])

Arbeitsart	Erntegut	Regressionsgleichung	Eingabe Weg T [km]	Eingabe Ertrag E [dt/ha]	DK-Einsatz [l/ha]	Gültigkeitsbereich Arbeits [m]	Regressionskoeffizienten		
							a	b	c
Mähen	Grünfutter	$DK=a+b \cdot E+c \cdot E^2$	100 - 300	3,1 - 4,5	4,5 - 5,0	4,2	-0,017	0,000060	
Häcksel-laden	Welkgut	$DK=a+b \cdot E+c \cdot E^2$	50 - 150	16,7 - 9,6	3,5 - 4,2	5,52	-0,0214	0,000037	
Häcksel-laden	Silomais	$DK=a+b \cdot E+c \cdot E^2$	250 - 550	13,4 - 23,2	2,2 - 2,6	11,50	-0,0035	0,000045	
Sammel-pressen	Stroh	$DK=a+b \cdot E$	20 - 70	4,3 - 7,6	6,0 - 7,0	3	0,065		
Sammel-laden	Heu	$DK=(a+b \cdot T+c \cdot T^2) \cdot E/10$	0,5 bis 6	20 - 60	3,4 - 20,7	21 - 33	1,430	0,5246	-0,03143
Futtertransport	Ballenheu	$DK=(a+b \cdot T+c \cdot T^2) \cdot E/10$	0,5 bis 10	beliebig	3,1 - 24,8	28 - 44	1,3539	0,3928	-0,01154
Futtertransport	Silomais-häcksel	$DK=(a+b \cdot T+c \cdot T^2) \cdot E/10$	0,5 bis 5	beliebig	9,1 - 58,6	61 - 73	0,2250	0,2930	-0,0250