

# Kraftstoffökonomie selbstfahrender Erntemaschinen am Beispiel des Feldhäckslers E 281

Dr.-Ing. D. Kramer, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Dieselmotorenwerk Schönebeck

## Verwendete Formelzeichen

A	m <sup>2</sup>	Fläche (Feldfläche)
Ā	m <sup>2</sup> /h	stündlich bearbeitete Fläche
b <sub>e</sub>	g/kWh	spezifischer Kraftstoffverbrauch des Motors
B <sub>e</sub>	kg/h	stündlicher Kraftstoffverbrauch
m̄	kg/h	Erntegutdurchsatz
m	kg	Erntegutmasse
M	kg	verbrauchte Kraftstoffmasse
M/A	kg/m <sup>2</sup>	flächenspezifischer Kraftstoffverbrauch
M/m	kg/kg	massespezifischer Kraftstoffverbrauch (Kilogramm Kraftstoff je Kilogramm Erntegut)
P	kW	vom Motor abgeforderte Leistung

## Index

N	Nennleistung des Motors bzw. Nenn-durchsatz der selbstfahrenden Erntemaschine
---	---

## 1. Einleitung

Für den sparsamen Umgang mit Kraftstoff gibt es im wesentlichen folgende Gründe:

- Die Betriebskosten sind um so geringer, je niedriger der Kraftstoffverbrauch ist.
- Die Vorkommen an Rohöl, aus dem u. a. der Kraftstoff für Verbrennungsmotoren gewonnen wird, sind nicht unerschöpflich.

Daher besteht auch das Ziel, Landmaschinen zu entwickeln und zu produzieren, die sich durch hohe Arbeitsleistung, d. h. hohe Arbeitsproduktivität bei gleichzeitig geringem spezifischem Kraftstoffverbrauch, auszeichnen. Damit jedoch die installierten technischen Möglichkeiten in der Praxis voll genutzt werden, müssen die Nutzer selbstfahrender Landmaschinen die funktionellen Zusammenhänge kennen. Nachfolgend werden die Zusammenhänge erläutert, die den spezifischen Kraftstoffverbrauch beeinflussen.

## 2. Physikalische Zusammenhänge

Bei selbstfahrenden Erntemaschinen, wie z. B. Feldhäckslern, ist der typische, repräsentative Einsatz das Arbeiten auf dem Feld. Für den flächenspezifischen Kraftstoffverbrauch M/A gilt die Beziehung:

$$\frac{M}{A} = \frac{P}{\dot{A}} \frac{b_e}{1000} = \frac{P}{\dot{m}} \frac{b_e}{1000} \quad (1)$$

Danach wird um so weniger Kraftstoff je bearbeiteter Flächeneinheit verbraucht, d. h. M/A ist um so kleiner,

- je niedriger die massestromspezifische Leistung P/m̄ gehalten wird
- je weniger Erntegut je Flächeneinheit vorhanden ist, also je geringer der Ertrag m/A ausfällt
- je niedriger der spezifische Kraftstoffverbrauch b<sub>e</sub> des Motors ist.

In der Landwirtschaft werden zwar Flächen abgeerntet, aber im Grunde genommen geht es nicht um die Flächen, sondern das eigentliche Ziel der Ernte ist die Gewinnung von Erntegutmasse, d. h. von pflanzlicher Trockensubstanz. Deshalb ist es sinnvoller, nicht die bearbeitete Fläche, sondern die Erntegutmasse als Bezugsgröße für die Bewertung des Kraftstoffverbrauchs zu verwenden. Der auf dieser Basis gebildete relative Kraftstoffverbrauch wird als massespezifischer Kraftstoffverbrauch M/m bezeichnet.

Indem man beide Seiten der Gl. (1) durch den Ertrag m/A dividiert, erhält man für ihn den Ausdruck

$$\frac{M}{m} = \frac{P}{\dot{m}} \frac{b_e}{1000} \quad (2)$$

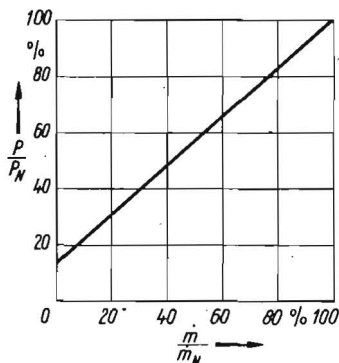


Bild 1. Zunahme der erforderlichen Antriebsleistung (Motorleistung) in Abhängigkeit vom Erntegutdurchsatz

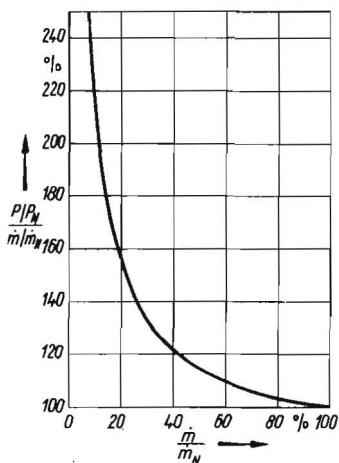
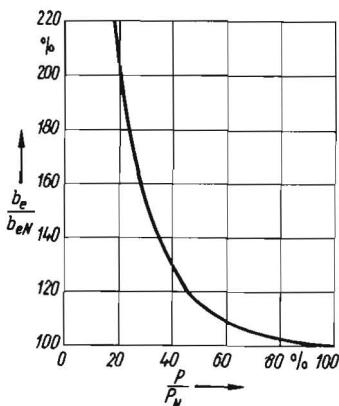


Bild 2. Veränderung des Verhältnisses von erforderlicher Antriebsleistung zu Erntegutdurchsatz in Abhängigkeit vom Erntegutdurchsatz

Bild 3. Veränderung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs des Motors in Abhängigkeit von der erforderlichen Antriebsleistung (d. h. in Abhängigkeit von der Motorbelastung)



Zwischen den in dieser Gleichung enthaltenen Größen P, m̄ und b<sub>e</sub> sind folgende funktionelle Zusammenhänge vorhanden:

- Je größer der Erntegutdurchsatz m̄ wird, um so größer ist die zum Antrieb der Erntemaschine (beispielsweise eines Feldhäckslers) benötigte Antriebsleistung P. Es gibt also jeweils eine Funktion P = f<sub>1</sub>(m̄).
- Bei Erntemaschinen, wie z. B. Feldhäckslern, sind mit relativ geringer Drehzahländerung betriebene Dieselmotoren im Einsatz. Der spezifische Kraftstoffverbrauch b<sub>e</sub> des Motors sinkt mit zunehmender von ihm abgeforderter Leistung P. Es besteht hier der Zusammenhang b<sub>e</sub> = f<sub>2</sub>(P).

Zusammengefaßt lassen sich diese Aussagen wie folgt formulieren:

Von der Seite des Nutzers einer selbstfahrenden Erntemaschine ist m̄ die unabhängige Variable, während P und b<sub>e</sub> von ihr abhängige Veränderliche sind. Das bedeutet, daß der Nutzer mit der ihm zur Verfügung stehenden selbstfahrenden Erntemaschine durch Veränderung des Erntegutdurchsatzes m̄ den massespezifischen Kraftstoffverbrauch M/m beeinflussen kann.

Die genannten Zusammenhänge werden im folgenden ausführlich am Beispiel des Feldhäckslers E 281 beim Häckseln von Mais auf einem gegebenen Feld erörtert. Die Abhandlungen setzen voraus, daß am Häckslers außer der Fahrgeschwindigkeit nichts verändert wird.

## 3. Beziehungen am Feldhäckslers E 281

Die Beziehungen zwischen Erntegutdurchsatz, Leistungsbedarf und Kraftstoffverbrauch werden mit Hilfe der Bilder 1 bis 7 dargelegt. Der Index N in den Bildern kennzeichnet den Nennzustand. Bei der installierten Motornennleistung P<sub>N</sub> erreicht die selbstfahrende Erntemaschine bei einer gegebenen Erntegutart und einer gegebenen Erntegutbearbeitung den maximal möglichen Erntegutdurchsatz, nämlich den Erntegutnenn-durchsatz m̄<sub>N</sub>. Eine selbstfahrende Erntemaschine ist in diesem Betriebspunkt mit der spezifischen Leistung P<sub>N</sub>/m̄<sub>N</sub> behaftet, und der Motor hat den spezifischen Kraftstoffverbrauch b<sub>eN</sub> und den stündlichen Kraftstoffverbrauch B<sub>eN</sub>. Der selbstfahrenden Erntemaschine ist somit bei dem Erntegutnenn-durchsatz m̄<sub>N</sub> der massespezifische Kraftstoffverbrauch (M/m)<sub>N</sub> zugeordnet.

Im Bild 1 ist der beim Einsatz des Feldhäckslers E 281 aus Messungen auf dem Feld gewonnene Zusammenhang zwischen der erforderlichen Antriebsleistung P und dem Erntegutdurchsatz m̄ dargestellt, wobei hier wie auch in den anderen Bildern die Verhältnisse jeweils bezogen auf den Nennzustand, also als Relativwerte, ausgewiesen werden. Evident ist, daß in dem gegebenen Fall zur Fortbewegung bei Leerlauf des Häckslers (d. h. ohne Erntegutdurchsatz) eine Antriebsleistung von 14 % der installierten Motornennleistung aufzuwenden ist. Weiterhin ist zu ersehen, daß sich die erforderliche Antriebsleistung linear mit dem Erntegutdurchsatz erhöht.

Bild 2 beinhaltet den mit den Werten aus Bild 1

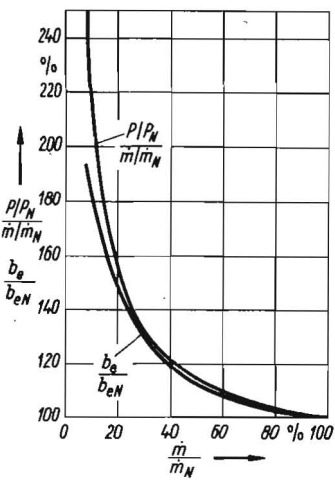


Bild 4. Verlauf des Verhältnisses von erforderlicher Antriebsleistung zu Erntegutdurchsatz im Vergleich zum Verlauf des spezifischen Kraftstoffverbrauchs des Motors

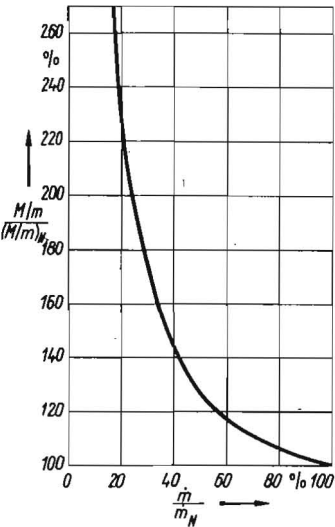


Bild 5. Veränderung des Verhältnisses von erforderlicher Kraftstoffmasse zu bearbeiteter Erntegutmasse in Abhängigkeit vom Erntegutdurchsatz

ermittelten (errechneten) Verlauf der massestromspezifischen Antriebsleistung, die mit Abnahme des Erntegutdurchsatzes progressiv zunimmt.

Im Bild 3 ist der aus Messungen auf dem Motorenprüfstand gewonnene Zusammenhang zwischen dem spezifischen Kraftstoffverbrauch des im Feldhäcksler E 281 verwendeten Dieselmotors 6 VD 14,5/12-1 SRW und der von ihm abgegebenen Leistung dargestellt.

Bei Voraussetzung von Bild 1 ist der spezifische Kraftstoffverbrauch des Motors auch als Funktion des Erntegutdurchsatzes darstellbar. Der sich dann ergebende Kurvenverlauf ist im Bild 4 wiedergegeben. Zum besseren Vergleich mit dem im Bild 2 gezeigten Verlauf der massestromspezifischen Leistung ist auch diese eingetragen. Im Bild 4 wird deutlich, daß für den betrachteten Fall beide Kurven ihren Minimalwert beim Erntegutnennndurchsatz haben sowie die massestromspezifische Leistung und der spezifische Kraftstoffverbrauch des Motors mit sinkendem Erntegutdurchsatz nahezu gleich progressiv ansteigen. Werden die zu jedem Erntegutdurchsatz gehörigen Werte von massestromspezifischer Leistung und spezifischem Kraftstoffverbrauch des Motors multipliziert und das Produkt, es ist nach Gl. (2) der

massespezifische Kraftstoffverbrauch, in Abhängigkeit vom Erntegutdurchsatz aufgetragen, so ergibt sich der im Bild 5 wiedergegebene Kurvenverlauf. Für den betrachteten Fall ist folgendes ablesbar:

- Der niedrigste massespezifische Kraftstoffverbrauch wird beim höchsten Erntegutdurchsatz, dem Erntegutnennndurchsatz, erzielt.
- Der massespezifische Kraftstoffverbrauch erhöht sich progressiv mit Abnahme des Erntegutdurchsatzes.

Damit ist der durch Gl. (2) beschriebene funktionelle Sachverhalt an einem Beispiel umfassend dargestellt. Es kann jedoch sein, daß man den massespezifischen Kraftstoffverbrauch  $M/m$  nicht in Abhängigkeit vom Erntegutdurchsatz  $\dot{m}$ , sondern vom stündlichen Kraftstoffverbrauch  $B_e$  kennen möchte. Unter Nutzung der genannten Bilder gelangt man wie folgt zu dem gewünschten Zusammenhang:

Wird die nach Bild 1 für den jeweiligen Erntegutdurchsatz erforderliche Antriebsleistung (Motorleistung) mit dem gemäß Bild 3 zugeordneten spezifischen Kraftstoffverbrauch des Motors multipliziert, so ergibt sich der stündliche Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Erntegutdurchsatz (Bild 6). Aufgrund dieses Zusammenhangs ist es möglich, die im Bild 5 als Abszisse benutzten Erntegutdurchsatzwerte durch den stündlichen Kraftstoffverbrauch zu substituieren (Bild 7). Für den betrachteten Fall läßt sich erkennen:

- Der niedrigste massespezifische Kraftstoffverbrauch liegt beim größten stündlichen Kraftstoffverbrauch, also beim stündlichen Nennkraftstoffverbrauch  $B_{eN} = b_{eN} \cdot P_N / 1000$ .
- Der massespezifische Kraftstoffverbrauch nimmt mit dem Verringern des stündlichen Kraftstoffverbrauchs progressiv zu.

**4. Hinweise für den Nutzer selbst-fahrender Erntemaschinen**

Erstens:  
Zum Erzielen höchster Kraftstoffökonomie besteht in der Landwirtschaft die Aufgabe, die für die Erntegutverarbeitung mit Hilfe von selbstfahrenden Erntemaschinen aufgewendete Kraftstoffmasse, d.h. den massespezifischen Kraftstoffverbrauch  $M/m$  (kg Dieseldieselkraftstoff je t Erntegut), möglichst gering zu halten.

Zweitens:  
Der Nutzer kann mit der ihm zur Verfügung stehenden selbstfahrenden Erntemaschine Einfluß auf den massespezifischen Kraftstoffverbrauch  $M/m$  (kg Dieseldieselkraftstoff je t Erntegut) nehmen.

Die am Beispiel des Feldhäckslers E 281 für seinen Einsatz im Mais dargelegten Untersuchungsergebnisse sind bei günstiger Dimensionierung selbstfahrender Erntemaschinen wohl zumindest näherungsweise qualitativ auch für andere Gutarten und Erntegutbearbeitungen repräsentativ. Bei außer der Fahrgeschwindigkeit unveränderter Maschineneinstellung gilt:

Drittens:  
Der massespezifische Kraftstoffverbrauch  $M/m$  (kg Dieseldieselkraftstoff je t Erntegut) einer selbstfahrenden Erntemaschine wird um so niedriger, je mehr Erntegut je Zeiteinheit verarbeitet wird, d.h. je größer der Erntegutdurchsatz  $\dot{m}$  (t Erntegut je Stunde) ist. Da der Erntegutdurchsatz  $\dot{m}$  ein Maß für die Arbeitsproduktivität darstellt, bedeutet dieses, daß bei gegebener selbstfahrender Erntemaschine ihre höchste Arbeitsproduktivität mit dem niedrig-

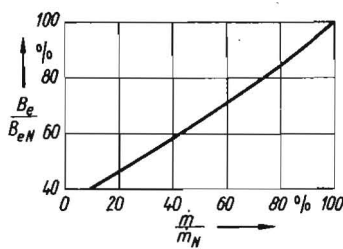


Bild 6. Zusammenhang zwischen stündlichem Kraftstoffverbrauch und Erntegutdurchsatz

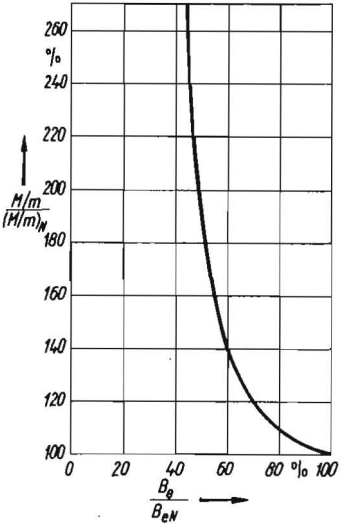


Bild 7. Veränderung des Verhältnisses von erforderlicher Kraftstoffmasse zu bearbeiteter Erntegutmasse in Abhängigkeit vom stündlichen Kraftstoffverbrauch

sten massespezifischen Kraftstoffverbrauch  $M/m$  verbunden ist.

Viertens:  
Bei relativ kleinem Erntegutdurchsatz  $\dot{m}$  (t Erntegut je Stunde) ergibt dessen Erhöhen ein größeres Verringern des massespezifischen Kraftstoffverbrauchs  $M/m$  (kg Dieseldieselkraftstoff je t Erntegut) als bei großem Erntegutdurchsatz  $\dot{m}$ .

Kann der Erntegutdurchsatz  $\dot{m}$  nur schlecht unter Kontrolle gehalten werden, so kann man aus dem stündlichen Kraftstoffverbrauch  $B_e$  auf den massespezifischen Kraftstoffverbrauch  $M/m$  schließen. Wird mit einer zur Verfügung stehenden selbstfahrenden Erntemaschine auf einem gegebenen Feld mit unveränderter Maschineneinstellung zur Erntegutbearbeitung gefahren und lediglich die Fahrgeschwindigkeit variiert, gelten folgende Beziehungen:

- Je größer der stündliche Kraftstoffverbrauch  $B_e$  (kg/h) wird, d.h. je mehr Leistung vom Motor abgefordert wird, wodurch ein höherer Erntegutdurchsatz  $\dot{m}$  erzielt wird, um so kleiner ist der massespezifische Kraftstoffverbrauch  $M/m$ .
- Bei kleinem stündlichem Kraftstoffverbrauch  $B_e$  ist dessen Erhöhen mit einem größeren Verringern des massestromspezifischen Kraftstoffverbrauchs  $M/m$  verbunden als bei großem stündlichem Kraftstoffverbrauch  $B_e$ .