

# Witterungsbedingter Feuchtegehalt erntereifer Getreidebestände und Energieaufwand

Prof. Dr. agr. habil. M. Müller, Humboldt-Universität Berlin, Sektion Pflanzenproduktion

## 1. Problemstellung

Witterungsbedingte Erntegutfeuchten und zu entwickelnde Verfahren mit geringem Material- und Energieaufwand kennzeichnen einen Problemkomplex, der neu durchdacht werden sollte:

- Kürzere Erntezeitspannen für Getreide erfordern eine höhere Druschkapazität. Sie kann durch eine größere Anzahl von Mäh-dreschern oder durch eine längere tägliche Einsatzdauer erreicht werden.
- Bei längerer täglicher Einsatzdauer sind höhere Kornfeuchten und ein zunehmender Konservierungsaufwand zu erwarten. Die auf die Einsatzstunde bezogene Druschkapazität sinkt zwar, die Auswirkungen der längeren Einsatzdauer auf den Kapazität-zuwachs sind jedoch größer, und der Mäh-drescherbesatz steigt nicht proportional mit der Zeitspannenverkürzung.

Zu klären ist, ob höhere Aufwendungen an Material und Energie für die Druschkapazität oder für die Aufbereitung vorzusehen sind.

## 2. Energiemodell

Für die Bewertung der Alternativstrategien ist ein Energiemodell notwendig. Technische Energie ( $E_{T1}$ ), Sonnenenergie und Energieträger im Boden werden eingesetzt, um den Getreidebestand zu erzeugen (Bild 1). Weitere technische Energie ( $E_{T2}$ ) ist notwendig, um den Mähdrusch sowie die Korn- und Strohbergung durchzuführen. Schließlich sind die Ernteprodukte aufzubereiten und zu lagern ( $E_{T3}$ ). Steigender technischer Aufwand muß den Anteil verwertbarer Erzeugnisse ( $l$ ) erhöhen und die Verluste und Qualitätsminderungen ( $m$ ) verringern.

Die erzeugte Bruttoenergie  $E$  ist gegeben durch

$$E = l + m + n \quad (1)$$

$$E = g.$$

Der Aufwand an technischer Energie  $E_T$  ist

$$E_T = a + b + c + d \quad (2)$$

$$E_T = E_{T1} + E_{T2} + E_{T3}.$$

Sinnvolle Beziehungen zwischen beiden Größen lassen sich durch spezifische Werte herstellen:

$$E_{sp1} = \frac{l}{E_T} \quad (3)$$

oder

$$E_{sp2} = \frac{l}{E_{T2} + E_{T3}} \quad (4)$$

oder

$$E_{sp3} = \frac{l}{E_T + m} \quad (5)$$

Bekannt sind:

$$E_{sp4} = \frac{h + i}{c}; \quad E_{sp4} = 8 \dots 11 \quad (6)$$

und

$$E_{sp5} = \frac{h + i}{a + b + c + d}; \quad E_{sp5} = 5 \dots 8. \quad (7)$$

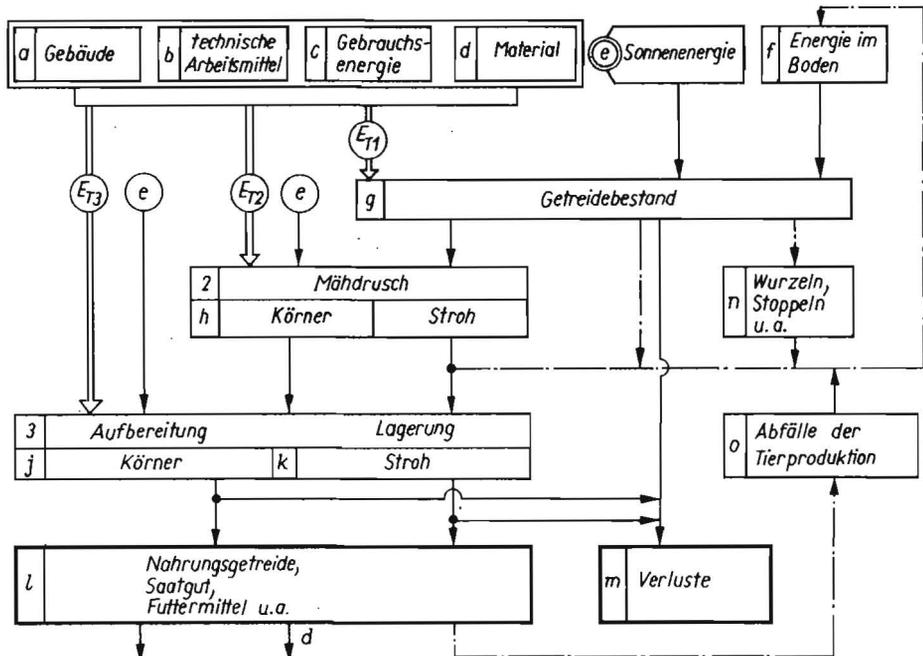


Bild 1. Energiemodell für Getreide:

$E_T$  Aufwand an technischer Energie:

$E_{T1}$  Bodenbearbeitung bis reifer Bestand

$E_{T2}$  Mähdrusch, Korn- und Strohbergung

$E_{T3}$  Aufbereitung und Lagerung von Körnern und Stroh

Die Korn- und Strohernte von Getreide repräsentiert eine um 5- bis 8mal höhere Energiemenge als die dafür aufgewendete technische Energie. Im Durchschnitt der Pflanzenproduktion beträgt das Verhältnis  $E:E_T \approx 5:1$ . In Gl. (5) werden die Biomasseverluste als verfahrensspezifischer Energieaufwand gewertet. Verluste verringern nicht nur die Menge verwertbarer Erzeugnisse ( $l$ ), sondern sie sind energetisch auch als Materialaufwand zu betrachten. Wird der Aufwand an technischer Energie  $E_T$  erhöht, müssen der durch Verluste bedingte Aufwand an Biomasse wie auch der Gesamtaufwand an Energie ( $E_T + m$ ) geringer werden.

Sollen der spezifische Aufwand an Energie gesenkt und die Produktion erhöht werden, muß die spezifische Energieerzeugung  $E_{sp}$  steigen. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Frage nach dem zweckmäßigen Verhältnis von  $E_{T2}$  zu  $E_{T3}$  und seinem Einfluß auf Menge und Qualität der Ernteprodukte. Die weitere Untersuchung dieser Problematik führt zu zwei Problemen:

- Wie sollen die verschiedenen Formen technischer Energie zusammengefaßt werden?
- Welche Beziehungen bestehen zwischen Druschdauer, Kornfeuchten und Maschinenbesatz?

## 3. Energieäquivalente

Technische Energie nach Gl. (2) kann nur ermittelt werden, wenn Energieäquivalente für das eingesetzte Material bekannt sind.

Dafür gibt es erste Orientierungswerte [1] (Tafel 1).

Mit diesen Werten kann eine Abschätzung des

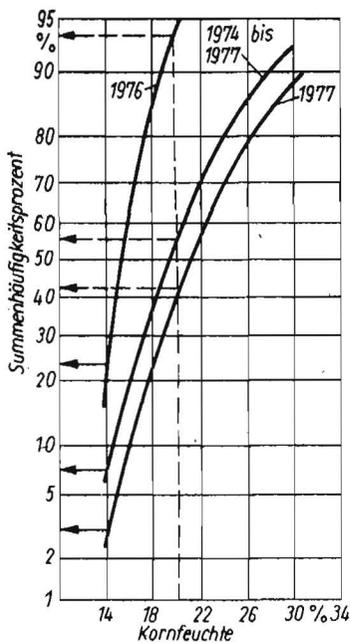
Energieaufwands durch Material vorgenommen werden, die zwar noch nicht alle Anforderungen erfüllt, wesentliche Unterschiede im Aufwand an Material und Gebrauchsenergie jedoch erkennbar werden läßt. Düngemittel haben den höchsten Anteil am Aufwand an technischer Energie (Tafel 2).

Gebrauchsenergie ist auf Primärenergieaufwand am Verbrauchsort umzurechnen. Dabei

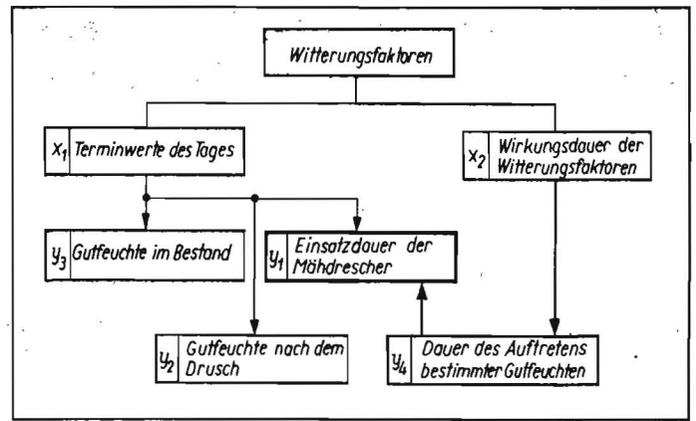
Tafel 1. Energieäquivalente für ausgewählte Materialarten

Materialarten	Primärenergie MJ/kg
Stickstoffdünger (N), ausgestreut	80
Phosphordünger ( $P_2O_5$ ), ausgestreut	14
Kalidünger ( $K_2O$ ), ausgestreut	9
Wirkstoff für Pflanzenschutzmittel, ausgestreut	100
Pflanzentrockenmasse	18
Walzstahl	23
Landmaschinen <sup>1)</sup>	100
Stahlbeton	8
Plaste	90
technisches Glas	26
Schnittholz	2

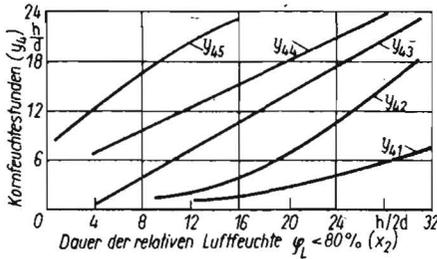
1) Instandhaltung 25%/a, d.h. bei 8jähriger Nutzungsdauer ist die 3fache Konstruktionsmasse als Werkstoffeinsatz zu berechnen



**Bild 2**  
Summenhäufigkeit der Kornfeuchten in den Erntekampagnen von 1974 bis 1977



**Bild 3**  
Einfluß- und Zielgrößen bei Untersuchungen zum Witterungseinfluß



**Bild 4.** Kornfeuchtestunden und Dauer der relativen Luftfeuchte  $\varphi_L < 80\%$  bei Winterroggen [2];  
 $y_{41}: f_K \leq 14\%$   
 $y_{41} = -0,98 + 0,008 x_2^2; B = 0,36$   
 $y_{42}: f_K \leq 18\%$   
 $y_{42} = -1,1 + 0,02 x_2^2; B = 0,84$   
 $y_{43}: f_K \leq 22\%$   
 $y_{43} = -2,5 + 0,84 x_2; B = 0,87$   
 $y_{44}: f_K \leq 26\%$   
 $y_{44} = 7,2 + 0,73 x_2; B = 0,75$   
 $y_{45}: f_K \leq 30\%$   
 $y_{45} = 7 + 1,5 x_2 - 0,03 x_2^2; B = 0,72$

**Tafel 2.** Gliederung der technischen Energie  $E_T$

Energieträger	Anteil in %
Düngemittel,	
Pflanzenschutzmittel	50...55
Kraftstoffe	20...25
technische Arbeitsmittel	8...12
Elektroenergie	6...9
Saat- und Pflanzgut	6...9

ist es nicht zulässig, die Elektroenergie mit dem Heizwert einzusetzen, also z. B.  $1 \text{ kWh} \triangleq 3,6 \text{ MJ}$ , sondern unter Berücksichti-

gung der Wandlungswirkungsgrade muß die Beziehung  $1 \text{ kWh} \triangleq 13 \text{ MJ}$  verwendet werden. Weitere Untersuchungen zur Vervollständigung der Kenntnisse über Energieäquivalente von Materialien sind notwendig.

#### 4. Witterung und Druschgutfeuchten

Zuverlässige Bemessungsgrundlagen zur Abschätzung der zu erwartenden witterungsbedingten Druschgutfeuchten fehlen bisher. Vorhandene meteorologische Daten lassen sich für die Lösung dieses Problems einsetzen, wenn Auswertvorschriften vorhanden sind. Aus vorliegenden Witterungsdaten eines Tages oder einer Periode müssen damit nachträglich technologische Größen, wie Kornfeuchten und Strohfeuchten, zuverlässig bestimmbar sein. Die Kornfeuchteverteilung der Periode von 1974 bis 1977 mit extrem feuchten und trockenen Erntekampagnen zeigt einen großen Wertebereich der Kornfeuchten (Bild 2).

Bei den Untersuchungen zum Witterungseinfluß (Bild 3) waren die Witterungsfaktoren  $x_1$  und  $x_2$  die Einflußgrößen. Sie waren in Beziehung zu setzen zu den Zielgrößen  $y_1$  bis  $y_4$ . Mit der Regressionsfunktion  $y_1 = f(x_1)$  läßt sich nur ein geringer Anteil der Varianz erklären ( $B = 0,4$ ). Auch für  $y_2 = f(x_1)$  und  $y_3 = f(x_1)$  konnten keine strafferen Zusammenhänge nachgewiesen werden. Die Beziehung  $y_4 = f(x_2)$  ist hoch bestimmt, wenn für  $x_2$  die Dauer des Auftretens der relativen Luftfeuchte von zwei aufeinanderfolgenden Tagen und für  $y_4$  die Kornfeuchtestunden des zweiten Tages gewählt werden (Bild 4). Zu einem ähnlich guten Ergebnis gelangt man, wenn die Sättigungsdefizitsummen von zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit den Terminen 7.00 Uhr, 14.00 Uhr und 21.00 Uhr an die Stelle der relativen Luftfeuchte treten. Die Verknüpfung mehrerer Witterungsfaktoren in multiplen Regressionsfunktionen brachte keine besseren Ergebnisse.

Um die energetischen Auswirkungen unterschiedlicher Gutfeuchten zu erfassen, sind für Druschgutarten und meteorologisch abgrenzbare Gebiete stabile Häufigkeitsverteilungen für das Auftreten bestimmter Gutfeuchten

notwendig, um der Stochastik des Witterungseinflusses auch hinreichend zu entsprechen. Die Modellbetrachtung ist außerdem auf die Problematik der Schnitthöhen und Druschfeuchten auszudehnen.

#### 5. Schlußfolgerungen

Mit Energieäquivalenten für Materialien und mit Andauerzeiten für bestimmte Druschgutfeuchten sind wesentliche Grundlagen für die energetische Bewertung von Getreideernteverfahren geschaffen. In den energetischen Modellansatz müssen die Biomasseproduktion und -verluste mit einbezogen werden. Kriterien der technischen Energie sind für die Bewertung der Alternativstrategien zwar notwendig, aber nicht hinreichend. Sie sollten mindestens durch Arbeitszeitaufwand und durch finanzielle Kennziffern ergänzt werden. Das Bewertungsergebnis wird in absteigender Folge von den Einflußgrößen Biomasseproduktion und -verluste, Gebrauchsenergieaufwand sowie Materialaufwand beeinflusst. Optimalvarianten sind durch die höchstmögliche Nutzung von Sonnenenergie für die Abtrocknung im Bestand oder für die Belüftungstrocknung im Lager gekennzeichnet.

#### 6. Zusammenfassung

Neue Getreideernteverfahren müssen zur Verkürzung der Zeitspannen, zur höheren Produktion von verwertbarer Biomasse und zu einer Verringerung des spezifischen Aufwands an technischer Energie führen. Im Beitrag wird ein Energiemodell für die Bewertung von Alternativstrategien diskutiert. Energieäquivalente für Materialien und witterungsbedingte Druschgutfeuchten sind dafür wichtige Eingangsgrößen.

#### Literatur

- [1] Lange, W.: Werkstoff und Energie. Aus der Arbeit von Plenum und Klassen der AdW der DDR, 2 (1977) H. 2, S. 1—22.
- [2] Zimmermann, A.: Meteorologische Begründung des Einsatzzeitfonds von Feldarbeitsmaschinen am Beispiel der Mähdrösch. Humboldt-Universität Berlin, Dissertation 1980. A 3141