

Witterungsverlauf durch Veränderungen im Mährescherbesatz, z. B. durch gegenseitige Hilfe der Betriebe oder Verlängerung der täglichen Einsatzzeit bzw. Ausdehnung der Erntezeitspanne, entgegengewirkt. Energetische Konsequenzen haben diese Maßnahmen sowohl aus der Sicht des Trocknungsaufwands als auch wegen des Energieabgangs durch Vorernteverluste. Im Bild 1 ist diese Verknüpfung für einen Beispielbetrieb mit 1200 ha Getreideanbaufläche vereinfacht dargestellt. Energieaufwand für Mährescher und Körnertrocknung sowie Energieabgang durch Vorernteverluste sind über der vorhandenen Anzahl Mährescher aufgetragen. Für die Funktion des Tagesganges der relativen Luftfeuchte und der daraus resultierenden Kornfeuchte wurden Untersuchungsergebnisse aus dem Raum Dresden verwendet. Die Entwicklung der Vorernteverluste nach Eintritt der Mähdruschzeitspanne wurde von Pugatschew [4] übernommen. Während vorangegangene Betrachtungen zum energetisch günstigsten Mährescherbesatz lediglich zwei energetische Prozeßgrößen – Mährescher und Körnertrocknung – berücksichtigten, sind in dieser Darstellung unterschiedliche Erntezeitspannen und die daraus resultierenden Vorernteverluste als weitere Prozeßgrößen hinzugezogen worden. Die Vorernteverluste wurden mit dem eingangs dargestellten Energieäquivalent berücksichtigt. Eine analytische Darstellung der Verknüpfung aller wesentlichen Prozeßgrößen mit der Angabe von Extremwerten ist nur rechnergestützt möglich. Sie bildet aber die Grundlage für das Ableiten operativer Entscheidungen nach der Zielfunktion der Prozeßführung.

Die vereinfachte grafische Darstellung weist neben dem für diese Flächengröße günstigen

gen Mährescherbesatz noch den Einfluß der Erntezeitspanne auf die Energiebilanz aus. Danach sinkt der Gesamtenergieaufwand bei Reduzierung der Erntezeitspanne bis auf etwa 10 Tage und steigt danach wieder an. Daraus ist zu schlußfolgern, daß der energetisch günstigste Mährescherbesatz bei 6 Stunden täglicher Einsatzzeit und 10 Tagen Erntezeitspanne zu weniger als 80 ha je Mährescher tendiert.

Für die rechnergestützte Prozeßführung bilden diese Ansätze Möglichkeiten, aus energetischer Sicht zweckmäßige Entscheidungen im Prozeßverlauf zu treffen. So lassen witterungsbedingte Störungen im Prozeßablauf Entscheidungen zu, mit welcher Veränderung eine möglichst hohe energetische Effektivität gewahrt bleibt.

Analog zu der hier dargestellten Betrachtung aus volkswirtschaftlicher Sicht sind ebenfalls rechnergestützte Modelle auf der Basis des Betriebs denkbar. Generell sollte aber der Vorzug rechnergestützter Ingenieurarbeit bei der Prozeßführung dazu dienen, die gesamtgesellschaftlich effektivste Lösung zu finden und einzusetzen.

### 5. Schlußfolgerungen

Energetische Bilanzen haben aus volkswirtschaftlicher Sicht große Bedeutung bei der rechnergestützten Prozeßführung. Aufbauend auf einer betrieblichen Datenbank für einzelne Produktionsprozesse sind in der Phase der technologischen Projektierung statistische Vorhersagen der Störgrößen des Prozesses zu berücksichtigen. Abweichungen im Prozeßverlauf, die aus dem Vergleich zwischen aktuellen Werten und Vorhersagewerten der Störeinflüsse deutlich werden, ist durch entsprechende Korrekturen von Prozeßgrößen entgegenzuwirken. Schwer-

punkte der weiteren Forschungsarbeit sind dabei:

- Aufbau geeigneter Datenbanksysteme für alle wesentlichen Prozeßgrößen
- verstärkte Untersuchung zum Verhalten landwirtschaftlicher Stoffkennwerte in Abhängigkeit von meteorologischen Einflüssen
- interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftszweige bei der Ermittlung funktioneller Zusammenhänge zu Ursache-Wirkung-Komplexen in den Prozessen der Pflanzenproduktion.

### Literatur

- [1] Algenstaedt, K.; Feiffer, P.: Wertung der 84er Getreideernte mit Schlußfolgerungen für 1985. Getreidewirtschaft, Berlin 19 (1985) 1, S. 18–20.
- [2] Große, W.: Optimierung energetischer Aufwendungen in der Pflanzenproduktion – dargestellt am Beispiel Mähdrusch – Getreidetrocknung. Technische Universität Dresden, Fakultät für Maschinenwesen, Dissertation B 1984.
- [3] Müller, M.: Technologische Grundlagen für die industriemäßige Pflanzenproduktion. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1980.
- [4] Pugatschew, A.: Einfluß biologischer und anderer Faktoren auf die Höhe der Körnerverluste bei der Getreideernte. Internationale Zeitschrift der Landwirtschaft, Moskau/Berlin 26 (1982) 5, S. 500–501.

A 4787

# Theoretische und experimentelle Analyse des Mähdruschprozesses als Grundlage der automatischen Prozeßführung

Dr.-Ing. G. Bernhardt, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

### Verwendete Formelzeichen

a, b	Koeffizienten
$b_s$	Arbeitsbreite des Schneidwerks
$E_{spez}$	spezifischer Energieverbrauch
$F_L$	Flächenleistung in ha/h
K	Korn-Stroh-Verhältnis
$K_v$	spezifische Verfahrenskosten
$\dot{q}$	Gesamtdurchsatz in kg/s
$\dot{q}_k$	Korndurchsatz in kg/s
$\dot{q}_s$	Strohdurchsatz in kg/s
$s'$	Fahrgeschwindigkeit in m/s
$V_A$	Ausdruschverluste in kg/m <sup>2</sup> oder kg/s
$V_{ges}$	Gesamtverluste in kg/m <sup>2</sup> oder kg/s
$V_{st}$	Schüttlerverluste in kg/m <sup>2</sup> oder kg/s
$V_R$	Reinigungsverluste in %
$V_s$	Schneidwerksverluste in %
$V_U$	Verluste durch Undichtheiten in kg/m <sup>2</sup> oder kg/s
$\varrho$	Bestandsdichte in kg/m <sup>2</sup>

### 1. Zielstellung

Mit der raschen Weiterentwicklung der mikroelektronischen Schaltkreise und ihrem sinnvollen Einsatz im Maschinenbau haben sich Technologien herausgebildet, die eine wesentliche Effektivitätssteigerung bei sin-

kendem Energie- und Materialbedarf zur Folge haben, wobei Arbeitskräfte freigesetzt werden. Mit dem weiteren Sinken der Kosten für mikroelektronische Schaltkreise wird ihr Einsatz im Maschinenbau weiter zunehmen. International zeigt sich, daß durch das sinnvolle Anwenden der Mikroelektronik die Prozeßabläufe in den Maschinen, die gesamte Maschine oder das Maschinensystem gesteuert werden können.

Einige Prototypen fahrerloser Mährescher sind aus der Literatur bekannt. Die dabei vorhandenen Vorteile und Probleme werden in der Fachliteratur immer wieder diskutiert. Dabei sind gegenwärtig zwei Schwerpunkte erkennbar:

- Die Prozeßabläufe sind in ihrer Gesamtheit nicht ausreichend erforscht, um zielgerichtet eine Automatisierung vornehmen zu können.
- Für die den Prozeßablauf störenden Größen reicht die Genauigkeit der Sensoren nicht aus, oder es gibt noch keine Senso-

ren für die Größen, die den Prozeßablauf maßgeblich beeinflussen.

Unter Beachtung der Hauptforderung – Senkung der Verfahrenskosten bei gleichzeitiger Steigerung der Arbeitsproduktivität – lassen sich folgende Zielkriterien formulieren:

1. Flächenleistung  $F_L$  (in ha/h) → Maximum
2. Gesamtverluste  $V_{ges}$  (in kg/m<sup>2</sup> oder kg/s) → Minimum
3. spezifischer Energieverbrauch  $E_{spez}$  (verbrauchter Kraftstoff/Masse des geernteten Getreides) → Minimum
4. spezifische Verfahrenskosten  $K_v$  (Kosten/Masse des geernteten Getreides) → Minimum
5. Verbesserung der Ergonomie.

Neben diesen aufgeführten Zielkriterien existieren noch weitere Faktoren, die sie beeinflussen, wie die Zuverlässigkeit und die Senkung der Zeiten für technische und funktionelle Störungen.

Bei der Erfüllung der Zielkriterien ist darauf zu achten, daß die Qualität des geernteten

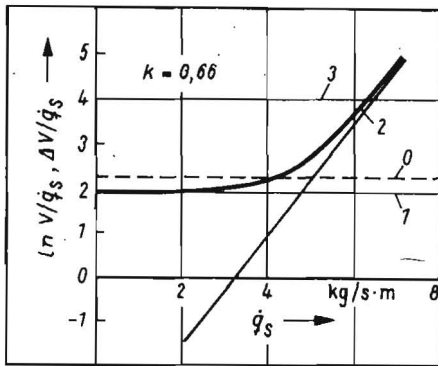


Bild 1. Einfluß des Strohdurchsatzes auf die Ziel-funktion;  
 Kurven:  
 0 Verlustgrenze (1,5%), bezogen auf  $\dot{q}_s$   
 1 spezifische Schneidwerksverluste  $V_s/\dot{q}_s$   
 2 spezifische Dreschwerksverluste  $\Delta V/\dot{q}_s$   
 3  $(V_s/\dot{q}_s) + (\Delta V/\dot{q}_s)$

Bild 2  
 Motorkennfeld;  
 n Motordrehzahl,  $p_e$  eff-ektiver Mitteldruck,  $b_e$  spezifischer Kraftstoff-verbrauch

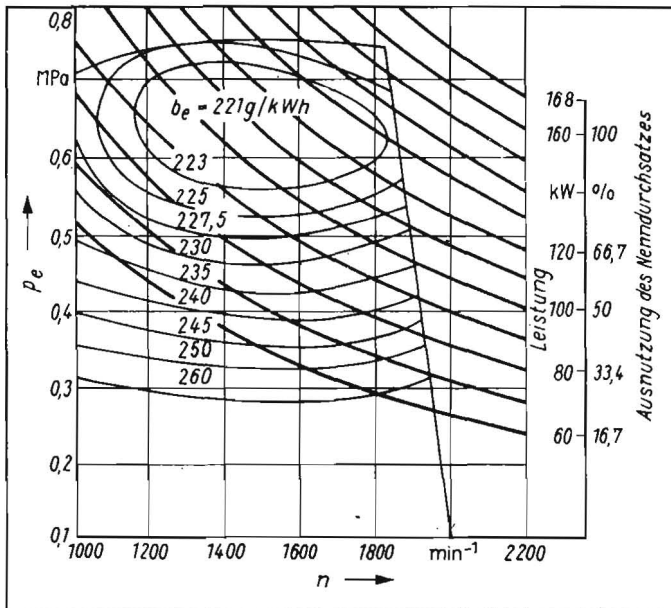
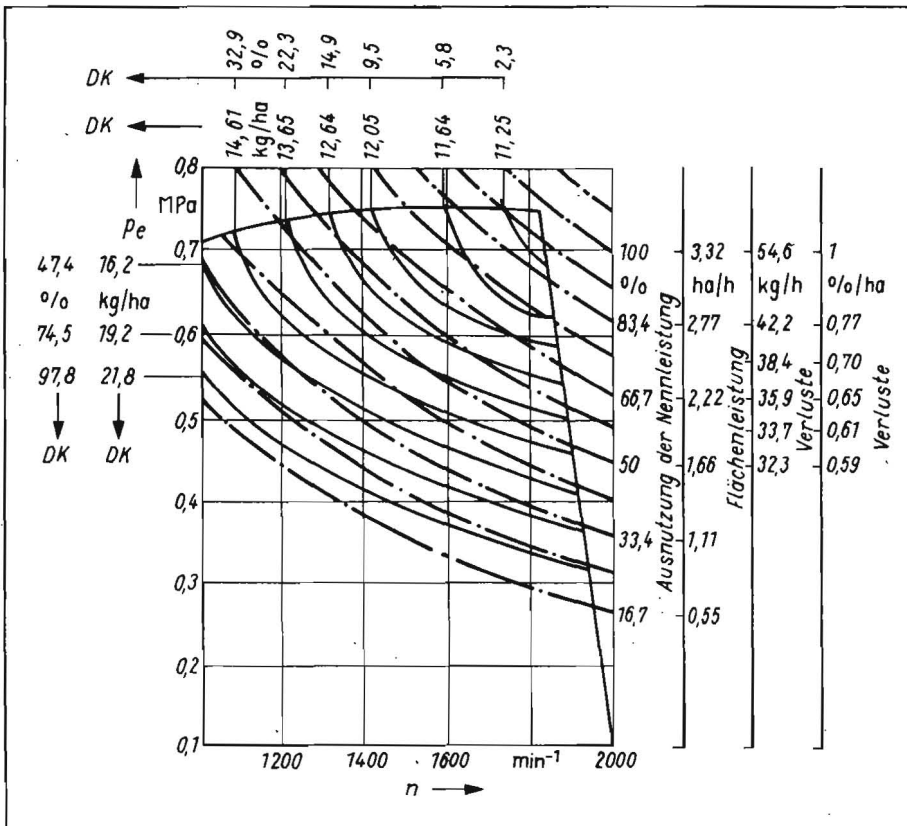


Bild 3  
 Motorkennfeld mit Pro-zeßkenngrößen;  
 — spezifischer Kraft-  
 stoffverbrauch  
 -.- Verluste



Getreides erhalten bleibt oder verbessert werden muß. Aufgrund der Vielzahl der Ziel-kriterien ist eine Optimierung des Mäh-druschprozesses nur mit den Methoden der Polyoptimierung sinnvoll zu erreichen.

## 2. Theoretische Betrachtungen

In Anlehnung an die Kosten-Nutzen-Theorie wird folgende Gleichung definiert:

$$Y = \frac{\text{Flächenleistung } F_L}{\text{Gesamtverluste } V_{\text{ges}}} \rightarrow \text{Maximum}; \quad (1)$$

$$F_L = b_s s' \quad (2)$$

$$V_{\text{ges}} = V_s + V_A + V_H + V_R + V_U \quad (3)$$

Die Verluste durch Undichtheiten sind ver-nachlässigbar klein:

$$\Delta V = V_A + V_H + V_R \quad (4)$$

Aus einer Vielzahl von experimentellen Untersuchungen kann in erster Näherung für den interessierenden Bereich die Gl. (5) ver-wendet werden:

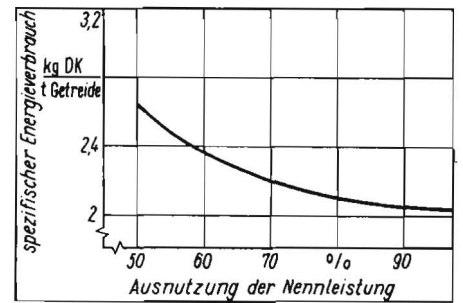


Bild 4. Spezifischer Energieverbrauch in Abhän-gigkeit von der Ausnutzung der Nennlei-stung

$$100 \frac{\Delta V}{\dot{q}_k} = e^{aq+b} \quad (5)$$

$$\Delta V = \frac{\dot{q}_k}{100} e^{aq+b} \quad (6)$$

Aus den Gln. (1), (2), (3) und (6) folgt

$$y = \frac{b_s s'}{\frac{\dot{q}_k}{100} e^{aq+b} + V_s} \quad (7)$$

Der Durchsatz berechnet sich aus

$$\dot{q} = \rho b_s s' \quad (8)$$

Wenn Gl. (8) in Gl. (7) eingesetzt wird, ergibt sich

$$y = \frac{1}{\rho} \frac{\dot{q}}{\frac{\dot{q}_k}{100} e^{aq+b} + V_s} \quad (9)$$

Unter Verwendung des Korn-Stroh-Verhält-nisses ergibt sich für den Korndurchsatz  $\dot{q}_k$ :

$$\dot{q}_k = \frac{K}{K+1} \dot{q}; \quad \dot{q}_k = K \dot{q}_s \quad (10)$$

Die Gln. (6), (9) und (10) ergeben

$$y = \frac{1}{\rho} \frac{K+1}{\frac{\Delta V}{\dot{q}_s} + \frac{V_s}{\dot{q}_s}} \quad (11)$$

Im Bild 1 werden die einzelnen Terme der Gl. (11) für  $K = \text{konst.}$  und  $\rho = \text{konst.}$  als Funktionen dargestellt. Davon ausgehend zeigt sich, daß für die Zielkriterien Flächen-leistung und Gesamtverluste keine relativen Extremwerte existieren und daß bei  $\dot{q}_s = 2$  bis  $3 \text{ kg/s} \cdot \text{m}$  diese Kriterien geringfügig von den Dreschwerksverlusten beeinflusst werden. Entsprechend diesen Zielkriterien wären geringe Durchsätze zweckmäßig.

Geringe Durchsätze führen jedoch zu einer Erhöhung des spezifischen Energiever-bruchs. Diese Erscheinung ist durch das Motorkennfeld bestimmt. In welcher Weise sich der spezifische Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Auslastung erhöht, kann aus Bild 2 entnommen werden. Um den Zusammenhang zwischen dem spezifischen Energieverbrauch und den Verlusten zu ver-deutlichen, wurden in das Motorkennfeld (Bild 3) Linien konstanter spezifischer Ver-luste und konstanten spezifischen Energiever-bruchs eingezeichnet. Dabei wird deutlich, daß die gegenwärtig in der Praxis erreichte Ausnutzung der Motorleistung zu 65 % völlig unzureichend ist.

Aus der grafischen Darstellung des Zielkrite-riums spezifischer Energieverbrauch in Ab-hängigkeit von der Ausnutzung der Nennlei-stung (Bild 4) können weitere Schlußfol-gerungen für die Prozeßführung abgeleitet werden.

Eine Erhöhung der Ausnutzung der Nennlei-stung von 65 % auf rd. 85 % bringt spürbare

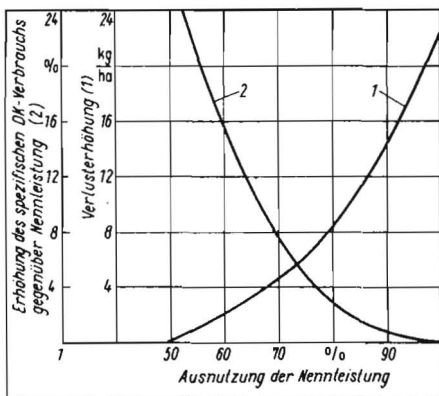


Bild 5. DK-Verbrauch und Verluste in Abhängigkeit von der Ausnutzung der Nennleistung

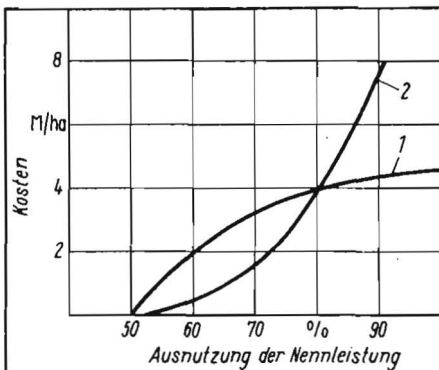


Bild 6. Kosten für Dieselkraftstoff und Verluste in Abhängigkeit von der Nennleistung; 1 Einsparung an DK-Kosten gegenüber 50%iger Ausnutzung, 2 Erhöhung der Verluste in M/ha gegenüber 50%iger Ausnutzung

Einsparungen an Energie. Eine weitere Erhöhung der Ausnutzung bringt keine wesentliche Energieeinsparung. Bezogen auf einen bestimmten Wert der Ausnutzung der Nennleistung, werden die Zielkriterien 1 bis 3 im Bild 5 nochmals gegenübergestellt. Während bei dem spezifischen Energieverbrauch eine hohe Ausnutzung der Nennleistung gefordert wird, ist aus der Sicht der Verluste eine geringe Ausnutzung anzustreben. Unter Verwendung des 4. Zielkriteriums soll die Zielstellung weiter präzisiert werden. Die Darstellung der Einsparung an Kosten für Dieselkraftstoff in M/ha und die Erhöhung der Verluste in M/ha in bezug auf eine

50%ige Ausnutzung der Nennleistung (Bild 6) zeigt, daß die Kosten bei einer 81%igen Ausnutzung – das entspricht einem Durchsatz von 9,8 kg/s – gleich sind. Im Bereich >81 % ist der Kostenanteil, der durch die erhöhten Verluste hervorgerufen wird, größer als derjenige, der durch die Energieeinsparung erreicht wird. Im Bereich <81 % sind die Kosten für die eingesparte Energie größer. Aus der Differenz der beiden Funktionen 1 und 2 (Bild 6) ergibt sich ein Bereich zwischen 57 % und 75 %, in dem die besten Werte erreicht werden (Bild 7). Daraus ergibt sich ein mittlerer Durchsatz von 8 kg/s. Dieser Wert erhöht sich um rd. 2 kg/s, sobald in die Kostenbetrachtungen die Abschreibungen einbezogen werden. Aufgrund des Prozeßablaufs im Mähdröschler unter Beachtung der vorhandenen Maschinen und unter Einbeziehung der Schneidwerksverluste erscheint eine Ausnutzung der Nennleistung von 80 bis 85 % aus ökonomischer Sicht als sinnvoll.

Gegenwärtig werden die Mähdröschler großer Leistung zu 65 % ausgenutzt. Unter Verwendung der durchgeführten Betrachtungen sollte die Ausnutzung der Nennleistung um 20 % erhöht werden. Eine weitere Erhöhung verschlechtert die Gesamtoökonomie. Bei einer 20%igen Steigerung der Nennleistung wird eine Einsparung von 4,80 M/ha erreicht. Unter der Voraussetzung, daß in der DDR auf 2,6 Mill. ha Getreide angebaut wird, ergibt sich ein jährlicher Nutzen von 12,5 Mill. Mark oder umgerechnet 19 500 t Getreide. Das entspricht 0,17 % des 1985 geernteten Getreides.

Aufgrund dieser Überlegungen wird die Senkung der Verluste vorwiegend durch die Verringerung der Vorernteverluste eintreten müssen. Aus langjährigen Erfahrungen werden gegenwärtig 25 Tage zur Ernte benötigt. Bei einer Erhöhung der Ausnutzung der Nennleistung um 20 % würde die Erntekampagne um 5 bis 6 Tage verkürzt.

Obwohl die Verlustangaben in der Literatur sehr differenziert sind, erscheint eine Verlustsenkung von 1 % bei einer Überschreitung der Tötetiefe um 5 bis 6 Tage als gerechtfertigt. Größere Verluste treten nur bei extremen Witterungsbedingungen auf. Insgesamt ergibt sich damit eine Verlustsenkung von rd. 1,2 % oder 136 000 t Getreide je Jahr. Die gesamten Betrachtungen wurden in  $T_1$  und mit den Kosten durchgeführt, die

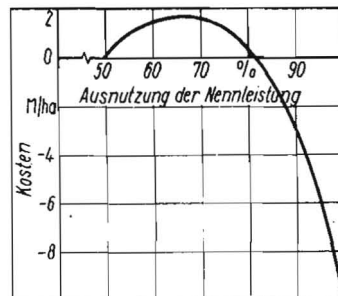


Bild 7. Differenz der Kosten für Dieselkraftstoff und Verluste in Abhängigkeit von der Ausnutzung der Nennleistung

den Prozeß wesentlich beeinflussen. Bei einer Berücksichtigung aller technologischen Einflußgrößen wird die Verlustsenkung rd. 1 % betragen.

### 3. Zusammenfassung

Ausgehend von der Bedeutung der Mikroelektronik im Maschinenbau, werden für den Mähdröschprozeß Zielkriterien formuliert, unter deren Verwendung eine Optimierung des Prozesses angestrebt wird. Analog zur Kosten-Nutzen-Theorie wurden die Kriterien Flächenleistung und Gesamtverluste gegenübergestellt und gefordert, daß dieses Verhältnis ein Minimum erreicht. Da keine relativen Maxima existieren, mußten zur Entscheidungsfindung der spezifische Energieverbrauch und die spezifischen Verfahrenskosten weitere Erkenntnisse liefern. Dazu wurde das Motorkennfeld verwendet, in das Linien konstanten spezifischen Kraftstoffverbrauchs eingezeichnet wurden. Betrachtungen zu spezifischen Verfahrenskosten in Abhängigkeit von der Ausnutzung der Nennleistung weisen nach, daß eine Ausnutzung bis zu 85 % zweckmäßig ist. Eine weitere Erhöhung führt zur Verschlechterung der ökonomischen Kennzahlen.

Da gegenwärtig eine Ausnutzung von 65 % erreicht wird, ist eine Erhöhung um 20 % mit Hilfe der Automatisierung sinnvoll. Damit wird eine Verlustsenkung (Maschinenverluste) um 0,17 % erreicht. Durch die Leistungssteigerung der Maschinen ergibt sich eine Verkürzung der Erntezeit, so daß insgesamt eine Verlustsenkung von 1 % zu erwarten ist.

A 4826

## VEB Blechverformung Schmölln

Telefon: 585

Betrieb des VEB Kombinat Leipziger Metallbau  
Crimmitschauer Str. 50  
Schmölln - DDR  
7420

Exporteur:

**TRWA** Export/Import

Volkseigener Außenhandelsbetrieb der DDR

Mohrenstraße 53/54

BERLIN - DDR

1080

Telefon: 48870 und 2240

Telex: 112347, 112348, 115027

- Transportbehälter in Vollblechausführung für Schüttgüter und Kleinteile wahlweise mit verstärktem Boden und Verriegelung lieferbar
- Boxpaletten Versandpalette für Kleinteile, verschließbar, mit und ohne Deckel lieferbar