

# Arbeitszeit- und Energiebedarf beim Pflügen in Abhängigkeit vom Getriebeegang, der Arbeitsbreite des Pfluges und der Schleppermasse

Von Alfred Stroppel und Winfried Schäfer,  
Stuttgart-Hohenheim\*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion"  
der Universität Hohenheim

DK 631.372:631.51:65.015:531.6.004.15

Um Zeit und Energie beim Pflügen zu sparen, sollten gewisse Schlepper- und Pflugparameter aufeinander abgestimmt sein. Mit Hilfe eines Simulationsmodells werden die Wechselbeziehungen der Parameter Arbeitsgeschwindigkeit, Arbeitsbreite und Schleppermasse und deren Einfluß auf Arbeitszeit- und Energiebedarf näher untersucht.

## 1. Einleitung

Beim Einsatz von Pflügen ist es im Hinblick auf den Arbeitszeit- und Energiebedarf wichtig zu wissen, ob die zur Verfügung stehende Schlepperleistung mehr über die Arbeitsbreite des Pfluges oder mehr über die Arbeitsgeschwindigkeit ausgenutzt werden soll und wie groß die Schleppermasse sein sollte. Diese Fragen können nicht auf einfache Weise beantwortet werden, da das gesamte System Motor–Getriebe–Pflug–Boden in die Betrachtungen einbezogen werden muß. Hierfür muß ein möglichst praxisnahes Simulationsmodell in Verbindung mit einem entsprechenden Computerprogramm zur Verfügung stehen.

Schon in früheren Arbeiten [1, 2] wurde für das gesamte System Schlepper–Bodenbearbeitungsgerät–Boden ein derartiges Modell vorgestellt, mit dem verschiedene Fragestellungen beantwortet werden können. So wurde in der Publikation [2], in der in erster Linie das Modell und der Lösungsweg erläutert wurden, als Beispiel die Frage behandelt, wie sich bei einem bestimmten Getriebeegang (Nenngeschwindigkeit) und voller Motordrehzahl der Arbeitszeit- und der Energiebedarf mit zunehmendem Motorauslastungsgrad, d.h. mit zunehmender Arbeitsbreite ändert, und dies bei unterschiedlicher Schleppermasse. Die aufgrund dieser Veröffentlichung geführten Gespräche zeigten, wie komplex die Zusammenhänge sind und welche Schwierigkeiten beim Verstehen derselben auftreten. An der Richtigkeit der aufgezeigten Zusammenhänge besteht jedoch weiterhin kein Zweifel.

In den folgenden Ausführungen werden weitere Ergebnisse aus diesen Untersuchungen vorgestellt und diskutiert. Dabei geht es schwerpunktmäßig um die Frage, in welcher Weise der Getriebeegang, die Arbeitsbreite des Pfluges und die Schleppermasse den Arbeitszeitbedarf und den Energiebedarf beim Pflügen beeinflussen.

## 2. Aufgabenstellung

Wie oben angedeutet, stellt dieser Beitrag eine Fortsetzung der in [2] publizierten Forschungsarbeit dar. Deswegen wird auf die dort

erläuterten mathematischen Zusammenhänge, die auch zur Lösung der vorliegenden Aufgabe benötigt werden, hier nicht mehr eingegangen.

Der wesentliche Inhalt des folgenden ersten Teiles (Abschn. 3) ist eine Erweiterung der früher angegebenen Gesetzmäßigkeiten um die Betriebspunkte, die auf der Vollastlinie des Motorkennfeldes liegen, was schon in [2] angekündigt wurde. Außerdem werden nochmals die Bedingungen zusammengefaßt, für die die mathematischen Gleichungen des Simulationsmodells derzeit Gültigkeit haben.

Im darauffolgenden Abschnitt werden für ein praktisches Beispiel, das auch in [2] verwendet wurde (60 kW-Schlepper, mittelschwerer Boden, Stoppelacker, Arbeitstiefe 25 cm), zahlreiche Ergebniskurven vorgestellt und diskutiert, mit denen der Einfluß des Getriebeanges, der Arbeitsbreite und der Schleppermasse auf Arbeitszeit- und Energiebedarf gezeigt werden kann.

Im Schlußabschnitt werden die Ausführungen kurz zusammengefaßt und einige mögliche Folgerungen aus den Ergebnissen angedeutet, insbesondere bezüglich der Optimierung des Systems Schlepper–Pflug.

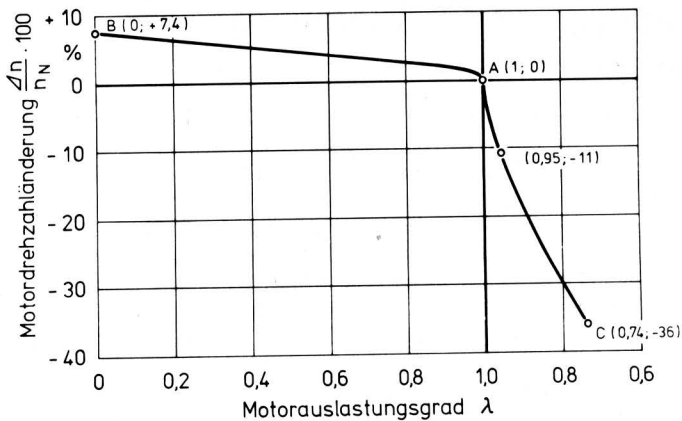
## 3. Mathematische Grundlagen

In [2] wurden die Gleichungen für die Kennlinien des Motors, des Getriebes, des Laufwerkes und des Gerätes zusammengestellt, die für die Lösung der vorliegenden Aufgabe notwendig sind. Da die ermittelten Gleichungen bezüglich der gesuchten Größen implizit sind, wurde dort auch ein Weg aufgezeigt, wie man mittels eines iterativen Verfahrens zur Lösung kommt.

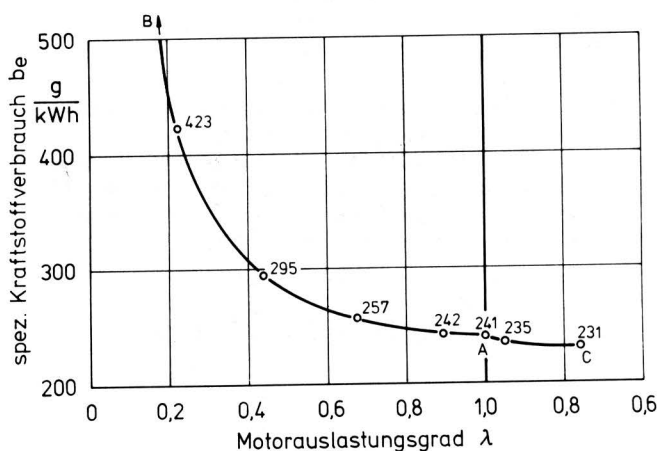
Die Untersuchungen in [2] beziehen sich auf Betriebspunkte, die sich bei maximal möglicher Motordrehzahl, d.h. bei Vollaststellung des Drehzahlverstellhebels, ergeben. Dabei wurden nur Betriebspunkte entlang der Abregellinie AB betrachtet und nicht entlang der Vollastlinie AC (siehe Bild 1 in [2]). Es wurde darauf hingewiesen, daß die entsprechenden Zusammenhänge entlang der Vollastlinie AC in einer späteren Arbeit erörtert werden sollen. Da dieser Themenkreis für die hier zu behandelnden Fragen von Bedeutung ist, soll im folgenden kurz darauf eingegangen werden.

Um sämtliche Betriebspunkte entlang der Linie BAC (siehe Bild 1 in [2]) erfassen zu können, müssen die beiden Motorkennlinien, die für die Lösung dieses Problems wichtig sind und die schon in [2] (siehe dort Bild 2) für die Abregellinie AB behandelt wurden, erweitert werden: Die Abhängigkeit der Motordrehzahl  $n$  und des spezifischen Kraftstoffverbrauchs  $b_e$  vom Motorauslastungsgrad  $\lambda$ . In Bild 1 und 2 sind diese Abhängigkeiten dargestellt, die im Bereich AB identisch denen aus [2] sind (nähere Erläuterungen zu den Koordinatenbezeichnungen findet man in [2]). Die beiden Abhängigkeiten für den Kurvenast AC wurden ebenfalls über die Prüfberichte [3] zahlreicher DLG-geprüfter Schlepper ermittelt. Es wird darauf verzichtet, die erstellten Ausgleichsfunktionen, die bei den Rechnungen verwendet wurden, an dieser Stelle zu bringen.

\*) Prof. Dr.-Ing. A. Stroppel ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim; Dipl.-Ing. agr. W. Schäfer ist wissenschaftlicher Angestellter an demselben Institut.



**Bild 1.** Motordrehzahländerung in Abhängigkeit vom Motorauslastungsgrad entlang der Abregellinie AB und Vollastlinie AC (siehe Bild 1 in [2]).



**Bild 2.** Spezifischer Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Motorauslastungsgrad entlang der Abregellinie AB und Vollastlinie AC (siehe Bild 1 in [2]).

Zum Abschluß dieses Abschnittes soll noch einmal kurz zusammengefaßt werden, für welche Bedingungen die mathematischen Gleichungen des Simulationsmodelles, d.h. die im nächsten Abschnitt zu diskutierenden Ergebnisse, gelten:

- Der Pflug wird von einem Allradschlepper gezogen. Die verwendeten Kurven für den Triebkraftbeiwert und Rollwiderstandsbeiwert in Abhängigkeit vom Schlupf gelten für den gesamten Schlepper. Dabei wird der Einfluß der Massenverteilung bezüglich Vorder- und Hinterachse auf diese Kennlinien ebenso außer acht gelassen, wie derjenige der Reifenabmessungen.
- Die Untersuchungen beziehen sich auf Betriebspunkte, die sich bei maximal möglicher Motordrehzahl, d.h. bei Vollaststellung des Drehzahlverstellhebels ergeben (siehe oben).
- Die verwendeten Motor- und Getriebekennlinien wurden aus den entsprechenden Werten zahlreicher DLG-geprüfter Schlepper ermittelt. Sie stellen in gewisser Weise die Kennlinien eines Durchschnittsschleppers dar.
- Es wurde ein Stoppelacker mit mittelschwerem, homogenem Boden unterstellt. Der Acker ist eben, hat also keine Steigungen oder Gefälle. Die Arbeitstiefe des Pfluges ist 25 cm.
- Die Arbeitsbreite des Pfluges wird durch Wegnehmen und Hinzufügen von Pflugkörpern verändert, d.h. das Arbeitsbreiten-/Arbeitstiefen-Verhältnis pro Pflugkörper ist konstant.

- Es wird ein Anbau-Volldrehpflug unterstellt, der mit Widerstandsregelung gefahren wird. Dabei wird angenommen, daß beim Pflügen 60 % des Gerätegewichtes auf den Schlepper abgestützt wird.
- Bei der Ermittlung des Arbeitszeit- und Energiebedarfs wird nur die Hauptzeit berücksichtigt (keine Neben-, Verlust-, Rüst- und Wegezeiten).

Es ist beabsichtigt, das Programm in verschiedenen Punkten zu erweitern.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Erläuterung des Aufbaues der Ergebnisdiagramme

Die Bilder 3 bis 8 zeigen für einen 60 kW-Schlepper den Einfluß des Getriebeganges, der Arbeitsbreite und der Schleppermasse auf den Arbeitszeit- und Energiebedarf und auf andere Größen des Systems Schlepper-Pflug.

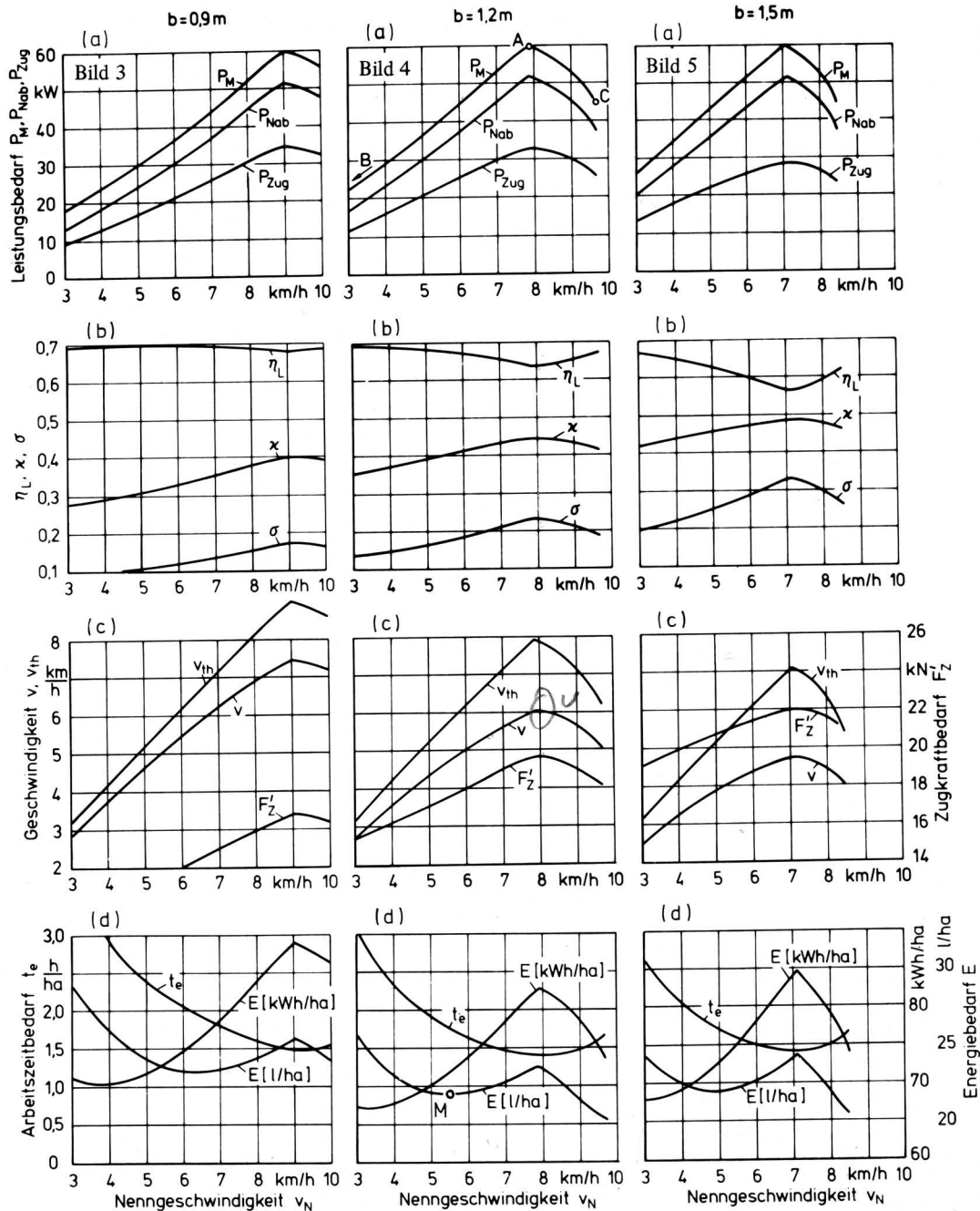
Die Bilder 3 bis 5 enthalten die Ergebnisdiagramme für eine Schleppermasse  $m_S = 3800$  kg, die Bilder 6 bis 8 die entsprechenden Diagramme für  $m_S = 4800$  kg. Die Bilder 3 und 6 gelten für eine Arbeitsbreite von  $b = 0,9$  m, die Bilder 4 und 7 für  $b = 1,2$  m und die Bilder 5 und 8 für  $b = 1,5$  m.

Die unabhängige Variable sämtlicher Diagramme, d.h. die Abszisse, ist die Nenngeschwindigkeit  $v_N$ , die theoretische (schlupflose) Fahrgeschwindigkeit, die sich bei einer bestimmten Bereifung und bei einer bestimmten Getriebeübersetzung dann ergibt, wenn der Motor mit Nenndrehzahl arbeitet. Ändert man die Getriebeübersetzung, d.h. den Getriebegang, so wird die Nenngeschwindigkeit entsprechend geändert, d.h. man könnte an die Abszisse neben der Nenngeschwindigkeit auch die der jeweiligen Nenngeschwindigkeit entsprechende Getriebeübersetzung (oder Getriebegang) schreiben. Darauf wird hier verzichtet, da bei den hier diskutierten Untersuchungsergebnissen weder die Getriebeübersetzungen noch die Motornenndrehzahl oder der Reifendurchmesser explizit benötigt werden.

Die Nenngeschwindigkeit wurde deswegen als Abszisse gewählt, weil der Schlepperfahrer, der mit einem Schlepper bestimmter Masse, mit einem Pflug bestimmter Arbeitsbreite und mit Vollaststellung des Drehzahlverstellhebels pflügt, im praktischen Einsatz nur noch über eine Veränderung der Nenngeschwindigkeit Einfluß auf das Geschehen nehmen kann, d.h. über eine Änderung des Schlepperganges. Mit einem bestimmten Schleppergang stellt er eine ganz bestimmte Nenngeschwindigkeit ein. Auf die sich dabei ergebende Fahrgeschwindigkeit hat der Schlepperfahrer keinen Einfluß. Letztlich gelten die Diagramme für einen Schlepper mit stufenlosem Getriebe, bei dem man die Nenngeschwindigkeit bzw. die Getriebeübersetzung (oder Getriebegang) kontinuierlich verändern kann. Bei einem Stufengetriebe, das in den heutigen Schleppern üblich ist, gelten nur bestimmte Punkte der Diagramme.

Jedes Bild besteht aus vier Diagrammen (a bis d). Die Ordinate der Diagramme a enthält den Leistungsbedarf am Motor ( $P_M$ ), den Leistungsbedarf an den Antriebsnaben ( $P_{Nab}$ ) und den Zugleistungsbedarf ( $P_{Zug}$ ). In den Diagrammen b sind der Triebkraftbeiwert ( $\kappa$ ), der Schlupf ( $\sigma$ ) und der Laufwerkwirkungsgrad ( $\eta_L$ ) die Ordinatewerte. In den Diagrammen c sind die abhängigen Variablen die theoretische (schlupflose) Fahrgeschwindigkeit ( $v_{th}$ ), die wahre Fahrgeschwindigkeit ( $v$ ) und der Zugkraftbedarf ( $F'_Z$ ) (nicht der breitenbezogene Zugkraftbedarf  $F_Z$ ; siehe [2]). Die Ordinate der Diagramme d enthält den Arbeitszeitbedarf (Hauptzeit  $t_e$ ) und den Energiebedarf ( $E$ ), einmal an der Kupplungswelle gemessen [kWh/ha] und zum anderen in Form der erforderlichen Kraftstoffmenge [l/ha].

Die in den Bildern 3 bis 8 aufgeführten Diagramme beinhalten jeweils zwei Bereiche: Abregelbereich AB und Vollastbereich AC (siehe Bild 1 in [2]). In Bild 4a sind die Bereichsgrenzen (A, B, C) beim Kurvenzug für die Motorleistung ( $P_M$ ) beispielhaft eingetragen. Links von Punkt A ist der Abregelbereich und rechts der Voll-



Unrealistisch weil bei hohen Folgeren gebildet werden würde bei den Kurbelwellen und gett

**Bild 3 bis 5.** Arbeitszeit- und Energiebedarf und andere für das System Schlepper-Pflug charakteristische Größen in Abhängigkeit von der Nenngeschwindigkeit bei unterschiedlicher Arbeitsbreite ( $P_N = 60\text{ kW}$ ,  $m_S = 3800\text{ kg}$ ).

lastbereich. Steigert man die Nenngeschwindigkeit  $v_N$  von 3 bis ca. 8 km/h, so nimmt die Motorleistung und damit auch der Motorauslastungsgrad ( $\lambda = P_M/P_N$ ) zu. In Punkt A ist  $P_M = P_N$  ( $\lambda = 1$ ). Steigert man die Nenngeschwindigkeit weiter, so erhält man Betriebspunkte auf der Vollastlinie, d.h. die Motorleistung nimmt wieder ab. Jenseits des Punktes C gibt es keine stabilen Betriebspunkte mehr.

**4.2 Einfluß des Getriebeganges (Nenngeschwindigkeit)**

Der Einfluß des Getriebeganges auf den Arbeitszeit- und Energiebedarf und auf andere Größen des Systems Schlepper-Pflug soll beispielhaft anhand des Bildes 4 verdeutlicht werden, dessen vier Diagramme (a bis d) für eine Schleppermasse  $m_S = 3800\text{ kg}$  und eine Arbeitsbreite von  $b = 1,2\text{ m}$  gelten. Für andere Werte von  $m_S$  und  $b$  gelten die zu beschreibenden Abhängigkeiten tendenzmäßig in gleicher Weise.

**Bild 4 c**

Bei einer Steigerung der Nenngeschwindigkeit  $v_N$  (durch Hochschalten) wird natürlich auch die theoretische (schlupflose) Fahrgeschwindigkeit  $v_{th}$  gesteigert, so lange es sich um Betriebspunkte auf der Abregellinie handelt. Und das trifft für den ansteigenden Kurvenzug von  $v_{th}$  zu. In diesem Bereich muß  $v_{th}$  auch immer etwas größer als  $v_N$  sein. Erst dort, wo die  $v_{th}$ -Kurve ein Maximum hat, ist  $v_{th} = v_N$ , da bei dieser Geschwindigkeit der Motor seine Nennleistung abgibt; siehe Bild 4a. Das erklärt auch den leicht degressiven Verlauf von  $v_{th}$ . Der abfallende Ast der  $v_{th}$ -Kurve gilt für Betriebspunkte auf der Vollastkurve.

Mit der theoretischen Fahrgeschwindigkeit nimmt auch die wahre Fahrgeschwindigkeit  $v$  und damit auch der Zugkraftbedarf  $F'_Z$  zu. Diese Zunahme des Zugkraftbedarfs bedingt einen ansteigenden Triebkraftbeiwert  $\kappa$  und damit ansteigenden Schlupf  $\sigma$ ; siehe Bild 4b. Dies erklärt auch, warum  $v$  einen stärker degressiven Ver-

lauf hat als  $v_{th}$ . Der abfallende Ast der  $v_{th}$ -Kurve hat logischerweise auch einen Abfall der  $v$ - und  $F'_Z$ -Kurve zur Folge.

Bild 4 a

In diesem Diagramm sind verschiedene Größen für den Leistungsbedarf in Abhängigkeit von der Nenngeschwindigkeit aufgetragen. Sie haben alle an der Stelle, wo die abgegebene Motorleistung  $P_M$  gleich der Nennleistung  $P_N$  ist, ein Maximum. Der Zugleistungsbedarf  $P_{Zug}$ , d.h. die am Kupplungsdreieck abgegebene Leistung ist das Produkt der Größen  $v$  und  $F'_Z$  aus Bild 4c. Die Nabenleistung  $P_{Nab}$  ist der Quotient aus  $P_{Zug}$  und dem Laufwerkwirkungsgrad  $\eta_L$  aus Bild 4b. Da  $\eta_L$  im Abregelbereich mit zunehmender Nenngeschwindigkeit abnimmt, verläuft die Kurve für die Nabenleistung stärker progressiv als die Kurve für die Zugleistung. Die Motorleistung  $P_M$  ist der Quotient aus Nabenleistung und Getriebewirkungsgrad  $\eta_G$ , der entsprechend [2] (siehe dort Bild 3) eine Funktion des Motorauslastungsgrades  $\lambda$  ist. Betrachtet man wieder den ansteigenden Ast der  $P_M$ -Kurve, so nimmt mit der Motorleistung auch der Motorauslastungsgrad  $\lambda$  zu. Er ist beispielsweise

Bild 4 b

Auf die  $\kappa$ - und  $\sigma$ -Kurven wurde schon kurz eingegangen. Auch sie haben ein Maximum an der Stelle, an der die theoretische Fahrgeschwindigkeit gleich der Nenngeschwindigkeit ist oder der Motor gerade die Nennleistung abgibt. Dabei erreicht der Schlupf einen Wert von ca. 24 %, was aus verschiedenen Gründen unerwünscht hoch ist. Der Laufwerkwirkungsgrad  $\eta_L$  nimmt mit zunehmendem Schlupf  $\sigma$  ab und umgekehrt, da die vorliegenden Schlupfwerte größer sind als der Wert ( $\sigma \approx 12\%$ ), bei dem der Laufwerkwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Schlupf ein Maximum hat (siehe Bild 4 in [2]).

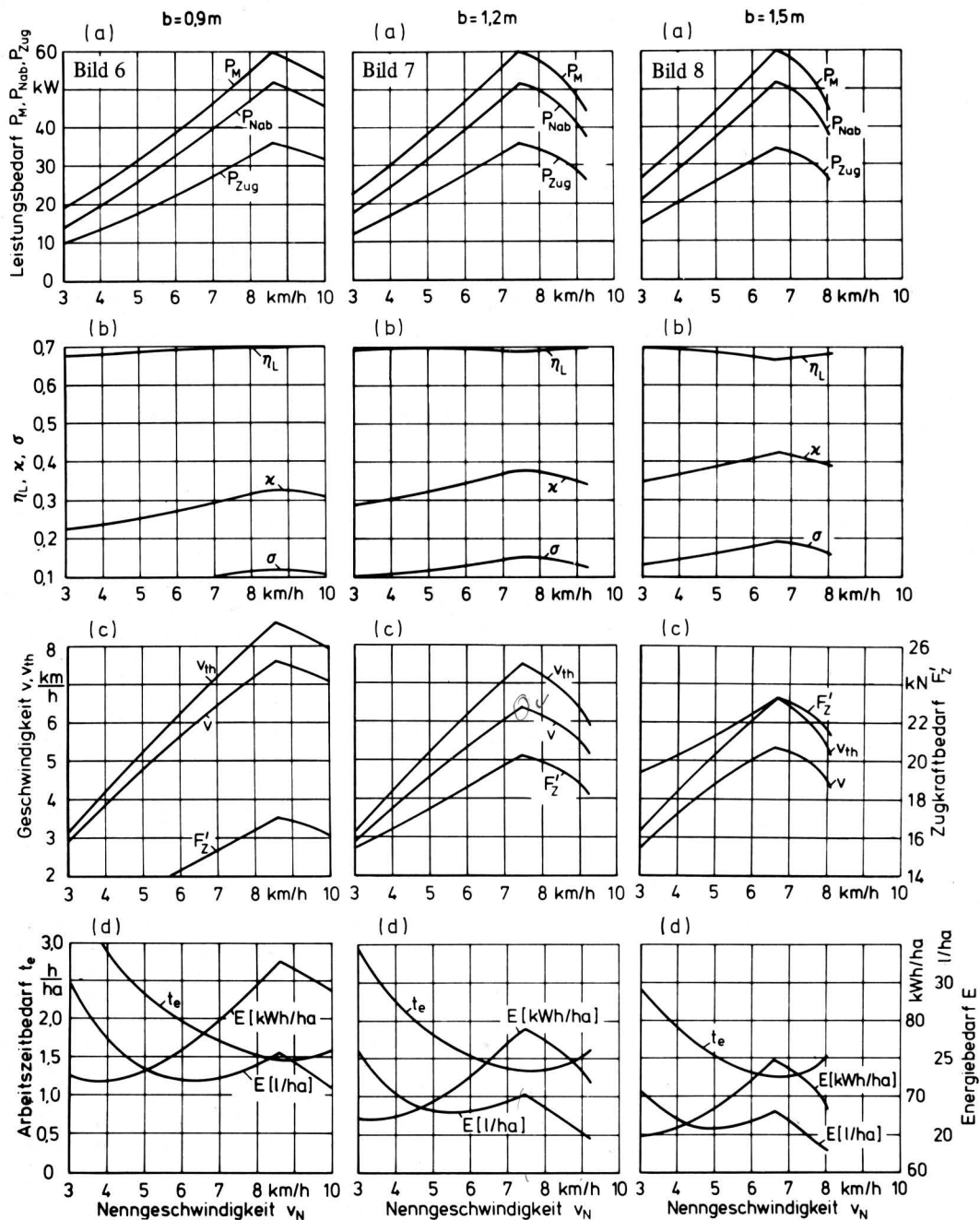


Bild 6 bis 8. Arbeitszeit- und Energiebedarf und andere für das System Schlepper–Pflug charakteristische Größen in Abhängigkeit von der Nenngeschwindigkeit bei unterschiedlicher Arbeitsbreite ( $P_N = 60 \text{ kW}$ ,  $m_g = 4800 \text{ kg}$ ).

bei  $v_N = 4$  km/h etwa 0,5 und bei etwa 8 km/h gleich 1,0. Da bei niedrigen Motorauslastungsgraden der Wirkungsgrad  $\eta_G$  geringer ist als bei hohen, liegt die  $P_M$ -Kurve in etwa parallel verschoben zur  $P_{Nab}$ -Kurve.

An dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß die Kurven in Bild 4 a bis c natürlich nicht in der Weise ermittelt wurden, wie sie eben beschrieben worden sind. Dazu ist ein spezieller Lösungsweg notwendig, auf den – wie schon erwähnt – in [2] näher eingegangen worden ist.

Bild 4 d

Der Hauptzeitbedarf  $t_e$  ist proportional dem Reziprokwert von  $v$  in Bild 4c, da die Arbeitsbreite  $b$  konstant ist. Er hat also dort sein Minimum, wo die wahre Fahrgeschwindigkeit  $v$  ihr Maximum hat. Das ist in der Regel dann der Fall, wenn der Motor seine Nennleistung abgibt. Es ist jedoch auch vorstellbar, daß das Maximum der wahren Geschwindigkeit nicht bei voller Motorleistung liegt, da diese nicht erreicht werden kann. Das ist dann der Fall, wenn der Schlupf beispielsweise infolge zu geringer Schleppermasse oder zu großer Arbeitsbreite oder entsprechender Reifenkennlinien zu stark ansteigt. Dann liegt auch das Minimum des Arbeitszeitbedarfs bei einem Motorauslastungsgrad, der kleiner als 1 ist.

Der Energiebedarf  $E$  hat nicht an der Stelle seinen Minimalwert, an der die  $t_e$ -Kurve ihr Minimum hat. Das gilt sowohl für den an der Kupplungswelle gemessenen Energiebedarf [kWh/ha] als auch für den Kraftstoffbedarf [l/ha]. Außerdem liegen die Minimalwerte für die beiden Energiebedarfsgrößen nicht bei der gleichen Nenngeschwindigkeit. Der Grund, weswegen der Minimalwert für den Energiebedarf nicht an der gleichen Stelle sich befindet wie der Minimalwert für den Arbeitszeitbedarf, liegt einfach darin, daß der Energiebedarf das Produkt aus Motorleistungsbedarf  $P_M$  (Bild 4a) und Arbeitszeitbedarf  $t_e$  (Bild 4d) ist. Und dieses Produkt hat bei einer viel geringeren Nenngeschwindigkeit sein Minimum, nämlich bei 3 bis 4 km/h statt bei ca. 8 km/h. Der Minimalwert für den Energiebedarf in l/ha liegt wiederum bei einer anderen Nenngeschwindigkeit, weil dieser das Produkt aus  $P_M$ ,  $t_e$  und spezifischem Kraftstoffverbrauch  $b_e$  (siehe Bild 2) ist. Dieses liegt in Bild 4d bei 5 bis 6 km/h (Punkt M). Im übrigen liegt der absolut geringste Kraftstoffverbrauch auf der Vollastlinie in Punkt C.

Hinsichtlich des Einflusses des Getriebeenganges machen die in Verbindung mit Bild 4 diskutierten Ergebnisse zusammenfassend folgendes deutlich: Der geringste Arbeitszeitbedarf ist in der Regel dann vorhanden, wenn man denjenigen Gang wählt (d.h. diejenige Nenngeschwindigkeit), bei dem der Schleppermotor gerade ausgelastet ist, d.h. die Nennleistung abgibt. In diesem Betriebszustand kann der Schlupf Werte erreichen, die aus ackerbaulichen oder anderen Gründen nicht mehr hingenommen werden können. Will man den Schlupf reduzieren, beispielsweise auf Werte um 18 %, ohne die Arbeitsbreite oder Schleppermasse zu verändern, so muß man Herunterschalten, d.h. die Nenngeschwindigkeit reduzieren. Dadurch wird jedoch der Arbeitszeitbedarf erhöht. Den gleichen Effekt kann man auch durch Hochschalten erreichen, d.h. durch einen Betriebspunkt auf der Vollastlinie. Hierbei muß man jedoch aufpassen, daß man den Motor nicht "abwürgt". Weiterhin wurde durch die bisherigen Ausführungen deutlich, daß die Nenngeschwindigkeit für das Energieminimum nicht die gleiche ist wie für das Minimum des Zeitbedarfs. Der Schlepperfahrer muß also einen anderen Gang wählen, wenn er den Energiebedarf anstelle des Zeitbedarfs minimieren möchte.

### 4.3 Einfluß der Arbeitsbreite und der Schleppermasse

Geht man von den Verhältnissen in Bild 4 aus ( $b = 1,2$  m;  $m_S = 3800$  kg), so wird bei einer Arbeitsbreitenverkleinerung auf  $b = 0,9$  m (Bild 3) die Nenngeschwindigkeit (Getriebeengang), bei der der Motor seine Nennleistung abgibt oder der Arbeitszeitbedarf ein Minimum hat, nach oben verschoben ( $v_N = 9,04$  km/h statt 7,89 km/h). Bei einer Arbeitsbreitenvergrößerung auf  $b = 1,5$  m

(Bild 5) liegen die Verhältnisse umgekehrt ( $v_N = 7,1$  km/h statt 7,89 km/h). Weiterhin ändern sich auch die Absolutwerte der Minimalpunkte. So ist der minimale Arbeitszeitbedarf 1,48 h/ha bei  $b = 0,9$  m, 1,38 h/ha bei  $b = 1,2$  m und 1,41 h/ha bei  $b = 1,5$  m. Trägt man nun diesen minimalen Zeitbedarf (Arbeitszeitbedarf bei  $\lambda = 1$ ) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite  $b$  auf, so erkennt man, daß sich bei einer bestimmten Arbeitsbreite wiederum ein Minimum ergibt. Das Bild 9 enthält diese Abhängigkeit (oberer Kurvenzug;  $m_S = 3800$  kg). Das Minimum liegt bei einer Arbeitsbreite von etwa  $b = 1,3$  m und einem Schlupf von 26 %.

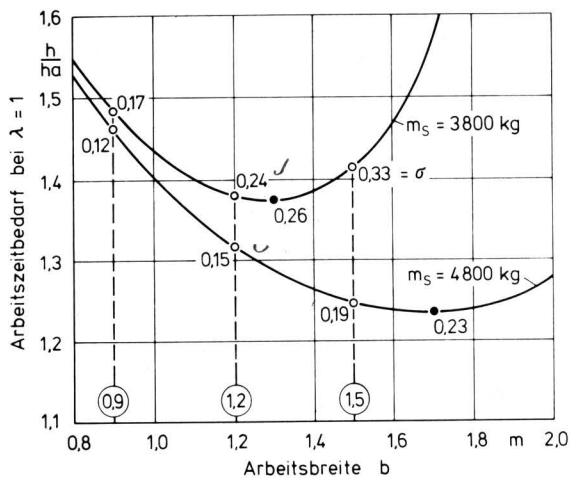


Bild 9. Arbeitszeitbedarf bei voller Motorleistung ( $\lambda = 1$ ) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite bei unterschiedlichen Schleppermassen.

Bei der Festlegung der optimalen Arbeitsbreite ist auch der Schlupf zu berücksichtigen. Die drei untersuchten Arbeitsbreiten  $b = 0,9$  m,  $1,2$  m und  $1,5$  m haben bei  $\lambda = 1$  folgende Schlupfwerte: 17 %, 24 % und 33 %. Geht man davon aus, daß der Schlupf nicht größer als 17 bis 19 % sein sollte, so wäre der nicht ballastierte 60 kW-Schlepper ( $m_S = 3800$  kg) dann bezüglich des Zeitbedarfs optimiert, wenn eine Arbeitsbreite von  $b = 0,9$  m gewählt wird und nach Bild 3 der Schlepper in einem Gang mit  $v_N = 9,04$  km/h gefahren wird. Der Arbeitszeitbedarf ist dann 1,48 h/ha.

Der Einfluß der Schleppermasse auf den Arbeitszeitbedarf wird durch einen Vergleich des Bildes 7 ( $b = 1,2$  m;  $m_S = 4800$  kg) mit dem Bild 4 ( $b = 1,2$  m;  $m_S = 3800$  kg) deutlich. Bei einer Erhöhung der Schleppermasse von 3800 auf 4800 kg, also um 1000 kg, wird die Nenngeschwindigkeit (Getriebeengang), bei der der Motor seine Nennleistung abgibt oder der Arbeitszeitbedarf ein Minimum hat, etwas nach unten verschoben ( $v_N = 7,48$  km/h statt 7,89 km/h). Weiterhin verringert sich der Wert des minimalen Zeitbedarfs (1,32 h/ha statt 1,38 h/ha) und der Schlupfwert in diesem Betriebspunkt (15 % statt 24 %).

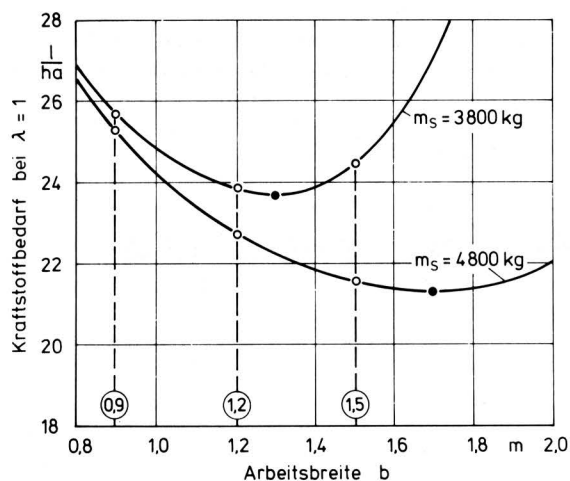
Trägt man den minimalen Zeitbedarf (Arbeitszeitbedarf bei  $\lambda = 1$ ) für den ballastierten Schlepper ( $m_S = 4800$  kg) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite  $b$  auf, so ergibt sich ein ähnlicher Kurvenverlauf wie bei  $m_S = 3800$  kg, nur daß die Werte für den Arbeitszeitbedarf geringer sind, und das Minimum bei einer Arbeitsbreite von ca. 1,7 m liegt bei 23 % Schlupf, Bild 9. Die drei untersuchten Arbeitsbreiten  $b = 0,9$  m,  $1,2$  m und  $1,5$  m haben nun bei  $\lambda = 1$  die Schlupfwerte 12 %, 15 % und 19 %. Geht man wieder von einem maximal zulässigen Schlupf von 17 bis 19 % aus, so wäre der ballastierte 60 kW-Schlepper ( $m_S = 4800$  kg) dann bezüglich des Zeitbedarfs optimiert, wenn eine Arbeitsbreite von  $b = 1,5$  m gewählt wird und nach Bild 8 der Schlepper in einem Gang mit  $v_N = 6,63$  km/h gefahren wird. Der Arbeitszeitbedarf ist dann 1,25 h/ha.

Die Kurven in Bild 9 lassen bei einer weiteren Steigerung der Schleppermasse für eine bestimmte Masse eine Grenzkurve vermuten, die bei einer bestimmten Arbeitsbreite ein absolutes Minimum

für den Arbeitszeitbedarf bei den vorliegenden Verhältnissen entfällt. Dort wird dann auch der Schlupf demjenigen entsprechen, der sich beim Maximalwert des Laufwerkwirkungsgrades einstellt ( $\sigma \approx 12\%$ ; siehe Bild 4 in [2]). Wenn auch dieser Punkt bei dem vorliegenden Beispiel wegen der sich ergebenden sehr großen Schleppermasse ( $> 4800\text{ kg}$ ) und sehr großen Arbeitsbreite ( $> 1,7\text{ m}$ ) keine praktische Bedeutung hat, so sind Verhältnisse vorstellbar (große Arbeitstiefe, schwerer Boden), bei denen dieses absolute Minimum von Interesse sein könnte. Auf diese Zusammenhänge soll in einer späteren Arbeit eingegangen werden.

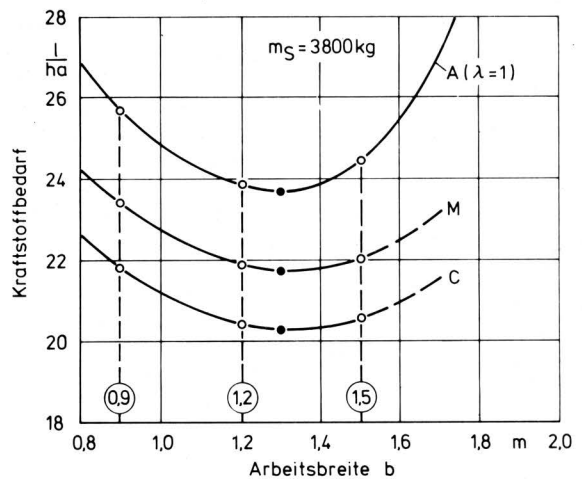
Für den Energiebedarf (Kraftstoffbedarf) bei voller Motorauslastung ( $\lambda = 1$ ) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite und Schleppermasse ergeben sich tendenzmäßig die gleichen Kurvenverläufe, Bild 10, wie für den Arbeitszeitbedarf in Bild 9. Mit dem ballastierten Schlepper wird demnach beim eigentlichen Pflügen nicht nur Arbeitszeit eingespart, sondern auch Kraftstoff. Der Unterschied im Kraftstoffbedarf zwischen dem ballastierten Schlepper mit 1,5 m breitem Pflug und dem nicht ballastierten Schlepper mit 0,9 m breitem Pflug beträgt 4 l/ha.

Es wurde schon in Abschnitt 4.2 darauf hingewiesen, daß der in Bild 10 dargestellte Kraftstoffbedarf nicht der geringste ist. Man kann durch Wahl anderer Betriebspunkte auf der Vollast- oder Abregellinie den Energiebedarf für eine bestimmte Arbeitsbreite weiter verringern. Dabei wird jedoch – wie auch in Abschnitt 4.2 gezeigt – der Arbeitszeitbedarf wieder erhöht. Der Kraftstoffbedarf in den entsprechenden Betriebspunkten ist natürlich auch von der Arbeitsbreite und Schleppermasse abhängig.



**Bild 10.** Kraftstoffbedarf bei voller Motorleistung ( $\lambda = 1$ ) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite bei unterschiedlichen Schleppermassen.

**Bild 11** zeigt beispielhaft für eine Schleppermasse von  $m_S = 3800\text{ kg}$  den Kraftstoffbedarf in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite für einige charakteristische Betriebspunkte. Die Kurve A bezieht sich auf den Punkt A (siehe Bild 4a) der Motorkennlinie. Sie ist also identisch mit der oberen Kurve in Bild 10 ( $m_S = 3800\text{ kg}$ ). Die Kurve M bezieht sich auf einen Betriebspunkt auf der Abregellinie, bei dem der Kraftstoffbedarf minimal ist (siehe Bild 4d). Die Kurve C stellt den Kraftstoffbedarf im Betriebspunkt C der Vollastlinie dar (siehe Bild 4a). Betrachtet man den nicht ballastierten Schlepper mit 0,9 m breitem Pflug, so kann man, wenn man vom Betriebspunkt A ausgeht, den Kraftstoffbedarf um bis zu 2,2 l/ha reduzieren, wenn man entsprechende Betriebspunkte auf der Abregellinie einstellt. Man kann bis zu 3,9 l/ha einsparen, wenn man entsprechende Betriebspunkte auf der Vollastlinie wählt. In jedem Fall wird aber die Schlagkraft verschlechtert. Im übrigen gelten diese Einsparungsmöglichkeiten in gleicher Größe für den 1,2 und 1,5 m breiten Pflug.



**Bild 11.** Kraftstoffbedarf bei verschiedenen Betriebspunkten (A, M, C) der Motorkennlinie in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite für  $m_S = 3800\text{ kg}$ .

Hinsichtlich des Einflusses der Arbeitsbreite und der Schleppermasse machen die diskutierten Ergebnisse zusammenfassend folgendes deutlich: Wird die Arbeitsbreite erhöht, so wird die Nenngeschwindigkeit (d.h. der Gang), bei der der Schleppermotor seine Nennleistung abgibt, d.h. der Arbeitszeitbedarf minimiert wird, reduziert und umgekehrt. Der gleiche Effekt wird bei einer Vergrößerung der Schleppermasse erzielt. Der Arbeitszeitbedarf in diesem Betriebspunkt ( $\lambda = 1$ ) hat bei einer bestimmten Arbeitsbreite (und Nenngeschwindigkeit) ein Minimum. Der Arbeitszeitbedarf im Minimum wird mit zunehmender Schleppermasse kleiner und das Minimum wird dabei zu größeren Arbeitsbreiten (und kleineren Nenngeschwindigkeiten) verschoben. Bei einer bestimmten, relativ großen Schleppermasse wird es ein absolutes Minimum des Arbeitszeitbedarfs geben, auf das nicht näher eingegangen wurde. Bei der Festlegung der optimalen Arbeitsbreite für eine bestimmte Schleppermasse kann nicht immer die Arbeitsbreite genommen werden, bei der der Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite ein Minimum hat, da der Schlupf nicht zu hoch sein darf. Es wurde die Arbeitsbreite als optimal bezeichnet, bei der der Schlupf in einem Bereich von 17 bis 19% liegt. Der Energiebedarf bei voller Motorauslastung zeigt in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite und Schleppermasse tendenzmäßig die gleichen Kurvenverläufe wie die entsprechenden Arbeitszeitbedarfskurven.

## 5. Abschließende Betrachtungen

Im Mittelpunkt dieser Arbeit stand die Untersuchung, wie die Nenngeschwindigkeit (der Getriebeang), die Arbeitsbreite und die Schleppermasse den Arbeitszeit- und Energiebedarf (insbesondere Kraftstoffbedarf) beeinflussen. Für die Lösung dieser Aufgabe wurde ein Simulationsmodell für das System Schlepper–Pflug–Boden und ein entsprechendes Computerprogramm verwendet. Entsprechend dem gegenüber einer früheren Arbeit erweiterten Thema mußten die mathematischen Grundlagen um die Betriebspunkte auf der Vollastlinie ergänzt werden. Aus den Ergebnisdigrammen ergeben sich wichtige Hinweise, durch welche Maßnahmen der Arbeitszeit- und Energiebedarf minimiert werden können.

Da das Hauptziel derartiger Untersuchungen ein sehr praktisches ist, nämlich die wirtschaftliche Optimierung des Systems Schlepper–Pflug, sollen abschließend hierzu noch einige Gedanken gebracht werden.

In Abschnitt 4.3 wurde gezeigt, daß unter Berücksichtigung eines Maximalschlupfes von 17 bis 19% der nicht ballastierte 60 kW-Schlepper dann bezüglich des Zeitbedarfs minimiert ist, wenn die

Arbeitsbreite  $b = 0,9$  m gewählt wird. Für den ballastierten Schlepper lag das Minimum des Zeitbedarfs bei  $b = 1,5$  m. Dabei war der Unterschied im Hauptzeitbedarf 16 % zugunsten des ballastierten Schleppers (1,25 h/ha statt 1,48 h/ha). Der Unterschied in der Grundzeit, bei der noch die Wendezeit berücksichtigt wird, ist noch größer, da die Zahl der Wendevorgänge und damit die Wendezeit mit zunehmender Arbeitsbreite abnimmt. Bei einem quadratischen 5 ha-Schlag mit einer Wendezeit pro Wendung von 0,4 min ist der Unterschied im Grundzeitbedarf 20 % (1,45 h/ha statt 1,81 h/ha). Der Unterschied im Kraftstoffbedarf entspricht im wesentlichen dem des Hauptzeitbedarfs, also 16 % zugunsten des ballastierten Schleppers. Das sind 4 l/ha. Geht man von einem 90 ha-Betrieb aus, so können mit dem ballastierten Schlepper und 1,5 m breitem Pflug gegenüber dem nicht ballastierten Schlepper und 0,9 m breitem Pflug 32 Arbeitsstunden und 360 l Kraftstoff pro Jahr eingespart werden. Bewertet man die Arbeitsstunde mit 20 DM und rechnet man mit einem Dieselpreis von 1 DM pro Liter (für den Landwirt), so kann man insgesamt 1 000 DM pro Jahr einsparen.

Nun wäre es sicher verkehrt, den ballastierten Schlepper mit 1,5 m breitem Pflug in jedem Fall als die bessere Lösung zu propagieren, auch wenn er die geschilderten Vorteile in zeitlicher und energetischer Hinsicht hat. Zum einen kann man in zahlreichen Betrieben mit den eingesparten Arbeitsstunden nicht so viel anfangen, daß man sie mit 20 DM bewerten kann. Zum anderen ist der Mehrpreis für Pflug und Ballastgewicht in der Vergleichskalkulation zu berücksichtigen. So kostet ein 5furchiger Pflug ca. 7 000 DM mehr als ein 3furchiger Pflug (es wurde hier wegen der Arbeitstiefe von 25 cm mit einer Arbeitsbreite von 30 cm pro Pflugkörper gerechnet). Auch das Zusatzgewicht von 1 000 kg kostet etwas. Geht man davon aus, daß von dieser Zusatzmasse etwa 400 kg Wasserballast in den Reifen ist, so ergibt sich bei 3,30 DM/kg ein Mehrpreis von etwa 2 000 DM. Der Mehrpreis für den 1,5 m breiten Pflug und den ballastierten Schlepper beträgt also insgesamt etwa 9 000 DM. Erst eine betriebsbezogene Kostenkalkulation kann

eine endgültige Klärung bringen, welche Arbeitsbreite und welche Schleppermasse vom wirtschaftlichen Standpunkt aus optimal ist.

Ein weiterer Gedanke im Hinblick auf die Optimierung des Systems Schlepper-Pflug soll hier angesprochen werden. Bei der Diskussion der Ergebnisse wurde so getan, als ob jeder beliebige Betriebspunkt gefahren werden könnte. Das ist aber bei den in der Praxis vorhandenen Schleppern und Pflügen nicht möglich, da weder die Nenngeschwindigkeit noch die Arbeitsbreite stufenlos verstellt werden können. Über stufenlose Getriebe bei Schleppern wird schon seit Jahren diskutiert. Sie konnten sich bisher beim Normalschlepper nicht einführen. Deswegen werden an der Universität Hohenheim Untersuchungen mit einem Pflug, bei dem die Arbeitsbreite stufenlos verstellt werden kann, durchgeführt, um unter Umständen auf diese Weise die Optimierungsaufgabe besser lösen zu können.

*in 2 Jahren bereitet!*

#### Schrifttum

- [ 1 ] *Stroppel, A.*: Arbeits- und Energiebedarf von Verfahren der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schlepper- auslastung. Vortrag auf dem 5. Arbeitswissenschaftlichen Seminar in Braunschweig-Völkenrode am 12.3.1980; Kurzfassung in: Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch 1980, Heft 7, S. 844/45.
- [ 2 ] *Stroppel, A.*: Energie- und Arbeitszeitbedarf für gezogene Geräte der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schleppermotorauslastung. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 135/39.
- [ 3 ] DLG-Schlepper-Prüfberichte über technische Untersuchungen nach dem OECD-Standard-Code. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Zimmerweg 16, 6000 Frankfurt/Main 1.

## Der Einfluß thermischer Vorbehandlung auf die statische Festigkeit von Maiskörnern

### Teil 1: Schrifttumsübersicht, Grundlagen und Methoden

Von Martin Kustermann und Heinz Dieter Kutzbach, Stuttgart-Hohenheim\*)

*Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim*

DK 633.15:633.004.12:539.4

Das Festigkeitsverhalten von Maiskörnern charakterisiert die bei mechanischer Beanspruchung maximal ertragbaren Belastungen, bei denen noch keine Qualitätsverluste

infolge Körnerbruch eintreten. Die Kenntnis der Stoffwerte, die das Festigkeitsverhalten beschreiben, und das Wissen um deren Abhängigkeit von den maßgebenden Einflußgrößen ermöglicht eine Voraussage über die Qualitätsänderung bei einzelnen Verarbeitungsprozessen.

Die Verfasser danken Herrn cand. agr. D. Heinz für die sorgfältige Durchführung der Messungen und Frau D. Dörner-Ibrahim, LTA, für die exakte Auswertung und Darstellung der Meßwerte.

In der vorliegenden zweiteiligen Arbeit wird über die Auswirkungen unterschiedlicher thermischer Vorbehandlung auf das statische Festigkeitsverhalten des Maiskornes berichtet. Besonderes Interesse wurde dabei der Dauer des Abkühlvorganges nach vorausgegangener Trocknung bei unterschiedlichen Temperaturen geschenkt.

\*) Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach ist Inhaber des Lehrstuhls für Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. M. Kustermann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Grundlagen der Landtechnik).