

# Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut  
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 4, S. 85 bis 120

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

## Einfluß landwirtschaftlicher Parameter auf Zeit- und Energiebedarf bei Schlepperarbeiten

Von Gerhard Jahns, Heinrich Steinkampf, Günter Olfe  
und Hans Schön, Braunschweig-Völkenrode\*)

DK 631.372:631.51:65.015

Der Arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf bei Schlepperarbeiten werden sowohl von technischen als auch von landwirtschaftlichen Parametern beeinflusst. Mittels eines Simulationsmodells wird der Einfluß landwirtschaftlicher Parameter (Bodenart, Arbeitstiefe, Schlaggröße, Schlagform, Hof-Feld-Entfernung und Arbeitsablauf) am Beispiel des Pflügens untersucht. Vorausgesetzt wird eine Optimierung des Systems Schlepper-Gerät in technischer Hinsicht.

Neben der richtigen Zuordnung von Schlepper und Gerät ist von den landwirtschaftlichen Faktoren vor allem die Bodenart von Bedeutung. Außerdem erhöht sich bei Schlaggrößen unter 2 ha der Arbeitszeitbedarf merklich, weniger jedoch der Kraftstoffbedarf.

### 1. Einleitung

Die Landwirtschaft Mitteleuropas ist durch eine Vielfalt standortspezifischer und agrarstruktureller Bedingungen gekennzeichnet, die die landtechnische Entwicklung entscheidend geprägt haben, insbesondere auch die Schlepperentwicklung und den Schleppereinsatz. Es ist deshalb sowohl für den Schlepperkonstrukteur als auch für die landtechnische Beratung von Bedeutung, zu wissen,

- welche Ausprägung landwirtschaftliche Parameter aufweisen, die für den Schleppereinsatz wichtig sind,
- welchen Einfluß diese Parameter auf die wesentlichen Zielgrößen des Schleppereinsatzes, nämlich auf den Zeit- und Energiebedarf, haben und
- welche Bedeutung ihnen zuzumessen ist.

In den folgenden Ausführungen wird versucht, mittels eines "Schlepper-Geräte-Modells", erweitert um Arbeitsablaufmodelle, zur Klärung dieser Zusammenhänge beizutragen.

\*) Dr.-Ing. G. Jahns ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel), Dr.-Ing. H. Steinkampf und Dipl.-Ing. agr. G. Olfe sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Betriebstechnik, Prof. Dr. H. Schön ist Leiter dieses Instituts der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

### 2. Landwirtschaftliche Parameter und ihre Bedeutung

Die wichtigsten landwirtschaftlichen Parameter sind neben den bereits in früheren Beiträgen behandelten technischen Parametern in **Bild 1** wiedergegeben. Sie beeinflussen die Arbeitsdurchführung in unterschiedlichen Bereichen.

So ist die Hauptzeit, z.B. beim Pflügen, vor allem von standortspezifischen und pflanzenbaulichen Parametern wie der Bodenart, der Bearbeitungstiefe, dem Bodenzustand und der Geländegestaltung abhängig.

Die Nebenzeit – beim Pflügen ist dies im wesentlichen die Wendezeit – wird beeinflusst von agrarstrukturellen Parametern wie der Schlaggröße und der Schlagform und außerdem vom Arbeitsablauf.

Auf die Wege- und Rüstzeit haben ebenfalls agrarstrukturelle Parameter, nämlich die Feldentfernung und die Schlaggröße, Einfluß. Da die agrarstrukturellen Parameter zum Teil in enger Beziehung zur Betriebsgröße stehen, kommt auch ihr eine große Bedeutung zu.

Alle Einflußfaktoren zusammen, also die technischen und die landwirtschaftlichen Parameter, bestimmen den Gesamtarbeitszeitbedarf und den zugehörigen Kraftstoffbedarf. Bevor auf die Abhängigkeiten eingegangen wird, ist es sinnvoll, einige der agrarstrukturellen Parameter näher zu betrachten.

#### 2.1 Betriebsgrößenverhältnisse

Als erstes müssen die Betriebsgrößenverhältnisse der Bundesrepublik Deutschland kurz in Erinnerung gerufen werden, **Bild 2**. Von den 810000 landwirtschaftlichen Betrieben besitzen 75 % weniger als 20 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF). Diese Betriebe bewirtschaften etwa 37 % der LF des Bundesgebietes, besitzen allerdings 60 % aller Schlepper und haben einen Anteil von 50 % an der gesamten Schleppernennleistung. Lediglich etwa 4 % der Betriebe bewirtschaften mehr als 50 ha LF mit einem Flächenanteil von ca. 20 %. Ihr Anteil an der Zahl der Schlepper sowie an der Gesamtschleppernennleistung der Bundesrepublik Deutschland liegt bei ca. 10 %. Der zahlenmäßige Anteil der Betriebe mit 20–50 ha LF, die immerhin 44 % der LF bewirtschaften, beträgt 22 %; auf sie entfallen aber nur 33 % der Schlepper und 39 % der Gesamtnennleistung.

Aus dieser Zusammenstellung wird auch die Bedeutung kleinerer landwirtschaftlicher Betriebe für die Schlepperentwicklung und den Schleppereinsatz deutlich.

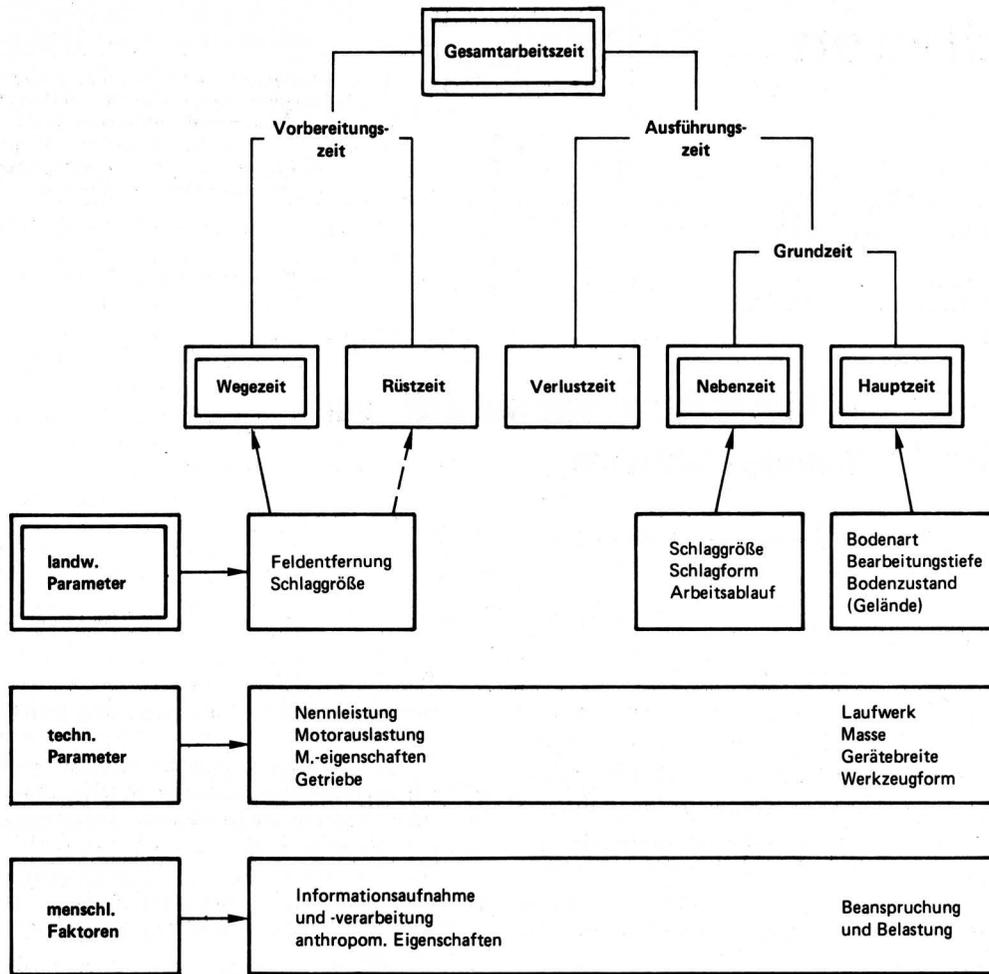


Bild 1. Übersicht über arbeitszeitbestimmende landwirtschaftliche Parameter beim Pflügen.

## 2.2 Schlaggrößen

Eng mit der Betriebsgröße verbunden ist die Schlaggröße. Die Häufigkeit der durchschnittlichen Schlaggrößen von landwirtschaftlichen Betrieben, die sich an einer größeren Stichprobenerhebung beteiligten, ist in Bild 3 für unterschiedliche Betriebsgrößen und zwei ausgewählte Regionen dargestellt. Danach liegt in den Betrieben mit 10–20 ha LF die durchschnittliche Schlaggröße bei 1,4 ha und in den Betrieben mit 100 ha LF und mehr bei 8 ha. Zu beachten sind aber auch die starken regionalen Unterschiede, die in der Gegenüberstellung von Daten aus Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg (untere Diagramme) deutlich werden. Nach einer Schätzung auf dieser Datenbasis dürfte in der Bundesrepublik Deutschland die mittlere Schlaggröße für die Betriebe mit 10 ha LF und mehr bei etwa 2 ha liegen.

Die Zahl der Schläge im landwirtschaftlichen Betrieb schwankt zwischen durchschnittlich 10 bei den kleineren und 20 Schlägen bei größeren Betrieben. Die Zahl der Schläge wirkt sich vor allem dann negativ aus, wenn gleichzeitig große Hof-Feld-Entfernungen zu überwinden sind.

## 3. Methode

Über den Einfluß dieser und anderer landwirtschaftlicher Parameter auf den Zeit- und Energiebedarf ist eine Reihe arbeitswirtschaftlicher Untersuchungen bekannt, von denen u.a. die Arbeit von Gindele [1] zu nennen ist. Bei diesen Untersuchungen wurden ohne Berücksichtigung des Systems "Schlepper-Gerät" die technischen Parameter Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite vorgegeben. Entgegen diesen Unterstellungen sind bei gegebenen landwirtschaftlichen Parametern die technischen Parameter aber nicht frei wählbar, wenn eine Optimierung vorgenommen werden soll. Hierauf

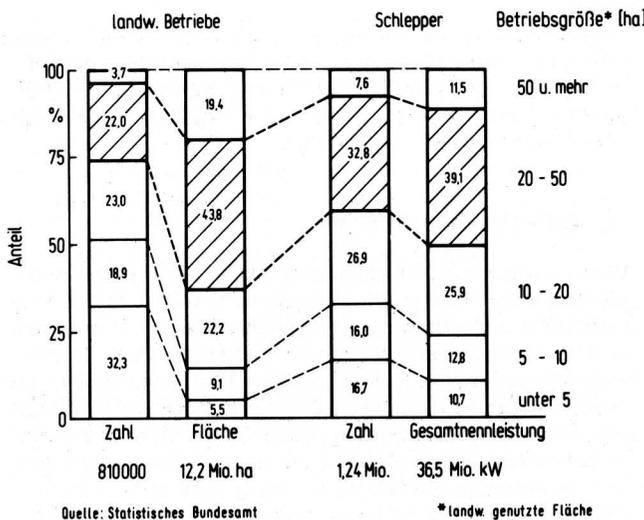
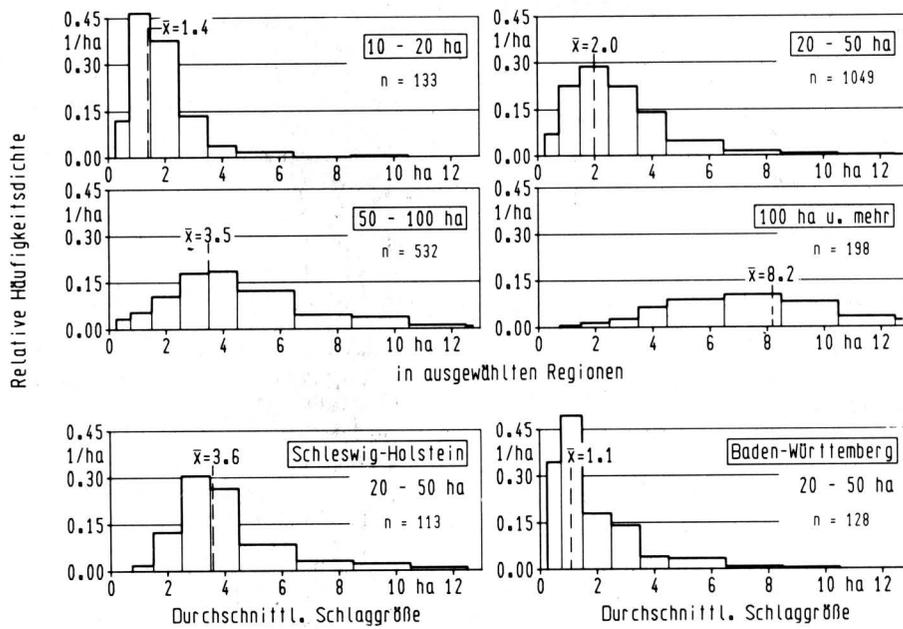


Bild 2. Anteil der Zahl und Fläche landwirtschaftlicher Betriebe sowie der Zahl und Gesamtnennleistung betriebseigener Schlepper in den verschiedenen Betriebsgrößenklassen; Bundesrepublik Deutschland 1979.

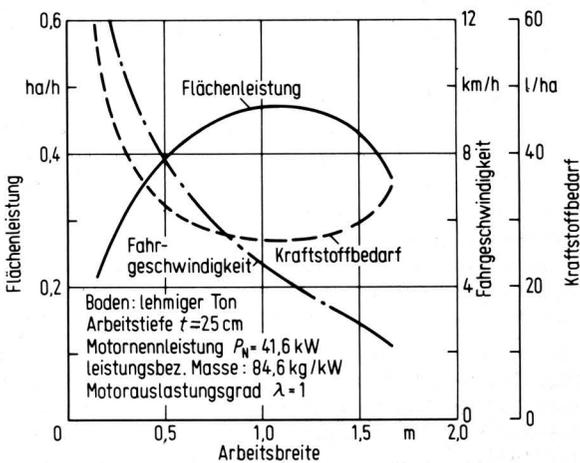
bei unterschiedlicher Betriebsgröße



**Bild 3.** Häufigkeit der durchschnittlichen Schlaggrößen landwirtschaftlicher Betriebe in der Bundesrepublik Deutschland bei unterschiedlicher Betriebsgröße sowie in einer Betriebsgrößenklasse für zwei ausgewählte Regionen (Ergebnisse einer Schlepperumfrage).

haben verschiedene Autoren verwiesen u.a. *Söhne* [2], *Steinkampff* [3], *Jahns u. Steinkampff* [4] sowie *Stropfel u. Schäfer* [5]. Bei arbeitswirtschaftlichen Simulationsuntersuchungen geht man deshalb zweckmäßigerweise von einem optimierten System "Schlepper-Gerät" aus. Die folgenden Betrachtungen bauen auf dem von *Jahns u. Steinkampff* [4] entwickelten Modell zur Optimierung der Abstimmung von Schlepper und Gerät auf.

In **Bild 4** sind die Ergebnisse einer solchen Modellrechnung für einen 41,6 kW-Schlepper unter definierten Einsatzbedingungen dargestellt. Dieses Beispiel zeigt deutlich, daß die maximale Flächenleistung nur bei einer ganz bestimmten Arbeitsbreite erzielt werden kann. Dieser Arbeitsbreite ist gleichzeitig eine ganz bestimmte Fahrgeschwindigkeit zugeordnet.



**Bild 4.** Flächenleistung, Kraftstoffbedarf und Fahrgeschwindigkeit beim Pflügen in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite.

Der in **Bild 4** dargestellte flächenbezogene Kraftstoffbedarf entspricht dem bei maximaler Motorleistung. Für andere Motorauslastungen und damit andere Motorbetriebspunkte ergeben sich andere Kurvenverläufe. In allen Fällen liegt jedoch das Minimum des jeweiligen flächenbezogenen Kraftstoffverbrauchs bei der gleichen Arbeitsbreite wie das Maximum der entsprechenden Flächenleistung.

#### 4. Einfluß landwirtschaftlicher Parameter

##### 4.1 Einfluß standortspezifischer und pflanzenbaulicher Parameter

Die Optimierung des Systems "Schlepper-Gerät" und die dafür aus Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit errechnete Flächenleistung wird von einer Reihe standortspezifischer und pflanzenbaulicher Parameter beeinflusst. Dies geht aus einer Berechnung der Flächenleistung beim Pflügen mit dem zuvor schon betrachteten Schlepper bei leichtem und schwerem Boden und bei zwei unterschiedlichen Arbeitstiefen hervor,

**Bild 5.** Desweiteren wurden zwei unterschiedliche leistungsbezogene Massen entsprechend der minimal möglichen und der maximal zulässigen Masse des 41,6 kW-Schleppers unterstellt.

**Bild 5** zeigt, daß je nach Bodenart, Arbeitstiefe und leistungsbezogener Masse unterschiedliche Arbeitsbreiten zur Erzielung der jeweils maximalen Flächenleistung erforderlich sind.

Dabei ist bei der geringeren leistungsbezogenen Masse (Strichpunktlinien) der Bereich für die optimale Arbeitsbreite enger und damit die Zuordnung von Schlepper und Gerät schwieriger.

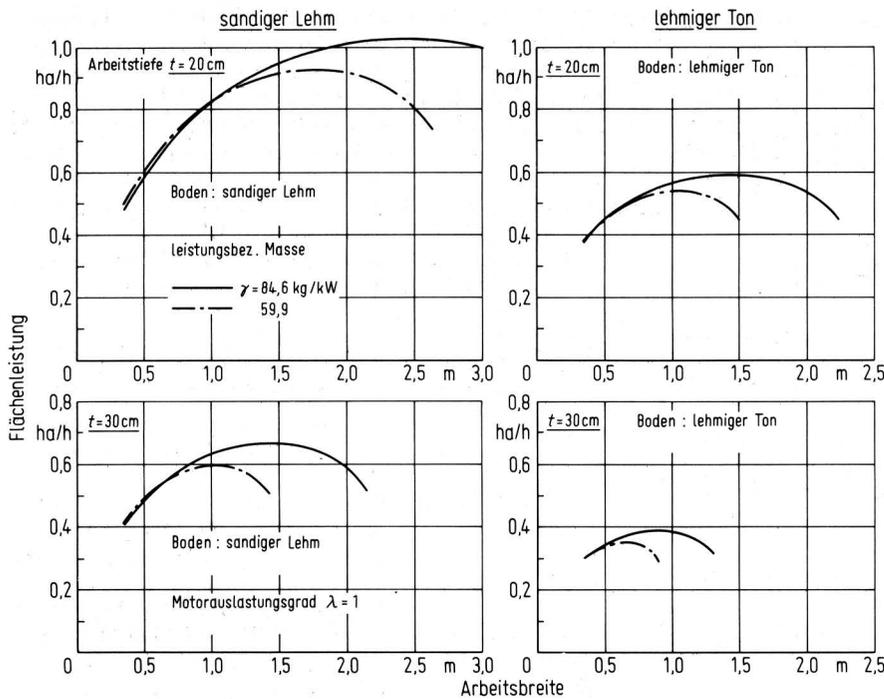
Die Bedeutung ausgewählter landwirtschaftlicher und technischer Parameter ist zusammenfassend in **Bild 6** wiedergegeben. Dabei wurden, ausgehend von einem optimierten Schlepper-Geräte-System, die einzelnen Parameter um jeweils  $\pm 10\%$  variiert und die relativen Veränderungen von Flächenleistung und flächenbezogenem Kraftstoffbedarf ermittelt.

Bei den landwirtschaftlichen Parametern üben die Arbeitstiefe und der spezifische Pflugwiderstand — letzterer wird wesentlich von der Bodenart bestimmt — den größten Einfluß aus. Änderungen in diesem Bereich wirken sich etwa proportional auf beide Zielgrößen aus. Dagegen haben geringfügige Änderungen beim Schlupf, wie sie innerhalb eines normalen Einsatzbereiches beispielsweise durch unterschiedliche Bodenfeuchte gegeben sind, nur geringe Auswirkungen.

Bei den technischen Parametern beeinflusst die gleichzeitige Änderung von Motorleistung und Fahrzeugmasse entscheidend die Flächenleistung, den Kraftstoffbedarf jedoch kaum. Demgegenüber sind die Auswirkungen auf die Flächenleistung geringer und auf den Kraftstoffbedarf höher, wenn nur die Motorleistung oder nur die Fahrzeugmasse variiert wird. Bei Änderung der Fahrzeugmasse ändern sich Flächenleistung und Kraftstoffbedarf gegenläufig, und zwar in der Art, daß z.B. eine Erhöhung der Fahrzeugmasse eine höhere Flächenleistung bei geringerem Kraftstoffbedarf zur Folge hat. Eine Abweichung von der optimalen Arbeitsbreite in jeder Richtung führt stets zu einer geringeren Flächenleistung bei höherem Kraftstoffbedarf.

##### 4.2 Einfluß agrarstruktureller Parameter

Nachfolgend ist der Einfluß der agrarstrukturellen Parameter Schlaggröße, Schlagform und Hof-Feld-Entfernung auf den Arbeits-



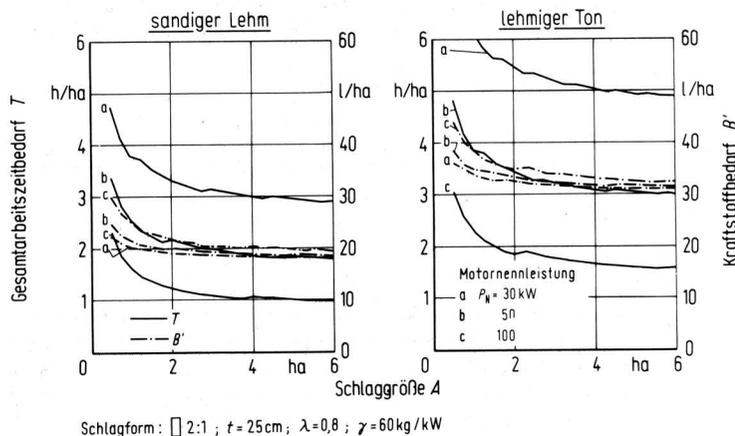
**Bild 5.** Flächenleistung eines 41,6 kW-Schleppers als Funktion der Arbeitsbreite bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen: zwei Bodenarten, zwei Arbeitstiefen, zwei unterschiedliche leistungsbezogene Massen des Schleppers.

#### 4.2.1 Einfluß der Schlaggröße

Die Schlaggröße zählt zu den wichtigsten agrarstrukturellen Parametern. Ihr Einfluß auf den Arbeitszeit- und Energiebedarf für Schlepper mit unterschiedlicher Motornennleistung auf einem leichten und einem schweren Boden geht aus Bild 7 hervor.

Es zeigt sich, daß mit zunehmender Schlaggröße flächenbezogener Gesamt-arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf zunächst bis zu einer Schlaggröße von etwa 2 ha stark und dann nur noch schwach abnehmen. Dabei sind jedoch die Änderungen beim Kraftstoffbedarf (Strichpunktlinien) geringer als beim Arbeitszeitbedarf (Volllinien).

Mit zunehmender Motornennleistung der Schlepper nimmt der Arbeitszeitbedarf ab, der Kraftstoffbedarf jedoch, wenn auch nur in geringem Maße, zu. Der Einfluß der Schlaggröße auf den Arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf ist, relativ gesehen, bei dem leistungsstärksten Schlepper am größten. Selbstverständlich liegt der Arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf bei dem schweren Boden höher.

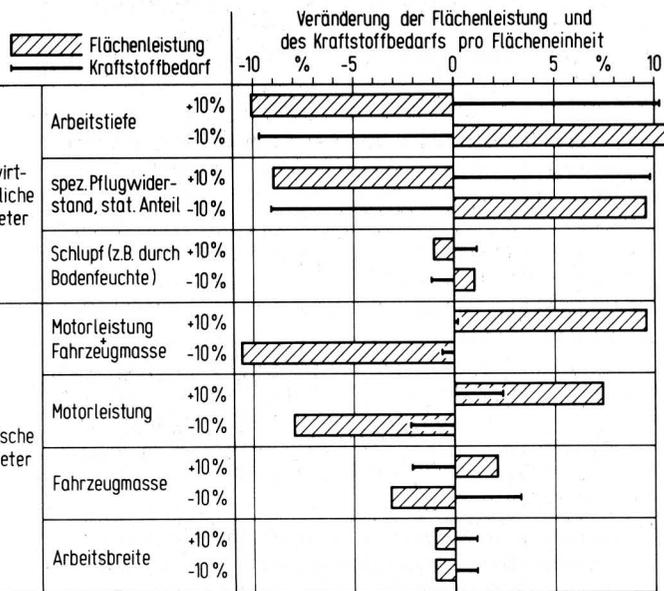


**Bild 7.** Gesamtarbeitszeitbedarf und flächenbezogener Kraftstoffbedarf in Abhängigkeit von der Schlaggröße bei unterschiedlicher Motornennleistung und Bodenart.

#### 4.2.2 Einfluß der Schlagform

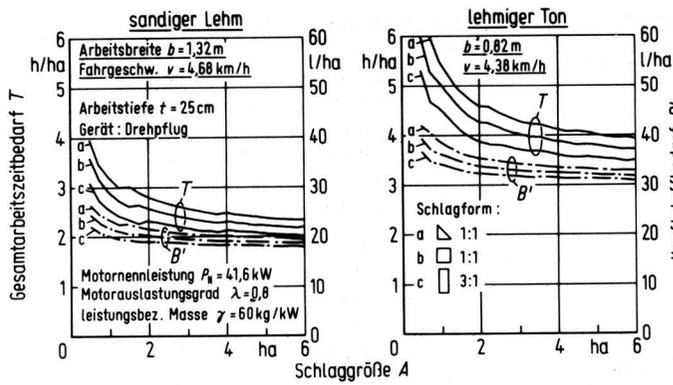
Als weiterer agrarstruktureller Parameter mit Einfluß auf Arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf ist neben der Schlaggröße auch die Schlagform von Bedeutung. Ihr Einfluß ist am Beispiel des 41,6 kW-Schleppers für leichten und schweren Boden in Bild 8 dargestellt.

Variiert wurde die Feldform – Dreieck, Rechteck – und für die jeweilige Feldform auch das Seitenverhältnis, wobei in dieser Darstellung ein Dreieck mit einem Verhältnis der Katheten von 1 : 1 und Rechtecke mit einem Seitenverhältnis von 1 : 1 und 3 : 1 berücksichtigt wurden. Bei der Dreieckform ergibt sich gegenüber den Rechteckformen verständlicherweise ein höherer Arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf. Auf dem schweren Boden liegt das Niveau der Kurven wieder höher, ansonsten ergeben sich die gleichen Abhängigkeiten wie bei dem leichten Boden.



**Bild 6.** Veränderung der Flächenleistung und des flächenbezogenen Kraftstoffbedarfs bei Änderung ausgewählter Parameter.

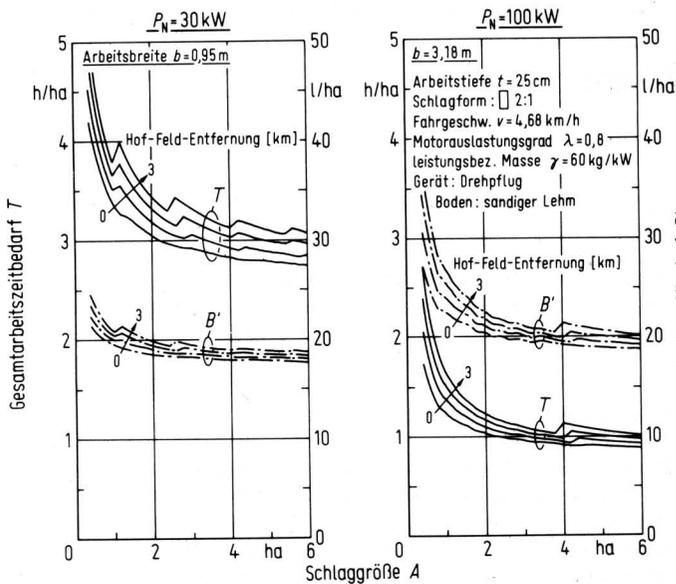
zeit- und den Kraftstoffbedarf beim Pflügen dargestellt. Diese Parameter beeinflussen nicht die Hauptzeit, die bisher diskutiert wurde, sondern die Neben-, Rüst- und Wegezeiten. Als Zielgröße reicht deshalb die bisher auf die Hauptarbeit bezogene Flächenleistung nicht mehr aus, sondern es ist notwendig, den Gesamtarbeitszeitbedarf heranzuziehen. Um die Übersichtlichkeit zu bewahren, sollen auch weiterhin ausgewählte Ergebnisse für das Pflügen gezeigt werden. Wie bisher werden 4-Rad-Antrieb und gleiche Betriebseigenschaften für alle Reifen unterstellt.



**Bild 8.** Gesamtarbeitszeitbedarf und flächenbezogener Kraftstoffbedarf in Abhängigkeit von der Schlaggröße bei unterschiedlicher Schlagform und Bodenart.

#### 4.2.3 Einfluß der Hof-Feld-Entfernung

Der Einfluß der Hof-Feld-Entfernung auf den Gesamtarbeitszeit- und Kraftstoffbedarf bei Einsatz eines 30 kW- und eines 100 kW-Schleppers ist in **Bild 9** dargestellt. Die Hof-Feld-Entfernung wurde von 0 bis 3 km variiert. Mit größerer Hof-Feld-Entfernung nehmen natürlich der Gesamtarbeitszeit- und Kraftstoffbedarf zu. Der Einfluß der Hof-Feld-Entfernung ist, relativ gesehen, um so größer, je geringer die Schlaggröße ist und je höher die Motornennleistung des verwendeten Schleppers ist. Beim Kraftstoffbedarf sind jedoch die Auswirkungen geringer als beim Arbeitszeitbedarf.

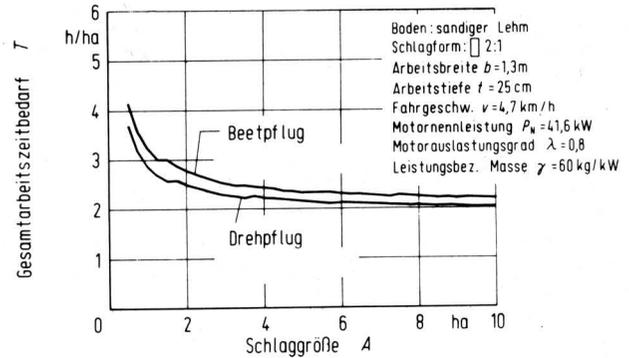


**Bild 9.** Gesamtarbeitszeitbedarf und flächenbezogener Kraftstoffbedarf in Abhängigkeit von der Schlaggröße bei unterschiedlicher Hof-Feld-Entfernung und Motornennleistung des Schleppers.

#### 4.3 Einfluß des Arbeitsablaufes

Ein weiterer landwirtschaftlicher Parameter bei der Bestimmung von Arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf ist der Arbeitsablauf. Da beim Pflügen zwei Pflugsysteme verwendet werden, nämlich Beet- und Kehrpfüge, sind auch zwei verschiedene Arbeitsabläufe gegeben, die sich vor allem hinsichtlich des Wendevorganges unterscheiden. In **Bild 10** ist der Arbeitszeitbedarf für das Pflügen mit einem Beet- und einem Drehpflug über der Schlaggröße dargestellt. Der

Verlauf der Kurven ist für beide Pflugsysteme im gezeigten Bereich sehr ähnlich, wobei natürlich der Arbeitszeitbedarf für den Beetpflug infolge des ungünstigeren Wendevorganges höher liegt als für den Drehpflug. Die bisher gezeigten Ergebnisse für Drehpflüge können also in ihrer Tendenz auch auf den Beetpflug übertragen werden.



**Bild 10.** Gesamtarbeitszeitbedarf für das Pflügen mit einem Beet- und einem Drehpflug gleicher Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Schlaggröße.

### 5. Zusammenfassung und Folgerungen

Zusammenfassend zeigen die dargelegten Ergebnisse über den Einfluß technischer und landwirtschaftlicher Parameter auf den Arbeitszeit- und Kraftstoffbedarf:

1. Von entscheidender Bedeutung für beide Zielgrößen ist die richtige Abstimmung von technischen Parametern wie leistungsbezogener Masse des Schleppers und Gerätebreite auf die gegebenen landwirtschaftlichen Parameter. Entsprechend verstellbare Geräte und bessere Informationen für den Schlepperfahrer über die optimale Zuordnung der wesentlichen Größen wären eine wertvolle Hilfe. Dagegen ist eine gezielte Weiterentwicklung der Geräte, beispielsweise unter der Fragestellung "schneller oder breiter" nur innerhalb enger Grenzen möglich.
2. Als wesentlicher landwirtschaftlicher Einflußfaktor, der den Einfluß aller agrarstrukturellen Bedingungen bei weitem übertrifft, ist der standortspezifische Faktor Bodenart zu nennen.
3. Von den agrarstrukturellen Faktoren ist beim Pflügen die Schlaggröße von vorrangiger Bedeutung. Sie beeinflusst insbesondere bei Schlägen unter 2 ha den Arbeitszeitbedarf und in geringerem Umfang auch den flächenbezogenen Kraftstoffbedarf. Dies gilt vor allem bei Verwendung leistungsstarker Schlepper.

Bei geringer Schlaggröße wirkt sich eine schlechte Gestaltung der anderen agrarstrukturellen Faktoren, z.B. ungünstige Schlagformen und weite Hof-Feld-Entfernungen, besonders negativ aus. Diese Zusammenhänge sind von besonderer Bedeutung, da die überwiegende Zahl der Schläge in der Bundesrepublik Deutschland kleiner als 2 ha ist.

Diese Aussagen zum Einfluß landwirtschaftlicher Faktoren beim Pflügen dürfen aber nicht ohne weiteres auf andere Schlepperarbeiten übertragen werden. Schon allein durch die sehr unterschiedlichen Anteile der Teilzeiten an der Gesamtzeit verschiebt sich jeweils das Gewicht der Einflußfaktoren. Die unterschiedlichen Anteile der Teilzeiten sind für das Pflügen, die Saatbettbereitung und die Bergung von Anweilsilage mit dem Ladewagen in **Bild 11** gegenübergestellt (bei der Saatbettkombination und dem Ladewagen handelt es sich nicht um optimierte Systeme). Beim Arbeiten mit der Saatbettkombination liegt der Anteil der Hauptzeit erheblich niedriger als beim Pflügen, und die anderen Teilzeiten, vor allem die Rüstzeiten, fallen selbst bei mittleren agrarstrukturellen Bedingungen ganz

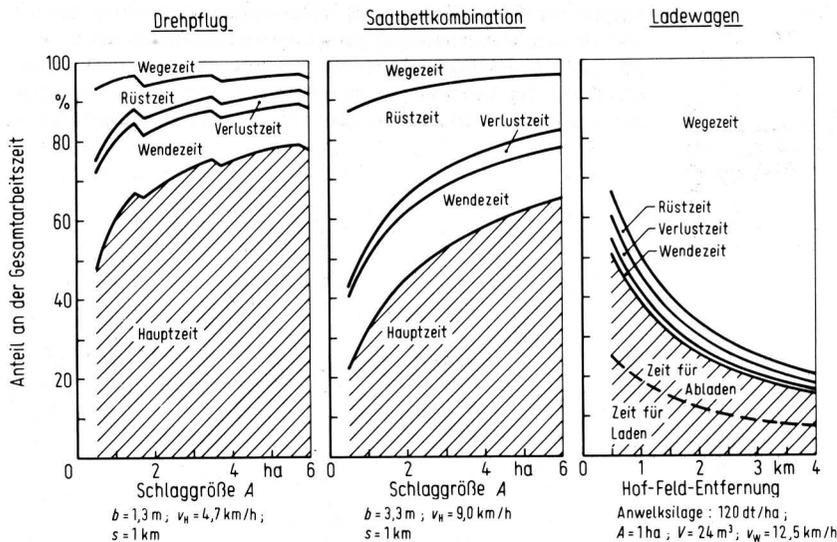


Bild 11. Anteile der Teilzeiten bei verschiedenen Schlepperarbeiten.

### Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] • Gindele, E.H.: Die Bedeutung agrarstruktureller Elemente für eine rationelle Arbeitserledigung in der Feldwirtschaft. KTBL-Schrift 156. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1972.
- [ 2 ] Söhne, W.: Allrad- oder Hinterradantrieb bei Ackerschleppern. Grndl. Landtechnik (1964) H. 20, S. 44/52.
- [ 3 ] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völkenrode, Sh. 27 (1975); Diss. TU Braunschweig 1974.
- [ 4 ] Jahns, G. u. H. Steinkampf: Einflußgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. Grndl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 20/27.
- [ 5 ] Stoppel, A. u. W. Schäfer: Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen durch stufenlose Arbeitsbreitenverstellung. Grndl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 6, S. 205/210.

## Zur Wirtschaftlichkeitsprüfung des Einsatzes von Luft/Luft-Wärmetauschern in Ställen

Von Gerhard Englert, Freising-Weißenstephan\*)

Aus den Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 141 "Produktionstechniken der Rinderhaltung"

DK 699.86.003.1

Für den Ausgleich von Defiziten in der Wärmeenergiebilanz von Ställen hat in den letzten Jahren als Alternative zur Heizung neben der Wärmedämmung der Stallhülle auch die Rückgewinnung von Abwärme in Luft/Luft-Wärmetauschern großes Interesse gefunden. Obwohl etwa 2/3 des Gesamtwärmeverlustes eines Stalles als Abwärme über die Lüftung verlorengeht, fand diese Energiequelle erst verstärkte Aufmerksamkeit, als sie durch steigende Energiepreise wirtschaftlich interessant wurde.

Die Wirtschaftlichkeitsprüfung von Luft/Luft-Wärmetauschern für Ställe beschränkte sich bisher auf die Kostenanalyse einzelner Anlagen. Diese Arbeit stellt nun rechnerische Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsprüfung des Einsatzes von Luft/Luft-Wärmetauschern in Ställen als Alternative zur Heizung und Wärmedämmung zusammen und veranschaulicht die damit gegebenen Möglichkeiten anhand von Beispielen.

\*) Dipl.-Phys. Dr. G. Englert ist akademischer Oberrat an der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik, Freising-Weißenstephan.

### 1. Einleitung

Noch vor einem Jahrzehnt wurden die im Winter unterhalb bestimmter Außentemperaturen in Ställen entstehenden Defizite in der Wärmeenergiebilanz ( $\Delta\dot{Q}$ ) im Normalfall mit einer Heizung, also durch von einer Heizung erzeugte Wärmeenergie, ausgeglichen, um die Stalltemperatur konstant zu halten. In der gebräuchlichen Bilanzgleichung für die Wärmeleistungsbilanz eines Stalles:

$$\Delta\dot{Q} = \dot{Q}_{Ti} - \dot{Q}_B - \dot{Q}_L \quad (1)$$

blieben also die Größen

- $\dot{Q}_{Ti}$  von den Tieren erzeugte Wärmeleistung
- $\dot{Q}_B$  über die Bauteile der Stallhülle abfließende Transmissions-Wärmeleistung
- $\dot{Q}_L$  durch den Luftwechsel abgeführte Lüftungs-Wärmeleistung

zunächst unverändert. Als Folge der steigenden Energiepreise fanden dann in den letzten Jahren die Maßnahmen zur Wärmedämmung der Stallhülle (Veränderung von  $\dot{Q}_B$ ) und die Rückgewinnung von Abwärme in Luft/Luft-Wärmetauschern (Veränderung von  $\dot{Q}_L$ ) als Möglichkeiten zur Einsparung von Heizenergie großes Interesse.