

Das Regelungssystem

(zu Punkt 9 der „Aufgabenstellung“)

Die Kraftheber sind, wie vom deutschen Markt bevorzugt, umschaltbar zwischen sogenannter Lagenregelung („position control“) und Zugkraftregelung („draft control“).

Die Umschaltung zwischen a) und b) erfolgt im Inneren des Krafthebers durch einen außenliegenden Systemwählhebel, **Bild 22**, der den vorderen „gestellfesten“ Gelenkpunkt A der Viergelenkkette A B C D herabschwenkt und ihre als Viereck ausgebildete Koppel C D entweder mit dem Istwertmelder der Kraft (Bild 22b) oder mit dem Istwertmelder der Lage (Bild 22a) kraftschlüssig (Feder f) in Eingriff bringt. Regeltechnisch gesprochen, ist das System umschaltbar zwischen einer Führungssteuerung (Bild 22a) und einem I-Regler (Integralregler — Bild 22 b).

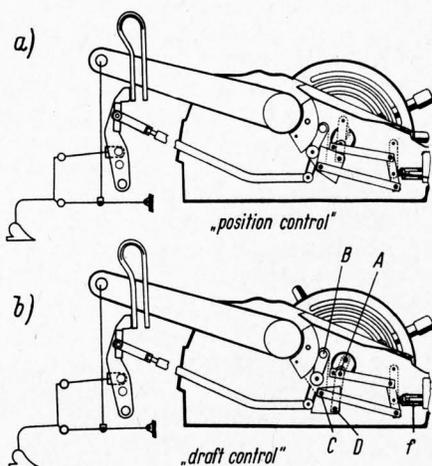


Bild 22. Umschaltung zwischen Lagensteuerung (a) und Kraftregelung (b).

Die gefertigten Kraftheber, nicht nur das Konzept, sind so ausgeführt, daß ohne Änderung der Gehäuse und der Leistungsteile jederzeit — auch nachträglich — zusammen mit der Führungssteuerung auch andere ebenfalls denkbare und durchentwickelte Regelungssysteme eingebaut werden können, wenn Weiterentwicklungen der landtechnischen Praxis dies einmal erfordern sollten, was zwar nicht zu erwarten, aber nicht mit Sicherheit auszuschließen ist.

Die Gehäuse der Kraftheber sind oben durch einen großen Deckel abgeschlossen (der auch die Verstellvorrichtung des Fahrersitzes trägt). Die Kraftheber können so mit Öl gefüllt und unter vollem Öldruck arbeitend inspiziert werden und werden in diesem Zustand auch justiert nach sehr einfachen und klaren Vorschriften.

Die Gehäuse der vier Haupttypen (und einiger Varianten) laufen über eine Maschinenstraße von 35 m Länge. Diese arbeitet auf 21 Bearbeitungsstationen das Gehäuse vom Rohling bis zum Fertigteil mit gehonter Bohrung, ohne daß es von Menschenhand berührt wird.

Außer der Kontrolle der Einzelteile sichern zahlreiche z. T. halbautomatische Prüfeinrichtungen die gleichmäßige Qualität der Steuergeräte und der kompletten Kraftheber.

Der Verfasser dankt seinen Mitarbeitern und Kollegen, die mit ihm diese Konstruktion geschaffen haben.

Schrifttum

- [1] Effertz, F. H., und F. Kolberg: Einführung in die Dynamik selbsttätiger Regelungssysteme. Düsseldorf: VDI-Verlag 1963.
- [2] Hain, K.: Kräfte und Bewegungen in Krafthebergetrieben. Grndl. Landtechn. Heft 6 (1955), S. 45/68.
- [3] Koenig, Walter: Was ist und wozu braucht man die Regelhydraulik? Landtechn. Forsch. 12 (1962) H. 6, S. 167/72.
- [4] Krause, R.: Die Zug- und Lenkfähigkeit schwerer Radschlepper mit Regelhydraulik beim Arbeiten mit Anbau- und Aufsattelpflügen sowie die Tiefen- und Seitenführung der Pflüge. Grndl. Landtechn. 17 (1967) H. 4, S. 132/42.
- [5] Samal, E.: Grundriß der praktischen Regelungstechnik. München: R. Oldenbourg Verlag 1962.
- [6] Skalweit, H.: Feldmessungen an Schleppern mit Dreipunktanbau und regelnden Krafthebern. Landtechn. Forsch. 14 (1964) H. 1, S. 1/5.
- [7] Skalweit, H., und H. Voges: Zur Ermittlung der Abmessungen des Dreipunktbaues und der Lage des Momentanpols beim Pflügen mit regelnden Krafthebern. Landtechn. Forsch. 15 (1965) H. 5, S. 151/55.
- [8] Berechnung des zulässigen Gerätegewichtes bei hydraulischen Kraftheber-Anlagen. Stuttgart: Robert Bosch GmbH 1963.
- [9] DIN 9674, Blatt 2: Dreipunktanbau von Geräten für regelnde Kraftheber. 1965.

Bildnachweis: Bild 1, 2, 11, 12, 18 bis 22: Klöckner-Humboldt-Deutz AG
Bild 3/4, 5/7, 8, 9/10, 13 bis 17: Verfasser

DK 631.361.2:633.004.12

Beitrag zum Mechanismus des Dreschprozesses

Von Bodo Hassebrauck, Stuttgart-Hohenheim¹⁾

Die Untersuchung befaßt sich mit dem Wirkungsmechanismus des Dreschvorgangs von Körnerfrüchten unter besonderer Berücksichtigung des Häckseldrusches. Der Häckseldrusch hat seine Bedeutung zwar nur noch in einigen Ländern Osteuropas behalten; die Untersuchungen des Häckseldruschverfahrens führten aber zu neuen allgemeinen Erkenntnissen des Dreschvorgangs, so vor allem, daß die Trennung der Körner aus der Ähre mittels Massenkraft wesentlich ungünstiger ist als mit Hilfe von Druck- und Reibkräften.

Betrachtet man den Häckseldrusch als ein Verfahren zum Trennen der Körner aus dem Fruchtstand, so weicht seine Technik vom herkömmlichen Dreschen nur durch die Art der verwendeten Werkzeuge ab. Beim Häckseldrusch wird das Dreschgut vom Schneidwerk der Häckselmaschine mittels der Häckselmesser geschnitten und zugleich die Körner aus dem Fruchtstand gedroschen.

Die nachfolgenden Ausführungen behandeln den Ausdrusch und die Kornbeschädigungen, die bei Einsatz eines stationären Scheibenradhäckslers festgestellt wurden, sowie die Trennarbeit, die für das Herauslösen eines Einzelkorns aus der Ähre zu verrichten ist. Ferner wird der Mechanismus des Körnertrennens beschrieben und über den Energieaufwand bei verschiedenen theoretischen Dreschprozessen berichtet²⁾.

Untersuchungen über den Vorgang der Trennung und die entstehende Kornbeschädigung führten zuerst Segler und Peschke durch, die durch Völzke auch auf andere Körnerfrüchte ausgedehnt wurden [4 bis 6]. Sie fanden heraus, daß Ähren und andere Fruchtstände durch das Häckseln bereits weitgehend entkörnt werden. Leguminosen lassen sich am leichtesten trennen. Weizen dagegen ist von allen Getreidearten am schwersten trennbar. Eigene Untersuchungen wurden daher nur mit Weizen der Sorte „Heges Früher“ vom Jahrgang 1961 und 1963 durchgeführt.

Dr.-Ing. Bodo Hassebrauck war wissenschaftlicher Assistent im Institut für Landtechnik Stuttgart-Hohenheim (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. Segler) und ist jetzt im Entwicklungs-Zentrum der International Harvester Company mbH, Neuß, tätig.

¹⁾ Vorgetragen auf der 25. Tagung der Landmaschinen-Konstrukteure in Braunschweig am 13. Oktober 1967.

²⁾ Auszug aus der Dissertation des Verfassers an der Universität Stuttgart 1968. Die Untersuchung wurde mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

Einfluß der Werkzeugform auf den Trennungsgrad und die Kornbeschädigung

Zunächst wurde die auftretende Trennwirkung beim Häckseln mit einem Scheibenradhäcksler untersucht. Die Trennwirkung wurde in Trennungsgraden ausgedrückt. Der Trennungsgrad gibt in Prozent an, wie groß das Verhältnis der aus der Ähre getrennten Körnermasse zur Gesamtkörnermasse in der Ähre ist. Die Trennungsgrade wurden in Abhängigkeit von der mittleren Häcksellänge, der mittleren Messergeschwindigkeit und des mittleren Gutfeuchtegehalts festgestellt.

Trennungsgrad

Die Abhängigkeit des Trennungsgrades von der Häcksellänge ist, stark vereinfacht ausgedrückt, hyperbolisch. Je kürzer die Häcksellänge wird, desto höher steigt der Trennungsgrad. Während der Versuche erreichte er maximal etwa 90% bei 10 mm Häcksellänge und fiel hyperbelähnlich auf 60% ab, als die Häcksellänge auf 50 mm vergrößert wurde.

Der Trennungsgrad müßte theoretisch parabolisch mit der Messergeschwindigkeit ansteigen, da die einwirkende Kraft vom Messer in erster Näherung mit dem Quadrat der Messergeschwindigkeit zunimmt. Tatsächlich ist dies aber nicht der Fall. Der Trennungsgrad nimmt nach den Versuchsergebnissen von 70% bei 4 m/s Messergeschwindigkeit auf 90% bei 9 m/s nur schwach zu. Er scheint sich mit zunehmender Messergeschwindigkeit asymptotisch einer Waagerechten zu nähern, die ihre Lage mit der Häcksellänge ändert. Diese Tatsache ist so zu erklären, daß die Ähre nicht mehr Energie aufnimmt, als zum Durchschneiden notwendig ist. Die Energieaufnahme und Beschleunigung der Ähre hängt von Größen ab, die einerseits der Ähre, andererseits dem Messer eigen sind. Einflußgrößen des Messers sind der Freiheitsgrad der Bewegung, die Geschwindigkeit, die Schneidenform und die Messermasse. Bei der Ähre sind die Ährenmasse, die Berührungsfläche von Ähre und Messer und die Scherfestigkeit von Einfluß. Die Scherfestigkeit der Ähre wird wiederum vom Feuchtegehalt, Reifegrad, der Lagerzeit und der Beanspruchungsgeschwindigkeit abhängig sein.

Der Trennungsgrad in Abhängigkeit vom Kornfeuchtegehalt sinkt von 82% bei 10% Feuchtegehalt auf 70% bei 20% Feuchtegehalt. Die Abnahme ist um so stärker, je höher der Kornfeuchtegehalt wird. Diese Tatsache ist auf die Gleitreibung zwischen Korn und Spelzen zurückzuführen, die mit zunehmendem Feuchtegehalt ansteigt. Hierbei wird allerdings angenommen, daß sich die Gleitreibung zwischen Korn und Spelzen in gleicher Weise mit dem Feuchtegehalt ändert, wie dies für die Gleitreibung zwischen Gras, Luzerne und Stahl von *Blevins* und *Hansen* [1], *Sacht* [2] und *Wieneke* [7; 8] gemessen worden ist.

Kornbeschädigung

Beim Trennen der Körner aus dem Fruchtstand sollen die Körner selbst ohne bleibende Formänderung gewonnen werden. Doch läßt sich nicht vermeiden, daß Kornbeschädigungen aus Bruch-, Schürf-, Schnitt-, Druck- und Prallverletzungen auftreten. Sichtbar sind lediglich die groben Kornbeschädigungen durch Bruch und Schnitt, vielleicht auch die von äußeren Schürfverletzungen. Nur diese Verluste wurden während der Untersuchungen ermittelt und als sichtbare Kornbeschädigung bezeichnet. Die sichtbare Kornbeschädigung wird als Verhältnis der sichtbar beschädigten Körnermasse zur getrennten Körnermasse gebildet und in Prozent angegeben. Wie schon bei den Trennungsgraden wurde die sichtbare Kornbeschädigung in Abhängigkeit von der Häcksellänge, der Messergeschwindigkeit und dem Kornfeuchtegehalt untersucht. Unsichtbare Kornbeschädigungen wurden nicht ermittelt.

Mit zunehmender Häcksellänge nimmt die sichtbare Kornbeschädigung in bekannter Weise hyperbelähnlich ab. Sie fällt von 11% bei 10 mm Häcksellänge auf 2,5% bei 50 mm Häcksellänge ab. Diese Tatsache ist dadurch zu erklären, daß Körner um so öfter verletzt werden können, je häufiger die Ähre geschnitten wird. Die sichtbare Kornbeschädigung nimmt ebenfalls hyperbelähnlich ab, wenn die Messergeschwindigkeit gesteigert wird. Während bei 4 m/s Messergeschwindigkeit 11% Kornbeschädigung festgestellt wurden, waren es bei 9 m/s Messergeschwindigkeit nur 2,5%.

Eine etwa lineare Zunahme der sichtbaren Kornbeschädigung wurde allerdings mit ansteigendem Kornfeuchtegehalt ermittelt. 2% sichtbare Kornbeschädigung bei 10% Kornfeuchtegehalt stehen 8,5% bei 20% Kornfeuchtegehalt gegenüber. Diese Feststellung ist in erster Linie auf die Abhängigkeit der Reibungszahl vom Feuchtegehalt bei Gleitreibung zwischen Korn und Spelzen zurückzuführen. In zweiter Linie sind die Festigkeitseigenschaften des Korns, die sich mit dem Feuchtegehalt ändern, für die sichtbare Kornbeschädigung verantwortlich.

Mit einer Versuchseinrichtung, die nach dem Prinzip des Fallbeils arbeitete, wurden analoge Versuche wie mit dem Scheibenradhäcksler durchgeführt. Das Versuchsgerät hatte gegenüber dem Scheibenradhäcksler die Vorteile, daß weniger Versuchsgut erforderlich und die Messergeschwindigkeit in einem größeren Bereich zu variieren war. Außerdem war die Beobachtung des Trennvorgangs besser möglich. Die Versuchsergebnisse, die mit dem Fallmesser erzielt wurden, stimmen ziemlich gut mit denen des Scheibenradhäckslers überein. Daher kann auf eine ausführliche Beschreibung der Versuchsergebnisse verzichtet werden.

Für einen qualitativen Vergleich der Dreschwerkzeuge wurden deshalb die Kurven des Trennverlustes und der Kornbeschädigung der Schlagleisten-Dreschtrommel, des Zweimesser-Scheibenrads des Häckslers sowie des scharfen und stumpfen Fallmessers in **Bild 1** zusammengestellt.

Unter Trennverlust ist die Körnermasse in Prozent zu verstehen, die in der Ähre verbleibt. Die Summe von Trennungsgrad und Trennverlust ergibt also die Gesamtkörnermasse in der Ähre in Prozent.

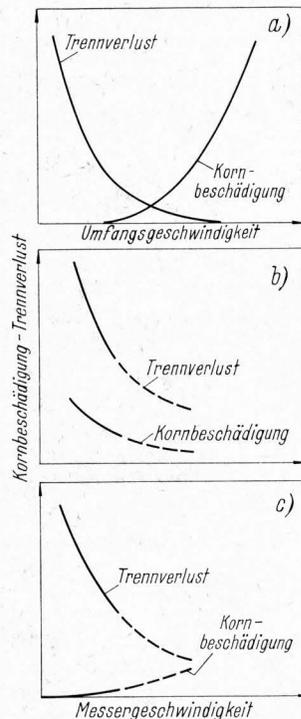


Bild 1. Trennverlust und Kornbeschädigung für verschiedene Dreschwerkzeuge.

- a) Schlagleisten-Dreschtrommel
- b) Zweimesser-Scheibenrad und Fallmesser, scharf
- c) Fallmesser, stumpf

Die Kennlinien im oberen Diagramm des Bildes zeigen den bekannten Verlauf der Trennverluste über der Trommelumfangsgeschwindigkeit bei Einsatz einer Schlagleisten-Dreschtrommel. Im Schnittpunkt der Kurven von Trennverlust und Kornbeschädigung erreicht der Gesamtverlust ein Minimum. Im mittleren Diagramm ist der Verlauf des Trennverlustes über der Umfangsgeschwindigkeit des Zweimesser-Scheibenrads und der Geschwindigkeit des scharfen Fallmessers wiedergegeben. Die Kurve für den Trennverlust nimmt mit steigender Geschwindigkeit in gleicher Weise wie bei der Schlagleisten-Dreschtrommel ab. Unterschiedlich aber ist die Höhe der Kornbeschädigung mit steigender Messergeschwindigkeit. Während sie mit der Trommelumfangsgeschwindigkeit etwa parabolisch ansteigt, fällt sie mit der Messergeschwindigkeit von Zweimesser-Scheibenrad oder scharfem Fallmesser ab. Es ist aber zu vermuten, daß mit weiter steigender Messergeschwindigkeit die Kornbeschädigung wieder zunimmt. Diejenige Messergeschwindigkeit, die zu einem

der Dreschtrommel gleichen Minimum an Verlusten führt, konnte nicht ermittelt werden, da die verwendete Versuchseinrichtung eine Messergeschwindigkeit über 9 m/s nicht zuließ.

Das untere Diagramm zeigt die Kurven für Trennverlust und Kornbeschädigung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des stumpfen Fallmessers, dessen Schneide auf 5 mm Radius abgerundet worden war. Der Trennverlust zeigt mit zunehmender Messergeschwindigkeit die gleiche Tendenz wie in den oberen Diagrammen. Die wirksamen Trennkräfte scheinen damit bei den drei Werkzeugen die gleichen zu sein. Die Kornbeschädigung durch das stumpfe Fallmesser nimmt mit der Messergeschwindigkeit zu und ähnelt damit der Beschädigungskurve der Schlagleiste auf der Dreschtrommel.

Faßt man kurz zusammen, so ergibt sich:

1. Der Trennverlust nimmt bei den drei Dreschwerkzeugen mit ansteigender Trommel- bzw. Messergeschwindigkeit hyperbelförmig ab.
2. Die Kornbeschädigung nimmt bei der Schlagleisten-Dreschtrommel und dem stumpfen Fallmesser parabelförmig zu. Sie scheint der kinetischen Energie der beiden Dreschwerkzeuge proportional zu sein.
3. Die Kornbeschädigung durch das Zweimesser-Scheibenrad und das scharfe Fallmesser verringert sich zunächst mit der Messergeschwindigkeit. Es ist aber anzunehmen, daß bei steigender Messergeschwindigkeit die Kornbeschädigung ein Minimum erreicht und dann ebenfalls der kinetischen Energie des Messers entsprechend ansteigt.

Der Trennvorgang im einzelnen

Nach der Darstellung einiger Versuchsergebnisse über Trennverlust und Kornbeschädigung folgt nun eine Untersuchung über die Einzelheiten des Trennvorgangs bei Weizen. Soll ein Weizenkorn durch eine äußere Kraft, der Korntrennkraft, von seinem Sitz in der Ähre gelöst werden, dann sind folgende Trennwiderstände zu überwinden:

1. Abreißwiderstand des Fruchtstiels, der Korn und Mutterpflanze verbindet
2. Öffnungswiderstand der Deck- und Vorspelze
3. Reibungswiderstand des Korns an Deck- und Vorspelze
4. Verdrängungswiderstand für die Nachbarkörner.

Trennkraft am Einzelkorn

Um die Korntrennkraft und die Korntrennarbeit für ein Einzelkorn zu bestimmen, wurden Zugversuche an einer Zerreißmaschine durchgeführt. Die Ähre wurde mit dem Halmende in die eine Klemmbacke und die Zugvorrichtung für das Einzelkorn in die andere Klemmbacke der Zerreißmaschine eingespannt. Mit Hilfe einer elektronischen Meßeinrichtung war es möglich, die Korntrennkraft über dem Korntrennweg aufzuschreiben, **Bild 2**. Während der Versuche betrug die Zerreißgeschwindigkeit 6 mm/min und der Meßbereich der Kraft 0 bis 100 p.

Der Kurvenverlauf der Korntrennkraft über dem Korntrennweg läßt sich in zwei Abschnitte einteilen. Der erste ist durch den

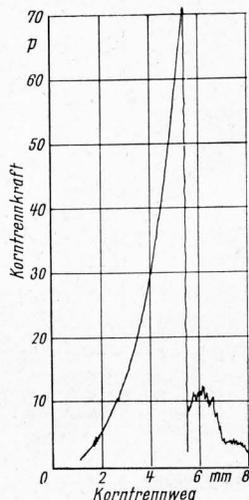


Bild 2. Korntrennkraft in Abhängigkeit vom Korntrennweg eines Weizenkorns in der Ährenmitte (Winterweizen „Heges Früher“, Ernte 1963).

parabelförmigen Anstieg und den steilen Abfall gekennzeichnet. Er stellt den Öffnungswiderstand der Spelzen und den Verdrängungswiderstand der Nachbarkörner dar. Der zweite Abschnitt fällt durch den unruhigen, zickzackförmigen Kurvenverlauf auf. Dieser entsteht durch die Reibung der Spelzenlippen am Korn. Hat nämlich das Korn mit seiner größten Dicke in Richtung seiner natürlichen Stellung die Spelzenöffnung passiert, dann sind Öffnungs- und Verdrängungswiderstand überwunden. Die Trennkraft fällt steil auf einen niedrigen Wert ab. Die Spelzenöffnung kann sich wieder schließen. Nur die Spelzenlippen erzeugen noch einen geringen Reibungswiderstand am Korn. Dieser geht schließlich auf null zurück, wenn das Korn die Ähre verlassen hat und keine Berührung mehr stattfindet.

Aus den Versuchen ergab sich für die Korntrennarbeit eines Einzelkorns ein Bereich von 22 bis 144 pmm. In der unteren Hälfte des angegebenen Bereichs liegt die Trennarbeit für Körner in der Ährenbasis. In der oberen Hälfte sind die Werte der Trennarbeit für Körner in der Ährenmitte zu finden. Etwa in der Mitte des genannten Bereichs häufen sich die Werte für die Trennarbeit der Körner in der Ährenspitze.

Zu ergänzen bleibt noch die Größe der Korntrennkraft, die notwendig ist, um ein Einzelkorn in Richtung seiner natürlichen Stellung aus dem Sitz in der Ähre herauszuziehen. Folgende Mittelwerte wurden gemessen:

an der Ährenspitze	10 p
in der Ährenmitte	20 p
an der Ährenbasis	8 p

Diese Werte zeigen deutlich, daß die Körner in der Ährenmitte den größten und in der Ährenbasis den kleinsten Trennwiderstand haben.

Trennvorgang beim Durchschneiden einer Ähre

Um den Trennvorgang während des Durchschneidens der Ähre zu beobachten, wurden Versuche mit dem Fallmesser durchgeführt, **Bild 3**. Vor dem Schnitt durch das Fallmesser liegt die Ähre in der x -Achse der x,y -Ebene der oberen Halmschicht. Dabei ist die Ährenachse senkrecht zur Messerschneide gerichtet.

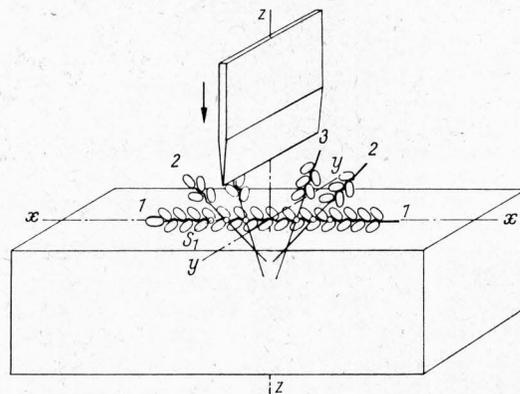


Bild 3. Bewegung der Ährenhälften während des Durchschneidens auf einer Halmschicht.

- 1—1 Lage der Ähre vor dem Schnitt
- 2—2 Lage der Ährenhälften nach dem Schnitt
- 3—3 Lage der Ährenhälften zu einem späteren Zeitpunkt

Der Kasten entspricht der Halmschicht, einer plastischen Unterlage für die Ähre. Das Messer beschleunigt zuerst die Ähre in Richtung seiner Bewegung und dann ebenso die darunter liegende Halmschicht. Auf die Beschleunigung durch das Messer reagiert die Ähre so, daß sie an der Berührungsstelle der Bewegung des Messers folgen will. Die Massenträgheitskräfte versuchen sie in ihrem ursprünglichen Beharrungszustand der Ruhe zu halten. Unter der entgegengesetzten Kraftwirkung von Messer und Massenträgheit schert die Ähre an der Berührungsstelle ab. Dabei lösen sich Körner in diesem Bereich aus der Ähre.

Die freien Ährenenden (Ährenspitze und -basis) bleiben infolge der Massenträgheit gegenüber der Ährenmitte, der die Bewegung des Messers aufgezwungen wurde, zurück. Dann beginnen die Ährenhälften sich während der Beschleunigung durch das Messer zu drehen, wobei der Schwerpunkt S_1 der Ährenhälfte Zentrum

der Drehbewegung zu sein scheint. Die Drehbeschleunigung wird so groß, daß Körner an den Ährenenden herausgeschleudert werden.

Die Drehbewegung der Ährenhälften wird zuletzt durch die Messerflanken aufgehalten. Beim Verzögern der Drehbewegung können sich infolge der auftretenden Massenträgheitskraft erneut Körner aus dem Ährenstutz lösen. Außerdem drückt die Massenträgheitskraft die Ährenhälften an die Messerflanken, so daß bei einer Relativbewegung zwischen Messerflanke und Ährenhälfte und genügend hoher Normalkraft auch die Reibung am Entkörnen beteiligt sein kann.

Zusammenfassend läßt sich aufgrund der Beobachtungen der Trennvorgang beim Häckseln in drei Phasen einteilen, die zeitlich hintereinander liegen oder sich überschneiden können:

1. Phase: Positive Beschleunigung der Ährenmitte durch das Fallmesser in Richtung seiner Bewegung. Infolge der entgegenwirkenden Massenträgheitskräfte schert die Ähre an der Berührungsstelle ab und gibt dabei Körner frei, **Bild 4**.
2. Phase: Drehbeschleunigung der Ährenhälften um ihren Schwerpunkt. Infolge der Fliehkräfte werden Körner aus dem Ährenstutz zentrifugiert, **Bild 5**.
3. Phase: Verzögern der Drehbewegung an der Messerflanke. Infolge der Massenträgheitskräfte werden Körner herausgeschleudert. Gleichzeitig wird die Ährenhälfte mit einer Seite an die Messerflanke gedrückt, wobei durch Reibung weitere Körner gelöst werden können.

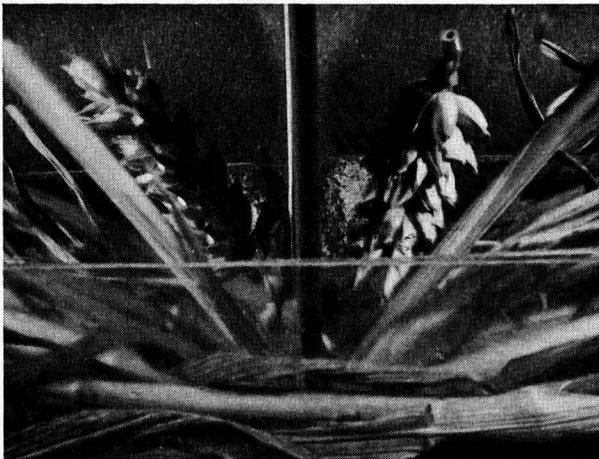


Bild 4. Trennen von Weizenkörnern infolge Massenträgheitskraft an der Schnittstelle (scharfes Messer) bei einer Messergeschwindigkeit von 9 m/s.

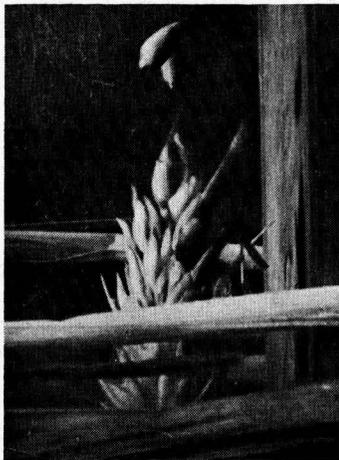


Bild 5. Trennen von Weizenkörnern durch Fliehkraft aus der Spitze der linken Ährenhälfte beim Durchschneiden mit scharfem Messer bei 9 m/s Messergeschwindigkeit.

Die Bewegung der Ährenhälften während des Schnitts und danach läßt sich in erster Näherung mit der Kardanbewegung vergleichen. Um die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhältnisse analytisch zu erfassen, wird als mechanisches Ersatzsystem die bekannte feststehende Kreuzschleife (Doppelschieber-Getriebe) herangezogen. Dieses Kreuzschleifenge triebe ist auch als Ellipsenzirkel bekannt, **Bild 6**.

Die Bahn des Gleitsteins B entspricht der Messerbahn. Sie wird zugleich auch als Bahn der Ährenmitte während des Schnitts

und danach angenommen. Der Gleitstein A entspricht dem Schwerpunkt der Ährenhälfte. Der Punkt C stellt das freie Ende einer der beiden Ährenhälften dar. Im folgenden wird nur eine Ährenhälfte betrachtet, da für die andere aus Symmetriegründen das gleiche gilt.

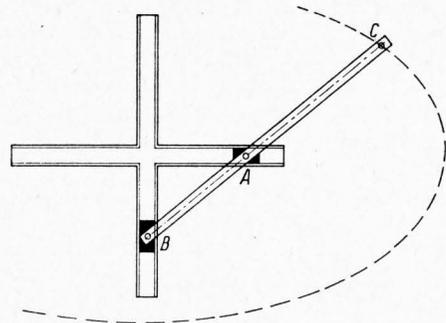


Bild 6. Kreuzschleifenge triebe als mechanisches Ersatzsystem für die Bewegung der Ährenhälften.

Die Masse des Einzelkorns im verwendeten Versuchsgut betrug im Durchschnitt 50 mg. Mit den bereits genannten Werten für die Trennkraft kann das Verhältnis von Trennkraft zu Masse gebildet werden. Dieses Verhältnis entspricht den Beschleunigungen, die zum Trennen des Kornes aus dem Ährenstutz erforderlich sind und haben die Größe:

an der Ährenspitze	200 g
in der Ährenmitte	400 g
an der Ährenbasis	160 g

Die Rechnung für die im Versuch vorliegenden Verhältnisse, wo mit 9 m/s Messergeschwindigkeit und einer durchschnittlichen Ährenlänge von 58 mm gearbeitet wurde, ergab für das freie Ende der Ährenhälfte (Punkt C) eine Beschleunigung von 210 g.

Wie das Ergebnis der Rechnung zeigt, ist die Beschleunigung, die das Trennen durch Fliehkraft bewirkt, außerordentlich hoch. Dies stimmt überein mit Untersuchungen von Schulze, der maximale Beschleunigungen von 1000 g zum Entkörnen von Ähren nennt [3]. Wird die für das freie Ährenende errechnete Beschleunigung mit den zum Trennen erforderlichen Beschleunigungen, die aus dem Trennkraft-Masse-Verhältnis gebildet wurden, verglichen, dann reicht die Beschleunigung gerade aus, um einzelne Körner an der Spitze des freien Ährenendes durch Fliehkraft vom Ährenstutz zu trennen. Es müssen also noch andere Kräfte wirksam sein, die zur Trennung weiterer Körner beitragen.

Mit Hilfe von Momentaufnahmen, die während des Durchschneidens bei 9 m/s Messergeschwindigkeit gemacht wurden, ließen sich weitere Rückschlüsse auf die wirksamen Trennkräfte ziehen. Es wurde der Versuch gemacht, eine Bilanz der wirksamen Trennkräfte aufzustellen. Die Trennkräfte für die niedrigen Messergeschwindigkeiten wurden geschätzt, **Bild 7**.

An der Spindel einer Weizenähre sind die Ährchen zweizeilig angeordnet. Sie liegen sich in einem Abstand von etwa 3 mm gegenüber. Ein Ährchen enthält zwei bis drei Körner. Wenn das

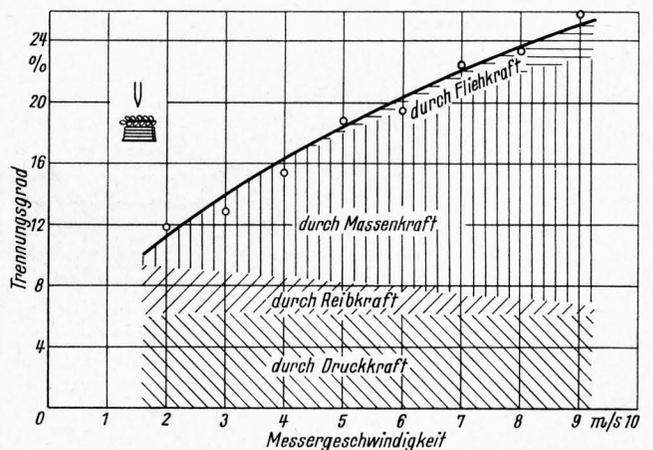


Bild 7. Kräftebilanz für die Entkörnung einer auf einer Halm-schicht liegenden Weizenähre mit Schnitt in Ährenmitte.

Messer die Ähre trifft, wird es mit seiner Schneidkante immer auf ein Ährchen stoßen. Die getroffenen Körner werden dann herausgedrückt. Zwei Körner stellen einen Gewichtsanteil von etwa 6% am Gesamtkorngewicht der Ähre dar. Dieser Anteil am Trennungsgrad ist im Bild 7 schräg schraffiert und durch den Ausdruck „Druckkraft“ gekennzeichnet.

Darüber ist ein entgegengesetzt schräg schraffiertes Feld gezeichnet, das den Trennungsgrad durch Reibkraft darstellt. Es wird mit zunehmender Messergeschwindigkeit schmaler. Durch seitlichen Druck der Messerflanken beim Durchschneiden der Ähre wird Reibung zwischen anliegender Ähre und Messer auftreten. Vor allem bei kleinen Messergeschwindigkeiten wird die Reibkraft zum Korntrennen beitragen. Der Trennungsgrad durch Reibung bei 2 m/s Messergeschwindigkeit wird auf 1 Korn je Schnitt geschätzt, was einen Trennungsgrad von etwa 3% der Gesamtkörnermasse der Ähre ausmacht. Mit zunehmender Messergeschwindigkeit geht der Trennungsgrad durch Reibkraft zurück, weil die Beschleunigung Massenträgheitskräfte erzeugt, welche die Körner in der Nähe der Schnittstelle lösen. Zum Aufbau eines Messerflankendrucks kommt es daher weniger und damit auch zu geringerer Reibung.

Bei größeren Messergeschwindigkeiten wird der Hauptanteil der Trennung durch Massenträgheitskräfte infolge geradliniger positiver Beschleunigung der Ährenmitte durch das Messer erzielt. Die Fliehkraft infolge der Drehbeschleunigung entkörnt nur die Spitze der Ährenhälfte, welche sich auf einer ellipsenförmigen Bahn bewegt. Bei 9 m/s Messergeschwindigkeit wird durch Massenträgheitskraft allein ein Trennungsgrad von ungefähr 18% erreicht. Dabei trennt die Fliehkraft durchschnittlich ein Korn aus der Ährenspitze, was einem Trennungsgrad von etwa 3% entspricht.

In Bild 7 ist zu erkennen, daß für Messergeschwindigkeiten unterhalb 4 m/s Druck- und Reibkräfte überwiegend die Trennung hervorrufen. Mit zunehmender Messergeschwindigkeit über 4 m/s steigt der Trennungsgrad mehr und mehr durch Massenträgheitskräfte. Bei 9 m/s Messergeschwindigkeit verhält sich der errechnete Trennungsgrad durch Flieh- und Massenträgheitskräfte zu dem durch Druck- und Reibkräfte etwa 3 zu 1.

Der oben genannte hohe Anteil der Massenträgheitskräfte an der Trennung erklärt auch, daß die sichtbare Kornbeschädigung bei steigender Messergeschwindigkeit sinkt. Während bei der Trennung durch Druck- und Reibkräfte meistens eine Berührung zwischen Korn und Werkzeug eintritt, ist dies beim Trennen durch Massenträgheitskräfte nicht der Fall. Daher ist auch die Gefahr der Kornbeschädigung stark herabgesetzt.

Energetischer Nutzungsgrad bei der Trennarbeit

Im vorhergehenden wurde gezeigt, daß neben Massenträgheitskräften auch Druck- und Reibkräfte Trennarbeit beim Häckseln leisten. Besonders interessiert aber, mit welchem energetischen Nutzungsgrad die Trennarbeit vollbracht wird. Hierzu lassen sich folgende theoretische Überlegungen anstellen. Als theoretische Trennprozesse sollen betrachtet werden:

- a) Trennen mittels Massenträgheitskraft infolge positiver oder negativer Beschleunigung bei geradliniger Bewegung der Ähre in Richtung der Halmachse.
- b) Trennen mittels Fliehkraft infolge positiver Beschleunigung bei kreisförmiger Bewegung der Ähre und radialer Einspannung mit Spitze nach außen.
- c) Trennen mittels Druckkraft.
- d) Trennen mittels Reibkraft.

Schwerkraft, Luftwiderstand, Reibung und Verformung werden bei der Betrachtung nicht berücksichtigt.

Beim Trennprozeß mittels Massenträgheitskraft (a) erfolgt im Idealfall das Trennen dadurch, daß innerhalb sehr kurzer Zeit der Bewegungszustand der Ährenspindel in Richtung der Halmachse mittels großer Kraft geändert wird. Im Falle der positiven Beschleunigung wird die Ährenspindel mit Spelzen von den Körnern fortbewegt. Bei negativer Beschleunigung bewegen sich die Körner gegenüber der verzögerten Spindel fort. Die hierfür aufzubringende Arbeit besteht in der Beschleunigung der Masse von Ährenspindel mit Spelzen.

Der energetische Nutzungsgrad ist das Verhältnis von genutzter zu aufgewendeter Arbeit. Als genutzte Arbeit wird diejenige bezeichnet, die zur vollständigen Trennung aller Körner aus der Ähre zu vollbringen ist. Die aufzuwendende Arbeit ergibt sich aus der Summe von Beschleunigungsarbeit der Ährenspindel mit Spelzen und der Trennarbeit für die Körner. Mit Werten aus eigenen Untersuchungen errechnet sich die genutzte Arbeit für die Trennung der Körner aus einer Ähre zu rund 3/1000 kpm. Die aufzuwendende Arbeit wird zu rund 4/1000 kpm errechnet. Damit ergibt sich für Trennprozeß (a) ein Nutzungsgrad von etwa 75%. Der Nutzungsgrad des theoretischen Trennprozesses (a) kann somit höchstens 75% erreichen. Bei dieser Betrachtung wird die Arbeit zur Beschleunigung der Ährenspindel mit Spelzen allein als Verlust angenommen.

Im Trennprozeß mittels Fliehkraft (b) erfolgt die Trennung dadurch, daß eine radial, mit Spitze nach außen eingespannte Ähre auf einer Kreisbahn vom Radius r um den Mittelpunkt M so lange beschleunigt wird, bis die am Korn angreifende Fliehkraft den Trennwiderstand überwunden hat. Mit Hilfe der gewonnenen Versuchsergebnisse kann auch der Nutzungsgrad des theoretischen Trennprozesses mittels Fliehkraft zahlenmäßig ausgerechnet werden. Die genutzte Arbeit, das Trennen der Körner aus der Ähre, beträgt 3/1000 kpm und entspricht damit der im theoretischen Trennprozeß mittels Massenträgheit. Um die aufzuwendende Arbeit auszurechnen, müssen zuerst das Massenträgheitsmoment der Ähre, die Winkelgeschwindigkeit der Ährendrehung und die Umfangsgeschwindigkeit des Ährenscherpunkts bestimmt werden. Danach kann die aufzuwendende Arbeit mit aufgerundet 3/10 kpm angegeben werden. Der Nutzungsgrad des theoretischen Trennprozesses mittels Fliehkraft wird damit etwa 1%. Dieser Wert liegt erheblich unter dem des Trennprozesses mittels Massenträgheit. Außerdem kann aber auch gefolgert werden, daß der Nutzungsgrad des Trennprozesses mittels Fliehkraft immer kleiner als der des Trennprozesses mittels Massenträgheit sein muß, da die zunächst zu beschleunigende Gesamtmasse der Ähre größer ist als die Masse der Spindel und Spelzen, die nur im Trennprozeß mittels Massenträgheit beschleunigt zu werden braucht. Außerdem verringert der größer werdende Abstand von der Drehachse den Nutzungsgrad zusätzlich. Daraus folgt, daß der Nutzungsgrad des Fliehkraft-Trennprozesses kleiner sein muß als der des Massenträgheit-Trennprozesses.

Der Trennprozeß mittels Druckkraft (c) ergibt sich aus der Anwendung von Druck zum Trennen. Hierbei ist nicht erforderlich, die Ährenspindel und Spelzen zu bewegen. Es brauchen nur die Körner infolge Druckeinwirkung aus ihrem Sitz bewegt zu werden. Die hierfür erforderliche, aufzuwendende Arbeit entspricht der notwendigen Korntrennarbeit. Daraus ergibt sich in einfacher Weise der Nutzungsgrad zu 100%.

Beim Trennprozeß mittels Reibkraft (d) wird nur die Reibung zum Korntrennen eingesetzt. Die Prozesse mittels Druck- und Reibkraft sind verwandt in der Weise, daß beide eine Druckkraft benötigen. Im Druckkraft-Trennprozeß kann sie über einen Formschluß direkt eingesetzt werden, während sie im Reibkraft-Trennprozeß einen Kraftschluß herstellen muß. Wie im vorhergehenden Trennprozeß ist auch in diesem eine Bewegung der Ähre nicht notwendig. Es genügt, die Körner nur längs des Korntrennwegs zu bewegen. Damit wird wiederum die aufzuwendende Arbeit gleich der nutzbaren Korntrennarbeit und damit der Nutzungsgrad gleich 100%.

Die Schlußfolgerung aus dieser Betrachtung besteht darin, daß bezüglich des Energieverbrauches die Trennung mit Massenträgheitskräften ungünstiger als die mit Druck- oder Reibkräften ist. Bei Anwendung von Massenträgheitskräften zum Trennen ist die Ährenbewegung auf geradliniger Bahn günstiger als auf kreisförmiger. Diese Feststellung ist ein wichtiges Ergebnis der theoretischen Betrachtung.

Schrifttum

- [1] Blevins, F. Z., und H. J. Hansen: Analysis of forage harvester design. Agric. Engng 37 (1956) S. 21/26.
- [2] Sacht, H. O.: Über den Verdichtungsvorgang bei landwirtschaftlichen Halmgütern und die dabei auftretende Wandreibung. Grundlagen d. Landtechn. 17 (1967) Nr. 2, S. 47/52.

- [3] *Schulze, K.-H.*: Kinematographische Untersuchungen des Dreschvorganges in einer Schlagleistentrommel. Grundlagen d. Landtechn. Heft 7 (1956) S. 113/20.
- [4] *Segler, G.*, und *G. Peschke*: Versuch zur Entwicklung des Häckseldruschverfahrens. Landtechn. Forsch. 2 (1952) Nr. 1, S. 10/13.
- [5] *Völzke, H.*: Untersuchungen über die Häckseldruschverfahren. Diss. Univers. Kiel 1952.
- [6] *Völzke, H.*: Die Dreschwirkung des Gebläsehäckslers bei Getreide, Leguminosen, Raps und Rübensamen. Landtechn. Forsch. 3 (1953) Nr. 1, S. 18/21.
- [7] *Wieneke, F.*: Wickel- und Reibungsuntersuchungen an Wellen und anderen umlaufenden Maschinenteilen. VDI-Forschungsheft Nr. 463. Düsseldorf: VDI-Verl. 1957.
- [8] *Wieneke, F.*: Reibungswerte von Pflanzen und Faserstoffen. Landtechn. Forsch. 6 (1956) Nr. 5, S. 146/51.

BUCHBESPRECHUNGEN

Theorie und Konstruktion von Landmaschinen

● (Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych) von Prof. *H. Bernacki*, Prof. *J. Haman* und Prof. *Cz. Kanafojski* unter der Redaktion von Prof. Dr. *Cz. Kanafojski*. Warschau: Państwowe wydawnictwo rolnicze i leśne 1967. 826 S., 707 B., 55 T., polnisch.

DK 62.001/002:631.3.001.5

Bücher über die Konstruktion von Landmaschinen sind selten, gute Bücher, die theoretische Grundlagen und moderne konstruktive Lösungen gleichermaßen berücksichtigen, sind noch seltener. Es ist daher besonders begrüßenswert, wenn ein solches Buch neu auf dem Markt erscheint, nur leider auch etwas betrüblich, wenn es in einer dem erfreuten Leser nicht zugänglichen Sprache geschrieben ist. Trotzdem verdient dieses Werk — das polnische Buch „Theorie und Konstruktion von Landmaschinen“ von *Bernacki, Haman, Kanafojski* — hier eine Besprechung; denn bereits die in einem englischen Anhang beigegebene Inhaltsübersicht und die Bildtexte sowie die dadurch gut verständlichen über 700 Schemaskizzen, Zeichnungen und Diagramme, aber auch die systematischen Übersichten und Tabellen legen Zeugnis davon ab, daß es sich hier um ein beachtenswertes Buch handelt.

Auf über 450 des insgesamt etwa 800 Textseiten umfassenden Buches werden in 10 Abschnitten die Bodenbearbeitungsmaschinen, in den übrigen 5 Abschnitten Stallungstreuer, Handelsdüngestreuer, Sämaschinen, Pflegemaschinen und Schädlingsbekämpfungsgерäte behandelt. Einleitende Abschnitte im Rahmen der Bodenbearbeitungsmaschinen befassen sich mit den wichtigsten Grundlagen der Bodenkunde, der Bodenmechanik und mit den Kräften im Boden und ihrer Übertragung. Sie leiten über zu den Abschnitten über die Pflüge, die Pflegemaschinen, die Bodenbearbeitungsmaschinen mit rotierenden und schwingenden Werkzeugen und zu den Hack- und Häufelgeräten. In den einzelnen Abschnitten werden die theoretischen Grundlagen zur Arbeitsweise der Werkzeuge oder Maschinen, die Eigenschaften der zu bearbeitenden oder der zu verarbeitenden Stoffe, Systematiken der betreffenden Werkzeuge oder Maschinen und neben konstruktiven Details in vergleichender Weise zahlreiche Schemaskizzen zur Funktion der einzelnen Lösungen behandelt. Auch Beiträge zur Geschichte sowie Beschreibungen zu den wichtigsten Versuchsmethoden werden für einzelne Abschnitte gegeben.

Die Art der Stoffzusammenstellung und die für ein Lehrbuch sehr umfassende Darstellung der verschiedenen Stoffgebiete läßt die Verwandtschaft mit dem schon bekannten Buch über Halmfrucht-Erntemaschinen von *Kanafojski* erkennen. Vor allem sorgfältige Gegenüberstellung von Theorie und konstruktiver Ausführung gibt diesem Buch seine besondere Bedeutung. Mit großem Fleiß und mit viel Umsicht hat der Verfasser eine Vielzahl von Lösungen — davon alle wichtigen — für Maschinen und Geräte bzw. für ihre Baugruppen mit aufgenommen. Es wäre zu überlegen, ob bei einer späteren Neuauflage nicht auf einen Teil dieser Lösungen verzichtet werden könnte zugunsten einiger weiterer grundlegender konstruktiver Details, die für die betreffende Maschinengruppe charakteristisch sind. Ebenso sollten dabei die für die Darstellung der in den einzelnen Abschnitten häufiger vorkommenden hydraulischen Anlagen — dort, wo es vor allem um die Erläuterung der Funktion von Mechanismen geht — anstatt der schematischen Schnittbilder die übersichtlicheren und heute üblichen Symbole für die Hydraulikelemente verwendet werden. Derjenige Leser, der sich tiefer in ein Gebiet oder in ein Detailproblem einarbeiten möchte, würde es begrüßen, wenn ihm diese Arbeit dadurch erleichtert würde, daß die Nummern der am Ende eines jeden Abschnittes angeführten Literaturangaben auch in den Text aufgenommen bzw. den aus der Literatur übernommenen Formeln und Bildern hinzugefügt würden.

Das vorliegende Buch gibt dem in Wissenschaft und Industrie tätigen Ingenieur wie auch dem Studenten und dem technisch begabten Landwirt in hervorragender Weise die Möglichkeit, sich kurzfristig einen Überblick über die Theorie und die Konstruktion auf einem ihm nicht so geläufigen Teilgebiet der Landtechnik zu beschaffen. Der Leser erhält dabei einen Einblick in das betreffende Gebiet, das — dank der sorgfältigen Arbeit der Verfasser — sowohl umfassend wie auch von einer solchen Gründlichkeit ist, wie es in einem Buch überhaupt geboten werden kann.

Alles in allem ein beachtenswertes Buch, das — von uns aus gesehen — vorläufig nur den Nachteil hat, daß es nicht in deutscher oder englischer Sprache erhältlich ist. Man kann hoffen, daß dieser Nachteil bald behoben wird und daß auch der zweite Teil des Werkes nicht allzu lange auf sich warten läßt.

GL 159

Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. *H. J. Matthies*

Aufgaben und Ergebnisse aus der Landarbeitswissenschaft

● 16 Beiträge aus dem Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach. Schriftenreihe „Landarbeit und Technik“ Heft 35. Hrsg. von Prof. Dr. *G. Preuschen*. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey 1968. 352 S., 42 B., 24 T. — Preis kart. DM 15,80. DK 631.1

Das vorliegende Heft der Schriftenreihe „Landarbeit und Technik“ ist anlässlich des sechzigsten Geburtstages von Prof. Dr. *G. Preuschen* erschienen. In 16 Beiträgen werden die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Landarbeitswissenschaft dargestellt und Wege aufgezeigt, die zu neuen Erkenntnissen führen können.

Es wird nachgewiesen, daß sich die Zahl der in der Landwirtschaft tätigen Arbeitskräfte auch in der Zukunft durch die Folgen industrieller Vollbeschäftigung weiter verringern wird. Die erforderlichen Arbeitsansprüche zur Erzeugung pflanzlicher und tierischer Produkte sind von den verbleibenden Arbeitskräften zu erfüllen. Dafür sei es erforderlich, die entsprechenden Arbeitsverfahren mit den einzusetzenden technischen Hilfsmitteln in Einklang zu bringen. Das ist nur möglich durch genaue Kenntnis des jeweils erforderlichen Arbeitszeitbedarfes, durch genaue Abgrenzung der Bearbeitungsstermine (Zeitspannen) und nicht zuletzt durch die sinnvolle Gestaltung von Maschinen und Geräten, mit denen der Mensch zu arbeiten hat.

Im Vordergrund der Betrachtungen stehen Fragen der Arbeitszeitkontrollen im landwirtschaftlichen Betrieb und methodische Beschreibungen der Zeitkontrollaufnahmen unter Zuhilfenahme moderner technischer Mittel. — Der Zeitspannenteilung für Betriebsplanungsverfahren wird im Rahmen der Arbeit ein breiter Raum gewidmet. Dabei wird auf die Notwendigkeit der Aufgliederung der bisher von *Kreher* verwendeten Blockzeitspannen in kleinere Einzelzeitspannen gerade bei der Anwendung neuer Planungsverfahren (lineare Programmierung) hingewiesen, um Fehler von vornherein zu vermeiden.

Ein weiterer Komplex befaßt sich mit dem Einfluß der Arbeitsphysiologie und Arbeitspsychologie auf einen zu erwartenden Betriebserfolg; denn trotz umfassender Mechanisierungs- und Automatisierungsvorgänge wird der Mensch nach wie vor ein nicht zu ersetzender Faktor im Produktionsablauf bleiben. Schließlich werden an Beispielen sehr deutlich die Grenzen der Mechanisierung und Automatisierung der Landwirtschaft aufgezeigt, die vor allem in den strukturellen Gegebenheiten der Bundesrepublik ihren Ursprung haben.

Die vorliegende Arbeit gibt einen sehr guten Überblick über den Erkenntnisstand in der Landarbeitswissenschaft und kann allen daran interessierten Kreisen empfohlen werden. GL 160

Braunschweig-Völknerode

Prof. Dr. *S. Rosegger*