

2.3 Ergebnisse

Für das vorgestellte Konstantstrom-Anemometer mit Nullpunkt-kompensation ist in **Bild 3** die Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit dargestellt. Die Ausgangsspannung U_a wurde auf die Spannung \hat{U}_a bei der Luftgeschwindigkeit $v_L = 5 \text{ m/s}$ bezogen. Die Empfindlichkeitsänderung bei Temperaturänderungen kann durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden. Falls erforderlich, läßt sich die Kennlinie durch einen entsprechenden Funktionsgeber linearisieren. **Bild 4** zeigt die Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Anströmrichtung. Die geringste Spannung stellt sich demnach bei einer Anströmung in Richtung der Sondenlängsachse ein. Somit kann diese Meßsonde auch zur Bestimmung der Strömungsrichtung herangezogen werden.

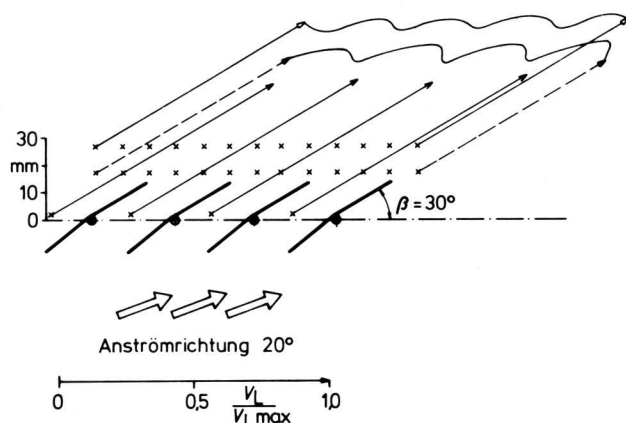


Bild 5. Luftgeschwindigkeitsverteilung über einem Lamellensieb einer Mähdrescherreinigung.

Das Ergebnis einer Luftgeschwindigkeitsmessung an dem Lamellensieb einer Mähdrescher-Reinigungsanlage ist in **Bild 5** dargestellt. Durch die kleine Meßsonde ist auch eine Messung zwischen den Lamellen möglich. Hierbei zeigt sich, daß das Lamellensieb eine Einleitung der Luft mit gleichmäßiger Geschwindigkeitsverteilung in die darüberströmende Gutschicht ermöglicht. An der Innenseite der Lamellen wurde eine Strömungsablösung und Verwirbelung festgestellt. Die Lamellen bewirken eine Umlenkung der Luftströmung.

3. Zusammenfassung

Nach einer Übersicht über gebräuchliche Luftgeschwindigkeitsmeßgeräte wird gezeigt, daß mit NTC-Widerständen eine einfache Anemometerschaltung nach dem Konstantstromprinzip verwirklicht werden kann. Dabei zeichnet sich die Meßsonde durch eine geringe Empfindlichkeit gegen Beschädigungen aus. Die Meßeinrichtung eignet sich zur Messung kleiner Luftgeschwindigkeiten bis etwa 5 m/s und zur Ermittlung der Strömungsrichtung.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Ackermann, G.:* Meßtechnik bei Gebläseuntersuchungen. Landtechnische Forschung Bd. 7 (1957) Nr. 1, S. 14/18.
- [2] ● *Kautsch, R.:* Meßelektronik nichtelektrischer Größen. Teil 2: Meßfühler und Meßverfahren. Bad Wörishofen: Hans Holzmann Verlag 1972.
- [3] ● *Rohrbach, Ch.:* Handbuch für elektrisches Messen mechanischer Größen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.
- [4] ● *Profos, P.:* Handbuch der industriellen Meßtechnik. Essen: Vulkan-Verlag 1974.

Der Füllungsgrad eines Axialdreschwerkes für Körnermais

Von Arnoldus Lo und Alfred Stroppel,
Stuttgart-Hohenheim*)

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

DK 631.355:631.361.2

Neben den Schlagleisten-Dreschwerken werden in der Praxis auch sogenannte Rebler-Werkzeuge (Axialdreschwerke) zum Dreschen von Körnermais eingesetzt. Bei diesen Werkzeugen spielt der Füllungsgrad der Dreschtrommel eine gewisse Rolle, der beispielsweise von der Trommeldrehzahl und der Körnerdurchsatzmenge beeinflusst wird. In dieser Arbeit wird eine Gleichung zur Bestimmung des Füllungsgrades entwickelt und anhand einiger Versuchsergebnisse der Einfluß des Füllungsgrades auf die Druschqualität angedeutet.

*) Prof. Dr.-Ing. Alfred Stroppel ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. Arnoldus Lo ist wiss. Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs 140 am gleichen Institut.

1. Einleitung

Die erfolgreiche Züchtung von ertragreichen Hybridmais-Sorten, die Einführung leistungsstarker, arbeitsproduktiver Maiserntemaschinen und die Entwicklung geeigneter Konservierungsverfahren haben die Voraussetzungen für eine Ausdehnung des Körnermais-anbaues in der Bundesrepublik Deutschland geschaffen. Innerhalb von 10 Jahren, zwischen 1962 und 1972, wurde die Körnermais-anbaufläche nahezu verzehnfacht. Im gleichen Zeitraum stiegen auch die Erträge von 34 auf 48 dt/ha, d.h. um etwa 40 % [1].

Zwei Dreschsysteme mit unterschiedlichen Werkzeugen werden heute in erster Linie bei den Feldmaschinen für die Körnermais-ernte eingesetzt, **Bild 1**:

1. Das Tangentialdreschsystem (Schlagleistendreschwerk) des normalen Getreide-Mähdreschers
2. Das Axialdreschsystem (Reblerdreschwerk) spezieller Körnermaiserntemaschinen.

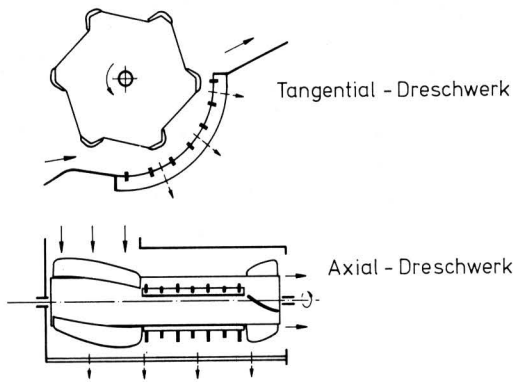


Bild 1. Zwei Dreschsysteme für den Körnermaisdrusch.

Der Vorteil des Tangentialsystems ist in seiner Universalität zu sehen, d.h. mit diesem Dreschsystem läßt sich sowohl Getreide als auch Mais dreschen. Das Axialsystem konnte dagegen bisher in größerem Umfang nur zur Körnermaisernte eingesetzt werden. Man sagt diesem System eine bessere Funktionsfähigkeit bei sehr feuchtem Erntegut nach, ferner soll der Bruchkornanteil geringer sein. Exakte Vergleichsuntersuchungen fehlen jedoch noch. Seit einiger Zeit bieten nordamerikanische Firmen auch Universal-Mäh-drescher für Getreide und Mais mit dem Axialdreschsystem an [2]. Es bleibt abzuwarten, ob diese Maschinen auch unter europäischen Verhältnissen universell einsetzbar sind.

Am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim wird im Rahmen des von der DFG geförderten Sonderforschungsbereichs 140 der Axialdrusch von Körnermais untersucht, auch im Vergleich zum Tangentialdrusch. Die entsprechenden Arbeiten werden publiziert, sobald alle Ergebnisse ausgewertet sind. Aus dem gesamten Themenkreis wird hier ein kleineres Teilproblem herausgegriffen und diskutiert: der Füllungsgrad eines Axialdreschwerkes.

Im folgenden wird zuerst eine Gleichung zur Ermittlung des Füllungsgrades eines Axialdreschwerkes abgeleitet. Ein einfaches Rechenbeispiel beschließt diesen Abschnitt. Anhand einiger Versuchsergebnisse wird die Abhängigkeit des Füllungsgrades von der Trommeldrehzahl und vom Körnerdurchsatz gezeigt. Abschließend wird mittels weiterer Versuchsergebnisse angedeutet, in welcher Weise der Füllungsgrad die Arbeitsqualität des Dreschwerkzeuges beeinflusst.

2. Ermittlung des Füllungsgrades

Der Füllungsgrad soll als Kenngröße dienen, die angibt, wie weit das Dreschwerk während des Dreschens gefüllt ist. Er wird in dieser Arbeit definiert als Quotient aus dem Gutvolumen V_T , das sich während des Dreschens in der Axialtrommel befindet, und dem maximal möglichen Gutvolumen im Dreschorgan V_{Tmax} . Die entsprechende Gleichung lautet:

$$\beta_T = \frac{V_T}{V_{Tmax}} \cdot 100 \quad (1).$$

Um den Füllungsgrad β_T nach Gl. (1) ermitteln zu können, müssen die Volumina V_{Tmax} und V_T bekannt sein. Das maximal mögliche Gutvolumen V_{Tmax} in der Dreschtrommel ist gewissermaßen eine Werkzeugkonstante und wird aus den Abmessungen des zu untersuchenden Werkzeuges bestimmt. In dieser Arbeit wird ein bestimmtes Axialdreschwerk zugrundegelegt, das eingehend bezüglich seines Verhaltens beim Maisdrusch untersucht wurde [3]. Bei diesem Dreschwerk betrug $V_{Tmax} = 85 \text{ dm}^3$.

Unterstellt man, daß die Maiskolben, die sich gerade in der Dreschtrommel befinden, noch sämtliche Körner haben – also sich im Ausgangszustand befinden –, so nehmen sie ein bestimmtes Volumen ein, das mit V_{GT} bezeichnet werden soll. Zieht man davon das Volumen derjenigen Körner ab, die vom gerade im Dreschwerk befindlichen gedachten Volumen V_{GT} abgeschieden wurden, und bezeichnet man dieses Körnervolumen mit V_{AT} , so erhält man für das wirkliche Gutvolumen V_T , das sich während des Dreschens in der Trommel befindet, die Bestimmungsgleichung:

$$V_T = V_{GT} - V_{AT} \quad (2).$$

Anstelle von Gl. (2) kann man auch schreiben:

$$V_T = \frac{m_{GT}}{\rho_G} - \frac{m_{AT}}{\rho_A} = \frac{m_T + m_{AT}}{\rho_G} - \frac{m_{AT}}{\rho_A} \quad (3).$$

In dieser Gleichung bedeuten:

- m_{GT} , m_{AT} , m_T Massen derjenigen Güter mit den Volumina V_{GT} , V_{AT} und V_T
- ρ_G Dichte der gesamten Maiskolben im Dreschwerk
- ρ_A Dichte der im Korb abgeschiedenen Maiskörner.

Zur Ermittlung der Massen m_T und m_{AT} wird von der Bilanz der Massenströme am Dreschwerk ausgegangen, **Bild 2**. Die Massen m_G , m_{R1} , m_{R2} und m_S sind die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt insgesamt dem Dreschwerk zugeführten bzw. aus dem Dreschwerk ausgetragenen Massen. Es gilt deswegen folgende Gleichung:

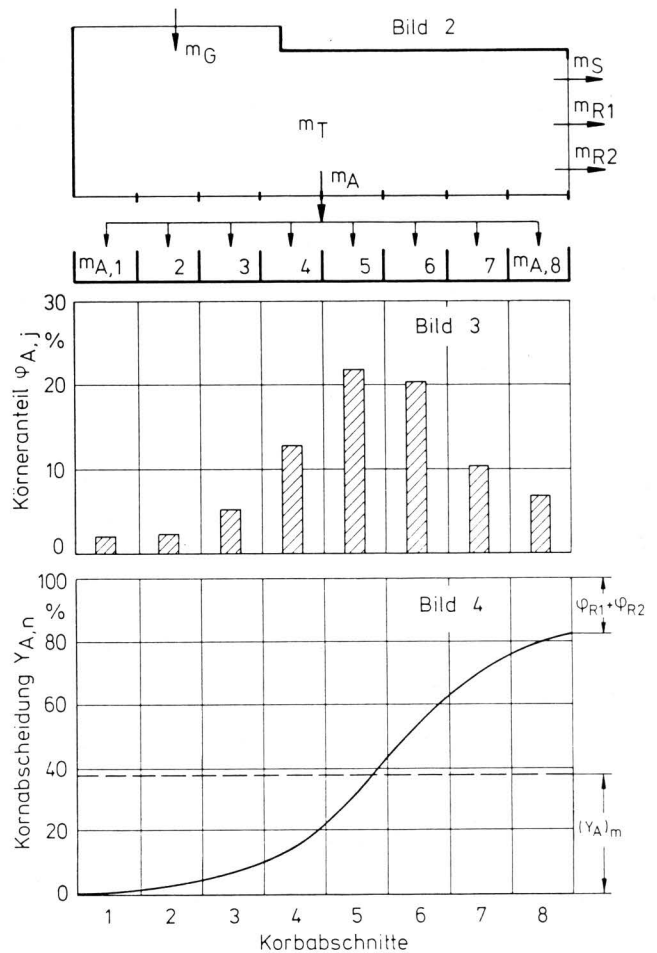


Bild 2 bis 4. Aufteilung des Gutstromes im Axialdreschwerk.

Bild 2. Bezeichnung der Massenströme

Bild 3. Abgeschiedener Körneranteil in Abhängigkeit von den Korbabschnitten

Bild 4. Abscheidungsfunction eines Axialdreschwerkes

$$m_G = m_A + m_{R1} + m_{R2} + m_S + m_T \quad (4),$$

mit
 m_G Masse des zugeführten Gutes (bestehend aus Körnern, Lieschen und Spindeln)
 m_A Masse der im Korb abgeschiedenen Körner
 m_{R1} Masse der ausgedroschenen, aber nicht im Korb abgeschiedenen Körner
 m_{R2} Masse der nicht ausgedroschenen Körner
 m_S Masse der ausgetragenen Lieschen und Spindeln.

Unterteilt man den Dreschkorb in Längsrichtung in Korbabschnitte (in Bild 2 sind es acht Korbabschnitte), so kann man diesen die Teilmassen m_{A1} bis m_{A8} zuordnen, deren Summe m_A ist. Bezeichnet man die sich nach dem gesamten Druschversuch ergebenden abgeschiedenen Teilmassen mit G_{A1} bis G_{A8} und die Gesamtkörnermasse, die während des Versuchs bearbeitet wird, mit G_K , so kann man die in den einzelnen Korbabschnitten j abgeschiedenen Körnermengenanteile (in %) durch folgende Gleichung ermitteln:

$$\varphi_{Aj} = \frac{G_{Aj}}{G_K} \cdot 100 \quad (5).$$

In Bild 3 sind als Beispiel die in den einzelnen Korbabschnitten abgeschiedenen Körneranteile dargestellt. Man erkennt ein ausgeprägtes Maximum der Abscheidung, das sich etwa bei den Korbabschnitten 5 und 6 befindet.

In Bild 4 ist die entsprechende Summenkurve der abgeschiedenen Körner über der Korbänge zu sehen, die sich aus der Gleichung:

$$Y_{An} = \sum_{j=0}^n \varphi_{Aj} \quad (6)$$

ergibt.

Die Funktion Y_{An} (in %) wird auch als Abscheidungsfunktion bezeichnet. Sie hat an der Stelle einen Wendepunkt, wo sich in Bild 3 das Maximum befindet. Die Differenz zwischen 100 % und dem Ordinatenwert am Korbende ist die Summe aus Korbabscheidungsverlust φ_{R1} und Ausdruschverlust φ_{R2} . φ_{R1} ist das Verhältnis aus der Masse der ausgedroschenen, aber nicht im Korb abgeschiedenen Körner zur Gesamtkörnermasse G_K . φ_{R2} ist die Masse der nicht ausgedroschenen Körner bezogen auf die Gesamtkörnermasse G_K .

Zur Ermittlung von m_{AT} wird der Mittelwert Y_{Am} der Abscheidungsfunktion benötigt. Er wird bei acht Korbabschnitten wie folgt ermittelt:

$$Y_{Am} = \frac{1}{8} \sum_{n=0}^8 Y_{An} = \frac{1}{8} \sum_{n=0}^8 \sum_{j=0}^n \frac{G_{Aj}}{G_K} \cdot 100 \quad (7).$$

Damit kann man m_{AT} aus folgender Beziehung ermitteln:

$$\frac{m_{AT}}{m_{KT}} = \frac{Y_{Am}}{100} \quad \text{oder} \quad m_{AT} = \frac{Y_{Am}}{100} m_{KT} \quad (8).$$

Hierin ist

m_{KT} die gesamte Körnermasse derjenigen Maiskolben, die sich gerade in der Dreschtrommel befinden.

Führt man die Größe ϵ für das Massenverhältnis Körner zu Spindeln + Lieschen ein, so kann man schreiben

$$\epsilon = \frac{G_K}{G_S} = \frac{m_{KT}}{m_{ST}} \quad (9),$$

mit
 G_S Gesamtmasse an Spindeln und Lieschen, die während eines Versuches bearbeitet werden
 m_{ST} Masse der Lieschen und Spindeln, die sich gerade in der Dreschtrommel befinden.

Da m_{ST} die Differenz aus m_{GT} und m_{KT} ist, kann man schreiben:

$$\epsilon = \frac{m_{KT}}{m_{GT} - m_{KT}} \quad (10)$$

oder

$$m_{KT} = \frac{\epsilon}{\epsilon + 1} m_{GT} \quad (11).$$

Führt man nun für m_{GT} die Summe aus m_{AT} und m_T ein, so kann man mit Gln. (8) und (11) schreiben:

$$m_{AT} = \frac{Y_{Am}}{100} \cdot \frac{\epsilon}{\epsilon + 1} \cdot (m_T + m_{AT}) \quad (12)$$

oder

$$m_{AT} = \frac{Y_{Am} \epsilon m_T}{100(\epsilon + 1) - Y_{Am} \epsilon} \quad (13).$$

Führt man Gl. (13) in Gl. (3) ein und diese wiederum in Gl. (1), so kann man für den gesuchten Füllungsgrad schreiben:

$$\beta_T = \frac{(100 \cdot (\epsilon + 1) / \rho_G - Y_{Am} \cdot \epsilon / \rho_A) \cdot m_T \cdot 100}{(100 \cdot (\epsilon + 1) - Y_{Am} \cdot \epsilon) \cdot V_{Tmax}} \quad (14).$$

Die Dichte ρ_G wird vor dem Druschversuch ermittelt, die Werte ϵ , ρ_A und Y_{Am} nach dem Versuch. V_{Tmax} ist bekannt (siehe oben). Es wäre nur noch m_T zu ermitteln.

Zur Bestimmung von m_T werden am Dreschwerk die Gutzufuhr und die Gutabfuhr in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt. Bei konstanter Zufuhrmenge ist die Kurve für die Gutzufuhr eine Gerade, die bei Null beginnt. Nach Abschluß des Dreschversuches ist die insgesamt zugeführte Gutmenge $m_G = G_G$. Ebenso ist die Kurve für das abgeführte Gut eine Gerade parallel zur Zufuhrkurve, abgesehen von zwei Übergangsbereichen am Anfang und am Ende. In Bild 5 sind die Zusammenhänge schematisiert dargestellt. In dem Bereich, in dem die Kurve für die Gutabfuhr geradlinig ist, gilt Gl. (4), so daß der Abstand zwischen beiden Kurven der gesuchte Wert m_T ist. Die beiden Kurven werden experimentell ermittelt und dann im Hinblick auf m_T ausgewertet. Näheres über die Auswertung findet man in [3].

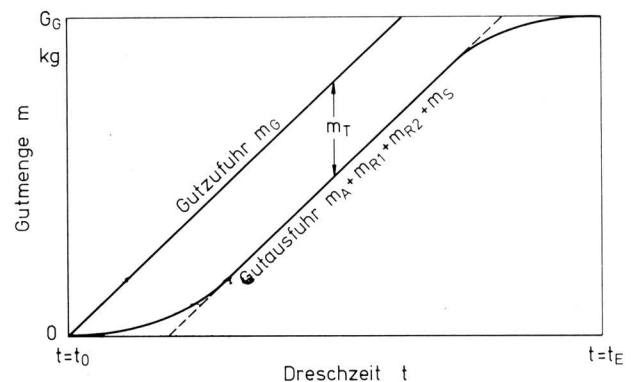


Bild 5. Zugeführte und abgeführte Gutmengen in Abhängigkeit von der Dreschzeit.

3. Beispiel

Die Ermittlung des Füllungsgrades soll anhand eines einfachen Beispiels verdeutlicht werden.

Da die entsprechenden Untersuchungen aus Zeitgründen nicht während der Erntesaison durchgeführt werden konnten, hatte das Dreschgut infolge längeren Lagerens einen besonders niedrigen Feuchtegehalt. Er lag bei 9 %. Da mit diesen Untersuchungen nur einige prinzipielle Zusammenhänge ermittelt werden sollten, spielte der besonders niedrige Feuchtegehalt keine Rolle.

Die verwendete Maissorte war Brillant. Die Dichte ρ_G betrug $0,37 \text{ kg/dm}^3$. Der Körnerdurchsatz lag bei $3,7 \text{ kg/s}$, die Trommeldrehzahl war 780 min^{-1} . Das maximal mögliche Volumen $V_{T\text{max}}$ des Dreschgutes im Dreschwerk betrug, wie oben erwähnt, 85 dm^3 .

Die Auswertungen nach dem Versuch ergaben folgende Werte: $\epsilon = 4,7$; $\rho_A = 0,74 \text{ kg/dm}^3$; $Y_{Am} = 39,2\%$; $m_T = 5,8 \text{ kg}$.

Mit diesen Daten läßt sich der Füllungsgrad des Dreschwerkes für den betreffenden Versuch nach Gl. (14) ermitteln:

$$\beta_T = 22,8\%$$

4. Einfluß der Trommeldrehzahl und des Körnerdurchsatzes auf den Füllungsgrad

Es wurde in einigen Versuchsreihen der Einfluß der Trommeldrehzahl und des Körnerdurchsatzes auf den Füllungsgrad ermittelt.

Bei einem Feuchtegehalt der Körner von etwa 9 % und einem mittleren Körnerdurchsatz von $1,3 \text{ kg/s}$ wurde bei einer relativ geringen Drehzahl von 200 min^{-1} ein Füllungsgrad von etwa 15 % ermittelt. Steigert man die Drehzahl auf etwa 600 min^{-1} , so fällt der Füllungsgrad auf etwa 8 bis 9 % ab. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Zufuhrschnecke des Dreschwerkzeuges eine schnellere Förderung des Gutes durch das Dreschorgan bewirkt, wenn die Trommeldrehzahl erhöht wird. Da die Zufuhrmenge konstant gehalten wird, wird die Gutmenge, die sich im Dreschorgan befindet, mit zunehmender Drehzahl geringer. Damit wird auch der Füllungsgrad kleiner. Die Abnahme des Füllungsgrades mit der Drehzahl ist nicht linear, sondern degressiv, da die Widerstände, die der Gutförderung entgegenwirken, mit steigender Gutgeschwindigkeit ansteigen.

Bild 6 zeigt die Abhängigkeit des Füllungsgrades vom Körnerdurchsatz. Der in diesem und auch im nächsten Bild angegebene Körnerdurchsatz wurde jeweils auf einen Feuchtegehalt von 14 % umgerechnet. Die entsprechenden Durchsätze bei der Untersuchung mit einer Feuchte von 9 % liegen also etwas niedriger.

Man erkennt, daß der Füllungsgrad in dem dargestellten Bereich linear mit dem Durchsatz ansteigt, d.h. die axiale Gutgeschwindigkeit ist in diesem Bereich unabhängig von der Durchsatzmenge. Dieser Zusammenhang war nicht so ohne weiteres zu erwarten. So hätte man bei kleineren Durchsatzmengen durchaus erwarten können, daß sich erst ein bestimmter Füllungsgrad im Dreschwerk aufbaut, bevor das Gut weitergefördert wird. Es ist anzunehmen, daß bei noch größerem Durchsatz der Kurvenverlauf degressiv wird, da durch den steigenden axialen Schub die Axialgeschwindigkeit größer wird und damit der Füllungsgrad nicht in gleichem Maße wie der Durchsatz ansteigt.

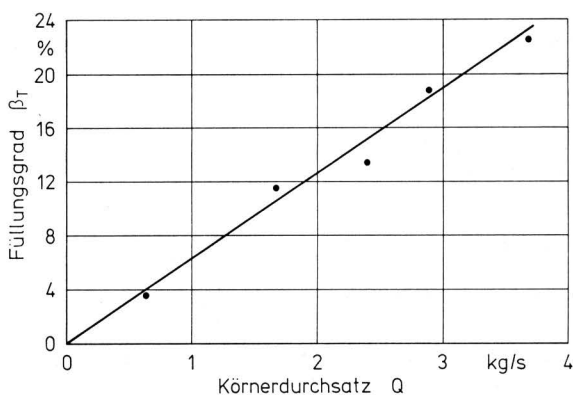


Bild 6. Füllungsgrad in Abhängigkeit vom Körnerdurchsatz (Kornfeuchte 9 %, Trommeldrehzahl 780 min^{-1}).

5. Einfluß des Füllungsgrads auf die Druschqualität

Die Versuche haben ergeben, daß der Füllungsgrad u.a. die Höhe der in Bild 4 angegebenen Kornabscheidungsverluste φ_{R1} und der Ausdruschverluste φ_{R2} beeinflusst.

Bild 7 zeigt für zwei unterschiedliche Werte für den Körnerdurchsatz die Abscheidungsfunktionen. Entsprechend Bild 6 verhält sich der Füllungsgrad wie der Körnerdurchsatz, d.h. bei einem Körnerdurchsatz von $3,68 \text{ kg/s}$ ist der Füllungsgrad mehr als 10mal so groß wie bei einem Durchsatz von $0,33 \text{ kg/s}$. Das hat, wie Bild 7 zeigt, Einfluß auf die Lage der Abscheidungsfunktionen. Man erkennt, daß die Kurve für den höheren Durchsatz weit über der mit dem geringeren Durchsatz liegt. Der Wendepunkt der Kurve, d.h. die Stelle maximaler Kornabscheidung wird mit abnehmendem Körnerdurchsatz, d.h. mit abnehmendem Füllungsgrad, in Richtung Korbende verschoben. Die Summe aus φ_{R1} und φ_{R2} ist bei dem größeren Füllungsgrad etwa 13 % und bei dem kleineren Wert etwa 38 %.

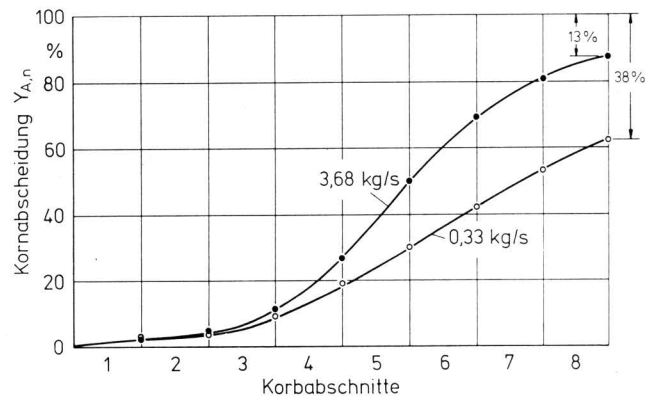


Bild 7. Abscheidungsfunktionen in Abhängigkeit vom Körnerdurchsatz (Kornfeuchte 23 %, Trommeldrehzahl 770 min^{-1}).

Der Grund hierfür ist darin zu sehen, daß durch eine Erhöhung des Füllungsgrades eine stärkere Reibung der Gutteilchen untereinander und zwischen dem Gut und dem Werkzeug auftreten. Dadurch wird einerseits die axiale Bewegung der losen Körner gehemmt, wodurch φ_{R1} verringert und der Ort der maximalen Abscheidung in Richtung Korbansatz verschoben wird, und andererseits eine intensivere Entkörnung ermöglicht, wodurch φ_{R2} verringert wird. Bei einer Vergrößerung des Füllungsgrades ist jedoch die Abnahme des Kornabscheidungsverlustes im allgemeinen viel größer als die des Ausdruschverlustes.

6. Zusammenfassung

Der in dieser Arbeit behandelte Themenkreis ist Teil einer umfangreicheren Forschungsarbeit, in der ein Axialdreschwerkzeug für Körnermais untersucht wurde. Eine gewisse Bedeutung hat hierbei der sogenannte Füllungsgrad des Werkzeuges. Es wurde eine Gleichung zur Bestimmung dieser Größe abgeleitet. Anhand einiger Versuchsergebnisse wurde der Einfluß der Trommeldrehzahl und des Körnerdurchsatzes auf den Füllungsgrad erläutert. Ferner wurde angedeutet, in welcher Weise der Füllungsgrad die Arbeitsqualität eines Axialdreschwerkzeuges beeinflussen kann.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● –: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland. Herausgegeben vom BML, Hamburg: Verlag P. Parey 1974.
- [2] Seitz, W.: Ein neues Druschsystem kommt aus Amerika. Landtechnik Bd. 32 (1977) Nr. 5, S. 213/16.
- [3] Lo, A.: Untersuchungen zum Druschverhalten von Körnermais in einem Axialdreschwerk. Dissertation (wird 1979 veröffentlicht).