

# Anwendung von Modellen bei Untersuchungen an Hordenschüttlern

Dipl.-Ing. G. Schneider, KDT/Dipl.-Ing. S. Zwiebel, KDT  
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

## 1. Schüttleruntersuchung und Modellierung

### 1.1. Vorbetrachtungen

Mit Hilfe von Untersuchungen am Hordenschüttler wird angestrebt, für die Konstruktions- und Betriebsparameter solche Wertebereiche zu bestimmen, in denen das beste Arbeitsergebnis erreicht wird. Mit der Durchführung von Untersuchungen stellt sich gleichzeitig die Aufgabe der Minimierung des Aufwands bei vorgegebenem Umfang der Ergebnisse. Ein Weg zur Lösung dieser Aufgabe besteht in der Verbindung von experimentell und theoretisch gewonnenen Erkenntnissen. Dieser Weg beruht auf der Ausnutzung der jeweiligen Spezifika von Theorie und Experiment. Das sind z. B. bei experimentellen Untersuchungen die engere Verbindung mit der Praxis und bei theoretischen Untersuchungen u. a. die Möglichkeit der logischen Deutung der Ergebnisse und der geringere Aufwand an leistungsfähiger und vergegenständlichter Arbeit.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden als Modelle behandelt. Darunter werden hier ideelle Abbildungen bestimmter ausgewählter Eigenschaften des Originalsystems verstanden, mit deren Hilfe Eigenschaften des Originals besser untersucht und aufgeklärt werden können [1].

Durch die Bearbeitung umfangreicher theoretischer Zusammenhänge, die in mathematischer Form vorliegen, auf Großrechnern ist eine Verringerung des experimentellen Aufwands erreichbar. Damit steigt die Bedeutung mathematischer Modelle.

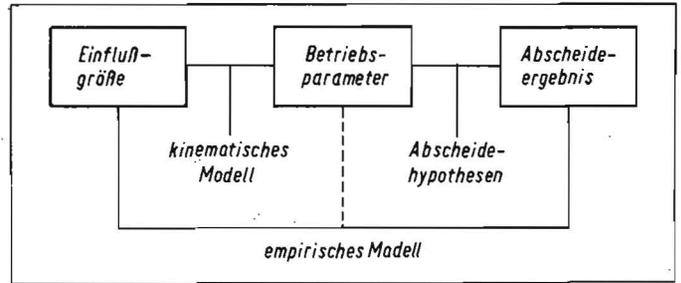
In der Literatur gibt es gegenwärtig Darstellungen von Schüttleruntersuchungen, die den Einfluß von Änderungen vor allem der Betriebs- und Konstruktionsparameter auf das Arbeitsergebnis zum Inhalt haben. Diese Darstellungen sind zu verschiedener Zeit und unter unterschiedlicher Zielstellung entstanden. Mit jeder einzelnen Darstellung ist man nur unvollkommen in der Lage, die die Schüttlerarbeit hauptsächlich bestimmenden Prozesse richtig widerzuspiegeln. Ein Weg zur vervollkommenen Widerspiegelung der real ablaufenden Prozesse besteht in der Kombination von Einzelmodellen, die verschiedene Seiten des Objekts betonen. Im folgenden werden die Möglichkeiten einer solchen Weiterentwicklung sowie die Anwendung von mathematischen Modellen betrachtet.

### 1.2. Einfluß- und Bewertungsgrößen der Arbeit des Hordenschüttlers

Die Einflußgrößen bestimmen die Qualität und Quantität des Ergebnisses der Schüttlerarbeit. Dargestellt wird dieses durch seine Bewertungsgrößen.

Die Einflußgrößen werden in Konstruktions- und Gutparameter eingeteilt. Zu den Konstruktionsparametern gehören bei einem konstruktiv ausgeführten Schüttler einerseits nicht veränderbare Größen, wie z. B. die Gesamtlänge des Schüttlers, seine Abscheidefläche, der Anstellwinkel des gesamten Schüttlers, die Gestaltung der Oberfläche und der Radius der

Bild 1  
Zusammenhang zwischen Einflußgrößen und Abscheideergebnis



Kurbelwelle. Andererseits gibt es einstellbare Parameter, wie die Kurbelwellendrehzahl.

Eine große Bedeutung kommt den Gutparametern zu. Einige der wichtigsten sind die Getreideart und -sorte, das Korn-Stroh-Verhältnis, die Korn- und Strohfeuchte, die Längenverteilung des Strohs. Durch Untersuchungen am Schüttler wird der Einfluß, den eine Änderung dieser Einflußgrößen auf die Höhe der Bewertungsgrößen ausübt, ermittelt. Diese Höhe ist entscheidend für die Bewertung des Arbeitsergebnisses. Damit die richtigen Schwerpunkte dabei von vornherein berücksichtigt werden, müssen die Bewertungsgrößen aus den Anforderungen an die Schüttlerarbeit abgeleitet werden. Das ist einerseits die Forderung zur Einhaltung festgelegter Schüttlerkornverluste und andererseits die Forderung zur Übergabe von Gut bestimmter Zusammensetzung an die Reinigungseinrichtung. Die erste Forderung soll durch die Höhe des Kornverlustes am Schüttler, die zweite Forderung durch den Reinheitsgrad des abgeschiedenen Gemisches ausgedrückt werden. Um einen tieferen Einblick in den Prozeß der Kornabscheidung zu erhalten, wird neben diesen beiden als Kennziffern angegebenen Werten meist noch die Abscheidefunktion bestimmt. Diese stellt den Verlauf der Abscheidung über der Schüttlerlänge dar. Allgemein kann man diese Bewertungsgrößen unter dem Begriff Abscheideergebnis zusammenfassen.

### 1.3. Modellierung

Im Bild 1 werden Zusammenhänge zwischen den im Abschn. 1.2. erläuterten Einflußgrößen und deren Abscheideergebnis dargestellt. Dabei sind unter Betriebsparametern solche Parameter zu verstehen, die zwar das Abscheideergebnis unmittelbar beeinflussen, aber selbst nur mittelbar variiert werden können. Sie werden von den Einflußgrößen bestimmt und stellen sich im Betrieb des Schüttlers ein. Das sind z. B. solche Parameter des Gutes auf dem Schüttler, wie dessen zurückgelegter Weg, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung in verschiedenen Richtungen oder die Schichthöhe und die Verweilzeit. Durch ihre Stellung — als Mittler zwischen den Einflußgrößen und dem Abscheideergebnis und damit den Prozeß selbst beschreibend — sind sie von großer Bedeutung für die Modelle am Hordenschüttler. Das Ziel der modellhaften Darstellung der Zusammenhänge am Hordenschüttler besteht darin, durch theoretische Betrachtungen — also mit geringstmöglichem Aufwand — den Einfluß der Veränderung einer Einflußgröße

auf das Abscheideergebnis erwägen zu können. Damit wäre es z. B. möglich, notwendige konstruktive Veränderungen zur Leistungssteigerung des Mähreschers zu ermitteln.

Die praktische Bedeutung von Modellen besteht also darin, daß deren Studium Informationen über das Objekt zu vermitteln vermag, die an diesem selbst nicht oder wesentlich aufwendiger zu gewinnen sind.

Für das zu lösende Problem der Abscheidung am Hordenschüttler wurden Modelle aufgestellt, die aus theoretischen Betrachtungen zu den kinematischen Verhältnissen (kinematisches Modell) und aus experimentellen Untersuchungen (empirisches Modell) hervorgegangen sind. Beide liegen in Form mathematischer Gleichungen vor. In verbaler Form sind Hypothesen gegeben, die aufgrund logischer Überlegungen zum Prozeß Zusammenhänge von Einflußgrößen zum Abscheideergebnis herstellen.

Damit sind verschiedene, unabhängig voneinander entstandene eigenständige Beschreibungen ausgewählter Beziehungen zwischen äußeren Größen gegeben. So wie es im Bild 1 gezeigt wird, stellen diese ein Bindeglied zwischen den Konstruktions- und Gutparametern, den Betriebsparametern und dem Abscheideergebnis dar. Mit dieser Art der Darstellung würde aus mehreren Modellen, die verschiedene Seiten des Objekts betonen, ein umfassenderes, mehrere Verhaltensweisen eines Objekts berücksichtigendes Modell ermöglicht. Der Bereich der praktischen Anwendung könnte bedeutend erweitert werden. Im Abschn. 2 wird geprüft, inwieweit die Bildung und Nutzung eines solchen komplexen Modells am Hordenschüttler gegenwärtig möglich ist.

## 2. Modelle am Hordenschüttler

### 2.1. Kinematisches Modell

Dieses Modell stellt eine naturwissenschaftlich begründete, theoretisch-analytische Abbildung des Originals dar. Um den Prozeß auf dem Schüttler dafür zugänglich zu machen, müssen bestimmte Vereinfachungen getroffen werden. Im weiteren wird das bisher am umfassendsten von Letošnev [2] ausgearbeitete Modell in seinen Grundzügen dargelegt. In diesem Modell wird von folgenden Vereinfachungen ausgegangen:

- Das Gut wird als Punktmasse behandelt, seine Elastizität bleibt unberücksichtigt.
- Ein Verschieben entlang der Hordenoberfläche ist nicht möglich.
- Der Einfluß von Umweltbedingungen (be-

sonders des Luftwiderstands) wird vernachlässigt.

Da es sich hier nur um eine prinzipielle Darstellung des Inhalts des mathematischen Modells handelt, wurde für die folgende Beschreibung die am leichtesten mathematisch erfassbare Konstruktion eines Doppelkurbelwellenschüttlers mit einer Horde gewählt.

Zuerst werden die an einer Einzelmasse wirkenden Schwer- und Massenkräfte und die sich daraus für diese Masse ergebenden Bewegungen betrachtet (Bild 2). Die Punktmasse verbleibt dabei solange auf der Horde, bis die Normalkraft (senkrecht in Richtung der Hordenoberfläche wirkend) Null wird (Ablösebedingung), bewegt sich dann mit der Umfangsgeschwindigkeit der Horde weiter auf einer Wurfparabel und trifft auf der gleichen Horde wieder auf. Dabei ist auch der Winkel, unter dem die Masse abgeworfen wird, bestimmend für die Höhe und Weite des Wurfs. Damit sind die Verläufe der vertikalen und horizontalen Wege und Geschwindigkeiten, die die Masse erfährt, darstellbar. Weiterhin wird die mittlere Fortbewegungsgeschwindigkeit des Gutes ermittelt, aus der sich unter Einbeziehung der Schüttlerlänge und der Drehzahl der Kurbelwelle die Verweilzeit des Gutes auf dem Schüttler und die Anzahl der Strohschüttlungen ergeben. Die Auftreffkräfte des Gutes auf die Horde werden mit Hilfe der Komponenten ihrer Geschwindigkeiten, der Gutmasse und der Auftreffzeit nach dem dynamischen Grundgesetz berechnet.

### 2.2. Empirische Modelle

Unter empirischen Modellen sind mathematische Formulierungen zu verstehen, die einen rein quantitativen Zusammenhang zwischen den Einflußgrößen und dem Abscheideergebnis widerspiegeln. Sie können z. B. als Körnerrestfunktion über der Länge des Schüttlers bei konstanten anderen Einflußgrößen (Bild 3) oder auch als Verlustkennlinie bei anderen Einflußgrößen dargestellt werden. Von der Mehrzahl der Autoren wurde als Körnerrestfunktion am Schüttler eine Exponentialfunktion verwendet. Letošnev [2] fand z. B. die Gleichung:

$$V_k = A_k e^{-\alpha l}, \quad (1)$$

- $\alpha$  Koeffizient
- $V_k$  Kornverlust
- $A_k$  Körnerrest, Kornanteil
- $l$  Schüttlerlänge.

Der Koeffizient  $\alpha$  wird von anderen Autoren näher untersucht. Diese in Experimenten gefundenen Zusammenhänge sind quantitativ nur

für bestimmte äußere Bedingungen anwendbar, die durch Koeffizienten gekennzeichnet werden.

### 2.3. Abscheidehypothesen

Die Abscheidehypothesen stellen sich als verbale Zusammenhänge zwischen den im Abschn. 1.3. erläuterten Betriebsparametern und dem Abscheideergebnis dar. Sie werden mit logischen Überlegungen begründet. Einige der wichtigsten Hypothesen seien kurz aufgeführt. Um die beste Entmischung zu gewährleisten, müssen folgende Faktoren Höchstwerte annehmen [3]:

- Anzahl der je Zeiteinheit auf das gesamte Haufwerk einwirkenden Impulse
- je Impuls im Haufwerk der Erdbeschleunigung entgegengerichtete Beschleunigung
- Auflockerung des Gutes.

In der Literatur gibt es eine Reihe weiterer Hypothesen, die z. B. auch den Einfluß von Schichtdicke und Verweilzeit oder der Bewegungsverhältnisse im zu bearbeitenden Gut auf das Abscheideergebnis zum Inhalt haben.

### 2.4. Betrachtungen zu einem komplexen Modell

Im Bild 4 wird der Stand der Verknüpfung der Einfluß- und Bewertungsgrößen zusammengestellt. Hierbei wird für ein komplexes Modell eine Reihe von noch zu lösenden Aufgaben deutlich. Zum ersten ist das die Anzahl der in den verknüpfenden Elementen berücksichtigten Einfluß- und Bewertungsgrößen. So sind z. B. Aussagen über den Einfluß der Gestaltung der Hordenoberfläche nur in sehr geringem Maß vorhanden. Die Bewertungsgröße Reinheitsgrad des abgeschiedenen Gemisches fehlt völlig. Die berücksichtigten Betriebsparameter sind meist nach der Möglichkeit ihrer Ermittlung im Experiment oder in theoretischen Untersuchungen und nicht nach der Größe ihres Einflusses auf das Abscheideergebnis erfaßt worden. Eine andere Ursache mangelhafter Aussagefähigkeit liegt in den verknüpfenden Elementen selbst begründet. Das betrifft vor allem die Abscheidehypothesen und das empirische Modell. Da die Abscheidehypothesen noch in keiner mathematischen Form vorliegen, kann der Zusammenhang zwischen den mittelbaren Parametern und dem Abscheideergebnis lediglich tendenzmäßig festgestellt werden. Diese Hypothesen sind, um den Anforderungen eines komplexen Modells zu genügen, weiterzuentwickeln. In der gegenwärtig vorliegenden Form sind sie wenig nutzbar. Das empirische Modell ist mit Einschränkungen für

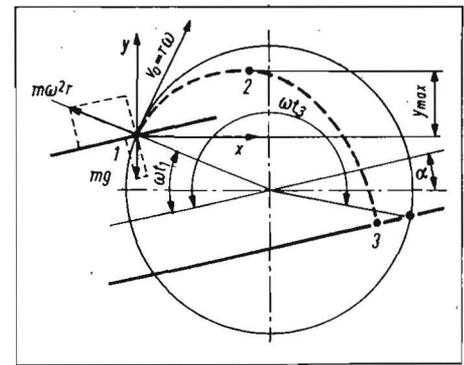


Bild 2. Kinematik der Elementarmasse auf einer Schüttlerhorde; 1 Abwurfpunkt, 2 Scheitelpunkt der Flugbahn, 3 Auftreffpunkt; r Radius,  $\alpha$  Neigungswinkel,  $v_0$  Anfangsgeschwindigkeit,  $\omega$  Kreisfrequenz, m Masse des bewegten Gutes, g Erdbeschleunigung,  $t_1$  Abwurfzeitpunkt,  $t_2$  Auftreffzeitpunkt

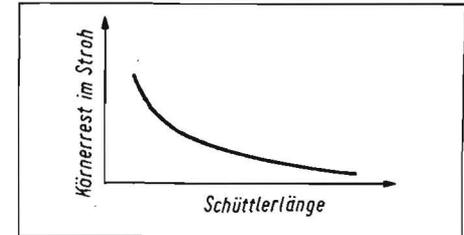


Bild 3. Prinzipieller Verlauf einer Körnerrestfunktion am Hordenschüttler

eine Abschätzung des Abscheideergebnisses geeignet. Da hier einfache Transformationsbeziehungen Einflußgröße — Bewertungsgröße in der Art „black box“ angewendet werden, die den Prozeß der Abscheidung selbst nicht berücksichtigen, sind bei der Anwendung unter anderen Bedingungen Unsicherheiten und Fehler möglich. Die Anforderungen eines komplexen Modells an die verknüpfenden Modelle hinsichtlich Genauigkeit der Widerspiegelung auch bei veränderten Bedingungen, Umfang und Erweiterbarkeit sowie Handhabbarkeit erfüllt das kinematische Modell am besten. Die Gründe dafür liegen in seinen physikalisch-naturwissenschaftlichen, auf dem Prozeß beruhenden Grundlagen und seiner durchgehenden mathematischen Darstellung. Mit Hilfe der EDV wird dieses Modell handhabbar. Mängel bestehen weniger in der Genauigkeit der Verknüpfung, sondern mehr in

Bild 4. Stand der Verknüpfung der Einfluß- und Bewertungsgrößen

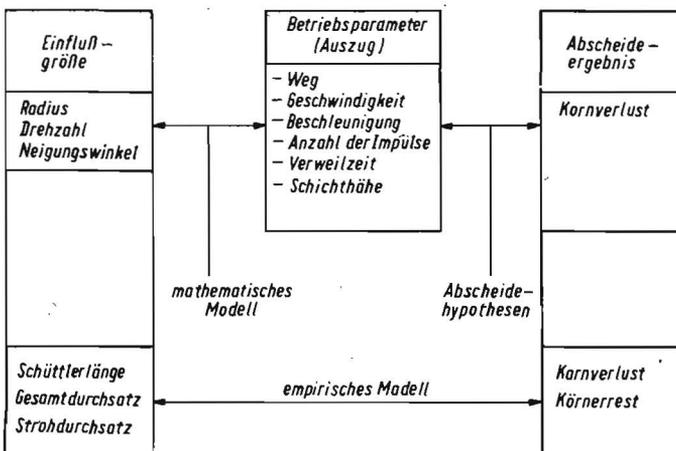
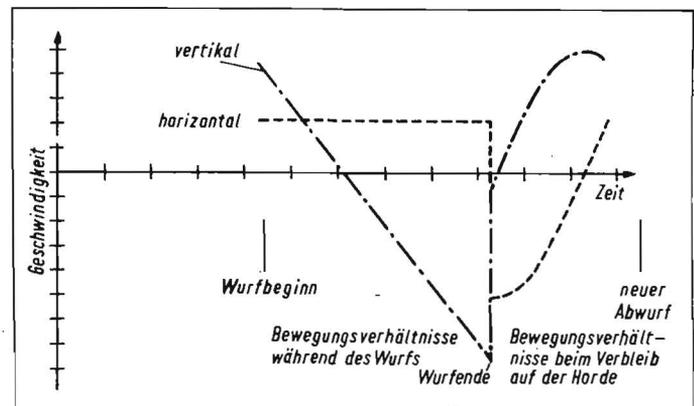


Bild 5. Verlauf der horizontalen und vertikalen Geschwindigkeitskomponenten des Gutes während einer Periode (Radius 60 mm, Drehzahl 160 U/min, Neigungswinkel 10°)



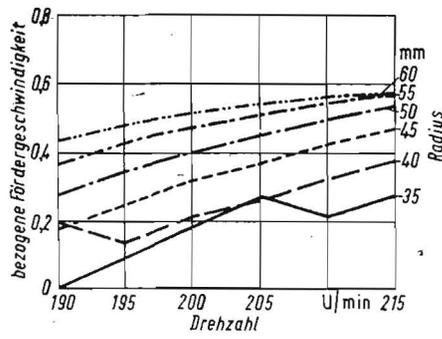


Bild 6. Abhängigkeit der theoretischen Fördergeschwindigkeit von der Drehzahl bei verschiedenen Radien

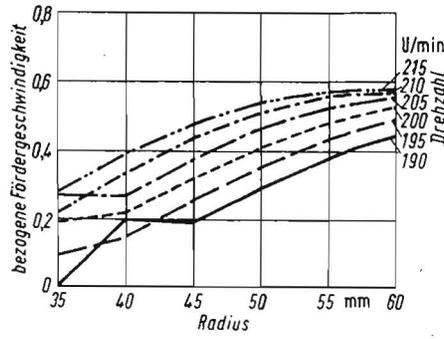


Bild 7. Abhängigkeit der theoretischen Fördergeschwindigkeit vom Radius bei verschiedenen Drehzahlen

ihrem Umfang. Das ist durch die getroffenen Voraussetzungen und die begrenzte Anzahl der berücksichtigten Einflußgrößen bedingt. Mit einem Aufwand zur Erkundung und Einführung neuer Gesetzmäßigkeiten in das Modell, dessen Höhe sich nach der zu lösenden Aufgabe richtet, kann das kinematische Modell relativ einfach erweitert werden. Ein solches Modell erfüllt die Erfordernisse eines komplexen Modells. Werden die empirischen Modelle und die Abscheidehypothesen auf dieses Niveau gebracht, ist die Aufgabe der Schaffung eines komplexen Modells lösbar.

Im weiteren sollen einige Vorstellungen für die Arbeit mit einem komplexen Modell vermittelt werden. Da sich die Form des Gesamtmodells aus der der Einzelmodelle ergibt, diese wiederum auf dem Niveau des kinematischen Modells stehen werden, wird dessen Anwendung zur Erfüllung obigen Anliegens herangezogen. Dabei ist die Anwendung des kinematischen Modells auch in dieser Phase nicht Selbstzweck, sondern dient der Unterstützung experimenteller Untersuchungen.

### 3. Anwendung des kinematischen Modells

Für die folgenden Ausführungen wurde das im Abschn. 2.1. erläuterte Modell zugrunde gelegt. Um Vorstellungen von der Arbeitsweise mit einem komplexen Modell zu vermitteln, ist dieses einfache Modell geeignet, da es in seinen Grundzügen bereits das geforderte Niveau in sich trägt.

Aufgrund des hohen Rechenaufwands werden die Zusammenhänge zwischen den Einflußgrößen und den Betriebsparametern zweckmäßigerweise mit Hilfe einer EDVA ermittelt. Dazu wurde ein geeignetes Programm erstellt, bei dem durch unkomplizierte Eingabe der Änderungen variabler Parameter eine mög-

lichst einfache Anwendbarkeit gewährleistet ist. Die Ergebnisse werden in Form von Diagrammen mit Hilfe eines vorhandenen Zeichenprogramms durch die EDVA selbst ausgegeben. Damit wird der manuelle Aufwand auf ein Minimum beschränkt.

In den Diagrammen können einerseits die Bewegungsverhältnisse (Weg, Geschwindigkeit) des Gutes auf der Horde über der Zeit dargestellt werden. Dafür wird für jede unterschiedliche Parameterkombination der Einflußgrößen, wie Drehzahl, Radius und Neigungswinkel, ein Diagramm erstellt (Bild 5). Mit diesen Diagrammen wird der unmittelbare Prozeß auf dem Schüttler näher betrachtet. Unstetigkeitsstellen, Sprungstellen, die z. B. aus dem Übergang von einer Wurfart zur anderen resultieren, können erkannt werden. Über die allgemeine Kenntnis der Bedingungen für das Auftreten und die Lage dieser Stellen, die auch im realen Prozeß auftreten und diesen beeinflussen, ergeben sich Schlußfolgerungen für die Planung, vor allem aber für die Auswertung experimenteller Untersuchungen.

Zum zweiten können in verschiedenen Diagrammen die Verläufe von Betriebsparametern, wie z. B. Fördergeschwindigkeit und Anzahl der Impulse je Zeiteinheit, in Abhängigkeit von den Einflußgrößen Drehzahl, Radius und Neigungswinkel dargestellt werden (Bilder 6 und 7). In diesen Darstellungen wird das Verhalten der Betriebsparameter besonders deutlich.

Aus diesen Diagrammen können für die Planung und Auswertung der Versuche wichtige Informationen, z. B. Funktionstyp, Vorhandensein und Lage globaler und lokaler Extrema u. ä., mit einer bestimmten Sicherheit für den realen Prozeß abgeleitet werden. Je mehr Informationen über den Prozeß vorhanden sind,

um so genauer und umfangreicher sind die Ergebnisse bzw. um so geringer ist der Versuchsaufwand bei vorgegebenen Werten für Genauigkeit und Umfang der Ergebnisse. Über die Nutzung dieses mathematischen Modells ergeben sich also bereits Möglichkeiten zur Senkung des experimentellen Aufwands.

### 4. Zusammenfassung

Eine Möglichkeit der Senkung des Aufwands bei Untersuchungen an Hordenschüttlern besteht in der Erhöhung des Anteils theoretischer Betrachtungen, wie sie aus der Literatur bekannt sind, gegenüber dem Anteil aufwendiger experimenteller Untersuchungen. Theoretisch wird die Möglichkeit untersucht, bereits bekannte Untersuchungen mit dem Ziel der Schaffung eines Modells besserer Anwendbarkeit, auch unter unterschiedlichen Bedingungen, zusammenzufassen.

Die Einflußgrößen werden in Konstruktions-, Gut- sowie Betriebsparameter eingeteilt, die Bewertungsgrößen werden aus den Anforderungen an die Schüttlerarbeit abgeleitet. Vorliegende Aussagen aus der Literatur stellen sich in der Form von kinematischen und empirischen Modellen sowie Abscheidehypothesen dar. Nach einer kurzen Charakterisierung wird die prinzipielle Lösung ihrer Verknüpfung vorgestellt. Aus der Einschätzung des gegenwärtigen Standes der Verknüpfbarkeit leiten sich noch zu lösende Aufgaben ab. Die Hauptaufgaben sind im niedrigen Niveau der empirischen Modelle und besonders der Abscheidehypothesen sowie in der ungenügenden Berücksichtigung wichtiger Einflußgrößen begründet.

Um eine Vorstellung von der Arbeitsweise mit dem angestrebten durchgehenden Modell zu vermitteln, werden Untersuchungen mit dem kinematischen Modell angeführt. Dazu wird der Einfluß ausgewählter Konstruktionsparameter auf die Größe eines Betriebsparameters beschrieben.

### Literatur

- [1] Gruhn, G., u. a.: Systemverfahrenstechnik I. Leipzig: VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1976.
- [2] Letošnev, M. N.: Sel'skokochozjajstvennyje mašiny (Landmaschinen). Moskva: Sel'choziz 1955.
- [3] Baader, W.; Sonnenberg, H.; Peters, H.: Die Entmischung eines Korngut-Fasergut-Haufwerkes auf einer vertikal schwingenden, horizontalen Unterlage. Grundlagen der Landtechnik (1969) Band 19, S. 149—157.

A 3355

## KATALOG

über die lieferbare und in Kürze erscheinende Literatur des VEB VERLAG TECHNIK kostenlos erhältlich durch jede Fachbuchhandlung oder direkt durch den Verlag, Abteilung Absatz – Werbung