

licher Winterniederschläge auftritt, die dann nicht in den Untergrund absiekern können. Ein Ausweg wird in teilweise offenen Zwischenräumen der sonst geschlossenen Bahnen gesehen. Ob diese Zwischenräume quer zur Längsbahn oder in Längsrichtung angelegt werden müssen, sollen nähere Untersuchungen zeigen. Auf Grund der erhöhten Produktionserträge glaubt der Autor, daß sich für niederländische Verhältnisse völlig neue Betriebs- und Wirtschaftsformen herausbilden könnten.

Beide Maschinen wurden von Wissenschaftlern der Michigan State University entwickelt und im Zusammenhang mit mehreren Industrieunternehmen erprobt und danach industriell in Serie hergestellt. Sie sind in verbreitetem Maße in den USA eingeführt.

Im Bericht wird weiterhin auf beteiligte Wissenschaftler und Werke sowie auf Patentverhandlungen für niederländische Nachnutzung hingewiesen.

A 7162

Zu einigen Fragen der Verringerung des Reibwertes an der Wirkpaarung: feste Unterlage — Futtermittel

Dipl.-Ing. D. RÖSSEL*

1. Problematik der Reibung in der Landmaschinentechnik

In vielen Landmaschinen spielt der Reibwert zwischen Gut und bearbeitendem Maschinenelement eine entscheidende Rolle. Die Größe des notwendigen Reibwertes hängt von der zu erfüllenden Funktion ab.

So ist zur Förderung in Schnecken ein Reibwert zwischen Schneckenmantel und Gut für die Gewährleistung der Funktion Voraussetzung. Anders sieht es an der Wirkpaarung Schnecke — Gut aus. Dort wird ein kleiner Reibwert angestrebt, um den Energieverbrauch des Gerätes gering zu halten.

Nachteilig wirkt sich stets ein hoher Reibwert beim Abkippen der Güter von festen Unterlagen, beim Ausfließen aus Behältern, beim Transport durch die Schwerkraft, beim Mischen von Saftfuttermitteln usw. aus. Infolgedessen ist eine Reihe technologischer Prozesse z. Z. noch nicht vollständig mechanisier- oder automatisierbar, weil ein ordnungsgemäßer Arbeitsablauf stets Bedienungspersonen erfordert.

Schwierigkeiten ergeben sich aus den dargelegten Gründen gleichfalls für den Konstrukteur von Anlagen und Geräten. So besteht eine besondere Schwierigkeit bei der Auslegung von Maschinen zur Bearbeitung von Gütern mit einem hohen Reibungskoeffizienten, da dieser auch noch in weiten Grenzen schwankt.

2. Theorien der Reibung

2.1. Reibgesetze

Bevor auf einzelne Reibwerte, wie sie in Tafel 1 dargestellt sind, eingegangen wird, soll zunächst das Wesen der Reibung betrachtet werden. Zur Erläuterung des Reibmechanismus sei in diesem Zusammenhang an die beiden bekannten klassischen Reibgesetze für die Reibung metallischer Körper erinnert, die folgendes aussagen:

Die Reibung ist unabhängig von der Ausdehnung der beteiligten Oberflächen; die Reibung ändert sich proportional mit der Last.

2.2. Erläuterung der Reibgesetze

2.2.1. Wirkliche Kontaktfläche

Die Kontaktzone ändert sich mit der Belastung und ist dabei von der Größe der Gesamtoberfläche fast unabhängig,

sowie durch die Form und Rauigkeit kaum beeinflussbar. Der örtliche Druck an den Berührungspunkten ist deshalb auch bei geringer Belastung sehr hoch und bewirkt selbst bei sehr harten Stoffen ein plastisches Fließen, obgleich in der Umgebung solcher Punkte auch elastische Verformungen eintreten.

In Bild 1 ist das Verhalten sich berührender Körper dargestellt. Die Berührungsfläche wird durch plastisches Fließen soweit vergrößert, daß sie die Normalbelastung trägt.

Daraus folgt:

$$A = \frac{N}{p_m} \quad (1)$$

Darin bedeutet:

p_m Fließgrenze des Materials

2.2.2. Adhäsionsmechanismus

Es ist wahrscheinlich, daß die Reibung bei Metallen im wesentlichen durch die Adhäsion an der Kontaktzone erzeugt wird und die Kraft darstellt, die erforderlich ist, um die Berührungsstelle abzuscheren [1]. Somit ist dann die Reibung näherungsweise

$$R = A \cdot s \quad (2)$$

Darin bedeutet:

s Schubfestigkeit der Berührungsstelle

Da A unabhängig von der Größe der Oberfläche ist, muß dies dann gleichfalls für R zutreffen. Ferner ist A proportional der Last N . Somit gilt dies gleichfalls für R .

Aus diesen Tatsachen folgt:

$$\mu = \frac{R}{N} \quad (3)$$

Nach obiger Betrachtung ist somit μ konstant.

Wie sieht das Problem nun bei nichtmetallischen Werkstoffen z. B. Plastikstoffen aus?

Hier gilt ebenfalls, daß die Reibung R von der wahren Kontaktzone A und der Schubfestigkeit s der Berührungsfläche abhängt.

Wie in Gl. (1) gezeigt wird, ist bei Metallen $A \sim N$.

Anders ist es bei Plastikstoffen.

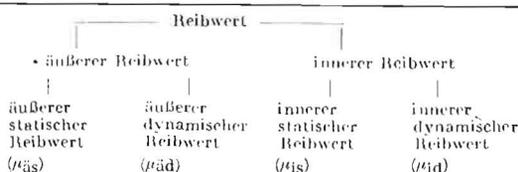
$$A \sim N^n, \quad (4)$$

wobei $n < 1$ ist.

Die Deformation wird außerdem durch die Oberflächengehalt und die Belastungsdauer beeinflusst, so daß hier bei geringeren Belastungen höhere Reibwerte auftreten.

* Institut für Landtechnik der Universität Rostock (Komm. Direktor: Dr. habil G. MÄTZOLD)

Tafel 1. Klassifikationschema der Reibung



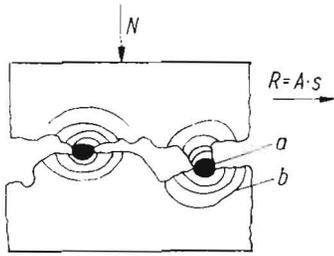


Bild 1. Reibmechanismus; *a* plastische Verformung, *b* elastische Verformung, *A* wahre Kontaktzone, *N* Last

Nach der Plastizitätstheorie sind nun *s* (mittlere Scherspannung) und *p* (mittlerer Fließdruck) keine unabhängigen Größen und müssen daher für diese Körper im Wechselspiel betrachtet werden.

Treten neben den betrachteten spezifischen Adhäsionskräften der Stoffe noch Adhäsionskräfte anderen Ursprungs auf, so kann der Reibwert zwischen einer Masse *m* und einer unter dem Winkel φ gegenüber der Waagerechten geneigten Unterlage, durch folgende Formel angegeben werden:

$$m \cdot g \cdot \sin \varphi = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \varphi + H \quad (5)$$

Hierin ist:

H Haftkraft zwischen Gut und Unterlage

Die Geraden für φ gehen in diesem Fall nicht mehr durch den Koordinatenursprungspunkt [2].

Führt man die Proportionalitätskonstante *h* (Haftspannung) ein, so ergibt sich:

$$H = h \cdot \frac{F}{d} \quad (6)$$

Darin bedeuten:

- h* = *f* (Unterlage, Material)
- d* Durchmesser der Teilchen
- F* Flächeneinheit

Gleichung 5 läßt sich auch in folgender Form darstellen:

$$R = \mu(N + \varrho_0 \cdot A) \quad (7)$$

Mit $r = R/A$ und $\varrho = N/A$ folgt daraus:

$$r = \mu(\varrho + \varrho_0) \quad (8)$$

ϱ_0 Materialkonstante, die nur von der Oberflächenbeschaffenheit abhängt und für die spezifische Adhäsion ausschlaggebend ist.

3. Einflußfaktoren für die Reibung

Eine große Anzahl von Futtermitteln in der Landwirtschaft sind weder Newtonsche Flüssigkeiten, noch Hookesche Körper. Daher gilt auch das Coulombsche Reibungsgesetz $R = \varphi \cdot N$ nicht. So wird der Reibwert von landwirtschaftlichen Gütern zusätzlich von der Temperatur, der Feuchtigkeit, der Größe und Form der Oberfläche, der Textur und Struktur des Materials bestimmt. Wie bekannt, unterscheiden wir in bezug auf das Reibverhalten bei vielen landwirtschaftlichen Gütern Verdichtungs-, Reib-, Adhäsions- und Schmierphasen. Den Haupteinfluß für die Veränderung des Reibwertes bildet eindeutig die Adhäsion.

Es macht sich aus diesem Grunde erforderlich, einige Betrachtungen zu diesem Problem anzustellen.

Maßgebend für die Adhäsion sind:

- Oberflächenspannungen
- chemische Bindungen
- van der Waal'sche Kräfte
- Wasserstoff-Brückenbindungen
- elektrostatische Aufladungen

Die Adhäsionskraft für die Wirkpaarung feste Unterlage — Futtermittel wird außerdem von einer Reihe von primären und sekundären Einflußgrößen bestimmt. Einige gut veränderbare Einflußfaktoren seien hier genannt:

- Feuchtigkeit
- Temperatur
- Oberflächenform und -gestalt
- Be- und Entlastungsart
- Belastungsgröße
- Umgebungsdruck usw.

4. Maßnahmen zur Verringerung der Reibung

Es ergibt sich nun die Frage, welche Einflußfaktoren können gezielt verändert werden, um den Reibwert zu beeinflussen. Im weiteren werden nur Maßnahmen angeführt, die das Ziel haben, die Oberflächenspannung und die Kohäsion der adsorbierten Schicht zu verändern, um geringere Haftkräfte und damit verringerte Reibkräfte zu erzielen.

Gleichfalls ist darauf hinzuweisen, daß für die spezifische Größe des horizontalen Reibwertes und der vertikalen Adhäsion die Grenzflächenspannung in entscheidendem Maße ausschlaggebend ist.

Nach WOLF [3] durchläuft die Adhäsionsarbeit mit abnehmender Flüssigkeitsoberflächenspannung zunächst ein Maximum und nimmt dann aber monoton ab. Die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit kann verändert werden durch:

- Herstellen einer Lösung, Emulsion oder Suspension
- Anlegen einer Spannung
- Erhöhen der inneren Energie durch Temperaturerhöhung
- Druckerniedrigung der Umgebung usw.

Diese Maßnahmen zur Verringerung der Adhäsion durch veränderte Oberflächenspannung können ergänzt werden durch Methoden zur Feuchtigkeitsänderung in der Kontaktzone.

Solche Maßnahmen sind:

- Elektroosmose
- Thermoosmose
- Aufspritzen von Wasser auf die feste Unterlage.

Neben den genannten Mitteln wird die Grenzflächenspannung und somit der Reibwert durch die Wahl des Werkstoffes der festen Unterlage verändert.

Die Vielzahl der Möglichkeiten der Beeinflussungen des Reibwertes ist einerseits gut, erschwert aber auch die richtige Größenwahl der Parameter. So führt die Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes nur dann zur Verringerung der Adhäsionskraft, wenn schon alle möglichen Adhäsionswasserbrücken gebildet sind und infolge des zusätzlichen Wassers die Adhäsionsbrücken zerstört werden. Führt die Zunahme der Feuchtigkeit dagegen zur Bildung von neuen Adhäsionsbrücken, so wird die Haftkraft erhöht.

Schon dieses einzige Beispiel zeigt, wie schwierig das Problem der Reibwertverringering unter praktischen Bedingungen sein wird.

5. Versuche zur Verringerung der Reibung

5.1. Untersuchte Einflußfaktoren

In verschiedenen Versuchen wurden folgende Parameter geändert und deren Auswirkungen bestimmt:

Tafel 2. Abhängigkeit des Reibwinkels von der Oberflächenspannung; verwendetes Gut: frisch gedämpfte, zerkleinerte Kartoffeln mit 80,5% Feuchtigkeit und 18,3% Stärkegehalt

Material	Rauhtiefe μm	Oberflächenenergie erg/cm^2	Reibwinkel α
Tiefziehblech	10,3	2050	40°
PVC-hart	5,0	990	30°

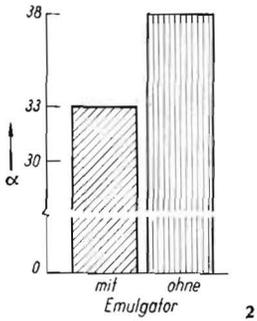


Bild 2
Einfluß eines Emulgators (Fit) auf den Reibwinkel; $\alpha_{St} = f(\text{Emulgator})$; Feuchtigkeit des Gutes 80,2%, Winkelgeschwindigkeit 3,65 s⁻¹, Stärkegehalt der Kartoffeln 18,3%, Temperatur der Kartoffeln 18 °C

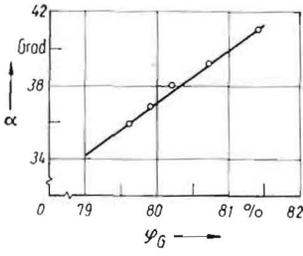


Bild 3
Reibwinkel in Abhängigkeit der Feuchtigkeit, $\alpha_{St} = f(\varphi_G)$; Stärkegehalt 18,3%, Werkstoff der Unterlage Al, Winkelgeschwindigkeit 5,2 s⁻¹, Temperatur der Kartoffeln 18 °C

Bild 4
Lösewinkel in Abhängigkeit von der Lösungsgeschwindigkeit; Feuchtigkeit des Gutes 78,0%, Stärkegehalt der Kartoffeln 18,8%, Temperatur der Kartoffeln ≈ 30 °C

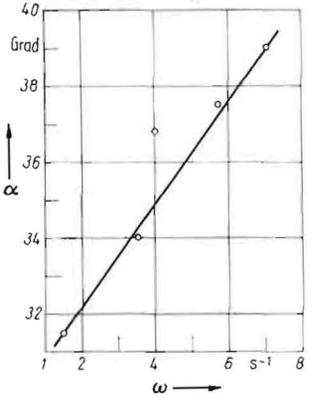


Bild 4
Lösewinkel in Abhängigkeit von der Lösungsgeschwindigkeit; Feuchtigkeit des Gutes 78,0%, Stärkegehalt der Kartoffeln 18,8%, Temperatur der Kartoffeln ≈ 30 °C

- Aufspritzen von Wasser auf die feste Unterlage
- Erhöhung der Feuchtigkeit durch Thermostrom
- Erhöhung der Feuchtigkeit durch Elektrostrom
- Verringerung der Oberflächenspannung durch:
 - a) Änderung der Lösungskonzentration
 - b) Änderung der Temperatur
 - c) Änderung der angelegten elektrischen Spannung
- Änderung der Oberflächenspannung der festen Unterlage durch Werkstoffwahl.

5.2. Versuchsergebnisse

5.2.1. Einfluß der aufgespritzten Wasserschicht auf die Verringerung des Reibwertes

Wie erläutert, kann das Haftvermögen und damit der Reibwert durch Benetzen der festen Unterlage herabgesetzt werden. Die Methode ist für die Praxis am leichtesten realisierbar, ist jedoch bezüglich der gewünschten Wirkung am unzuverlässigsten, da die Benetzbarkeit einer Oberfläche auch bei gleichem Grundmaterial sehr unterschiedlich sein kann.

Bei Versuchen mit frisch gedämpften, zerkleinerten Kartoffeln verringerte sich die auf dem Aluminium anhaftende Masse von rund 80 g auf 5 g, wenn auf der festen Unterlage ein Wasserfilm erzeugt wurde.

Versuchsparameter:

- $F = 1600 \text{ cm}^2$
- $m = 3,5 \text{ kg}$
- $\psi_0 = 79,2 \%$ (nähere Angaben siehe [4])

5.2.2. Einfluß der Oberflächenspannung der festen Unterlage

Tafel 2 zeigt die Ergebnisse der Versuche für zwei verschiedene Oberflächenspannungen. Im vorliegenden Fall nimmt somit der Reibwert mit abnehmender Oberflächenspannung der festen Unterlage ab. Über die dabei zu beachtenden weiteren Einflußgrößen, wie sie z. T. im Abschnitt 3 und 4 aufgezeigt wurden, kann man in [4] nachlesen.

5.2.3. Einfluß der Oberflächenspannung des Haftpartners frisch gedämpfte, zerkleinerte Kartoffeln

Bild 2 verdeutlicht die Abnahme des Reibwinkels mit abnehmender Oberflächenspannung des Haftpartners frisch gedämpfte, zerkleinerte Kartoffeln.

Das Absinken der Oberflächenspannung wurde in diesem Beispiel durch Zugabe von Emulgatoren erreicht.

5.2.4. Einfluß der Feuchtigkeit auf den Reibwert

Die Veränderung des Reibwertes für frisch gedämpfte, zerkleinerte Kartoffeln im untersuchten Feuchtigkeitsbereich gibt Bild 3 wieder. Es ist deutlich ein Anstieg des Reibwertes infolge der Zunahme der Wasserbrücken (Melisken) auf Grund erhöhter Feuchtigkeit zu beobachten. Eine wei-

tere Erhöhung der Feuchte wird ab einem bestimmten Feuchtigkeitsgehalt zum Absinken des Reibwertes führen.

5.2.5. Abhängigkeit des Reibwinkels von der Kippgeschwindigkeit

Mit zunehmender Winkelgeschwindigkeit steigt der Reibwinkel an (Bild 4), weil das Gut in der bei hohen Geschwindigkeiten verfügbaren kurzen Zeit nicht in der Lage ist, durch Fließen (Deformation) im Innern oder an der Grenzfläche Spannungskonzentrationen zu bilden, die die Haftkraft und damit den Reibwert verringern [5].

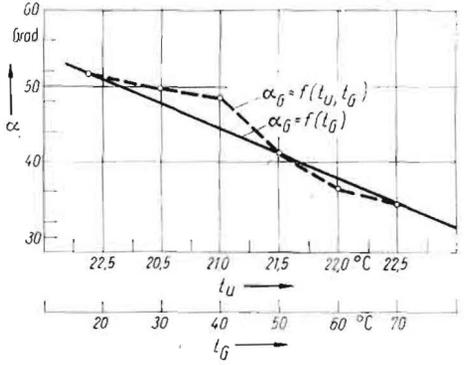


Bild 5. Reibwinkel in Abhängigkeit der Temperatur des Gutes und der Unterlage, $\alpha_{St} = f(t_U, t_G)$; Feuchtigkeit der Kartoffeln 80,1%, Werkstoff der Unterlage Al, Winkelgeschwindigkeit 3,4 s⁻¹, Stärkegehalt 18,3%

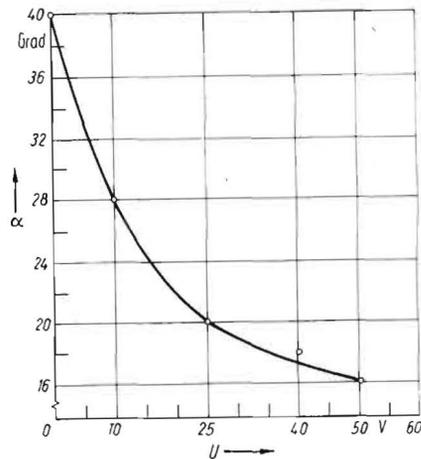


Bild 6. Einfluß der angelegten Spannung auf den Reibwinkel, $\alpha = f(U)$, Gut = Kathode; Feuchtigkeit 78,5%, Werkstoff der Unterlage Al, Winkelgeschwindigkeit 5,25 s⁻¹, Stärkegehalt 18,3%, Temperatur der Kartoffeln 15,5 °C

5.2.6. Einfluß der Temperaturen an der Wirkpaarung

Infolge des Temperaturunterschiedes entsteht an der Grenzfläche der Wirkpaarung Thermoosmose, die zur Anreicherung mit Wasser führt. Mit steigender Temperatur sinkt außerdem die Oberflächenspannung des Wassers. Mit zunehmender Temperaturdifferenz, d. h. mit zunehmender Wasseranlagerung, nimmt der Reibwert ab (Bild 5). Im dargestellten Beispiel ist soviel Wasser vorhanden, daß die einzelnen Wassermeliken zusammenlaufen und somit ein Schmierfilm entsteht.

Durch diesen Vorgang verringern sich der statische und der dynamische Reibwert.

5.2.7. Einfluß einer angelegten Gleichspannung

Bild 5 läßt erkennen, daß der Reibwinkel mit zunehmender Spannung abnimmt. Die angelegte Spannung bewirkt einerseits eine Verringerung der Oberflächenspannung des Wassers und andererseits gleichzeitig die Anreicherung von Wasser an der Wirkpaarung durch Elektroosmose.

Beide Faktoren ergänzen sich in ihrer Wirkung, da die verringerte Oberflächenspannung das durch die erhöhte Feuchtigkeit bewirkte Auseinanderlaufen der Wassermeliken zu einem Schmierfilm unterstützt.

6. Zusammenfassung

Der Reibwert an Elementen landtechnischer Maschinen hängt sehr stark von den Zustandsgrößen der zu bearbeitenden Materialien ab und schwankt deshalb in weiten Bereichen.

Es wird gezeigt, wie sich der Reibwert von Saftfuttermitteln auf festen Unterlagen verringern läßt.

In den einzelnen Reibungsphasen (Verdichtungs-, Reibungs-, Adhäsions- und Schmierphase) der landwirtschaftlichen Güter sind unterschiedliche Maßnahmen zur Reibwertverringerung notwendig.

Für die richtige Wahl der Parameter ist stets, wie man am unterschiedlichen Verhalten in den einzelnen Reibphasen erkennen kann, eine exakte Untersuchung des Ausgangszustands der Materialien der Wirkpaarung notwendig.

Der Beitrag kann deshalb auch keine Anleitung zur Verringerung der Reibung in einzelnen Fällen geben, sondern sollte vielmehr die Möglichkeiten aufzeigen und deren qualitative Einflüsse charakterisieren. Infolge der Mannigfaltigkeit dieses aktuellen Problems können diese Betrachtungen nur ein Anfang für weitere notwendige Untersuchungen sein.

Literatur

- [1] BOWDEN, F. P./D. TABOR: The Friction and Lubrication of Solids. Oxford University Press 1950, Neuauflage 1954
- [2] BATEL, W.: Haftkraftmessung im Vakuum. Chem.-Ing. Techn. 31 (1959) 343
- [3] WOLF, L. K.: Haftsysteme und Haftfestigkeit. Umschau in Wissenschaft und Technik (1965) S. 356 und 357
- [4] RICHTER, U.: Versuche zur Ermittlung des Grenzschichtverhaltens beim Abkippen von Wirtschaftsfutter von festen Unterlagen. Diplomarbeit, Institut für Landtechnik der Universität Rostock 1965, unveröffentlicht
- [5] GARTSCHAR, J.: Versuche zur Ermittlung des Grenzschichtverhaltens beim Abkippen von Wirtschaftsfutter von festen Unterlagen. Großer Beleg, Institut für Landtechnik der Universität Rostock 1966, unveröffentlicht A 7133

Dr.-Ing. W. MALTRY, KDT*

Zur Dimensionierung von Mammutpumpen

1. Problemstellung

In Trocknungsanlagen der Landwirtschaft und der Zuckerfabriken werden zur Bewältigung des Schmutzwassers von Hackfruchtwaschanlagen häufig Mammutpumpen eingesetzt; das sind Mischluftwasserheber, die im wesentlichen aus einem eingetauchten, senkrechten Rohr und einer Luftzuführung bestehen (Bild 1). Die Luft wird an der tiefsten Stelle des Rohres eingeleitet, und die emporwandernden Luftblasen bewirken, daß das Luft-Flüssigkeitsgemisch im Rohr höher steigen kann als bis zum Flüssigkeitsspiegel außerhalb des Rohres. Mammutpumpen vermögen dank ihres unkomplizierten Aufbaues auch schwierige Schmutzwasser-Verhältnisse zu bewältigen, jedoch sind bei der Dimensionierung, d. h. bei der Festlegung von Eintauchtiefe, Rohrdurchmesser und Luftstrom in Abhängigkeit von Flüssigkeitsstrom und Steighöhe gewisse Gesetzmäßigkeiten zu beachten, über die im folgenden berichtet wird.

Auf der Grundlage der vor nahezu 40 Jahren entstandenen Dissertation von H. BEHRINGER [1] werden Regeln zur Dimensionierung abgeleitet, die auch ohne tieferes Eindringen in die Theorie des Mischluftwasserhebers beherrschbar sind. Im vorliegenden Fall interessieren ausschließlich die Gesetzmäßigkeiten, die von BEHRINGER für Rohre über 15 mm Dmr. gefunden wurden. Bis 70 mm Dmr. hat er die Verhältnisse erforscht, jedoch läßt die Art der gefundenen Gesetze auch eine Extrapolation auf größere Rohrdurchmesser zu.

2. Theoretische Zusammenhänge

Nach [1] wird der geförderte Flüssigkeitsstrom F als Differenz aus theoretischem Flüssigkeitsstrom F_{th} und Verlustflüssigkeitsstrom F_v erklärt:

$$F = F_{th} - F_v \quad (1)$$

F Flüssigkeitsstrom in m^3/s

Der Verlust F_v kommt dadurch zustande, daß an den Seitenwänden der aufsteigenden Luftblasen die Flüssigkeit frei herabfallen kann, was summarisch einen „Abstrom“ zur Folge hat.

Der theoretische Flüssigkeitsstrom F_{th} läßt sich aus dem verlustfrei gedachten Fördervorgang zu

$$F_{th} = q \omega_L \varphi \quad (2)$$

bestimmen.

Darin bedeuten

- q freier Rohrquerschnitt in m^2
- ω_L mittlere Luftgeschwindigkeit im Steigrohr in m/s
- φ Verhältnis aus Eintauchtiefe und Gesamtlänge des senkrechten Steigrohrs (= „Füllgrad“) in m/m .

Für den Verlustflüssigkeitsstrom F_v gilt nach [1] folgender Ansatz:

$$F_v = A(d) + B(\varphi, \omega_L, d) \quad (3)$$

Darin bedeuten:

- A durchmesserabhängiger Verluststromanteil in m^3/s
- d Rohrinne Durchmesser in mm
- B füllgrad-, luftgeschwindigkeits- und durchmesserabhängiger Verluststromanteil in m^3/s .

* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim der DAL zu Berlin (Direktor: Obering. O. BOSTELMANN)