

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Hoffmann, O.-H. u. Th. Hesse: Funktionsgerechte Gestaltung von Silos für schwerfließende Güter nach dem Jenike-Verfahren. Grundle. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 3, S. 65/70 und Nr. 4, S. 116/19.
- [2] Hoffmann, O.-H.: Neuere Grundlagen der Mechanik körniger Haufwerke. Grundle. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 2, S. 48/59.
- [3] Jenike, A.N., P.J. Elsey u. R.H. Wooley: Flow properties of bulk solids. Univ. Utah, Engng. Exp. Station, Bull Nr. 95, 1959.
- [4] Schwedes, H.J.: Scherverhalten leicht verdichteter kohäsiver Schüttgüter. Diss. Univ. Karlsruhe 1971.
- [5] Hesse, Th. u. J. Paul: Mehrkomponentenmeßeinrichtung zur direkten Messung von Druck- und Schubbelastungen an Silos. Grundle. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 1, S. 5/11.
- [6] Roscoe, K.H.: The influence of strains in soil mechanics, Tenth Rankine Lecture. Geotechnique Bd. 20 (1970) S. 129/70.
- [7] Hvorslev, M.J.: Über die Festigkeitseigenschaften gestörter bindiger Böden. Ingeniørvidenskabelige Skrifter, A Nr. 45, Copenhagen 1937.
- [8] Walker, D.M.: A basis for bunker design. Power Technol. Bd. 1 (1967) S. 228/36.
- [9] Bishop, A.W. u.a.: A new ring shear apparatus and its application to the measurement of residual strength. Geotechnique Bd. 21 (1971) Nr. 4, S. 273/328.
- [10] •Nadai, A.: Theorie of flow and fracture of solids. New York: McGraw-Hill, 1950.
- [11] Freye, Th.: Untersuchungen zum Scherverhalten landwirtschaftlicher körniger Haufwerke. Diplomarbeit D 126 am Institut für Landmaschinen.
- [12] Schwedes, J.: Shearing behaviour of slightly compressed cohesive granular materials. Powder Technol. Bd. 11 (1975) S. 59/67.

Das Reibverhalten von Körnerfrüchten – Eine Schrifttumsübersicht

Von Heinz Dieter Kutzbach und Reinhold Scherer, Stuttgart-Hohenheim*)

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

DK 531.7:531.4:633.004.12

Die Kenntnis der physikalischen Stoffeigenschaften ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche und funktionsgerechte Gestaltung von Sägeräten, Ernte- und Aufbereitungsmaschinen, Trocknungs- und Förderanlagen sowie von Lagerbehältern. Eine besondere Stellung nimmt dabei die Reibungszahl ein, beeinflusst sie doch maßgeblich alle Lager- und Fördervorgänge in Arbeitsmaschinen und technischen Anlagen.

In der vorliegenden Arbeit werden in einer Bestandsaufnahme die bisher angestellten Untersuchungen und Versuchsergebnisse bei der Ermittlung der Reibungszahl von Körnerfrüchten in einer Übersicht zusammengestellt, um einen Überblick über vorhandene Werte und dabei berücksichtigte Faktoren zu gewinnen.

Über Untersuchungen mit einer eigenen Apparatur wird in einem weiteren Artikel berichtet werden.

Die Verfasser danken Herrn Dipl.-Ing. U. Rosenbauer für die im Rahmen seiner Studienarbeiten durchgeführten Literaturrecherchen.

*) Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach ist Inhaber des Lehrstuhls für Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. R. Scherer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet Grundlagen der Landtechnik).

1. Einleitung

Für die Konstruktion und den Betrieb von Landmaschinen und landwirtschaftlichen Anlagen spielt die Reibung zwischen Gut und Maschinenelement oder zwischen einzelnen Gutelementen eine entscheidende Rolle. Im Schrifttum liegen zahlreiche Untersuchungen zum Reibungsverhalten von Körnerfrüchten gegenüber verschiedenen Werkstoffen vor. Sie sollen für eine Bestandsaufnahme in einer Übersicht dargestellt und diskutiert werden.

2. Systematische Darstellung bislang verwendeter Versuchsanordnungen

Die im Schrifttum angeführten Versuchsanordnungen zur Bestimmung der Reibungszahl von Körnerfrüchten lassen sich grundsätzlich einteilen in Geräte zur Bestimmung der Reibungszahl der Ruhereibung μ_r und Geräte zur Bestimmung der Reibungszahl der Bewegungsreibung μ . Während die Reibungszahl der Ruhereibung das Reibverhalten beim Übergang aus der Ruhelage in die Bewegungsphase ausdrückt, ist die Reibungszahl der Bewegungsreibung für das Reibverhalten beim Gleiten oder Rollen maßgebend. Nach der Art der Bewegung der Reibfläche unterscheidet man die in **Bild 1** dargestellten prinzipiellen Anordnungen von Versuchsgeräten. In **Tafel 1** sind die Vor- und Nachteile der verschiedenen Meßanordnungen einander gegenübergestellt. Die Bestimmung der Reibungszahl kann mit Hilfe verschiedener in **Bild 2** angegebener Meßgrößen direkt oder indirekt erfolgen. In **Tafel 2** sind die bislang verwendeten Anordnungen systematisch dargestellt und die jeweilige Meßgröße aufgeführt.

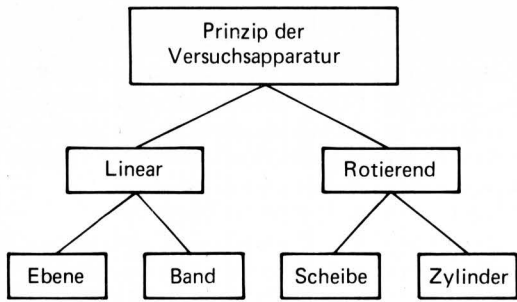


Bild 1. Einteilung der Versuchsanordnungen nach der Art der Bewegung der Reibfläche.

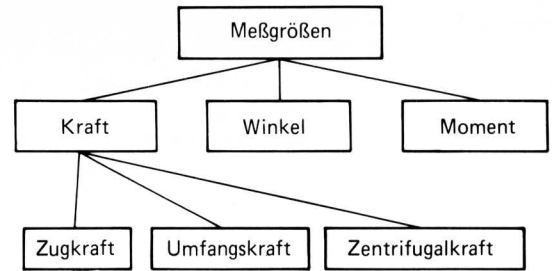


Bild 2. Meßgrößen zur Bestimmung der Reibungszahl.

	Vorteile	Nachteile
Ebene	gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung gleichmäßige Flächenpressung einfache Reibflächenbeschichtung	begrenzte Gleitgeschwindigkeit begrenzter Reibweg diskontinuierlich
Band	kontinuierlich gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung gleichmäßige Flächenpressung	nicht für alle Reibbeläge geeignet Schwingungen
Zylinder	kontinuierlich gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung	nicht für alle Reibbeläge geeignet ungleichmäßige Flächenpressung
Scheibe	kontinuierlich Reibbeläge sind gut aufzubringen, gleichmäßige Flächenpressung	ungleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung

Tafel 1. Vor- und Nachteile der verschiedenen Anordnungen zum Bestimmen der Reibungszahl.

3. Bisherige Untersuchungen und deren Ergebnisse

Tafel 3 gibt die Werte der verschiedenen Autoren für die Reibungszahl von Körnerfrüchten gegenüber verschiedenen Werkstoffen sowie die bei den Untersuchungen berücksichtigten Einflußfaktoren wieder.

Bei der bis ins Jahr 1898 zurückreichenden und zuerst überwiegend angelsächsischen Literatur blieben vielfach wichtige Einflußgrößen wie Feuchtegehalt, Flächenpressung und Gleitgeschwindigkeit unberücksichtigt. Am häufigsten finden sich noch Angaben zum Feuchtegehalt, der entweder ungefähr angegeben oder hinterher geschätzt wurde.

Ab Mitte der 50er Jahre erfolgen dann allgemein genauere Angaben auch über Sorte, Probenzustand, Flächenpressung und Gleitgeschwindigkeit, welche schon differenziertere Aussagen über die Reibungszahl in einem ganz bestimmten Anwendungsfall zulassen.

Tafel 2. Schematische Darstellung der bislang verwendeten Anordnungen zum Bestimmen der Reibungszahl.

Prinzip	Aufbau	Meßgröße	Autor	Prinzip	Aufbau	Meßgröße	Autor
Schiefe Ebene		Winkel	Wieneke 1956 [9] Burmistrova 1963 [12]	Scheibe		Winkel Radius	Henderson 1967 [16]
Ebene		Zugkraft	Richter 1954 [8]	Scheibe		Zugkraft	Hintz u.a. 1952 [7] Richter 1954 [8] Buelow 1961 [11]
Ebene		Zugkraft	Brubaker u.a. 1965 [13] Bickert u.a. 1966 [14] Henderson 1967 [16] Snyder u.a. 1967 [18] Stewart u.a. 1969 [21] Kutzbach 1972 [23] Clark u.a. 1973 [24]	Zylinder		Zugkraft	Wieneke 1956 [9]
Ebene		Zugkraft	Karpuša u. Konopel'cev 1968 [20]	Zylinder		Moment	Firus 1972 [22]

Gutart	Sorte, Zustand	Feuchtegehalt U %	Flächenpressung N/cm ²	Gleitgeschw. v m/s	Reibfläche	Reibungszahl Ruhereibung μ_r	Reibungszahl Gleitreibung μ	math. Gl.	Verfasser
Bohnen		10			Korn/Korn Holz Stahl Zement	0,616 0,322–0,435 0,366 0,442			Airy 1898 [1]
Erbsen	Uladijskij befeuchtet	10,7–25,4	0,096–0,192	0 0–9	Stahl	0,180–0,440	0,170–0,300	X	Deško 1973 [25]
Soja	gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,368 0,295–0,312 0,301 0,379			USDA Circular 1950 [6]
Soja		7,1–12,2			Beton Holz Polyäthyl. galv. Stahl	0,250–0,550 0,290–0,440 0,250–0,430 0,180–0,210			Brubaker u. Pos 1965 [13]
Gerste			98,1		Beton Korn/Korn Holz Stahl Zement	0,450 0,507 0,325–0,424 0,376 0,452			Airy 1898 [1]
Gerste					Beton Korn/Korn Stahl	0,450 0,530 0,380			Stahl 1950 [5]
Gerste	2-reihig gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,404 0,264–0,311 0,308 0,389			USDA Circular 1950 [6]
Gerste	6-reihig gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,378 0,266–0,287 0,298 0,344			
Gerste		7,9–19,5			Stahl	0,380–0,400			Lorenzen 1959 [10]
Gerste		10,7–16,4	0,15–0,96	0,0002–0,0012	Beton Holz Teflon Polyäthyl. Stahl galv. Stahl		0,230–0,620 0,210–0,410 0,110–0,170 0,230–0,350 0,200–0,250 0,170–0,340		Brubaker u. Pos 1965 [13]
Gerste	trail barley befeuchtet	10–23			Stahl		0,370–0,425	X	Bickert u. Buelow 1966 [14]
Gerste	Viner befeuchtet	10,7–25,4	0,096–0,192	0–9	Stahl	0,290–0,350	0,180–0,300	X	Deško 1973 [25]
Hafer					Korn/Korn Holz Stahl Zement	0,532 0,369–0,450 0,412 0,466			Airy 1898 [1]
Hafer					Stahl Beton Korn/Korn	0,410 0,470 0,620			Stahl 1950 [5]
Hafer	gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,445 0,380–0,398 0,362 0,442			USDA Circular 1950 [6]
Hafer		10,6–17,3	0,15–0,96	0,0002–0,0012	Beton Holz Teflon Polyäthyl. Stahl galv. Stahl	0,280–0,650 0,200–0,500 0,110–0,140 0,200–0,500 0,200–0,440 0,180–0,410			Brubaker u. Pos 1965 [13]

Tafel 3. Übersicht der bisherigen Untersuchungen über die Reibungszahl von Körnerfrüchten.

Gutart	Sorte, Zustand	Feuchtegehalt U %	Flächenpressung N/cm ²	Gleitgeschw. v m/s	Reibfläche	Reibungszahl Gleitreibung μ	Reibungszahl Ruhreibung μ_r	math. Gl.	Verfasser
Hirse	gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,372 0,294–0,306 0,331 0,396			USDA Circular 1950 [6]
Hirse		9,2–20,4	0–78,5 N	0,00013	Stahl Teflon Beton	0,190–0,430 0,155–0,220 0,420–0,520	0,170–0,380 0,120–0,230 0,390–0,480		Stewart, Hossain u. Kunze 1969 [21]
Mais		10			Beton Korn/Korn Holz Stahl Zement	0,420 0,521 0,308–0,344 0,264 0,423			Airy 1898 [1]
Mais	gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,447 0,302–0,306 0,264 0,416			USDA Circular 1950 [6]
Mais		12–19		0,075–0,375	Stahl		0,180–0,270		Hintz u. Schinke 1952 [7]
Mais		0–23			Stahl Holz	0,470–0,750 0,380–0,490	0,410–0,750 0,200–0,470		Lorenzen 1959 [10]
Mais	geschrotet			4 bis 30	Stahl		0,440–0,520		Buelow 1961 [11]
Mais		13–23			Stahl Holz galv. Stahl	0,520–0,650 0,320–0,380 0,530–0,630	0,210–0,230 0,210–0,320		Burmistrova 1963 [12]
Mais	befeuchtet	3–17	0,15–0,96	0,0002–0,0012	Beton Holz Stahl galv. Stahl Teflon Polyäthyl.	0,550–0,620 0,290–0,380 0,210–0,250 0,200–0,380 0,220–0,380	0,250–0,680 0,240–0,380 0,200–0,240 0,200–0,370 0,120–0,180		Brubaker u. Pos 1965 [13]
Mais	yellow dent hybrid tiefgefr. getrocknet	10–26	0,21–0,62	0,09–0,18	Stahl Holz		0,260–0,310 0,230–0,280	X	Bickert u. Buelow 1966 [14]
Mais		44,4	0–0,59	0,785–4,71	Holz Beton Stahl		0,250–0,850 0,280–0,780 0,380–1,380	X	Ducho, Lobotka u. Záhorský 1967 [15]
Mais	gehäckelt	0–50	0–0,61	0,5–5	Stahl verz. Stahl Aluminium Holz	0,380–0,600 0,500–0,620 0,530–0,620 0,520–0,620	0,780–0,980	X	Lobotka 1967 [17]
Mais	Hybrid WIR-156	10,9–44,2		1,69–4,28	Stahl		0,280–0,520	X	Čapskij 1968 [19]
Mais		13	14,7–98,1 N	0–4,43	Korn/Korn		0,180–0,240	X	Karpuša u. Konopel'cev 1969 [20]
Mais	Hybrid Bukovinskij befeuchtet	10,7–25,4	0,096–0,192	0–9	Stahl	0,240–0,500	0,210–0,340	X	Deško 1973 [25]

Ein Vergleich der von verschiedenen Autoren gefundenen Werte ist aus folgenden Gründen äußerst problematisch:

1. Von den verschiedenen Autoren wurden die im jeweiligen Zeitraum üblicherweise verwendeten bzw. gerade erst erfundenen und somit aktuellen Materialien als Reibflächen für die Reibungsuntersuchungen eingesetzt: während Ende des letzten Jahrhunderts und Anfang dieses Jahrhunderts hauptsächlich Holz, Stahl und mineralische Werkstoffe untersucht wurden [1, 2, 3], befassen sich die neueren Untersuchungen mit modernen Materialien wie Teflon, Polyäthylen [13] oder mit nach neueren Verfahren hergestellten oder behandelten Stoffen wie galvanisiertem Stahl [13, 16] oder Aluminium [18].
2. Aufgrund der Tatsache, daß das Material nicht näher charakterisiert wurde durch Angabe des Bearbeitungszustandes (Rauhtiefe), der Sorte oder Nachbehandlung (galvanisiert, gehärtet), der Größe und Form der Reibfläche, die auch die Reibungszahl maßgeblich beeinflussen, können Werte für einen Werkstoff etwa für "Stahl", "Holz", "Beton" usw. nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden bzw. resultiert hieraus eine relativ breite Streuung; so liegen die für "Mais-Stahl" angegebenen Werte für die Reibungszahl zwischen 0,18 [7] und 1,38 [15].

Gutart	Sorte, Zustand	Feuchtegehalt U %	Flächenpressung N/cm ²	Gleitgeschw. v m/s	Reibfläche	Reibungszahl Ruhereibung μ_r	Reibungszahl Gleitreibung μ	math. Gl.	Verfasser
Reis	Blue Rose	14			Korn/Korn galv. Stahl Beton Holz	0,727 0,402–0,414 0,516–0,531 0,435–0,500			Kramer 1944 [4]
	Rexova	14			Korn/Korn galv. Stahl Beton Holz	0,675 0,447–0,449 0,611–0,473 0,500–0,542			
Reis	Paddy gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,479 0,530–0,554 0,368 0,637			USDA Circular 1950 [6]
Roggen					div. Silos	0,370–0,850			Ketchum 1911 [3]
Roggen					Beton Korn/Korn Stahl	0,350 0,490 0,41			Stahl 1950 [5]
Roggen	gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,406 0,324–0,330 0,354 0,398			USDA Circular 1950 [6]
Weizen		10			Stahl Holz Korn/Korn Zement Beton	0,414 0,361–0,412 0,466 0,444 0,450			Airy 1898 [1]
Weizen		10			Korn/Korn Stahl Zement Holz Beton Ziegel	0,532 0,365–0,400 0,400–0,425 0,420–0,450 0,410 0,400–0,425			Jamieson 1905 [2]
Weizen					div. Silos	0,250–0,850			Ketchum 1911 [3]
Weizen					Holz Korn/Korn	0,530 0,420			Stahl 1950 [5]
Weizen	hard red spring gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,366 0,298–0,335 0,333 0,394			USDA Circular 1950 [6]
	hard red winter gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,340 0,294–0,306 0,323 0,392			
	soft red winter gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,356 0,277–0,306 0,292 0,372			
	durum gereinigt	trocken			Weißblech Holz Asbestzem. Gips	0,414 0,321 0,323 0,418			
Weizen		7,3–19,3			Stahl Holz	0,380–0,540 0,440–0,600			Lorenzen 1959 [10]
Weizen	ross Winter befeuchtet	9,7–15,7	0,15–0,96	0,0002–0,0012	Teflon Stahl Holz Beton Polyäthyl. galv. Stahl	0,330–0,380 0,300–0,380 0,130–0,420	0,120–0,190 0,330–0,380 0,280–0,500 0,360–0,690 0,270–0,450 0,100–0,330		Brubaker u. Pos 1965 [13]
Weizen					galv. Stahl		0,080–0,480		Henderson 1967 [16]
Weizen	soft red winter gereinigt befeuchtet	9,8–17,8	0,27–0,34		Stahl Aluminium		0,300–0,580 0,350–0,620		Snyder, Roller u. Hall 1967 [18]
Weizen	Mironivskaja 808 befeuchtet	12–34	0,096–0,192	0–9	Stahl	0,250–0,620	0,250–0,500		Deško 1973 [25]

3. Bei den neueren Untersuchungen werden zwar Angaben zu den Haupteinflussfaktoren Gleitgeschwindigkeit v , Flächenpressung p und Feuchtegehalt U gemacht, der Einfluß der drei Parameter wurde jedoch jeweils getrennt voneinander festgestellt, wobei im konkreten Fall die Werte der beiden anderen Einflußgrößen nicht angegeben sind oder nur ein ganz bestimmter Fall untersucht wurde. So stellten zwar verschiedene Autoren fest, daß die Reibungszahl:

- 3.1 mit der Gleitgeschwindigkeit im Bereich kleiner Geschwindigkeiten ansteigt, in der Größenordnung von 1 m/s ein Maximum annimmt, um dann bei größerer Gleitgeschwindigkeit mehr oder weniger stark abzusinken oder auch nach kurzem Absinken erneut leicht anzusteigen [7, 9, 13, 23, 25].
- 3.2 mit zunehmender Flächenpressung sowohl zu als auch abnehmen kann [9, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 23, 25].
- 3.3 über dem Feuchtegehalt je nach Versuchsbedingungen die unterschiedlichsten Verläufe (Zu- und Abnahme, ein oder mehrere Maxima und Minima) annehmen kann [1, 2, 4, 6, 7, 9 bis 21, 23, 25].

Ein Vergleich der Werte aber bleibt problematisch, weil keiner der Autoren über alle drei Parameter lückenlos berichtet, vielmehr nur einen Parameter variiert, wobei die anderen beiden diskrete Werte annehmen, über die oft keine Angabe erfolgt.

Weiterhin muß festgestellt werden, daß sich die bisherigen Arbeiten darauf beschränken, das Reibverhalten mit empirischen Methoden darzustellen. Es sind bisher nur wenige Ansätze zu erkennen, dieses festgestellte Reibverhalten mit Hilfe der vor allem bei technischen Stoffen schon weitentwickelten Reibungstheorien zu analysieren und zu erklären:

Wieneke [9] z.B. erklärt das Absinken der Reibungszahl über dem Reibweg mit dem Austritt von schmierfilmbildenden Flüssigkeiten (Gras-Quellwasser, Raps-Öl), sowie oberflächen-glättenden Abriebserscheinungen.

Ab 1966 erfolgen dann die ersten Versuche, das Reibverhalten in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen mathematisch zu erfassen:

Bickert und Buelow [14], Lobotka [17], Ducho, Lobotka und Zahorsky [15] und Čapskij [19] geben lineare Gleichungen der Form

$$\mu = C_1 + C_2 U \quad (1)$$

an, welche jedoch nur als grobe Näherung in einzelnen Bereichen anwendbar sind.

Einen Versuch, das Reibverhalten in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit mathematisch zu formulieren, haben Karpuša und Konopel'cev 1969 [20] mit einer Gleichung der Form:

$$\mu = a v^b e^{-cv} + d \quad (2)$$

unternommen.

Durch Einsetzen der ihren Versuchsbedingungen entsprechenden Konstanten a , b , c und d erhalten sie die Gleichung

$$\mu = 0,154 v^{1,49} e^{-1,03v} + 0,18 \quad (3),$$

welche den von ihnen festgestellten Verlauf von μ in Abhängigkeit von v recht gut beschreibt, Bild 3.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß zum einen ein Vergleich der in bisherigen Arbeiten gefundenen Werte aus den geschilderten Gründen nicht ohne weiteres möglich ist, zum anderen für die mathematische Erfassung des Reibverhaltens von biologischen Stoffen in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen nur ganz begrenzt anwendbare Ansätze vorhanden sind und Erklärungen für das Reibverhalten auf der Grundlage einer befriedigenden Theorie noch fehlen.

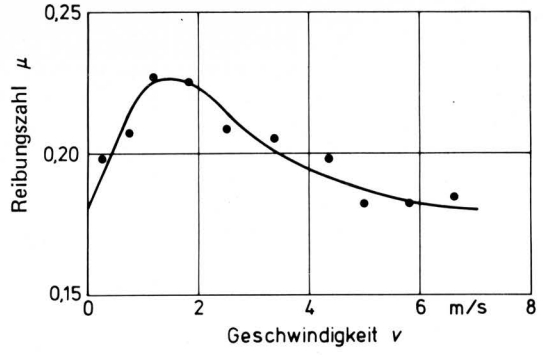


Bild 3. Reibungszahl für Mais-Mais ($U = 13\%$) in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit (nach [20]).

4. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden in einer Bestandsaufnahme die aus dem Schrifttum bekannten Untersuchungen und Versuchsergebnisse für die Reibungszahl von Körnerfrüchten zusammengestellt.

Ein Vergleich der Werte der verschiedenen Autoren ist problematisch, da die verschiedenen Einflußgrößen und vor allem deren gegenseitige Beeinflussung bislang nicht genügend berücksichtigt bzw. nicht dargestellt wurden. Für die mathematische Erfassung des Reibverhaltens biologischer Stoffe in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen liegen bisher nur wenige, begrenzt anwendbare Ansätze vor; eine Erklärung für das Reibverhalten auf der Grundlage einer befriedigenden Theorie fehlt bislang.

In geplanten eigenen Untersuchungen sollen einige der oben aufgezeigten Lücken geschlossen werden.

Verwendete Formelzeichen

a, b, c, d		Konstanten
C_i		Konstanten
F	N	Zentrifugalkraft
G	N	Gewicht
g	m/s ²	Fallbeschleunigung
h	m	Höhe
M	Nm	Moment
m	kg	Masse
N	N	Normalkraft
p	N/m ²	Flächenpressung
R	N	Reibungskraft
U	%	Feuchtegehalt
v	m/s	Gleitgeschwindigkeit
α	°	Winkel
φ	°	Winkel
μ_r	—	Reibungszahl der Ruhereibung
μ	—	Reibungszahl der Gleitreibung

Schrifttum

- [1] Airy, W.: The pressure of grain. Institution of Civil Engineers. Minutes of proceedings Bd. 121 (1898) S. 347/58.
- [2] Jamieson, J.A.: Grain pressures in deep bins. Trans. CSCE Bd. 17 (1905) S. 554/607.
- [3] Ketchum, M.S.: In: The design of walls, bins, and grain elevators, S. 346/50. New York: The Engineering News Publishing Company 1911.

- [4] *Kramer, H.A.*: Factors influencing the design of bulk storage bins for rough rice. *Agric. Engng. Bd. 25* (1944) Nr. 12, S. 463/66.
- [5] *Stahl, B.H.*: Grain bin requirements. In: USDA Circular 835, Washington D.C., 1950.
- [6] USDA Circular 835, Washington D.C., 1950.
- [7] *Hintz, O.E. u. R. Schinke*: Coefficient of sliding friction for corn and alfalfa on steel. Advanced Engineering Dept. International Harvester Co. Report 3-A 1866-52 R.I., Chicago 1952.
- [8] *Richter, D.W.*: Friction coefficients of some agricultural materials. *Agric. Engng. Bd. 35* (1954) Nr. 6, S. 411/13.
- [9] *Wieneke, F.*: Reibungswerte von Pflanzen und Faserstoffen. *Landtechnische Forschung Bd. 6* (1956) Nr. 5, S. 1/6.
- [10] *Lorenzen, R.T.*: Moisture effect on friction coefficients of small grain. ASAE-Paper Nr. 59-416, ASAE, St. Joseph, Mich. 1959.
- [11] *Buelow, F.W.*: Determination of friction coefficients of materials handled on the farm. ASAE-Paper Nr. 61-822, ASAE, St. Joseph, Mich. 1961.
- [12] *Burmistrova, M.F. u.a.*: Physicomechanical properties of agricultural crops. Israel Program for Scientific Translation Ltd., Nr. 701, 1963.
- [13] *Brubaker, J.E. u. J. Pos*: Determining the static coefficient of friction of grains on structural surfaces. *Trans. ASAE Bd. 8* (1965) Nr. 1, S. 53/55.
- [14] *Bickert, W.G. u. F.H. Buelow*: Kinetic friction of grains on surfaces. *Trans. ASAE Bd. 9* (1966) Nr. 1, S. 129/31; 134.
- [15] *Ducho, P., J. Lobotka u. J. Žahorský*: Reibungskoeffizient der Luzerne und des Maises in der Wachs-Milchreife bei Bewegung (Orig. tschech.). *Acta technologica agriculturæ Bd. 1* (1967) S. 91/105.
- [16] *Henderson, J.M.*: Measuring kinetic friction coefficients using oscillatory motion. *Trans. ASAE Bd. 10* (1967) Nr. 3, S. 348/51.
- [17] *Lobotka, J.*: Reibungsbeiwerte der gehäckselten Futterpflanzenmasse (Orig. tschech.). *Zemědělska technika Bd. 13* (1967) Nr. 2, S. 81/93.
- [18] *Snyder, L.H., W.L. Roller u. G.E. Hall*: Coefficients of kinetic friction of wheat on various surfaces. *Trans. ASAE Bd. 10* (1967) Nr. 3, S. 411/13; 419.
- [19] *Čapskij, P.A.*: Bestimmung des Reibungsbeiwertes von Maiskolben (Orig. russ.). *Mechanizacija i Elektrifikacija Bd. 26* (1968) Nr. 9, S. 42/43.
- [20] *Karpuša, P.P. u. M.J. Konopel'cev*: Innere Reibungszahl von Mais bei Impulsbelastung (Orig. russ.). *Mechanizacija i Elektrifikacija Bd. 27* (1969) Nr. 5, S. 40/41.
- [21] *Stewart, B.R., Q.A. Hossain u. O.R. Kunze*: Friction coefficients of sorghum grain on steel, teflon and concrete surface. *Trans. ASAE Bd. 12* (1969) Nr. 4, S. 415/18.
- [22] *Firus, S.*: Eine Vorrichtung zum Bestimmen des äußeren und inneren Reibbeiwertes von feinkörnigem Schüttgut. *Dt. Agrartechn. Bd. 22* (1972) Nr. 11, S. 520/23.
- [23] *Kutzbach, H.D.*: Die Grundlagen der Halmgutverdichtung. *Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 16*, Düsseldorf: VDI-Verlag 1972.
- [24] *Clark, R. u. H.A. McFahrland*: Granular materials friction apparatus. *Trans. ASAE Bd. 16* (1973) Nr. 6, S. 1198/99.
- [25] *Deško, V.I.*: Reibungskoeffizienten beim Quetschen des Korns (Orig. russ.). *Mechanizacija i Elektrifikacija sil'skoho hospodarstva Bd. 26* (1973) S. 47/49.

Ausgewählte Dissertationen

Prozeßgerechte Gestaltung von Erntetransporten in der Landwirtschaft

Steigende pflanzliche Erträge, der Übergang zu Erntemaschinen mit erhöhter Flächenleistung und zunehmende Transportentfernung haben zu einem starken Anwachsen der Transportleistung geführt, das eine Rationalisierung des landwirtschaftlichen Transportwesens verbunden mit einer technischen Verbesserung der Transportmittel erforderlich macht.

Es werden die in der Landwirtschaft angewandten Transportmittel, Schlepper, Lastkraftwagen und Anhänger, auf ihre produkt- und prozeßgerechte Eignung kritisch untersucht und der Einfluß der gültigen Gesetze und Vorschriften unter Berücksichtigung der Situation der Transportwege in der Landwirtschaft aufgezeigt.

Die verfügbare Transportleistung hängt im wesentlichen von den Faktoren Fahrzeugnutzmasse, Fahrgeschwindigkeit und Transportentfernungen ab. Die ersten beiden Faktoren unterliegen den Einflüssen der Gesetzgebung, geben aber genügend Raum für die erforderliche Ausdehnung der Transportleistung.

Theoretische Überlegungen auf der Grundlage mathematisch erfaßbarer Einflußgrößen zeigen die bestehenden Rationalisierungsmöglichkeiten auf, die im wesentlichen durch eine prozeßgerechte Gestaltung des Transportablaufes und durch betriebstechnische Verbesserungen gegeben sind. Am Beispiel des Ernteguttransportes von Körnerfrüchten werden die Verfahrensleistungen des ab-sätzigen Transportes, des Standwagen- und des Überladebetriebes untersucht und arbeitswirtschaftlich eingeordnet. *G. Segler*

Diss. Univ. Hohenheim 1975 von *Dariusch Fatehi*. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der MEG Heft 8.

Pneumatische Verfahren der Durchflußmessung, Unterdruckregelung und Pulsmodulation an milchflußgesteuerten Melkanlagen

Durch eine milchflußabhängige Steuerung von Vakuumhöhe, Pulsfrequenz und Pulsverhältnis sollen die technischen Bedingungen des Melkvorgangs besser an die physiologischen Erfordernisse des Tieres angepaßt werden. Für dieses Verfahren wurden pneumatische Systeme untersucht, die durch den Unterdruck der Melkanlage betrieben werden. Der momentane Milchfluß kann in Form des Strömungsimpulses oder einer Stauhöhe gemessen und in ein geeignetes Drucksignal umgeformt werden. Durch spezielle Anordnungen ist eine lineare Beziehung zwischen Massen- oder Volumenstrom und der Ausgangsgröße zu erzielen. Über einen nachgeschalteten Membranregler wird entsprechend das Vakuum-Niveau der Anlage verändert. Aus pneumatischen Zeitgliedern (Drossel-Volumen-Systemen) und Schaltelementen lassen sich Impulseneratoren aufbauen, die den zyklischen Druckwechsel im Melkzeug steuern. Frequenz und Pulsverhältnis werden dabei durch das Milchfluß-Signal beeinflußt. Mit Hilfe von regelungstechnischen und strömungsmechanischen Beziehungen werden mathematische Modelle abgeleitet, die das Zeit- und Übertragungsverhalten der Anlage beschreiben und eine Berechnung der Kennlinien ermöglichen.

München

Dr.-Ing. H. Reuschenbach

(TU München 1977. Ber.: Prof. W. Söhne; Prof. J. Raabe.)