

**Zur Bestimmung der Viskosität
fließfähiger Futtermischungen¹**

Dr.-Ing. M. TSCHIRSCHKE*

Im Gegensatz zu Newtonschen Flüssigkeiten ist die Viskosität bei fließfähigen Futtermischungen keine ausschließlich temperaturabhängige Materialkonstante, sondern zusätzlich vom Schergefälle bzw. von der Scherspannung abhängig. Außerdem weisen diese Materialien eine Fließgrenze auf. Die vollständige Gleichung der Fließkurve lautet deshalb

$$\tau = k \cdot D^n + \tau_0$$

und die entsprechenden Beziehungen zur Berechnung der Viskosität in Abhängigkeit vom Schergefälle

$$\eta = \frac{k \cdot D^n + \tau_0}{D}$$

bzw. in Abhängigkeit von der Scherspannung

$$\eta = \frac{\tau}{\left(\frac{\tau - \tau_0}{k}\right)^{1/n}}$$

Zur experimentellen Bestimmung der Fließkurve dieser Nicht-Newtonschen Substanzen haben sich Rotationsviskosimeter am besten bewährt. Allerdings sind die handelsüblichen Ausführungen dieser Geräte infolge ihrer geringen Spaltweite zu Messungen an den Futtermischungen, die strukturell grobdisperse Suspensionen darstellen, ungeeignet.

Es wurden deshalb Untersuchungen mit 4 verschiedenen fließfähigen Futtermischungen (Tafel 1) an einem Rotationsviskosimeter großer Spaltweite (20 mm) mit Sägezahnprofil beider Zylinder im Bereich von $0,3 < D < 19,2 \text{ s}^{-1}$ und vergleichsweise an 2 verschiedenen Flügelrührern ($\approx 80 \text{ mm Dmr.}; \approx 35 \text{ mm Höhe}$) im Bereich von $3 < n < 243 \text{ min}^{-1}$ bei Futtermischung Nr. 1 und von $0,5 < n < 121,5 \text{ min}^{-1}$ bei den übrigen Futtermischungen durchgeführt.

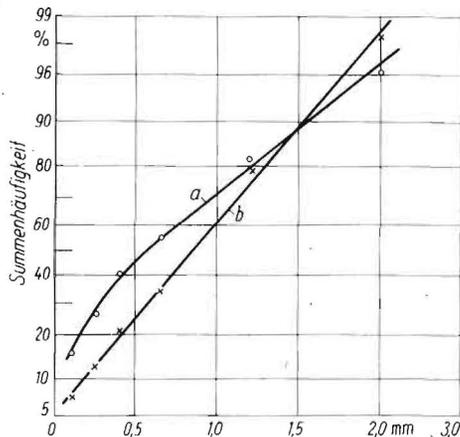


Bild 1. Siebanalyse von Trockenmischfutter und Gerstenschrot mit der Siebmachine NTS 1 (Ilmenau), Prüfsiebe nach TGL 1171, Siebzeit 15 min, Siebbeschleunigung 30 m/s^2 ; a Trockenmischfutter, b Gerstenschrot

Tafel 1. Zusammensetzung der untersuchten Futtermischungen

Nr.	Komponenten in Massen-%				Futter: Wasser- Verhältnis
	Trocken- misch- futter ¹	Gersten- schrot ²	Kartoffeln ³	Wasser	
1	28,6	—	—	71,4	1:2,5
2	33,3	—	—	66,7	1:2
3	—	—	55,5	44,5	1:0,8
4	—	33,3	—	66,7	1:2

¹ Schweinemast-Alleinfutter Sorte II; Siebanalyse Bild 1;

² Siebanalyse Bild 1;

³ Gekocht und in Fleischwolf zerkleinert; Sorte Rotkehlchen, 15,7 % Stärkegehalt der Rohware

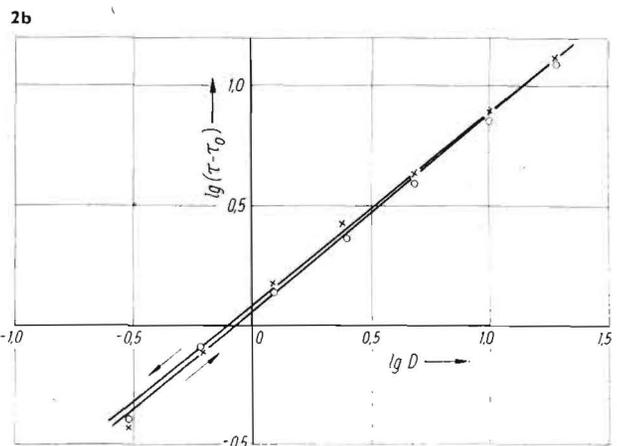
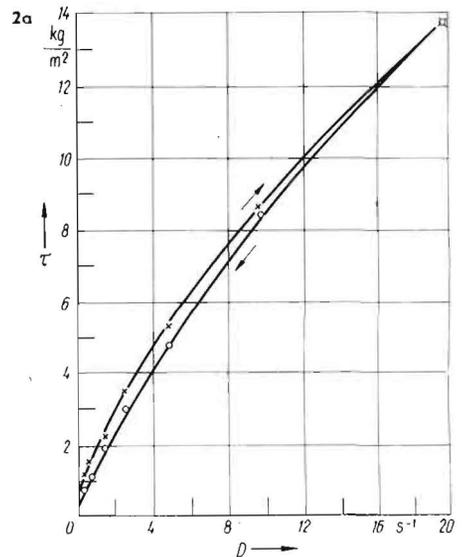


Bild 2. Fließkurve der Futtermischung Nr. 2
a) Normal-numerische Darstellung; τ_0 auf = 0,6, τ_0 ab = 0,4
b) Doppelt-logarithmische Darstellung

	lg k	k	n	B
auf	0,055	1,135	0,8465	0,9970
ab	0,070	1,175	0,8471	0,9965

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

¹ Dieser Abhandlung liegen Untersuchungen zugrunde, die von cand.-ing. E. BOESE aus dem Institut für Landtechnik der Universität Rostock (komm. Direktor: Dr. agr. habil. O. MÄTZOLD) als Diplomaufgabe im IML Bornim durchgeführt wurden.

Die Ergebnisse der Messungen am Rotationsviskosimeter großer Spaltweite bestätigen, daß die Futtermischungen strukturviskos sind, eine Fließgrenze aufweisen und außerdem ein thixotropes Verhalten zeigen. Bild 2 a zeigt als Beispiel eine Fließkurve der Futtermischung Nr. 2 (Tafel 4) mit $Tr = 28,3\%$ und $\rho = 1040 \text{ kg/m}^3$ bei $\vartheta = 10^\circ\text{C}$ und $T = 220 \text{ min}$ in normal-numerischer Darstellung. Deutlich sind die Fließgrenze, die Krümmung der Kurve und die Hysterese zwischen den Werten bei ansteigendem D und den Werten bei abfallendem D als Maß für die Thixotropie zu erkennen. Bild 2b zeigt, daß die gleiche Fließkurve im doppelt-logarithmischen System bei Auftragung von $\lg(\tau - \tau_0) = f(\lg D)$ zwei Geraden mit verschiedenen Steigungen und Durchstoßpunkten ergibt. Die Viskositätskurve dieses Versuchs zeigt Bild 3. Deutlich ist der starke Abfall bis zu $D \approx 10 \text{ s}^{-1}$ bzw. $\tau \approx 9 \text{ kp/m}^2$ zu erkennen, während die Viskosität bei höheren Werten ($D \geq 20 \text{ s}^{-1}$ bzw. $\tau \geq 15 \text{ kp/m}^2$) mit $\approx 0,8 \text{ kp} \cdot \text{s/m}^2$ (entsprechend 8000 cP) nahezu konstant bleibt.

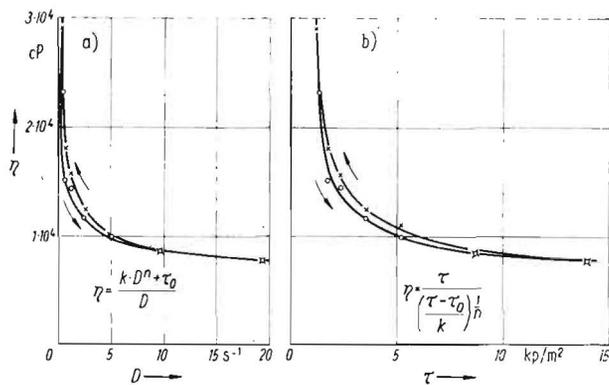


Bild 3. Viskositätskurve der Futtermischung Nr. 2
a) $\eta = f(D)$
b) $\eta = f(\tau)$

Die Verrechnung der Meßwerte nach der linearen Regression zur Bestimmung der Konstanten ergab für nahezu alle Fließkurven ein Bestimmtheitsmaß von $0,97 < B < 0,99$, so daß für die Fließkurven der untersuchten Futtermischungen die angegebene Beziehung anwendbar ist.

Ein Korrelationstest aller mit ansteigendem D gemessenen Werte gegen alle mit abfallendem D gemessenen Werte von τ_0 , k und n ergab für alle 4 Futtermischungen Geraden mit einem Bestimmtheitsmaß von $0,16 < B < 0,94$ bei 54 Meßwerten je Kurve, so daß der Einfluß der Thixotropie innerhalb der Meßzeit von 10 bis 20 min vernachlässigt werden kann.

Derselbe Test ergab für alle 4 Futtermischungen bei statistischer Verrechnung der 1. vollständigen Messung mit einem Futtermischungs-Ansatz gegen die 2. unmittelbar danach ausgeführte vollständige Messung mit demselben Futtermischungs-Ansatz ebenfalls eine direkte Abhängigkeit mit einem Bestimmtheitsmaß von $0,29 < B < 0,87$, so daß eine Messung je Versuchsparameter ausreichend ist.

Weiterhin zeigte die Bestimmung der Temperaturabhängigkeit (Messung bei 10, 20 und 30°C) und die Bestimmung der Zeitabhängigkeit (Messung bei 40, 130 und 220 min) der Konstanten der Fließkurve, daß eventuell bestehende Zusammenhänge von der Meßwertstreuung, die durch Thixotropie, Wiederholung der Messung und im wesentlichen durch die Messung von 3 getrennt zubereiteten Mischungen derselben Zusammensetzung hervorgerufen wird, vollständig überdeckt werden. Tafel 2 enthält deshalb keine exakten Kennwerte, sondern nur Bereiche, in denen sich die errechneten Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Konstanten bewegen.

Tafel 2. Bereich der Mittelwerte und Variationskoeffizienten von τ_0 , k , n für $\vartheta = 10, 20, 30^\circ\text{C}$ und $T = 40, 130, 220 \text{ min}$

Nr.	aus je 12 Werten			in %		
	τ_0	k	n	τ_0	k	n
1	0,3 ... 0,4	-4,3 ... -7,8	0,84 ... 0,98	25 ... 63	8 ... 24	6 ... 19
2	0,5 ... 0,9	-1,1 ... -1,9	0,69 ... 0,88	17 ... 68	35 ... >100	5 ... 16
3	2,5 ... 6,0	1,5 ... 2,9	0,40 ... 0,62	12 ... 63	19 ... 50	13 ... 27
4	1,2 ... 7,4	-1,4 ... 1,3	0,52 ... 0,66	15 ... 37	26 ... >100	11 ... 28

Bei der rechnerischen Ermittlung der Konstanten der zur Fließkurve analogen Drehmoment-Drehzahl-Kurve beider Rührkörper ($M = k \cdot n^n + M_0$) ergab sich das gleiche hohe Bestimmtheitsmaß wie bei dem Rotationsviskosimeter. Auch hier braucht man die Thixotropie der Futtermischung bei der Messung nicht zu berücksichtigen.

Der Korrelationstest zwischen dem Rotationsviskosimeter und den beiden Rührkörpern, bei dem die Fließkurven für die einzelnen Futtermischungen mit den zugehörigen Drehmoment-Drehzahl-Kurven verglichen wurden, ergab keine eindeutige Abhängigkeit. Bei dem Vergleich zwischen τ_0 und M_0 konnte nur bei der Futtermischung 3 und 4 eine Abhängigkeit nachgewiesen werden ($B \approx 0,4$), und bei $\lg k$ und n war das Bestimmtheitsmaß für alle Futtermischungen sehr niedrig ($B < 0,2$). Es ist somit notwendig, die Untersuchungen an Rührern mit anderen Rührerformen und Drehzahlen fortzuführen.

Zusammenfassung

Versuche an fließfähigen Futtermischungen mit einem Rotationsviskosimeter großer Spaltweite und zwei Flügelrührern ergaben, daß der Einfluß von Thixotropie und Wiederholung der Messung mit derselben Futtermischung auf das Ergebnis vernachlässigt werden kann. Dagegen führen Messungen getrennt angesetzter Mischungen derselben Rezeptur zu großen Streuungen, die sogar den Temperatur- und Zeiteinfluß überdecken. Eine Abhängigkeit der Fließkurve und der Drehmoment-Drehzahl-Kurve war nicht eindeutig nachzuweisen.

Verwendete Bezeichnungen

Dynamische Viskosität	η	$\text{kp} \cdot \text{s/m}^2$; cP*
Schergefälle	D	s^{-1}
Scherspannung	τ	kp/m^2
Fließgrenze (Grenzscherspannung)	τ_0	kp/m^2
Rührerdrehzahl	n	min^{-1}
Drehmoment am Rührer	M	peM
Grenzdrehmoment	M_0	peM
Steigungsfaktor der Fließkurve	k	$\text{kp} \cdot \text{s/m}^2$
Krümmungsfaktor der Fließkurve	n	—
Temperatur	ϑ	$^\circ\text{C}$
Zeit zwischen Ansetzen der Futtermischung und Messung (Alter der Futtermischung)	T	min
Dichte	ρ	kg/m^3
Trockensubstanzgehalt	Tr	Massen-%
Arithmetischer Mittelwert	\bar{x}	—
Variationskoeffizient	V	$\%$
Bestimmtheitsmaß bei linearer Regression	B	—

* cP = Zentipoise; 1 cP = $1,02 \cdot 10^{-4} \text{ kp} \cdot \text{s/m}^2$

Literatur

- [1] BOESE, E.: Untersuchungen an fließfähigen Futtermischungen mit zwei Rotationsviskosimetern. Diplomarbeit am Institut für Landtechnik der Universität Rostock, 1967, unveröffentlicht
- [2] TSCHERSCHIKKE, M.: Rotationsviskosimeter für grobdisperse Suspensionen. Archiv für Landtechnik II. 1/1968
- [3] UMSTÄTTER, H.: Einführung in die Viskosimetrie und Rheometrie. Springer-Verlag, Berlin, 1961 A 7201

PROSPEKTMATERIAL

über die Literatur des
VEB VERLAG TECHNIK · BERLIN
fordern Sie bitte bei Ihrem
Buchhändler an