

Hinweise zur Entwicklung und zum Betrieb von Futtermischern

Dr.-Ing. M. Fehlauer/Dr.-Ing. M. Albert

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

Dipl.-Ing. I. Lickert, FERDI-Technik GmbH Ferdinandshof

Verwendete Formelzeichen

D	m	Mischerdurchmesser
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
k		Verschiebewiderstand
L	m	Mischerlänge
m	kg/s	Massestrom
P	kW	Leistung
R _v		Vergleichsreibungswert
TS		Trockensubstanz
η _i		Füllungsgrad

1. Vorbemerkungen

In der Schweinefleischproduktion der DDR werden verschiedene Futtermittelarten eingesetzt, die sich durch Anbaustruktur, Ertragspotential und Verfügbarkeit ergeben. Dabei haben Gemische mit feuchtkrümliger Konsistenz einen wesentlichen Anteil. Kennzeichnend für diese Futtermischungen ist der Einsatz von Mehrkomponentenrationen, die sich aus Trockenfuttermitteln, Hackfrüchten, Grobfuttermitteln, Sammelfutter u. a. zusammensetzen können. Neben der Qualität der einzelnen Futtermittel ist ernährungsphysiologisch ein optimal ablaufender Mischprozeß von entscheidender Bedeutung, da nur so garantiert werden kann, daß jedes Tier die erforderliche Menge an Nährstoffen in seiner Ration erhält. Wie aus der umfangreichen Literatur zur Mischtechnik ersichtlich ist, existieren keine ausreichenden mathematisch-physikalischen Grundlagen, die die kinematischen und kinetischen Verhältnisse im Mischer erfassen und eine ingenieurtechnische Berechnung zulassen.

Deshalb wurden im Auftrag des damaligen

Ausrüstungskombinates Nauen vom Teil Potsdam-Bornim des Forschungszentrums für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben umfangreiche Untersuchungen zur Optimierung von Futtermischern, vor allem für die feuchtkrümlige Fütterung, durchgeführt. Ziele waren:

- Senkung des spezifischen Energie- und Materialbedarfs
- Erarbeitung ingenieurtechnischer Grundlagen, vor allem Ableitung konstruktiver Zusammenhänge zwischen Mischbehälter, Rührwerk und Mischgut.

2. Ableitung konstruktiver Parameter

Die Entwicklung der Mischer erfolgt über Ähnlichkeitsbetrachtungen, ausgehend von der Optimierung von Klein- bzw. Modellmischern. Zusammenfassende Kenngrößen, wie sie in der Rührtechnik vorhanden sind, liegen nicht vor.

In Schweineproduktionsanlagen mit feuchtkrümligem Futtereinsatz sind Chargenmischer einzusetzen. Leistungsbedarf und Mischzeiten ergeben sich in funktioneller Abhängigkeit von den Konstruktions- und Betriebsparametern des Mixers sowie von den Gutparametern des Mischgutes. Die Konsistenz der Mischgüter erfordert den Einsatz eines Mischprinzips, bei dem auftretende Agglomerate zerstört werden können. Die wesentliche Wirkkraft muß eine durch das Werkzeug eingebrachte Scherkraft sein (Bild 1).

Durch experimentelle Untersuchungen sowie Messungen am Futtermischer L421A

wurde als Vorzugslösung ein Gegenstrommischer ermittelt, der aus einem waagerechten, zylindrischen Mischbehälter besteht, in dem die Mischwelle mit den Mischwerkzeugen zentrisch rotiert.

Hierbei muß gesichert werden, daß

- tote Zonen ausgeschlossen sind, d. h. alle Mischgutteilchen mit gleicher Intensität am Mischprozeß teilnehmen
- der Spalt zwischen Werkzeug und Mischbehälter so gering wie möglich gehalten wird
- die Anordnung der Mischwerkzeuge einen einkreisigen Mischkreislauf gewährleistet (Bild 2).

Das Mischwerkzeug (Bild 3) muß sichern, daß die äußere Förderrichtung zum Austrag besteht und die innere Förderrichtung entgegengesetzt ist. Für den Einsatzfall für feuchtkrümlige Mischungen ist ein geteilt schneckenförmiges Werkzeug zweckmäßig (Bild 4, Werkzeug Nr. 2).

Die Mischwerkzeuge an den Stirnseiten sollten dabei hauptsächlich der Funktion des Umlenkens und der Vermeidung von Verdichtungen an der Wand gerecht werden. Durch die gleichsinnige Förderrichtung dieser beiden Werkzeuge kann ihre Länge geringer gehalten werden als bei den mittleren Werkzeugen. Eine optimale Wirkung wird mit einem Anstellwinkel von 40° erreicht (Bild 5). Das äußere Werkzeug ist gegenüber der Behälterwand anzustellen, um Verdichtungen zu vermeiden.

Die erforderliche Anzahl der Mischarme ergibt sich als Funktion des Länge-Durchmesser-Verhältnisses.

Eine größere Armanzahl mit kleinen Einzelwerkzeugen bringt je Arm eine geringere Last und somit bei Beachtung der Armanordnung einen gleichmäßigeren Momentenverlauf (Tafel 1). Die Mindestarmzahl zur Sicherung des Konvektionsstromes beträgt \sqrt{D} . Gleichzeitig erfordert eine größere Armanzahl einen höheren Materialeinsatz und schränkt gerade bei feuchtkrümligem Mischgut den Bewegungsfreiraum ein. Bei feuchten klumpigen Gütern ist zwischen äußerem und innerem Werkzeug ein genügend großer Abstand zu realisieren, um eine Brückenbildung und somit eine Einschränkung der Relativbewegung zu verhindern (Bild 6a). Bei trockenem/rieselfähigem bzw. breiigem bis pumpfähigem oder fluidisierendem Gut würden sich bei großem Werkzeugabstand nur gering oder gar nicht bewegte Zonen ausbil-

	Beispiel	Bezeichnung	Gut	Fr
Schwerkraft		Freifallmischer	fließfähige Schüttgüter	<1
		Vertikalmischer Mischmaschine Konusmischer	fließfähige Schüttgüter	<1
Scherkraft		Gegenstrommischer & Zweiwellenmischer	fließfähige bis feuchte Schüttgüter mit geringer Fließfähigkeit	<1
		Kneter	hochviskose Flüssigkeiten Pasten	<1
Fliehkraft		Pflugscharmischer Kreiselmischer	fließfähige Schüttgüter	>1

Bild 1
Klassifizierung mechanisch wirkender Chargenmischer [1]

Fortsetzung von Seite 397

darauf Wert legen, daß die Technik im Stallbereich einen ausreichenden Schutzgrad aufweist. Anwendungsfreundliche Software und leicht erlernbare Bedienung sind heute selbstverständliche Forderungen.

3. Zusammenfassung

Im Artikel werden die wichtigsten Teilsysteme computergesteuerter Flüssigfüt-

terungsanlagen vorgestellt. Dabei wird versucht, den aktuellen Stand der Technik zu charakterisieren und aus der Sicht praktischer Anwendung zu werten. Die Gesamteinschätzung einer Fütterungsanlage muß unter Beachtung des Zusammenwirkens der Teilsysteme erfolgen. Die Dosierqualität beim Anmischen und beim Zuteilen hinsichtlich Masse und Inhaltsstoffe ist das entscheidende Beurteilungskriterium.

Literatur

- [1] Computereinsatz bei der Flüssigfütterung von Mastschweinen. DLG-Merkblatt 253, Ausg. 1988. A 5996

den. Zweckmäßiger für letztgenannte Güter ist die Ausbildung der Werkzeuge als schmale parallele Bänder (Bild 6b und 6c) gegenüber breiten Platten. Beim Einsatz sowohl für trockene als auch für feuchtkrümlige Mischgüter – wie von der Landwirtschaft gefordert – ist ein Kompromiß zu finden (Bild 6d), der aber bei extremen Bedingungen evtl. Nachteile gegenüber speziell ausgelegten Mischern bringen kann. Das Länge-Durchmesser-Verhältnis hat Einfluß auf den Materialeinsatz, die erforderliche Mischzeit und den Leistungsbedarf. Saal [2] weist für den vorgegebenen Einsatzfall ein Verhältnis $L/D = 1$ als optimale Variante nach.

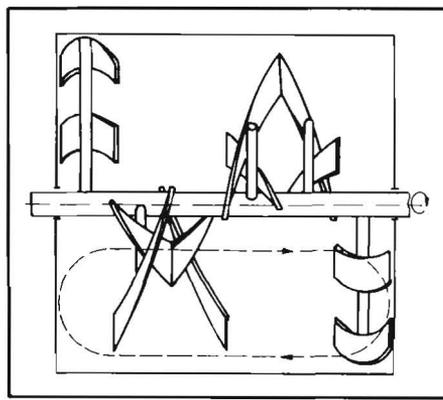


Bild 2. Zwangsbewegung im Gegenstrommischer [1]

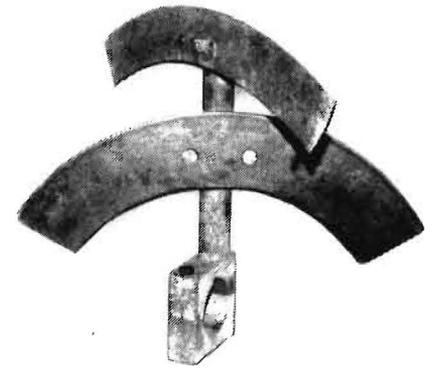


Bild 3. Mischwerkzeug – inneres und äußeres Bandschneckensegment [2]

3. Zur Übertragbarkeit von Ergebnissen an Modellmischern

Die Dimensionierung des realen Mixers wird meist aus an Modellmischern gewonnenen Ergebnissen und Erkenntnissen über Modellbeziehungen vorgenommen. Die konstruktive Gestaltung ist aber nicht in jedem Fall maßstäblich übertragbar. Beim Modell und beim realen Mischer wird Originalgut verwendet, so daß Maßstabeffekte auftreten können. Das betrifft vor allem die unterschiedlichen Werkzeugabstände von Original und Modell. Ein Modell kann bei klumpigem Gut ungeeignet sein, während der reale Mischer bei geometrisch ähnlicher konstruktiver Gestaltung gute Ergebnisse gewährleistet. Andererseits kann ein für frei fließfähiges, evtl. fluidisierendes oder pumpfähiges Gut geeigneter Modellmischer für den maß-

stäblich vergrößerten Mischer zu gute Ergebnisse vortäuschen.

Deshalb ist bei der Anwendung von Modellbeziehungen darauf zu achten, daß die Größenunterschiede zwischen Modell- und Originalmischer nicht zu groß sind. Ausgehend von den Versuchen am Modellmischer muß über einen halbtechnischen Versuch der Guteinfluß erkannt und durch geometrische Korrekturen kompensiert werden. Der Maßstab zwischen Modell und Original sollte bei Mixern für feuchtkrümliges Gut 1:10 nicht überschreiten.

4. Dimensionierung des Antriebs

Für die Dimensionierung eines Mixers exi-

stieren verschiedene Methoden der Leistungsabschätzung:

- Die am Modellmischer gewonnenen Ergebnisse können über Modellbeziehungen mit den genannten Einschränkungen auf einen realen Mischer übertragen werden.
- Die Ermittlung des Leistungsbedarfs, des Drehmoments und des Biegemoments ist über die von der tangentialen Werkzeugfläche abhängige Tangentialkraft unter Beachtung des geometrischen Verhältnisses möglichst [2]. Dieser aus Versuchen mit Trockenmischfutter gewonnene Ansatz läßt sich auf feuchtkrümlige Futtermischungen übertragen, indem ein Gutfaktor eingeführt wird, der die 2- bis 3fache

Tafel 1. Anordnung in Abhängigkeit von der Anzahl der Arme (Arm 1: stirnseitiger Auslauf)

Armanzahl	Winkel der Arme in °									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0	144	288	72	216					
6	0	120	240	60	300	180				
7	0	154	308	103	257	51	206			
8	0	135	270	45	225	90	315	180		
9	0	200	320	80	240	120	280	40	160	
10	0	144	288	72	216	36	252	108	324	180

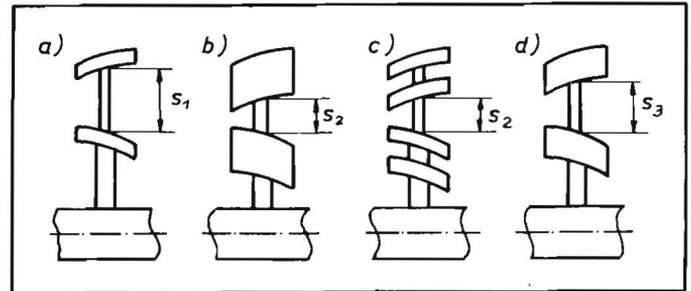
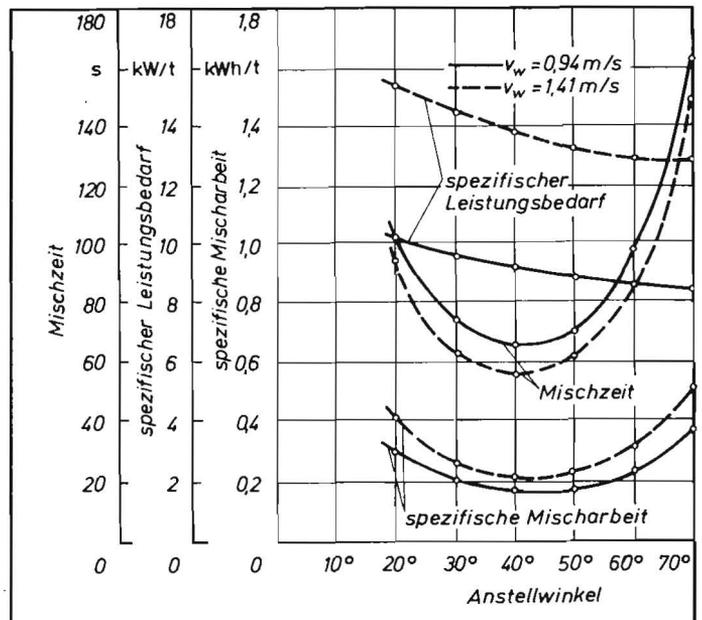
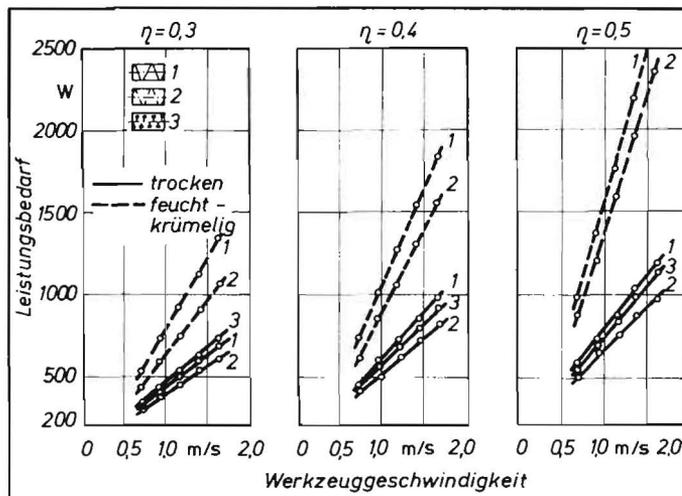


Bild 6. Werkzeugformen ($s_1 > s_2 > s_3$)

Bild 5. Abhängigkeit der Mischzeit, des spezifischen Leistungsbedarfs und der spezifischen Mischarbeit vom Werkzeuganstellwinkel [2]; Mischgut S II, feuchtkrümlig, $\eta = 0,5$

Bild 4. Leistungsbedarf verschiedener Werkzeuge in Abhängigkeit von der Werkzeuggeschwindigkeit [2]



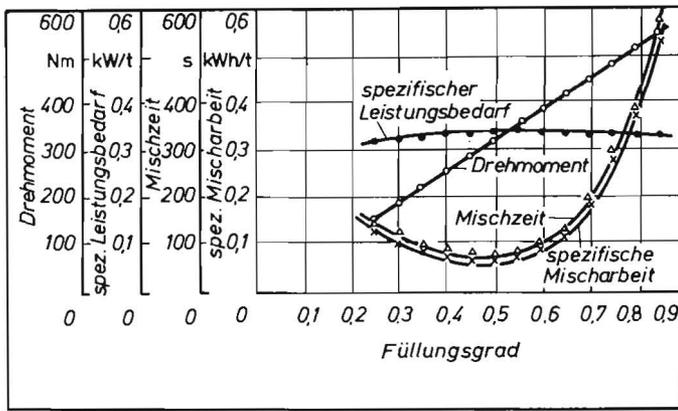


Bild 7. Abhängigkeit des Drehmoments, des spezifischen Leistungsbedarfs, der Mischzeit und der spezifischen Mischarbeit vom Füllungsgrad [2]; Mischgut S II, trocken, $v_w = 0,94$ m/s

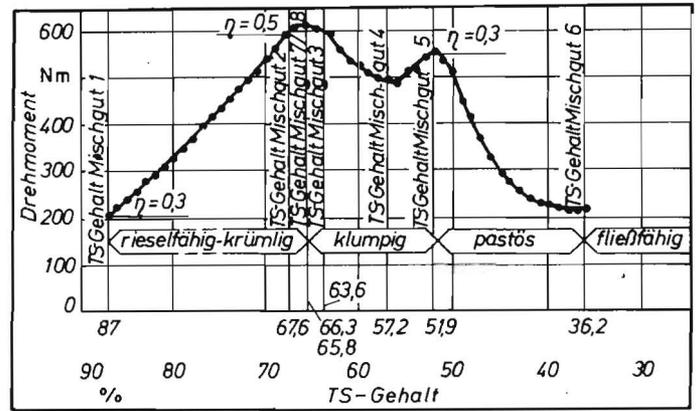


Bild 8. Drehmoment als Funktion der Mischgutkonsistenz [2]; Mischgut S II, $m = 116$ kg (Ausgangsmasse), $v_w = 0,94$ m/s

Leistungsaufnahme bei klumpigem Gut berücksichtigt.

- Ausgehend von der Vorstellung des Konvektionsstromes im Gegenstrommischer als zwei gegenläufige Förderströme ist der zu erwartende Leistungsbedarf auch mit Hilfe bekannter Ansätze für Schneckenförderer zu berechnen:

$$P = \dot{m} L g k;$$

mit

$$k = 2,5 R_v.$$

Voraussetzung für die Anwendung dieser Beziehung ist die Vermeidung von Verdichtungen des Gutes. Der Vergleichsreibwert kann für die einzelnen Güter durch Reibwertuntersuchungen mit Hilfe eines Schergeräts ermittelt werden und stellt eine Kombination aus innerem und äußerem Reibwert dar.

Experimentelle Untersuchungen ergaben für den Verschiebewiderstand k landwirtschaftlicher Güter folgende Größenordnungen:

- Trockenmischfutter 1,8 bis 2,2
- feuchtkrümliges, klumpiges Gut 3,6 bis 4,5
- breiiges Gut 0,5 bis 1,0.

5. Technologische Hinweise

Der energetisch günstigste Füllungsgrad liegt bei $\eta_r = 0,5$ (Bild 7). Dieser sollte eingehalten werden, es wird der volle Eingriff des äußeren und des inneren Werkzeugs gesichert. Die erforderliche Mindestfüllmenge zur Gewährleistung der Mischqualität ist von der Bauform des Mixers abhängig. Als Richtwert sollten 20% der vom Hersteller angegebenen Maximalfüllmenge nicht unterschritten werden. Die Vielzahl der in der Schweineproduktion zum Einsatz kommenden Futtermittel wird zu verschiedenen Mischungen zusammengestellt. Nicht für jede Mischung kann eine Misch- bzw. Befülltechnologie vorgegeben werden. Grundsätzlich ist zu unterscheiden:

- Futtermischungen ohne oder mit nur geringem Faseranteil
- Futtermischungen mit Faseranteil.

Der TS-Gehalt liegt zwischen 30% und 70%. Bei hohem Grünfütteranteil ist ein hoher Anteil gebundenen Wassers vorhanden, das die Konsistenz des Gutes nicht beeinflusst. Bei Mischungen der Kategorie a existiert eine Abhängigkeit des Drehmoments und somit der Leistungsaufnahme vom TS-Gehalt (Bild 8). Dieser Drehmomentenverlauf ist auch durch Werkzeugoptimierung nur bedingt korrigierbar [1, 3]. In dem für den Mischvorgang ungünstigen TS-Bereich neigt das Mischgut verstärkt zur Agglomeratbildung, wodurch der Konzentrationsausgleich behindert wird. Das Ziel des technologischen Regimes besteht darin, diesen Bereich sowohl als sich einstellenden TS-Gehalt der Mischungen zu verhindern als auch ein Überschreiten dieses Bereichs beim Befüllen zu vermeiden.

Für das Befüllregime ergibt sich daraus bei Mischungen mit einem End-TS-Gehalt $> 60\%$ eine Befüllung von trocken nach feucht und für Mischungen mit einem TS-Gehalt $< 50\%$ von feucht nach trocken, wobei die Zugabe von trockenen Mikrokomponenten nach $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ der Trockenkomponentenbefüllung erfolgen sollte.

Für Mischungen, deren TS-Gehalt aufgrund der Rezeptur und der TS-Gehalte der einzelnen Komponenten bei 50 bis 60% liegt, ist es vorteilhaft, von vornherein gezielt den TS-Gehalt durch Zugabe von Wasser unter 50% zu senken und entsprechend von feucht nach trocken zu befüllen. Diese Verlagerung in feuchtere Bereiche bringt mehrere Vorteile mit sich. Das fertige Mischgut, unabhängig von den Rezepturen bzw. Komponenten, liegt in einer einheitlichen Konsistenz von pastös bis breiig vor. Daraus resultiert, daß die Futtermitteltechnik auch gezielter für diesen Fall ausgelegt werden kann und die Gefahr der Austragsblockierung durch klumpiges Gut vermindert wird. Die in diesem Zusammenhang vielfach geäußerte Meinung, daß Wasserzugabe nur eine Aufwandserhöhung bedeutet, da durch die Wasserzugabe die zu bewältigende Futtermasse

zunimmt, ist nicht gerechtfertigt. Zwar nimmt tatsächlich die Futtermasse zu, jedoch wird dieser Nachteil durch den wesentlich geringeren Energiebedarf beim Mischen und beim Austrag mehr als kompensiert. Durch die Zunahme der Dichte bei Zugabe von Wasser bleibt das Volumen etwa bis 45% TS konstant.

Daraus resultiert – in Verbindung mit der durch die Verteiltechnik bedingten Mindest-TS-Gehalt von 45% –, daß für krümlige Mischungen (mit Hackfruchtanteil) ein TS-Gehalt von 45 bis 50% anzustreben ist.

6. Zusammenfassung

Den im Beitrag gegebenen Hinweisen zur Entwicklung und zum Betrieb von Futtermischern liegen umfangreiche Untersuchungen zur Optimierung von Futtermischern, vor allem für die feuchtkrümlige Fütterung, zugrunde. Vermittelt werden Informationen zur Behältergeometrie und zur Werkzeuggestaltung.

Außerdem wird auf Grenzen bei der Anwendung von Modellbeziehungen hingewiesen. Zur Antriebsdimensionierung wird ein aus der Fördertechnik abgeleiteter Berechnungsansatz vorgestellt, der außer Betriebs- und Konstruktionsparametern auch Gutparameter erfaßt. Neben der Verbesserung der Mischtechnik kann durch geeignete technologische Maßnahmen der Energiebedarf z Herstellung von feuchtkrümligen Futtermischungen wesentlich gesenkt werden.

Literatur

- Albert, M.: Untersuchungen zur Mischergestaltung. Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben, Forschungsbericht 1989 (unveröffentlicht).
- Saal, M.: Beitrag zur Mischergestaltung. Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben, Forschungsbericht 1986 (unveröffentlicht).
- Fehlauer, M.; Albert, M.; Saal, M.; Lickert, J.: Betreiben von Mixern zur Herstellung feuchtkrümliger Futtermischungen in der Schweineproduktion. agrartechnik, Berlin 38(1988)6, S. 256–258. A 5926