

Christian Fürll, Hartmut Schemel, Heinz Hempel, Janine Ellner und Thomas Hoffmann

Energiesparendes Zerkleinern von erntefeuchtem Getreide mit einem Keilscheibenzerkleinerer

Für das Zerkleinern von Getreide in einem weiten Kornfeuchtebereich bis 25 % wurde eine Mahleinrichtung mit einem Keilscheibenzerkleinerer entwickelt und untersucht. Die Versuchsgüter waren Weizen, Gerste, Roggen und Mais. Im Vergleich zur Zerkleinerung in Hammermühlen wurden mit Masseströmen von $> 40 \text{ t}/(\text{h} \cdot \text{m})$, Energieaufwendungen von $< 3 \text{ kWh}/\text{t}$ und Ganzkornanteilen von $< 1 \%$ deutlich bessere Werte erzielt. Mit diesen Ergebnissen wird auch ein wesentlicher Beitrag zur Einsparung von Energie in einem wichtigen Aufbereitungsprozess für Getreide erreicht.

Schlüsselwörter

Getreide, Zerkleinerung, Aufbereitung

Keywords

Grain, reduction, processing

Abstract

Fürll, Christian; Schemel, Hartmut; Hempel, Heinz; Ellner, Janine and Hoffmann, Thomas

Energy-saving grinding of wet harvest grain with a grinding machine with wedge-shaped discs

Landtechnik 64 (2009), no. 6, pp. 403-405, 2 figures, 1 table, 3 references

A grinding machine with wedge-shaped discs was developed for grinding of wheat, barley, rye and maize with a moisture content up to 25 %. The grinding machine realised a mass flow $> 40 \text{ t}/(\text{h} \cdot \text{m})$ with a energy consumption of $< 3 \text{ kWh}/\text{t}$ and with less than 1 % whole grains after crushing. The low specific energy consumption supplies an important contribution for energy conservation.

■ Mehr als zwei Drittel des geernteten Getreides werden als Futtermittel in der Tierhaltung verwendet. Die Lagerung und Konservierung erfolgt aus Logistik- und aus Kostengründen tendenziell zunehmend im landwirtschaftlichen Betrieb.

Vor allem Großbetriebe bereiten das eigene Getreide selbst zu Futtermischungen auf und lagern es im eigenen Betrieb. Hier hat sich in den letzten Jahren neben der Getreidetrocknung die konservierende Lagerung des erntefeuchten Getreides mit und ohne Zusätze als kostengünstig und energiesparend herausgestellt. Ein wichtiger Verfahrensschritt dazu ist die Getreidezerkleinerung unmittelbar nach der Ernte. Aus logistischen Gründen und aus Gründen des Vermeidens von Verlusten muss das Getreide unmittelbar nach der Ernte zerkleinert werden, damit es danach sofort in Silos eingelagert und verdichtet werden kann. Vor allem beim Konservieren ohne Zusätze sind hohe Lagerungsdichten erforderlich, um das Entwickeln schädlicher Mikroorganismen zu unterbinden. Für das Zerkleinern werden gegenwärtig überwiegend Maschinen mit Prallzerkleinerung oder Walzenstühle verwendet. Bei der Prallzerkleinerung werden große Masseströme verarbeitet, aber von Nachteil sind die hohen spezifischen Energieaufwendungen von bis zu $10 \text{ kWh}/\text{t}$. Walzenstühle erfordern lediglich Energieaufwendungen von $< 3 \text{ kWh}/\text{t}$. Sie bewältigen aber meist nicht die Masseströme, die aus verfahrenstechnischer Sicht erforderlich sind.

Deshalb wurden am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim zerkleinerungstechnische Untersuchungen mit einem Keilscheibenzerkleinerer durchgeführt. Ziel war es, hohe Masseströme bei einem vertretbaren Energieaufwand und Partikelgrößen, die in der Tierernährung akzeptiert werden, zu erreichen.

Zielsetzung

Die Zielstellung beinhaltet Forderungen hinsichtlich Partikelgröße, Ganzkornanteil, Massestrom und Kornfeuchte. Seitens der Tierernährung ist für die Schweinefütterung auf Grund der Verdauungsphysiologie eine intensivere Zerkleinerung als für die Rinderfütterung nötig. Im Ergebnis von Fütterungsversuchen zur Ermittlung des günstigsten Vermahlungsgrades von

Getreide in Mastmischungen für Schweine [1] wird festgestellt, dass fein vermahlene Getreideschrotmischungen zu einer besseren Verwertung des Futters in Form höherer Schlachtausbeuten führen. Je feiner das untersuchte Getreide-Soja-Gemisch jedoch vermahlen wurde, desto mehr Magenveränderungen und Geschwüre traten auf. Deshalb soll der Anteil der Partikel mit einer Größe $< 1 \text{ mm}$ 70 % nicht übersteigen.

Grob umrissene Forderungen an die mittlere Partikelgröße nach dem Zerkleinern $x_{50,E}$ sind:

- Schweinefütterung: $x_{50,E} \leq 1 \text{ mm}$
- Rinderfütterung: $x_{50,E} \leq 4 \text{ mm}$

Für Rinder sollte das Getreidekorn lediglich gequetscht sein, damit das Korninnere der Verdauung zugänglich wird. Eine weitere Forderung ist der zulässige Ganzkornanteil, weil ganze Körner auch vom Rind nicht verdaut werden können. Er beträgt $\leq 1 \%$. Aus verfahrenstechnischer Sicht ergeben sich Forderungen an die Zuverlässigkeit, die Verfahrenskontinuität und den spezifischen Energieverbrauch:

- zuverlässige Zerkleinerung für Kornfeuchten bis ca. 25 %
- Masseströme $> 30 \text{ t/h}$
- Energieverbrauch: $< 3 \text{ kWh/t}$

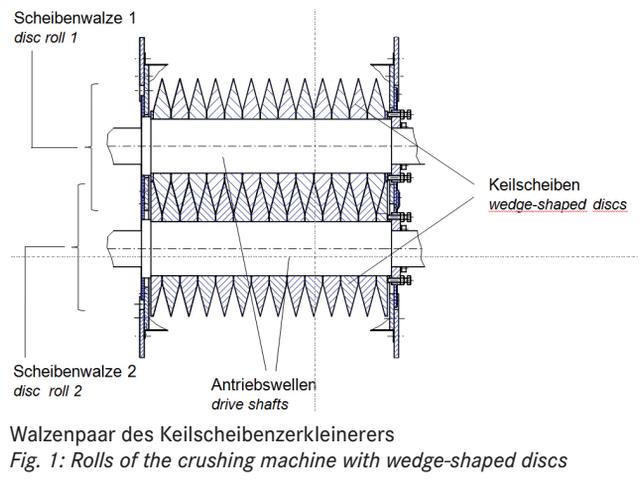
Die Kornfeuchteobergrenze resultiert aus der Grenze für die gasdichte Lagerung. Die erforderlichen Masseströme richten sich nach der Druschkapazität der eingesetzten Mähdrescher im Landwirtschaftsbetrieb.

Versuche

Versuchsmaschine. Die Versuchsmaschine besteht aus einem Walzenpaar mit keilförmigen Mahlscheiben (**Abbildung 1**). Das Funktionsprinzip ist aus einer Nachzerkleinerungseinrichtung im Feldhäcksler bekannt [2]. Beide Walzen bilden einen zickzackförmigen Mahlspalt. Dadurch erhält man gegenüber zylindrischen Walzen bei gleicher Mahlspaltlänge eine geringere Walzenlänge, was maschinendynamische Vorteile bedeutet. Eine reine Druckbeanspruchung ist nur an der Stelle des Mahlspalts vorhanden, an der die gleiche Umfangsgeschwindigkeit vorliegt. An allen anderen Punkten des Mahlspalts tritt gleichzeitig Druck- und Scherbeanspruchung auf. Die Spaltweite kann durch Verstellen des Wellenabstandes variiert werden. Eine Welle ist im Gestell fest und die andere federnd gelagert. Dadurch ist beim Durchgang von Fremdkörpern ein Auslenken möglich. Der Antrieb der beiden Wellen erfolgt jeweils separat über einen frequenzgesteuerten Motor. Dies ermöglicht das Einstellen verschiedener Drehzahlen.

Die Keilscheiben haben einem Außendurchmesser von 299 mm und einen Winkel zwischen den Keilflanken von 30° . Der Krümmungsradius der Keilscheibe variiert zwischen 300 mm (innen) und 577 mm (außen). Die Riffelung der Keilflächen ist konzentrisch zur Walzenachse mit nach außen gerichteter Schneidkante. Beim eigentlichen Mahlvorgang im Mahlspalt wird durch diese Art der Beriffelung außer der Scherbeanspruchung in vertikaler Richtung und der Druckbeanspruchung eine weitere Scherbeanspruchung in radialer Richtung realisiert, die die Effizienz der Kornzerkleinerung

Abb. 1



steigern kann. Die Drehzahlvariation beider Mahlwalzen erfolgt unabhängig voneinander zwischen 600 und 2000 min^{-1} über je einen Frequenzumrichter. Der Mahlspalt ist im Bereich zwischen $0,3$ und $3,5 \text{ mm}$ durch Auslenken einer Schwinge, in der die federvorgespannte Mahlwalze integriert ist, verstellbar. Aus antriebstechnischen und technologischen Gründen wurde die wirksame Arbeitsbreite des Funktionsmusters für die Mahlversuche auf $0,3 \text{ m}$ begrenzt. Die Länge des V-förmigen, gekürzten Mahlspaltes liegt bei $1,1 \text{ m}$.

Versuchsdurchführung. Um den Einfluss der stofflichen, konstruktiven und verfahrenstechnischen Parameter zu ermitteln, wurden in den Versuchen die Anzahl der Passagen, die Walzendrehzahl, die Spaltweite, der Massestrom, die Kornfeuchte und die Getreideart variiert. Detaillierte Parameterkombinationen erfolgten bei den Versuchen mit Weizen. Die dabei erhaltenen Ergebnisse wurden bei Roggen, Gerste und Mais selektiv überprüft. Die Massestromdosierung erfolgte mit Hilfe von Dosierwalzen beim Ausfließen aus einem keilförmigen Vorratsbehälter. Der Energiebedarf wurde jeweils getrennt an beiden Antrieben gemessen.

Ergebnisse

Das zweistufige Mahlen erwies sich bei allen Getreidearten (Weizen, Roggen Wintergerste und Mais) als vorteilhaft [3]. Dabei wurden bei Durchsätzen $\geq 40 \text{ t/h}$, bezogen auf 1 m Mahlwalzenbreite, der angestrebte spezifische Energiebedarf $\leq 3 \text{ kWh/t}$ und ein Ganzkornanteil von $\leq 1 \%$ erreicht und insbesondere bei Mais und zum Teil bei Weizen wesentlich unterschritten (**Tabelle 1, Abbildung 2**). Lediglich bei Weizen mit 25 % Kornfeuchte war ein Energiebedarf von $3,6 \text{ kWh/t}$ erforderlich. Gegenüber dem einstufigen Mahlen wird beim zweistufigen Mahlen ein günstigeres Verhältnis zwischen Korndurchmesser und Mahlspaltwinkel erreicht. Daraus resultiert ein besseres Einzugsverhalten des Kornes in den Mahlspalt bei einem deutlich verringerten Anteil an Reibarbeit. Die Scheibengeschwindigkeit und der Mahlspalt sind an die Getreideart anzupassen, wobei aber auch Unterschiede innerhalb einer Getreideart festzustellen waren, wie z. B. bei Weizen (**Tabelle 1**).

Tab. 1

Technische Kennwerte zur Maschineneinstellung und erreichte Ergebnisse
 Table 1: Technical parameters of machine adjustments and achieved results

Kornfeuchte grain moisture	Mittlere Scheiben- geschwindig- keit average disc velocity	Spezifischer Energiebe- darf ¹⁾ specific energy consumption ¹⁾	Spezifischer Massestrom specific throughput	Ganzkorn- anteil fraction of whole kernels
%	m/s	kWh/t	t/(h·m)	%
Weizen / wheat				
13	17,9 / 19,1	1,0	42	0,3
15	14,3	2,4	42	0,2
20	14,3	3,0	42	0,6
25	11,3	3,6	37	1,0
Mais / maize				
14	9,6	1,2	40	1,0
30	9,6	1,1	47	0,7
Roggen / rye				
13	9,6	2,3	42	0,8
Wintergerste / winter barley				
14	8,8	3,0	32	1,1

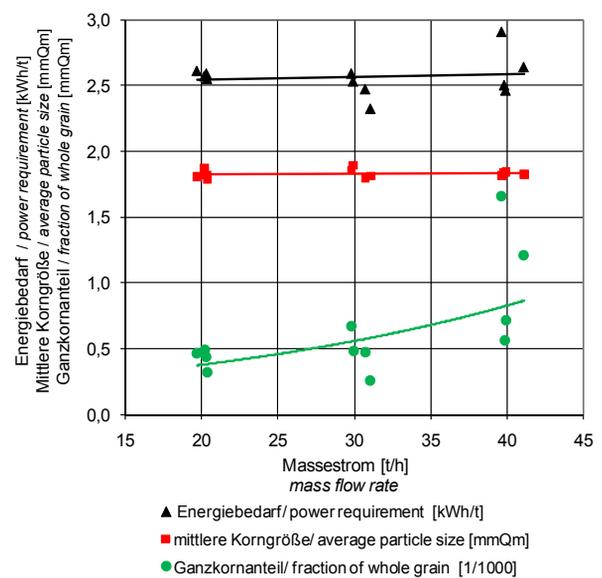
¹⁾ Mittelwert von 3 Messungen / mean value of 3 measurements

Aus Vergleichsuntersuchungen mit einer Hammermühle ergeben sich beim Keilscheibenwalzenstuhl mit zwei Passagen ein auf etwa 1/3 reduzierter spezifischer Energiebedarf bei gleichem Ganzkornanteil und ein um den Faktor 4 höherer Massestrom bezogen auf 1 m Arbeitsbreite. Die mittlere Korngröße des Mahlgutes ist aber beim Keilscheibenwalzenstuhl gegenüber der Hammermühle höher.

Aus dem Vergleich zu den Ergebnissen der Versuche mit einem Laborwalzenstuhl ist jedoch ein höherer spezifischer Energiebedarf notwendig. Vorteilhaft ist aber, dass mit dem Keilscheibenwalzenstuhl etwa 5-fach größere Masseströme erreicht werden. Es wird vermutet, dass bei weiterem Optimieren der konstruktiven Parameter insbesondere bei Mais bis 30 % Kornfeuchte und bei Weizen bis 20 % Kornfeuchte der spezifische Energiebedarf noch wesentlich verringert werden kann. Durch die gewählte konzentrische Beriffelung der Keilscheiben mit nach außen gerichteter Schneidkante wurde der Korneinzug nicht unterstützt. Es lag der niedrige Haftreibungskoeffizient einer glatten trockenen Stahlscheibe von etwa 0,15 vor, der sich mit zunehmender Kornfeuchte weiter reduzierte und somit das Korneinzugsverhalten verschlechterte.

Bei der Zuführung des Kornes hat es sich bewährt, das Getreide aus einem Vorratsbehälter oberhalb der Zerkleinerungseinrichtung zu entnehmen. Die Dosierung mit Hilfe von zwei gegensinnig rotierenden Glattwalzen am Auslauf des Vorratsbehälters erweist sich als sehr vorteilhaft. Dabei wird einen über die Arbeitsbreite gleichmäßig verteilten Gutstrom gewährleistet.

Abb. 2



Einfluss des Massestroms auf den Energiebedarf, die mittlere Korngröße und den Ganzkornanteil (Weizen, 12 % Kornfeuchte, 2 Mahlstufen)

Fig. 2: Influence of mass flow rate on power requirement, average particle size, fraction of whole grain (wheat, 12 % grain moisture, two stage milling)

Schlussfolgerungen

Das Zerkleinern von Getreide mit einem Keilscheibenwalzenstuhl ist in einem weiten Kornfeuchtebereich bis zu Partikelgrößen vor allem für die Rinderfütterung möglich. Bei den gewählten Konstruktionsparametern erweisen sich zwei Passagen als vorteilhaft. Mit spezifischen Masseströmen > 40 t/(h·m), einem spezifischen Energiebedarf von < 3 kWh/t und einem Ganzkornanteil < 1 % werden die gestellten Zielstellungen erreicht. Weitere Verbesserungen sind besonders hinsichtlich der weiteren Minimierung der Partikelgröße nach dem Zerkleinern durch das Optimieren der konstruktiven Parameter möglich.

Literatur

- [1] Hoppenbrock, K.-H.; L. Bütfering und U. Schmidt: Unterschiedlicher Vermahlungsgrad von Getreidemastmischungen. Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Landwirtschaftskammer NRW, Berichte und Versuchsergebnisse 1996, http://duesse.de/schweine/versuche/ma_v_vermahlungsgrad.htm, Zugriff am 30.01.1997
- [2] Patentschrift DE 4122338 C2: Nachzerkleinerungseinrichtung für Feldhäcksler. Erfinder: H. Friel und C. Schlegel. Anmeldetag: 5.7.1991
- [3] Füll, Ch.; H. Schemel, H. Hempel und J. Ellner: Zerkleinerungsmaschine für erntefeuchtes Getreide. AIF-Abschlussbericht, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, 2008

Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Füll hat bis 2008 die Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, geleitet und ist zurzeit Gastwissenschaftler in dieser Abteilung, E-Mail: cfuell@atb-potsdam.de

Dr. rer. agr. Dipl. Ing. Thomas Hoffmann ist seit 2008 Leiter dieser Abteilung, E-Mail: THoffmann@atb-potsdam.de

Dipl. Ing. Heinz Hempel und **Dr.-Ing. Hartmut Schemel** sind Mitarbeiter dieser Abteilung.

Dipl. Ing. (FH) Janine Ellner war Doktorandin in dieser Abteilung.