

Experimentelle Untersuchungen über die Zerkleinerung von silierter Futtergerste mit Walzenmühlen

Von **Adolf König** und **Manfred Bernhard**, Kiel

Das Zerkleinern von Feuchtgetreidesilage bei der Futteraufbereitung stellt besondere Anforderungen an die Ausbildung der Mühlenwalzen, um eine hohe Mengenleistung und einen ernährungsphysiologisch günstigen Feinheitsgrad des Schrottes zu erzielen. In der vorliegenden Arbeit werden experimentell für drei verschiedene Feuchtegehaltsbereiche zwischen 18 und 35% optimale Riffelungen (Riffelform, Drall, Riffelzahl) zum Zerkleinern von Gerstenkörnern ermittelt.

1 Einleitung

Das Silieren von Futtergetreide, das in den Vereinigten Staaten und Großbritannien bereits seit längerer Zeit durchgeführt wird, hat auch in Deutschland Eingang gefunden [8]. Die hohen Feuchtegehalte der Körnersilage stellen besondere Anforderungen an Bau und Betrieb der sie verarbeitenden Zerkleinerungsmaschinen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Kuratoriums für Technik in der Landwirtschaft wurde untersucht, unter welchen Bedingungen das Zerkleinern von Gerstensilage möglich ist. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Entwicklung eines wirtschaftlichen Zerkleinerungsverfahrens, das große Mengenleistung gewährleistet, hohen Feuchtegehalt des Gutes zuläßt und eine den ernährungsphysiologischen Anforderungen entsprechende Schrotfeinheit ergibt¹⁾.

2 Bestimmung des Zerkleinerungsgrades

Die Zerkleinerung der Körner wird durchgeführt, um ihre Verdaulichkeit zu erhöhen. Bei der Bestimmung des Zerkleinerungsgrades sollte deshalb ein Verfahren gewählt werden, das sichere Rückschlüsse auf die zu erwartende Verdaulichkeit zuläßt. In Frage kommt die Ermittlung der spezifischen Oberfläche, die sich als Summe der Oberflächen aller Teilchen bezogen auf die Masseneinheit des zerkleinerten Gutes ergibt [9]. Die spezifische Oberfläche läßt sich meist technisch nicht exakt erfassen und rechnerisch nur unter starker Idealisierung der Form der Partikel (Würfel, Quader), was bei Getreideschrot zu großen Fehlern führen würde. Die Kennzeichnung des Zerkleinerungsgrades von trockenem Schrot wird deshalb mit Hilfe der Siebanalyse durchgeführt. Das Prinzip ist eine Klassifizierung nach räumlicher Größe, wobei alle Fraktionen, die großmässig zwischen der Maschenweite der Siebe liegen, nicht getrennt erfaßt werden [1]. Abgesehen von diesem grundsätzlichen Mangel ist die Siebanalyse für feuchtes Schrot nur bedingt anwendbar. Um Agglomeratbildungen und ein Verstopfen der Maschen zu verhindern, muß der Siebvorgang mit großer Intensität durchgeführt werden (Wurfsieb, Luftstrahlsieb); dadurch entsteht wegen der Weichheit des Materials ein starker Abrieb, der das Analyseergebnis verfälscht. Andererseits führt eine vorherige Trocknung der Schrotprobe nicht zum Ziel, da hierdurch eine vom ursprünglichen Feuchtegehalt abhängige Kornschumpfung eintritt und außerdem lose zusammenhaftende Partikel verhärtet und Pseudokorngrößen verursachen.

Um die Mängel der Siebanalyse zu umgehen und gleichzeitig der Oberflächenmessung Rechnung zu tragen, wurde eine neue Methode zur Bestimmung des Zerkleinerungsgrades ausgearbeitet. Sie basiert auf dem Absorptionsverhalten eines quellfähigen Stoffes gegenüber Flüssigkeiten: der feinzerteilte Stoff

¹⁾ M. Bernhard: Experimentelle Untersuchungen über die Zerkleinerung von Feuchtgetreidesilage mit Walzenmühlen. Diss. Univ. Kiel 1966.

Prof. Dr.-Ing. Adolf König ist Direktor des Instituts für Landwirtschaftliches Maschinenwesen der Universität Kiel; Dipl.-Landw. Manfred Bernhard ist Verwalter einer Assistentenstelle am gleichen Institut.

absorbiert in der gleichen Zeiteinheit mehr als ein gröberes Zerkleinerungsprodukt. Bei der Durchführung der Methode wird folgendermaßen verfahren: Eine Schrotprobe von etwa 5 kg wird mit dem Probenteiler auf 100 g reduziert und mit 200 cm³ Wasser versetzt. Nach einer Abstezeit von 10 Minuten, während der ein mehrmaliges Durchmischen erfolgt, wird das Gemisch in einen mit feuchtem Filtrierpapier ausgekleideten Trichter gegeben, der auf einem Meßzylinder ruht. Die Differenz zwischen der dem Schrot zugesetzten Wassermenge und der nach Beendigung des Durchlaufs im Meßgefäß gemessenen Wassermenge zu dem Trockensubstanzgewicht der Einwaage ins Verhältnis gesetzt, ergibt die sogenannte Absorptionszahl, die ein Maß für den Zerkleinerungsgrad darstellt.

Für die Absorptionszahl bzw. den Zerkleinerungsgrad gilt die Beziehung

$$\Delta X_A = \frac{m_{WA}}{m_S} = \frac{m_{W1} - m_{W2}}{m_S},$$

darin bedeuten

ΔX_A die Absorptionszahl (Feuchtegradzunahme durch Absorption) [g/g]

m_{WA} die von der Schrotprobe absorbierte Feuchtemasse [g]

m_{W1} die der Schrotprobe zugeführte Feuchtemasse [g]

m_{W2} die nach 10 min abgefilterte Feuchtemasse [g]

m_S die in der Schrotprobe enthaltene Masse [g] an Trockensubstanz

Die Wasserbindung erfolgt nicht nur durch elektrostatische Kräfte innerhalb der Schrotteilchen und an deren Oberfläche, sondern auch durch kapillare Kräfte zwischen den Partikeln [2;3]. Die Anteiligkeit der einzelnen Komponenten läßt sich nicht einfach ermitteln, sie ist aber auch als Kriterium für die Anwendbarkeit der Methode ohne Bedeutung. In umfangreichen Versuchsserien ergaben sich für unterschiedliche Zerkleinerungsgrade stets signifikante Unterschiede zwischen den Absorptionszahlen, d. h. je feiner das Schrot, um so größer die Absorptionszahl.

3 Zerkleinerungsgrad und Verdaulichkeit

Eine wichtige Grundlage für die Durchführung von Schrotversuchen ist die Kenntnis des erforderlichen Zerkleinerungsgrades der Körner [4]. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Tierernährung und Tierphysiologie der Universität Kiel wurden deshalb mit Gerstensilage zwischen 25 und 28% Feuchtegehalt Verdauungsversuche an Schweinen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse sind in **Bild 1** wiedergegeben. Die Verdaulichkeit ist

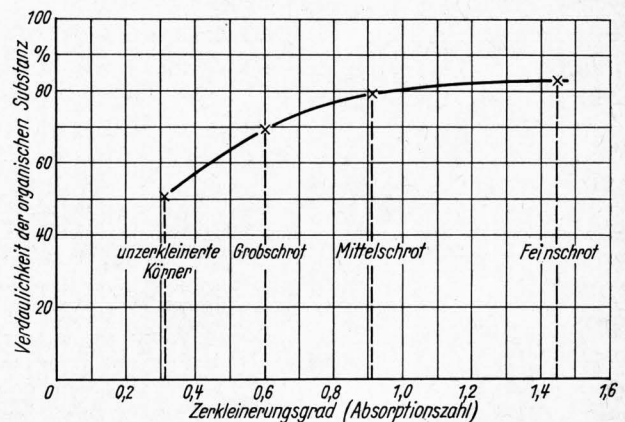


Bild 1. Einfluß des Zerkleinerungsgrades auf die Verdaulichkeit der organischen Substanz von silierter Futtergerste (U = 25 bis 28%).

um so größer, je feiner das Schrot ist; im Bereich sehr feiner Schrotung findet jedoch keine wesentliche Zunahme mehr statt. Eine Verdaulichkeit von 80% sollte aus ernährungsphysiologischen Gesichtspunkten erzielt werden; sie wird mit einem Schrot mit der Absorptionszahl 1,0 erreicht.

4 Versuchsgrundlagen

Die Oberflächen der Schrotwalzen sind geriffelt. Bild 2 zeigt eine Prinzipskizze des Riffelprofils. Die Riffeln verlaufen nicht parallel zur Walzenachse, sondern weisen einen bestimmten Drall auf, der in Prozent der Walzenlänge angegeben wird. Ob das Riffelprofil fein oder grob ist, wird durch die Riffelzahl je cm Walzenumfang angegeben. Durch die Riffelform, die Riffelzahl je cm Walzenumfang und den Drall ist die Riffelung einer Walze eindeutig festgelegt [5].

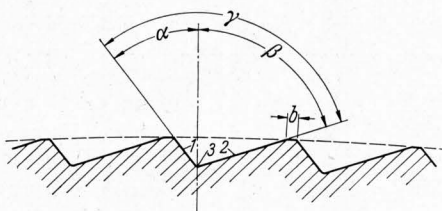


Bild 2. Riffelprofil.

| | | | |
|----------|-------------------------|---|---------------|
| α | Schneidewinkel | 1 | Schneidfläche |
| β | Rückenwinkel | 2 | Rückenfläche |
| γ | Gesamtwinkel | 3 | Riffelgrund |
| b | Breite der Riffelfläche | | |

Die Drehrichtung der beiden Walzen ist gegenläufig, die Drehzahl — außer beim Quetschen — verschieden groß. Bei der Versuchsmühle sind die Drehzahlen stufenlos regelbar. Die Drehachsen der Walzen sind in einer horizontalen Ebene angeordnet; die eine Walze ist fest im Maschinenrahmen montiert, die andere waagrecht verschiebbar, wobei sich der Walzenabstand ändert. Der kleinstmögliche Walzenabstand wird mit je einer Distanzschraube zwischen den Lagergehäusen der beiden Walzen eingestellt. Die Lagergehäuse der Loswalze sind durch je eine starke Schraubenfeder in Richtung der Festwalze belastet, so daß die Loswalze bei einem harten Fremdkörper ausweichen kann.

Als Maß für den Energiebedarf der Zerkleinerung wird die spezifische Gesamtarbeit verwendet, das ist der auf den stündlichen Durchsatz bezogene Gesamtleistungsbedarf der Mühle. Der Energiebedarf für die reine Zerkleinerungsarbeit allein kann nicht — wie es manchmal geschieht — durch Abzug der Leerlaufleistung der Mühle von der Gesamtleistung berechnet werden, weil im Betriebszustand der Mühle zusätzliche Energieverluste durch Reibung entstehen.

5 Zerkleinerungsversuche mit gleichbleibender Riffelung

Die Versuche wurden mit folgender Riffelung durchgeführt: Riffelform (nach Bild 2) $\alpha = 57,5^\circ$, $\beta = 57,5^\circ$, 10% Drall der Riffelleisten und 4 Riffel/cm Walzenumfang.

5.1 Durchsatz, Abfederung der Loswalze

Bei der Speisung einer Walzenmühle ist es unerlässlich, darauf zu achten, daß der Körnerzufluß nicht größer ist als die Verarbeitungskapazität. Die Höhe des maximalen Durchsatzes wird vor allem von der Drehzahl der langsam laufenden Walze bestimmt [6; 10]. Ein Maß für den Grad der Auslastung einer Mühle ergibt sich, wenn man den Durchsatz auf die Oberfläche bezieht, die den herabrieselnden Körnern von der langsam laufenden Walze angeboten wird. Aufgrund theoretischer Berechnungen, die durch praktische Versuche bestätigt wurden, ist der höchstmögliche Durchsatz erreicht, wenn die Kornbelegung der langsam laufenden Walze etwa 1 kg je m² zurückgelegter Walzenoberfläche beträgt. Dieser Wert kann jedoch mit den meisten Mühlen nicht erreicht werden, da die Stärke ihrer Antriebsmotoren dafür nicht ausreicht; mit den herkömmlichen Schrotmühlen lassen sich bei Verwendung stärkerer Motoren noch erhebliche Leistungsreserven ausschöpfen.

Während des Zerkleinerns entsteht zwischen den Walzen ein starker Druck. Ist er größer als der Federdruck, mit dem die Loswalze abgedeutet ist, dann weicht diese aus und das Schrot wird größer. Bei gleichbleibendem Walzenabstand ist der Mahldruck dem Durchsatz proportional. Unter praxisüblichen Zerkleinerungsbedingungen (26% Feuchtegehalt des Gutes, 0,50 mm Walzenabstand, Drehzahl der langsam laufenden Walze 200 U/min, und der schnell laufenden 500 U/min) beträgt der Mahldruck etwa 400 bis 450 kp/dz stündlichem Durchsatz. Besonders bei hohen Durchsatzmengen ist auf eine ausreichend starke Abfederung der Loswalze zu achten.

5.2 Walzenabstand, Mahlpalt

Der Walzenabstand ist die kleinste Entfernung a zwischen den Walzen in der Ebene ihrer Achsen, Bild 3. Die Höhe des Mahlpaltes ist gleich der Senkrechten, die vom Mittelpunkt des Kornes, wenn dieses beide Walzen berührt, auf die Ebene der Walzenachsen gefällt wird. Das Dreieck ABC ist rechtwinklig; daraus ergibt sich die Mahlpalthöhe h_M durch näherungsweise Berechnung:

$$h_M^2 = \left(r + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(r + \frac{a}{2}\right)^2$$

$$= rd - ra + \frac{d^2}{4} - \frac{a^2}{4}$$

Vernachlässigt man die sehr kleine Differenz $\left(\frac{d^2}{4} - \frac{a^2}{4}\right)$,

dann wird

$$h_M = \sqrt{r(d-a)}$$

Die Höhe h_M des Mahlpaltes, d. h., der effektive Zerkleinerungsweg, ist um so größer, je größer der Walzenradius r und die Korndicke d sind und je kleiner der Walzenabstand a ist.

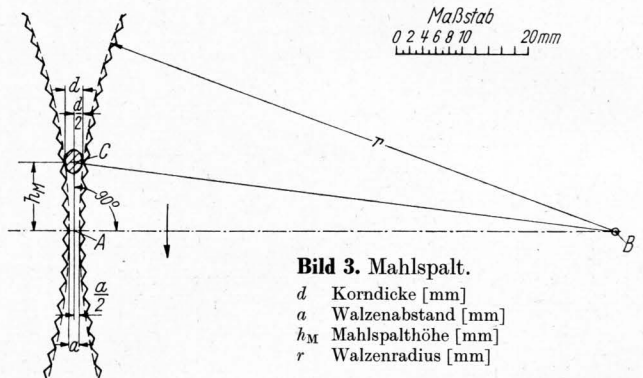


Bild 3. Mahlpalt.

| | |
|-------|--------------------|
| d | Korndicke [mm] |
| a | Walzenabstand [mm] |
| h_M | Mahlpalthöhe [mm] |
| r | Walzenradius [mm] |

Verwendete Formelzeichen

| | | |
|--------------|-------|---|
| a | mm | Walzenabstand |
| b | mm | Breite der Riffelfläche |
| d | mm | Korndicke |
| h_M | mm | Mahlpalthöhe |
| m_W | g | im Gut enthaltene Feuchtemasse |
| m_{WA} | g | durch Absorption aufgenommene (zusätzliche) Feuchtemasse |
| m_S | g | die in der Schrotprobe enthaltene Trockensubstanzmasse |
| $n_{1,2}$ | U/min | Drehzahl der schnell bzw. langsam laufenden Walze |
| r | mm | Walzenradius |
| r_A | mm | Radius der Abrundung des Riffelgrundes |
| t | mm | Riffeltiefe |
| t_R | mm | Riffelteilung |
| T_M | s | Verweildauer des Kornes im Mahlpalt |
| T_R | s | Zeitdauer für einen Riffelschlag |
| U | % | Feuchtegehalt des Mahlgutes |
| $v_{1,2}$ | mm/s | Umfangsgeschwindigkeit der Mahlwalzen |
| X | % | Feuchtegrad des Mahlgutes |
| ΔX_A | % | definierte Feuchtegradzunahme des Mahlgutes durch Absorption (auch Absorptionszahl bzw. Zerkleinerungsgrad genannt) |
| z | — | Anzahl der Riffelschläge beim Durchgang eines Kornes durch die Mahlpalthöhe h_M [cm] |
| z_R | — | Riffelzahl/cm Walzenumfang |
| α | Grad | Schneidewinkel des Riffelprofils |
| β | Grad | Rückenwinkel des Riffelprofils |
| γ | Grad | Gesamtwinkel des Riffelprofils |

Mit zunehmendem Walzenabstand nehmen die spezifische Gesamtarbeit und der Zerkleinerungsgrad ab; der zulässige Feuchtegehalt steigt an, **Bild 4 und 5**.

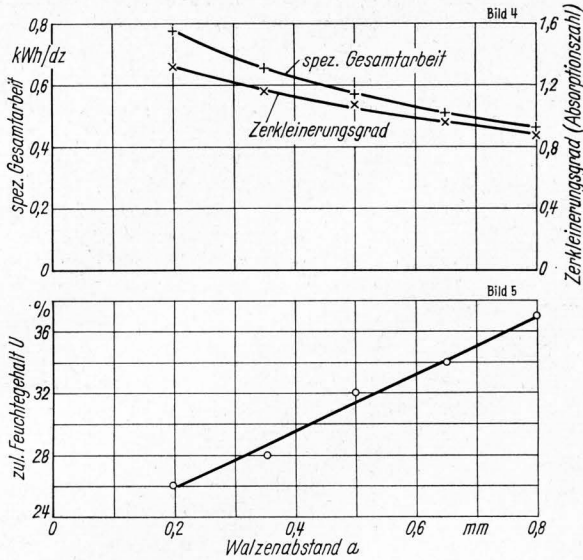


Bild 4 und 5. Spezifische Gesamtarbeit, Zerkleinerungsgrad und zulässiger Feuchtegehalt in Abhängigkeit vom Walzenabstand.

Drehzahl der Walzen:
 $n_1 = 500$ U/min
 $n_2 = 200$ U/min
 Durchsatz 3 dz/h
 Feuchtegehalt $U = 25,9\%$

5.3 Feuchtegehalt

Je nach den Erntebedingungen kann der Feuchtegehalt der Silage großen Schwankungen unterliegen. Die Zerkleinerungsversuche ergaben, daß spezifische Gesamtarbeit und Feinheitsgrad mit zunehmendem Feuchtegehalt abnehmen; dies gilt vor allem bei weiten Walzenabständen, wie aus **Tafel 1** hervorgeht. Infolge ihrer Plastizität weichen feuchte Körner dem Zugriff der Riffeln stärker aus als trockene [7].

Tafel 1. Abhängigkeit des Zerkleinerungsgrades vom Feuchtegehalt und Walzenabstand.

Drehzahl der Walzen: $n_1 = 500$ U/min, $n_2 = 200$ U/min, Durchsatz 3 dz/h

| Walzenabstand a mm | Feuchtegehalt U % | Zerkleinerungsgrad (Absorptionszahl) |
|-------------------------|------------------------|---|
| 0,20 | 22,7 | 1,32 |
| | 26,8 | — |
| | 31,5 | — |
| 0,35 | 22,7 | 1,17 |
| | 26,8 | 1,16 |
| | 31,5 | — |
| 0,50 | 22,7 | 1,09 |
| | 26,8 | 1,08 |
| | 31,5 | 1,06 |
| 0,65 | 22,7 | 1,00 |
| | 26,8 | 0,97 |
| | 31,5 | 0,92 |
| 0,80 | 22,7 | 0,88 |
| | 26,8 | 0,82 |
| | 31,5 | 0,75 |

Je tiefer die Riffeln sind, desto größer ist die Ausweichmöglichkeit. Die Riffeltiefe läßt sich näherungsweise berechnen, **Bild 6**. Setzt man unter Berücksichtigung der Größenverhältnisse zwischen Walzenradius $r = 82,5$ mm und Riffelteilung $t_R = 2,5$ mm (bei 4 Riffeln/cm) den Bogen AC gleich der geraden Verbindungslinie AC und nimmt man vereinfachend an, daß die Dreiecke ABD und BCD auch bei unterschiedlichen Werten für α und β rechtwinklig sind, dann errechnet sich die Riffeltiefe t wie folgt:

$$\text{Es ist } \overline{AD} = \overline{BD} \operatorname{tg} \alpha \quad (1),$$

$$\overline{DC} = \overline{BD} \operatorname{tg} \beta \quad (2),$$

und Gl. (1) + Gl. (2) ergibt

$$\overline{AD} + \overline{DC} = \overline{BD} (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) \quad (3);$$

nun ist

$$\overline{AD} + \overline{DC} = t_R - b \quad (4);$$

Gl. (4) in (3) eingesetzt:

$$t_R - b = \overline{BD} (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) \quad (5).$$

Vernachlässigt man die Abrundung am Riffelgrund, dann ist

$$\overline{BD} = t \quad (6)$$

und damit die Riffeltiefe

$$t = \frac{t_R - b}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} \quad (7).$$

Je kleiner die Riffelwinkel und die Riffelflächenbreite b also sind und je größer die Riffelteilung t_R ist, desto größer ist die Riffeltiefe t .

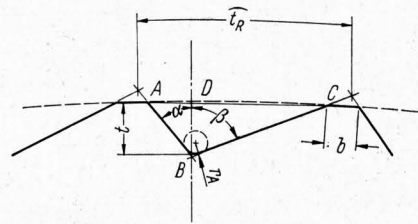


Bild 6. Umfangsabschnitt einer Walze zwischen zwei Riffeln.

- b Breite der Riffelflächen [mm]
- t Riffeltiefe [mm]
- t_R Riffelteilung [mm]
- r_A Radius der Abrundung am Riffelgrund [mm]
- α Schneidewinkel
- β Rückenwinkel

5.4 Drehzahlverhältnis

Unter dem Drehzahlverhältnis versteht man den Quotienten n_1/n_2 aus der Drehzahl der beiden Walzen ($n_1 \geq n_2$). Die Körner werden im Mahlspace von den Riffeln der langsam laufenden Walze festgehalten und von den Riffeln der schnell laufenden Walze zerkleinert [10]. Mit Hilfe dünner Streifen aus Bleiblech konnten die Riffelspuren sichtbar gemacht werden, **Bild 7 und 8**.

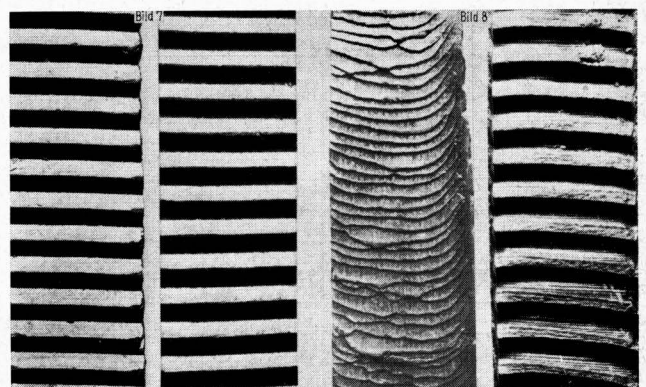


Bild 7 und 8. Riffelspuren an Bleiblech bei unterschiedlichen Drehzahlverhältnissen.

Bild 7: $n_1/n_2 = 1$ (Gleichlauf beider Walzen)
 Bild 8: $n_1/n_2 = 8$
 links: Riffelabdruck der schnell laufenden Walze
 rechts: Riffelabdruck der langsam laufenden Walze

Je größer das Drehzahlverhältnis ist, desto mehr Riffeln werden von der schnell laufenden Walze am Korn vorbeigeführt. Die Zahl z der Riffelschläge, von denen ein Korn beim Durchgang durch die Mahlspacehöhe h_M getroffen wird, läßt sich bei gleichem Walzendurchmesser und gleicher Riffelung der beiden Walzen berechnen zu

$$z = \frac{n_1 - n_2}{n_2} h_M z_R \quad (8),$$

darin bedeuten: z die Zahl der Riffelschläge beim Durchgang eines Kornes, n_1 die Drehzahl der schnell laufenden Walze [U/min], n_2 die Drehzahl der langsam laufenden Walze [U/min], h_M die Mahlpalthöhe [cm] und z_R die Riffelzahl je cm Walzenumfang.

Je größer die Zahl der Riffelschläge ist, desto dünner ist der Kornspan, der durch einen Riffelschlag abgetrennt wird. Legt man zugrunde, daß die letzte Durchtrennung in der Kornmitte erfolgt, dann ergibt sich die Spandicke, indem die halbe Kornstärke durch die Anzahl der Riffelschläge dividiert wird:

$$d_S = \frac{d}{2z} \quad (9),$$

darin bedeuten: d_S die theoretische Spandicke [mm], die durch einen Riffelschlag abgetrennt wird, d die Kornstärke [mm] und z die Zahl der Riffelschläge beim Durchgang eines Kornes.

Die Verweildauer T_M des Kornes im Mahlpalt ergibt sich aus der Mahlpalthöhe h_M und der Umfangsgeschwindigkeit v_2 der langsam laufenden Walze:

$$T_M = \frac{h_M}{v_2} \quad (10);$$

die Riffelschläge folgen in sehr kurzen Zeitabständen aufeinander (etwa 1/1000 s). Die Zeitdauer für einen Riffelschlag ist

$$T_R = \frac{T_M}{z} \quad (11);$$

es bedeuten: T_M die Verweildauer des Kornes im Mahlpalt [s], h_M die Mahlpalthöhe [mm], v_2 die Umfangsgeschwindigkeit der langsam laufenden Walze [mm/s], T_R die Zeitdauer für einen Riffelschlag [s] und z die Zahl der Riffelschläge beim Durchgang eines Kornes.

Wie aufgrund dieser theoretischen Überlegungen bereits erwartet wurde, nehmen Zerkleinerungsgrad und spezifische Gesamtarbeit mit wachsendem Drehzahlverhältnis zu, **Bild 9 und 10**. Der zulässige Feuchtegehalt hat etwa bei einem Drehzahlverhältnis $n_1 : n_2 = 250 : 100 = 2,5$ ein Maximum; bei niedrigeren und höheren Drehzahlverhältnissen reinigen sich die Walzen schlechter.

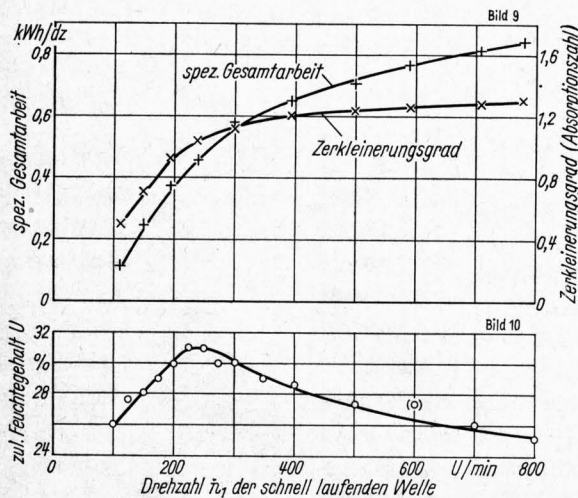


Bild 9 und 10. Spezifische Gesamtarbeit, Zerkleinerungsgrad und zulässiger Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Drehzahl der schnell laufenden Walze.

Bild 9: Drehzahl $n_2 = 110$ U/min
Walzenabstand $a = 0,50$ mm
Durchsatz 3 dz/h
Feuchtegehalt $U = 25,9\%$
Bild 10: Drehzahl $n_2 = 100$ U/min
Walzenabstand $a = 0,50$ mm
Durchsatz 2,5 dz/h

6 Zerkleinerungsversuche mit verschiedener Riffelung

Den Versuchen über den Einfluß der Riffelung wurden die als optimal ermittelten Betriebsbedingungen zugrunde gelegt: Walzenabstand 0,50 mm, Drehzahl der langsam laufenden Walze 250 U/min, Drehzahlverhältnis 2,5.

6.1 Riffelform

Es wurden vier Riffelformen untersucht: $a/\beta = 20^\circ/50^\circ$, $30^\circ/60^\circ$, $40^\circ/70^\circ$ und $50^\circ/80^\circ$. Der Drall betrug in allen Fällen 10% und die Riffelzahl $z_R = 4/\text{cm}$ Walzenumfang. Je größer die Riffelwinkel sind, d. h., je stumpfer das Riffelprofil ist, desto größer ist die spezifische Gesamtarbeit und desto größer wird das Schrot. Die Walzen reinigen sich wegen der geringeren Riffeltiefe bei großen Riffelwinkeln jedoch besser als bei kleinen. Es ist deshalb eine abwägende Kompromißentscheidung zwischen maximal zulässigem Feuchtegehalt einerseits und spezifischer Gesamtarbeit und Zerkleinerungsgrad andererseits zu treffen. Die Riffelform $40^\circ/70^\circ$ läßt einen hohen Feuchtegehalt zu und liegt bezüglich der spezifischen Gesamtarbeit und des Zerkleinerungsgrades im Vergleich zu den Riffelformen $30^\circ/60^\circ$ und $50^\circ/80^\circ$ relativ günstig. Diese Riffelform wurde deshalb bei den weiteren Versuchen zugrunde gelegt.

6.2 Riffelstellung

Je nach Lage der Schneide- und Rückenflächen zueinander sind vier Riffelstellungen möglich, **Bild 11**. Die Versuche mit verschiedenen Riffelstellungen ergaben, daß die Stellung Schneide gegen Schneide weniger Energie für die Zerkleinerung benötigt als die anderen Riffelstellungen, da die Zerkleinerung zwischen den scharfen Kanten des Riffelprofils stattfindet.

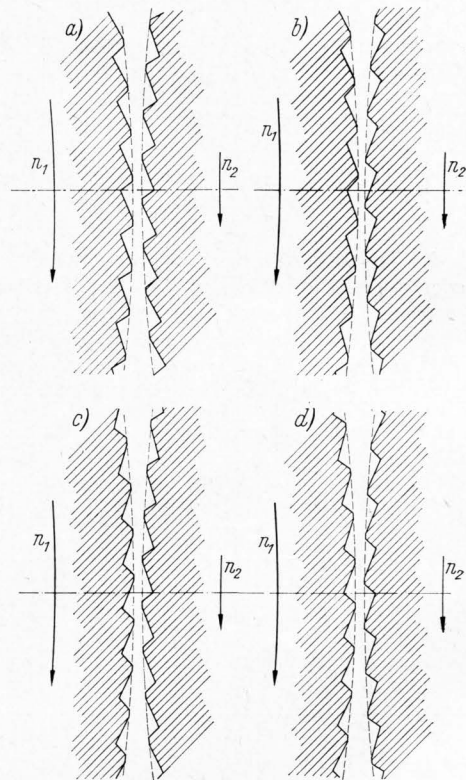


Bild 11. Riffelstellungen.

- a) Schneide gegen Schneide
- b) Schneide gegen Rücken
- c) Rücken gegen Schneide
- d) Rücken gegen Rücken

Der zulässige Feuchtegehalt liegt bei Schneide gegen Schneide um 1 bis 2% unter den Werten, die sich für die anderen Riffelstellungen ergaben. Alle folgenden Versuche wurden mit der Riffelstellung Schneide gegen Schneide durchgeführt.

6.3 Drall

Der Einfluß des Dralls auf die Zerkleinerungsvorgänge ist gering. Spezifische Gesamtarbeit und Zerkleinerungsgrad sinken mit zunehmendem Drall etwas ab, während der zulässige Feuchtegehalt ansteigt, **Bild 12 und 13**. Wegen des mit steigendem Drall zunehmend ziehenden Schnittes wird für die einzelnen Riffelschläge weniger Energie benötigt. Die Selbstreinigung der Walzen ist bei großem Drall etwas besser, da die Riffeln in diesem Falle mit größerem Winkel scherenartig überkreuzt aneinander vorbeierotieren. Es ist wahrscheinlich, daß sich die festgestellten Beobachtungen bei noch höheren Werten für den Drall in der

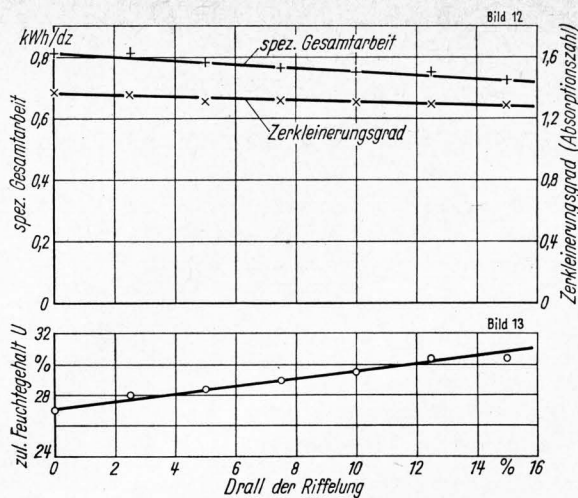


Bild 12 und 13. Spezifische Gesamtarbeit, Zerkleinerungsgrad und zulässiger Feuchtegehalt in Abhängigkeit vom Drall.

Drehzahl $n_1 = 250$ U/min
 Drehzahl $n_2 = 100$ U/min
 Walzenabstand $a = 0,50$ mm
 Feuchtegehalt $U = 21,3\%$

gleichen Tendenz fortsetzen würden; ein größerer Drall als 15 bzw. 20% läßt sich mit den handelsüblichen Riffelbänken jedoch nicht herstellen.

6.4 Riffelzahl je cm Walzenumfang

Die spezifische Gesamtarbeit und der Zerkleinerungsgrad nehmen mit steigender Anzahl der Riffeln je cm zu, während der zulässige Feuchtegehalt sinkt; die Versuchsergebnisse sind in **Bild 14 und 15** zusammengestellt. Die Betrachtung des Schrotens mit der Meßlupe zeigte, daß die Körner bei 2 Riffeln je cm gerade einmal zerteilt wurden; bei 7 Riffeln je cm ist der Mehlkörper zwar stark zerrieben, die Schalen sind aber nur unvollständig zerkleinert. Beide extremen Riffelzahlen je cm eignen sich nicht für das Schrotten von feuchter Gerste. Dagegen wird mit 3 Riffeln je cm ein ausreichender Zerkleinerungsgrad erzielt, der zulässige Feuchtegehalt beträgt etwa 35%.

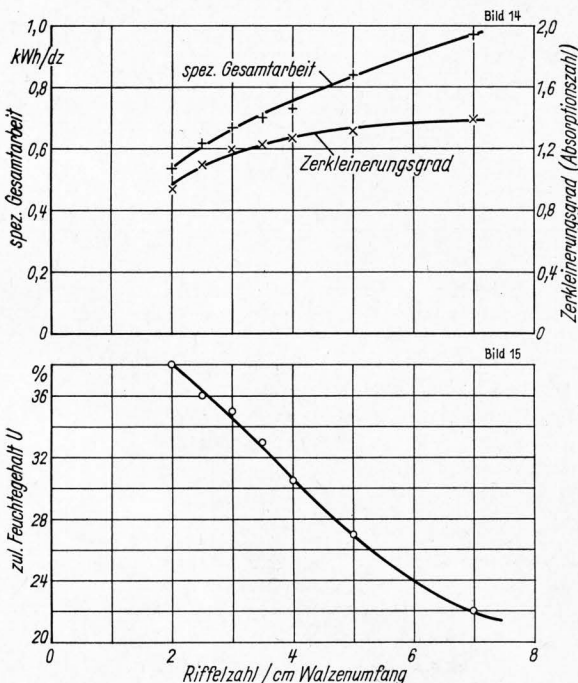


Bild 14 und 15. Spezifische Gesamtarbeit, Zerkleinerungsgrad und zulässiger Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Riffelzahl je cm Walzenumfang. Versuchsdaten wie in Bild 12 und 13.

7 Zusammenfassung

Aufgrund theoretischer und experimenteller Untersuchungen wurden Riffeldaten und Betriebsbedingungen erarbeitet, die das Zerkleinern von siliierter Futtergerste mit Walzenmühlen ermöglichen. Die Riffelung muß bei unterschiedlichen Feuchtegehalten in der Silage stets auf den höchsten Wert ausgerichtet werden. Es ist deshalb eine einheitliche Riffelung zu empfehlen, mit der Körner bis zu einem Feuchtegehalt von 35% zerkleinert werden können. Bei guten Erntebedingungen kann der Feuchtegehalt des silierten Gutes jedoch wesentlich unterhalb dieses Wertes liegen; in diesem Falle sollte man den Vorteil, den eine spitzere Riffelform hinsichtlich Zerkleinerungsgrad und Zerkleinerungsarbeit bietet, nutzen und die Walzen je nach Feuchtegehalt mit einer geeigneten Riffelung versehen. In **Tafel 2** sind die entsprechenden Riffeldaten für drei Bereiche des Feuchtegehaltes zusammengestellt.

Tafel 2. Optimale Riffelung zum Zerkleinern von Gerstenkörnern bei verschiedenem Feuchtegehalt.

Betriebsbedingungen: Riffelstellung: Schneide gegen Schneide; Walzenabstand: 0,50 mm; Umfangsgeschwindigkeit der langsam laufenden Walze: 2,0 bis 2,5 m/s; Umfangsgeschwindigkeitsverhältnis: 2,5 (bei gleichen Radien beider Walzen ist das Umfangsgeschwindigkeitsverhältnis gleich dem Drehzahlverhältnis).

| Feuchtegehalt U % | Riffelform α/β in Grad | Drall % | Riffelzahl je cm Walzenumfang |
|---------------------|-----------------------------------|---------|-------------------------------|
| 18—24 | 20/50 | 10 | 4,0 |
| 24—30 | 30/60 | 15 | 3,5 |
| 30—35 | 40/70 | 15 | 3,0 |

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- *Batel, W.*: Einführung in die Korngrößenmeßtechnik. 2. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1964 (S. 135/54 Methoden zum Messen der Oberfläche und anderer Kenngrößen körniger Stoffe).
- *Edelmann, K.*: Grenzflächenerscheinungen. Jb. Kolloidchemie. Berlin: VEB-Verlag 1962. S. 194/274.
- *Edelmann, K.*: Die Quellung. Jb. Kolloidchemie. Berlin: VEB-Verlag 1962. S. 336/46.
- *Haberhauffe, W.*: Über den Einfluß der Zubereitung auf die Verdaulichkeit der Futtermittel. Diss. Universität Göttingen 1926.
- *Hopf, L.*: Einzelheiten des Walzenstuhles. Mühlentechn. Praktikum, Bd. I. Stuttgart: Hugo Matthäes-Verlag 1950. S. 290/317.
- Moog, O.*: Zur Theorie des Zerkleinerungsprozesses. Mühle **96** (1959) H. 51, S. 689/91 und H. 52/53, S. 709/10.
- Pelshenke, F., W. Schäfer und G. Tschiersch*: Der Einfluß von Feuchtigkeit, Abstezeit, Voreilung und Riffelung auf die Vorgänge am I. Schrot. Mühle **94** (1957) H. 45, S. 590/96.
- *Riemann, U.*: Das Arbeitsverfahren Feuchtgetreidesilage. Ber. über Landtechn. Bd. 90. Wolfratshausen: H. Neureuter-Verlag 1965.
- VDI-Richtlinien*: Oberflächenmessung. Feinheitsbestimmungen an technischen Stäuben. VDI-Richtlinien 1962, Blatt 3031, S. 33/37.
- Will, F.*: Schrotversuche mit dem Variostuhl. Mühle **100** (1963) H. 38, S. 307/408 und H. 39, S. 418/19.