

# Konzeption und Bau einer kompakten und transportablen Schneidmühleneinheit zum Zerkleinern von Hausmüll

Von Hagen Birkholz, Peter Dietz, Torsten Grünendick

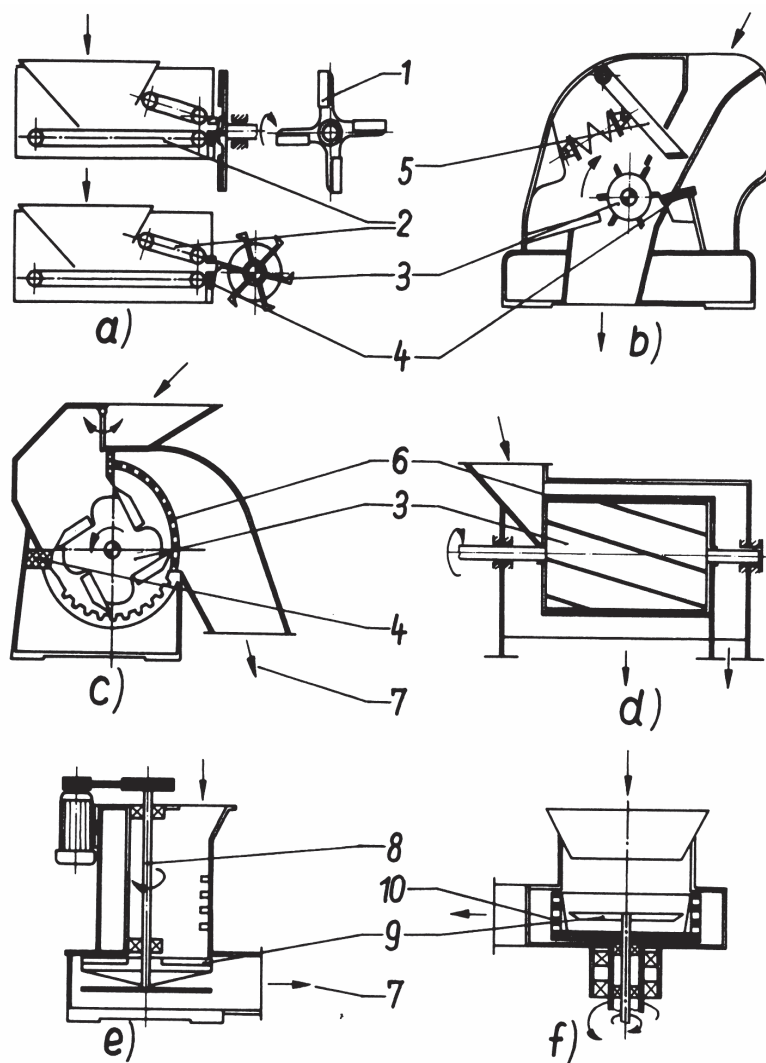
Bei Müll, wie er zum Beispiel in Schiffen, Flugzeugen, Großküchen usw. anfällt, wird nicht sorgfältig getrennt, sodass mit dem gleichzeitigen Anfall von zu zerkleinernden Gegenständen z. B. aus Metall, Holz, Textilien oder Hartstoffen wie Glas, Steinen oder Keramik zu rechnen ist, die ihrerseits völlig andere Anforderungen an den Zerkleinerungsprozess stellen. Dieser „Hausmüll“ weist somit eine sehr unterschiedliche Zusammensetzung auf. Hinzu kommt gerade bei der hier in Frage kommenden Anwendung im Bereich von Transporteinrichtungen ein im Vergleich hoher Anteil an artfremden Wertstoffen vor – von der Sardinenbüchse bis zum Damenstrumpf, – die von der Mühle mit verarbeitet werden müssen. Die Zerkleinerung solcher Abfälle stellt an Schneidmühlen hohe Ansprüche.

Vorhandene Mühlen sind aufgrund ihres Gewichtes (1 t und mehr) nur stationär einsetzbar. Der variable Einsatz an verschiedenen Orten wird außerdem durch die Größe der Anlagen erschwert. Dies widerspricht den Anforderungen der Industrie, Hausmüll und hausmüll-ähnliche Abfälle an Orten zu zerkleinern, an denen großvolumige und schwere Anlagen nicht einsetzbar sind. Als Beispiel und als besondere Aufgabenstellung für dieses Vorhaben sei der Einsatz im Transportwesen, vor allem der Schifffahrt und dem Flugverkehr, genannt. Gerade auf Langstreckenflügen bietet sich aufgrund der beengten Platzverhältnisse und der steigenden Passagierzahlen der Einsatz von transportablen Zerkleinerungseinheiten an.

Bei den genannten Einsatzorten muss zusätzlich großer Wert auf Lärmschutzmaßnahmen gelegt werden. Durch umfangreiche Untersuchungen mit Beistellmühlen wurde festgestellt, dass ein Herabsetzen der üblichen Schnittgeschwindigkeit auf etwa 40 bis 50%, d. h. auf Werte von 5 bis 7 m/s, ein Minimum für den Lärmpegel (von der Schneidmühle abgestrahlter Luft- und Körperschall) ergibt. Allerdings tritt bei Schneidmühlen immer das Problem auf, dass das Zerkleinerungsgeräusch über die gewollt großen Aufgabeöffnungen ungehindert austreten kann. Die Lärmentwicklung beim Zerkleinern ist auf Schneidgeräusche und den entstehenden Körper- bzw. Luftschall zurückzuführen. Daher müssen primäre Schallschutzmaßnahmen durchgeführt werden:

- Verwendung von offenen Rotoren, bei denen die Luft leichter aus der Mühle entweichen kann und das sonst übliche knatternde Geräusch vermieden wird,

- Beschichtung der Mühle mit Anti-Dröhn-Masse,
- geringere Schnittgeschwindigkeiten,
- Aufstellen der Mühlen auf Gummipuffern oder -matten.



**Bild 1: Übersicht über die Grundprinzipien von Schneidmühlen (HÖFFL 1993)**

a, b) Strangschneider; c, d, e, f) Haufwerksschneider

- 1 Rotormesser; 2 Zuführband; 3 Messerwalze; 4 Ständer- bzw. Gegenmesser; 5 Rückschlagsicherung; 6 Rost; 7 Auswurfkanal; 8 Antriebswelle mit Lagerung; 9 Rotormesser; 10 rotierender Rost

## Stand der Technik

### SCHNEIDMÜHLEN

In **Bild 1** sind die wichtigsten Grundprinzipien für Schneidmühlen dargestellt, deren Rotationsachse bzw. Kurbelantrieb bei Scheren horizontal oder vertikal angeordnet sein kann. Sie lassen sich in Strang- und Haufwerkschneider einteilen. Bei den Strang- oder Bandschneidern, auch Stranggranulatoren genannt, wird das zu zerkleinernde Gut mittels Zuführwalzen oder -bändern in Form eines endlosen Stranges der Schnittstelle zugeführt, wo es zwischen einem feststehenden Ständermesser und einer rotierenden Messerwalze oder Messerblättern zerschnitten wird. Die Schneidlänge ergibt sich aus der einstellbaren Vorschubgeschwindigkeit sowie der Schnittfrequenz. Je nach Konstruktion ist das Zerschneiden breiter Bänder oder mehrerer Stränge auf einmal möglich (a, b). Soll dagegen stückiges Mahlgut einzeln oder im Haufwerk zerkleinert werden, so werden Haufwerksschneider, bei denen das Aufgabegut einem Aufgabeschacht zugeführt wird, verwendet (c, d, e, f). Derartige Schneidmühlen sind vielfach mit einem Rost bzw. Sieb ausgestattet, um genügend zerkleinerte Partikel passieren zu lassen. Die zu groben Partikel werden im inneren Kreislauf mehrfach beansprucht und bei entsprechendem Zerkleinerungsfortschritt ebenfalls durch die Trennfläche getrieben. Die Umfangsgeschwindigkeiten der Schneidorgane betragen dabei  $v_u = 25$  bis  $30$  m/s. Bei Elastomeren liegen die Geschwindigkeiten bei  $v_u = 12$  bis  $15$  m/s. Für die Dimensionierung sind die maximalen Schnittkräfte, die mittels der Scherfestigkeit berechnet werden können, wichtig.

### SCHNEIDVORGANG

Der Schneidvorgang selbst wird nach unterschiedlichen Kriterien eingeordnet. Man unterscheidet drei Schneidarten: Scher-, Messer- und Beißschnitt. Während beim reinen Scherschnitt die Trennung durch Überschreiten des Formänderungsvermögens entlang der gesamten Schnittlinie in einem Hub erfolgt, schreitet beim Messerschnitt die Trennzone in unmittelbarer Nähe der Schneide linienförmig durch das Schnittgut fort. Beim Beißschneiden wird das Werkstück von zwei aufeinander zu bewegenden Keilmessern zerkleinert. Die mögliche Anordnung der Schneiden zueinander ist in **Bild 2** dargestellt. Man unterscheidet das Schneiden mit und ohne Gegenschneide.

- Beim Schneiden mit Gegenschneide dient diese entweder nur zur Abstützung der Schnittkraft, oder sie übernimmt gleichzeitig eine aktive Schneidaufgabe.
- Beim Schneiden ohne Gegenschneide wird die Schnittkraft durch Massenkräfte des Zerkleinerungsgutes abgestützt.

**Bild 2: Anordnung der Schneiden (LESCHONSKI, DIETZ 2000)**

Die Aufgabe der Schneidzerkleinerung ist es, einen Festkörper in mehrere Einzelstücke zu teilen. Hierzu ist es notwendig, den Molekülverband im Zerkleinerungsgut mit Hilfe der Schneide aufzutrennen. Bei der Schneidzerkleinerung stellt sich laut *GOTTBERG* (1969) die Schneidspannung in unmittelbarer Nähe der Schneide ein und wird von der Spandeformation und der Trennkraft, die direkt an der Schneide, d.h. an der Druckfläche des Schneidenradius wirkt, erzeugt. Die geringe Kerbstellenzahl bei nicht kristallinen Körpern, der kleine Schneidenradius des Messers und die Beobachtung, dass die Trennzone der Messerschneide nicht vorseilt, deuten darauf hin, dass es sich bei der Stofftrennung von weichen Hochpolymeren an der Messerschneide nicht um Bruchvorgänge wie bei spröden Stoffen handelt. Die Molekülverbindungen gleiten unter der Beanspruchung aneinander ab und werden unter starker plastischer Formänderung in unmittelbarer Umgebung der Werkzeugschneide getrennt. Schneiden kann deshalb auch als „Fließen um die Messerschneide“ bezeichnet werden.

### ERGEBNISSE AUS DEM SFB 180

Im Forschungsprojekt A 19 des SFB 180 „Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen unter besonderen mechanischen, thermischen und chemischen Belastungen“ wurden Untersuchungen zu einer Verbesserung des Schneidprozesses im Bereich der Kunststoffzerkleinerung durchgeführt. Der Schwerpunkt der Forschung lag auf der Auswahl der Zerkleinerungsaggregate sowohl für eine erforderliche Vorzerkleinerung als auch für den eigentlichen Schneidprozess.

#### Kolbenpresse

Ein Hauptproblem bei der Zerkleinerung von Kunststoffgemischen liegt in einer geeigneten Zuführung des Aufgabegutes. Dieses sollte nach einer Vorzerkleinerung den Messern möglichst als homogener Block zugeführt werden. Gleichzeitig muss neben der Zuführung eine Kompaktierung des Aufgabegutes erfolgen. Diese Vorverdichtung wurde mittels einer Kolbenpresse realisiert, die in **Bild 3** dargestellt ist. Ein zusätzlicher Vorteil der Zuführung mittels Kolbenpresse ist eine Minderung der Geräuschemissionen. Die vom Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal entwickelte Kolbenpresse wurde auf die Kleinschneidmühle 20/12 RoL der Fa. Hosokawa Alpine aufgesetzt.

**Bild 3: Kolbenpresse (LESCHONSKI, DIETZ 2000)**

Die Presse besteht aus zwei senkrecht zueinander angeordneten Hydraulikkolben, die mit ihren Stempeln das Füllvolumen der Presse begrenzen. Ein manuell zu bedienendes Schiebersystem bildet den Übergang zwischen der Presse und der Schneidmühle. Zu Beginn des Befüllens des Behälters (1) steht der horizontale Stempel auf Position A. Mit dem Schieber (2) wird ►

die Zufuhröffnung verschlossen. Nach Befüllen des Behälters mit dem Aufgabegut wird zunächst der horizontale Stempel (3) bis zum Endanschlag (Position B) verfahren. Anschließend presst der Vertikalstempel (4) die Kunststoffe nochmals zusammen. Nach Öffnen des Absperrschiebers (2) wird der Vertikalstempel weiter als Vorschubkolben eingesetzt. Hierbei wird das Material an der Abführplatte (5) vorbei geschoben und verdichtet und über die offene Querschnittsfläche bis zum Schneidmühlenrotor geführt. Bei einem Kolbendruck von  $15 \cdot 10^5$  bis  $50 \cdot 10^5$  Pa ergeben sich Vorschubgeschwindigkeiten zwischen 0,006 und 0,13 m/s bei einer Querschnittsfläche von  $120 \times 110 \text{ mm}^2$ . Mit diesen Versuchen konnten hauptsächlich Kunststoffgemische mit definierten Einzelschnitten zerkleinert werden. Da die Interpretation dieses Schneidvorganges in der Mühle auf Schwierigkeiten stieß, wurden weitere Mühlenversuche zurückgestellt und ein Pendelschlagwerk zur Untersuchung dieses Einzelschnitts konstruiert und gefertigt.

#### Pendelschlag

Zur Untersuchung des eigentlichen Schneidvorganges wurde ein Pendelschlagwerk für einen definierten Einzelschnitt gebaut. Die maximale Schlaggeschwindigkeit beträgt 10 m/s. Kommerzielle Kerbschlagbiegeprüfstände besitzen Schlaggeschwindigkeiten unter 5 m/s, die für eine Schneidmühlensimulation nicht ausreichen. Das in **Bild 4** dargestellte Pendel besteht aus zwei parallel zueinander biegesteif angeordneten Aluminiumprofilen (1), die eine Länge von 4 m besitzen.

**Bild 4: Pendelschlagwerk (LESCHONSKI, DIETZ 2000)**

Die Drehachse (2) teilt das Pendel in einem Verhältnis von 1:3. Durch die zusätzlich angebrachte Masse (3) am oberen Ende der Pendelstange ist das Pendel drehmomentfrei aufgehängt, sodass die Pendelmasse nicht in die Versuche eingeht. Am unteren Ende der Profile ist eine Schneidenaufnahme (4) für die Pendelschneide befestigt. Es lassen sich Schneiden verschiedener Keilwinkel einspannen. Außerdem ist eine Verstellung der Spaltbreite zwischen Schneide und Gegenschneide sowie des Schneidwinkels möglich. In der Nähe des unteren Endes des Pendels kann die Schlagkraft bzw. der Impuls der Schneide durch Auflegen von Gewichten (5) der Masse  $m$ , eingestellt werden. Die Kunststoffprobe wird bei (6) mit einer entsprechenden Vorrichtung eingespannt. Das Pendel wird an einem Seil nach oben geführt und mittels einer höhenverstellbaren Ausklinkvorrichtung freigegeben. Die Schlaggeschwindigkeit  $v$  lässt sich aus der Höhe  $H$  bzw. dem eingestellten Auslenkwinkel  $\alpha$  und der Pendellänge  $L$  bestimmen. Der Schneidvorgang

wurde bei Geschwindigkeiten untersucht, wie sie auch in Schneidmühlen vorkommen. Dabei werden der zeitliche Ablauf und der Energiebedarf des Schneidvorgangs als Funktion der Kunststoffart, Probengeometrie oder Schlaggeschwindigkeit gemessen.

Aufgrund der Erfahrungen mit Schneiden aus 90MnCrVS wurde bei weiteren Versuchen eine 85°-Schneide aus Hartmetall-K30 (Wolframkarbid) verwendet. Die Schlagzähigkeit nimmt sowohl bei einer Erhöhung der Schlagarbeit als auch des Keilwinkels ab. Eine Veränderung des Schneidwinkels um nur 3° bewirkt für beide Anfangsenergien eine Halbierung der Schlagzähigkeit auf ca.  $70 \text{ kJ/m}^2$  für  $E_{\text{potl}} = 191 \text{ J}$  sowie ca.  $60 \text{ kJ/m}^2$  für  $E_{\text{potl}} = 209 \text{ J}$ . Ein Stumpfwerden der Schneide wurde nicht beobachtet.

#### Projektdiee

Drei Kernprobleme lassen sich feststellen:

1. Konventionelle Mühlen können nicht die gesamte Bandbreite des Mülls verarbeiten.
2. Vorhandene Mühlen sind aufgrund ihres Gewichtes (1t und mehr) nur stationär einsetzbar.
3. Die Lärmentwicklung beim Zerkleinern ist zu hoch.

Damit besteht eine berechtigte Forderung nach einer kompakten und transportablen Schneidmühleneinheit zum Zerkleinern von Hausmüll, die einen bestimmten Grad der Geräuschemission nicht überschreitet und eine ausreichende Fließfähigkeit des Granulats aufweist.

Wesentlich für eine wirtschaftliche Zerkleinerung ist nicht nur eine technisch hochwertige und optimal ausgestattete Schneidmühle, sondern ebenso die Materialzuführung in die Schneidmühle (kontinuierlich oder diskontinuierlich) und der Abtransport des zerkleinerten Wertstoffs. Dies wird durch zahlreiche Berichte und Untersuchungen untermauert. Der kontinuierliche Betrieb einer konventionellen Schneidmühle ist überwiegend mit spezifischen Problemen wie Verstopfen in Mühleneinlauf und Siebeinlage, Anreicherung und Aufwickeln von Folien, Bändern oder Textilien im und am Rotor oder mit Anschmelzungen oder Verschweißungen des Materials zwischen Rotor und Gehäuse verbunden. Hinzu kommt, dass das Aufgabegut in Bezug auf Härte, chemische Zusammensetzung und Geometrie höchst heterogen ist und unterschiedliche Zerkleinerungs- und Transportmechanismen erfordert, was einem optimalen Betrieb entgegensteht. Auch bezüglich des Abtransports aus der Mühle werden unterschiedliche Forderungen je nach Einsatzgebiet gestellt: Während der Transport in Containern oder Behältern

relativ unproblematisch bezüglich der Geometrie und Konsistenz des abzutransportierenden Gutes ist, haben pneumatische oder hydraulische Transporteinrichtungen hohe Anforderungen an die Gestalt und Gleichmäßigkeit des Gutes und verlangen z.B. Granulate einer bestimmten Größe.

Die von einer Schneidmühle erreichbare Durchsatzleistung und Granulatfeinheit wird durch folgende Bauelemente und Parameter bestimmt:

- Messer (Anzahl, Länge, Anordnung, Verhältnis der Anzahl von Stator- zu Rotormessern, geometrische Form bzw. Schneidwinkel, Werkstoff, Härte),
- Größe des Schneidspalts zwischen Stator- und Rotormessern,
- Art des Schnitts, Kinematik der Schnitt- und Transportbewegungen (Parallelschnitt, herkömmlicher Scherenschnitt, Kreuzscherenschnitt, u. a.),
- Rotordrehzahl bzw. Schnittgeschwindigkeit, ▶

- Schnittleistung (Anzahl der Statormesser - Anzahl der Rotormesser - Messerlänge - Rotordrehzahl),
- Rotorart (offener Rotor, geschlossener Rotor, Fräsrотор, Spaltrotor, u.a.),
- Mahlraumgestaltung (Anordnung der Statormesser im Einzugsbereich, Optimierung der Annahmefähigkeit, Verhinderung des Blockierens des Schneidrotors),
- Siebeinlage (Gesamtsiebfläche, Lochform und -größe, freie Siebfläche, Siebabstand zum Rotormesserkreis),
- Leistung des Antriebsmotors.

Für die Auswahl des Zerkleinerungsmechanismus spielen folgende Einflüsse eine tragende Rolle:

- stapelfähige Komponenten wie Becher, Büchsen u.ä. werden häufig ineinandergestapelt;
- unterschiedliche Fraktionen werden so zusammengebracht, dass sie nur schwer voneinander getrennt werden können (z.B. zusammengeknüllte Folien in Bechern);
- Fraktionen sind teilweise mit Lebensmitteln behaftet, also nur teilentleert bzw. nicht gesäubert;
- Fremdfractionen sind im Wertstoffgemisch enthalten;
- die Wertstoffzusammensetzung weist jahreszeitliche Schwankungen auf.

Untermauert werden die Einflüsse der Zusammensetzung des aufgegebenen Wertstoffgemischs auf den Schneidmühlenbetrieb durch die in beschriebenen Untersuchungen. Infolge der Materialfeuchte – Restfeuchtigkeit bedingt durch Reinigung, Lagerung und Flüssigkeitsreste in Flaschen und Behältern – werden die Maschen der Siebeinlage vom Material zugesetzt, so dass die Absaugung aus dem Mahlraum und damit verbunden der Zerkleinerungsvorgang nahezu vollständig zum Erliegen kommt. Bei der Zerkleinerung von Folien treten zudem erhebliche Unterschiede im Energiebedarf und in dessen Schwankung auf.

Im werkstofftechnischen Bereich liegt der Schwerpunkt auf der Werkstoffauswahl hinsichtlich Beanspruchung (Abrieb) und Leichtbau. Es sollen geeignete Leichtbau-Stähle ausgewählt werden, an denen die mechanisch-technologischen und tribologischen Materialeigenschaften getestet werden. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für die Konstruktion. Der vorgesehene Einsatz der Schneidmühle in Transporteinrichtungen macht darüber hinaus die Konstruktion der Gehäuse, der Ein- und der Auslaufzonen aus Leichtbaustrukturen notwendig.

## Zusammenfassung

Die zu entwickelnde kompakte Schneidmühleneinheit ermöglicht besonders den im Maschinenbau tätigen kleinen und mittleren Unternehmen eine zuverlässige Grundlage für eigene Konstruktionen. Aufgrund der Firmenstruktur (Mitarbeiterzahl, Ausstattung, usw.) sind diese Betriebe oft nicht in der Lage, umfangreiche Untersuchungen und Vorversuche durchzuführen. Sie sind dabei auf die Unterstützung unabhängiger Forschungsinstitute angewiesen, die die entsprechenden Kapazitäten im personellen Bereich aufweisen können und Erfahrungswissen im entsprechenden Bereich besitzen.

Gerade im Bereich Leichtbau ist das wirtschaftliche Potential als besonders hoch einzuschätzen. Kleine und mittlere Unternehmen sind meist Zulieferer für die Schiffs- und Luftfahrtindustrie. Ihnen wird mit der zu entwickelnden Schneidmühleneinheit ein Prototyp zur Verfügung gestellt, der ihnen auch auf internationaler Ebene einen Innovationsvorsprung sichern würde.

*Dr.-Ing. Hagen Birkholz*

*Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz*

*Dr.-Ing. Torsten Grünendick*

*Institut für Maschinenwesen*

*Robert-Koch-Straße 32*

*38678 Clausthal-Zellerfeld*

*Telefon: 05323/72-2270 (Dietz)*

*05323/72-3507 (Grünendick)*

*Fax: 05323/72-3501*



**Seit 1829 Hand in Hand mit der Hochschule: Die Grosse'sche Buchhandlung (links)**



Ihre Fachbuchhandlung für:

**Technik • Naturwissenschaften  
Bergbau • Umwelttechnik**

**GROSSE'SCHE BUCHHANDLUNG**

ADOLPH-ROEMER-STRASSE 12 • TEL. (0 53 23) 9390 - 0 • FAX - 20

grosse.harz.de • buch@grosse.harz.de

**D-38668 CLAUSTHAL-ZELLERFELD**