

1 Einleitung

Die Auslegung von Zerkleinerungsmaschinen ist oftmals mit großem experimentellem Aufwand verbunden. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, daß die Materialfunktionen wie Fließgrenze und Festigkeit verschiedener Materialien nicht bekannt sind (Müller & Polke, 1999). Für spröde Materialien (Rumpf, 1961) und metallische Werkstoffe (Domke, 1986) sind die zur Beschreibung der mechanischen Eigenschaften notwendigen Kriterien mittlerweile gut standardisiert. Im Gegensatz zu diesen Materialien existieren diese Grundlagen und Kriterien für organische Materialien (Kang et al., 1995) noch nicht in diesem Umfang. Da jedoch Materialien biologischen Ursprungs zunehmend in Form von Reststoffen aus beispielsweise der Landwirtschaft, der Lebensmittelindustrie und besonders den privaten Haushalten in immer größeren Mengen anfallen, müssen für deren sachgerechte Entsorgung bzw. Aufarbeitung verfahrenstechnische Schritte entwickelt werden, die eine nachhaltige Entsorgung dieser Reststoffe gewährleisten. Beispielsweise gewinnt die anaerobe Vergärung zunehmend an Bedeutung bei der Entsorgung nasser biologischer Abfälle, die gegenüber der Kompostierung Vorteile wie die Behandlungsmöglichkeit, die Produktion von nutzbarem Biogas und eine Verringerung der Gärchusemission bietet. Außerdem wird die Keimbelastung der Luft bei diesem anaeroben Prozeß vermindert.

Eine mechanische Beanspruchung als verfahrenstechnischer Schritt vor der biologischen Behandlung von organischen Materialien erwies sich als positiv, da infolge einer solchen Beanspruchung Materialeigenschaften wie Struktur, Oberfläche bzw. Partikelgröße verändert und Zellinhaltsstoffe freigesetzt werden. Diese positiven Aspekte einer mechanischen Vorbehandlung organischer Stoffe bestehen schon in der Natur, wo organische Materialien vor der anschließenden, eigentlichen biologischen Verwertung – beispielsweise bei Lebewesen in Form von Zerkleinern zwischen den Zähnen im Mund – mechanisch beansprucht werden (Schönert & Bernotat, 2002).

Für eine mechanische Vorbehandlung ist die Auswahl der Zerkleinerungsmaschine und die Kenntnis der mechanischen Eigenschaften organischer Materialien sinnvoll. Eine Literaturrecherche von Palmowski (2000) hat jedoch gezeigt, daß gerade Kenntnisse bezüglich des Zerkleinerungsverhaltens organischer und nicht-spröder Stoffe nur spärlich vorhanden sind.

Auch deshalb wird die mechanische Beanspruchung organischer Materialien seit mehreren Jahren am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik der TU Braunschweig grundlegend untersucht. Aufbauend auf Ergebnissen von Müller (1996), der zeigte, daß eine mechanische Klärschlammdeintegration zu ei-

nem vermehren und beschleunigten biologischen Abbau des Organikanteils führt, untersuchte Palmowski (2000), inwieweit eine mechanische Beanspruchung auch bei anderen organischen Materialien ähnliche Auswirkungen auf den anaeroben Abbauprozess bewirkt. Mundhenke (2002) schließlich untersuchte „den Einfluss der Zerkleinerung auf die Bioverfügbarkeit von organischen Substraten“ und stellte dabei unter anderem fest, daß bei vorhergehender Zerkleinerung – in Abhängigkeit der abzubauenden Materialien – auf die richtige Einstellung der Prozessbelastungsrate zu achten ist.

Aufbauend auf diesen Untersuchungen und Erkenntnissen soll diese Arbeit einen Beitrag zur genaueren Charakterisierung der mechanischen Beanspruchung organischer Materialien leisten, indem die mechanischen Eigenschaften und das Verhalten organischer Materialien bei mechanischer Beanspruchung von Partikelkollektiven beschrieben, miteinander verglichen und geklärt werden. Dabei wird der Einfluss des Wassergehaltes besonders berücksichtigt.

2 Stand des Wissens

2.1 Organische Materialien

Organische Materialien können pflanzlicher oder tierischer Herkunft sein. Sie entstehen durch natürliche biochemische Prozesse und können durch solche wieder mineralisiert werden.

Die Untersuchungen in dieser Arbeit beschränken sich auf organische Materialien pflanzlicher Herkunft, deren Aufbau und Struktur hinreichend beispielsweise in Nüttsch (1991) dargestellt sind.

In der Natur treten diese Stoffe in unterschiedlichsten Formen und Zusammensetzungen auf, die teilweise sehr komplex sind. Dennoch erscheinen in der Literatur (u.a. Cowling, 1975; Fan et al., 1981) immer wieder zwei Komponenten der pflanzlichen Zellwand, deren Gehalt maßgebend für die mechanischen Eigenschaften, das Zerkeinernungs- und Abbauverhalten ist: die Faserstoffe Cellulose und Lignin. Der genauere Zusammenhang zwischen dem Aufbau der pflanzlichen Zellwand und diesen Faserstoffen wird im folgenden dargestellt.

Die pflanzliche Zellwand

Der Aufbau der pflanzlichen Zelle und deren Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften und das Abbauverhalten sind hinreichend von Palmowski (2000) beschrieben worden. Deshalb wird hier nur der Aufbau der pflanzlichen Zellwand unter besonderer Berücksichtigung der Faserstoffe Cellulose und Lignin vorgestellt. In den Abbildungen 2.1 bis 2.3 ist der mikroskopische Aufbau der pflanzlichen Zellwand dargestellt.

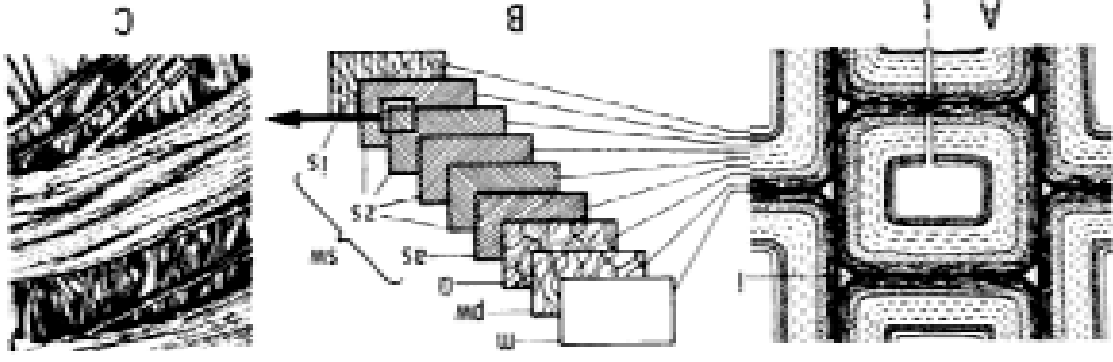


Abb. 2.1: Mikroskopischer Aufbau der pflanzlichen Zellwand (Teil 1) aus Nüttsch (1991).

Abkürzungen: A: schematische Zellwandschichtung im Querschnitt
B: Textur der einzelnen Schichten, schematisch
C: Sekundärwandschichtung nach einer EM-Aufnahme
m: Mittellamelle; pw: Primärwand; u: Übergangslamelle;
as: Außenschicht; zs: Zentralschicht; is: Innenschicht;
sw: Sekundärwand; i: Intrazellularen; t: Tüpfel.

Abbildung 2.1 [A, B] zeigt, daß die Grenze zwischen zwei benachbarten Zellen durch die Mittellamelle gebildet wird (Jacob et al., 1987; Nutsch, 1991). Sie verbindet die Wände benachbarter Zellen strukturell als Interzellularsubstanz. „Ihrer Ausdehnung nach ist sie unscheinbar“ (Nutsch, 1991). Die Mittellamelle verbindet die Primärwände der benachbarten Zellen. Die Primärwände enthalten ca. 10 % bis 15 % Cellulose. Die Mikrofilbrillen der Primärwand sind in einem lockeren Gerüst verknüpft, dessen Anordnung als Streuungstextur (Abbildung 2.1. B) bezeichnet wird (Nutsch, 1991; Jacob et al., 1987). Die Primärwand ist sehr elastisch, kann aber auch plastisch gedehnt und verformt werden. Dadurch kann sie der Größenzunahme der Zelle beim Wachstum folgen (Nutsch, 1991).

Die Sekundärwand beinhaltet deutlich mehr Cellulose (in Extremfällen bis zu 94 %) und ist häufig vielschichtig (Nutsch, 1991). Diese Schichten (Abbildung 2.1 A, B) können lichtmikroskopisch unterschieden werden. Die Filbrillen der Sekundärwand besitzen eine Paralleltexur (Abbildung 2.1 C). Dies ist ein kennzeichnendes Merkmal für die Sekundärwand (Jacob et al., 1987). Sie gibt der Zelle somit ihre mechanische Festigkeit (Nutsch, 1991).

Die Bündelung mehrerer Mikrofilbrillen, die aus Elementarfilbrillen aufgebaut werden, und der Aufbau dieser Elementarfilbrillen sind in Abbildung 2.2 schematisch dargestellt.

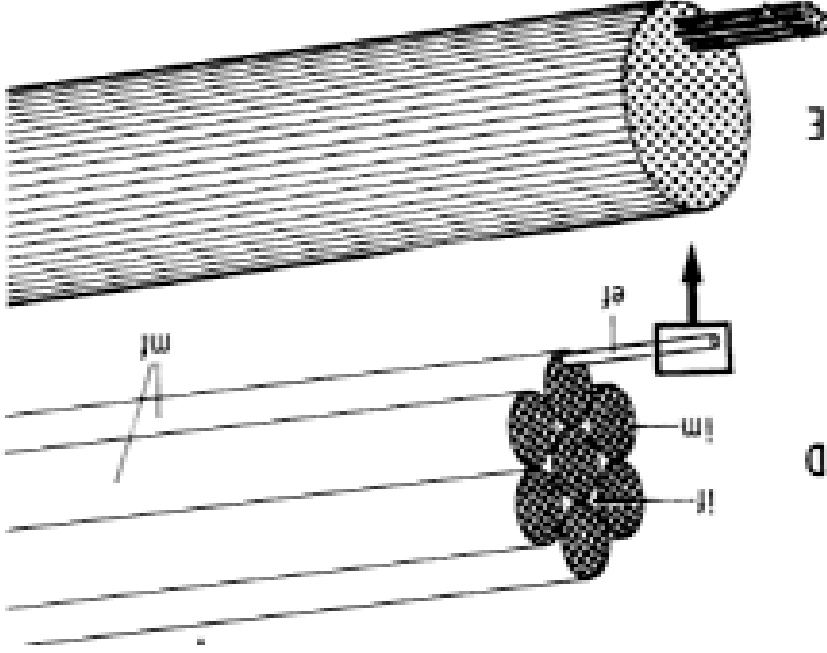
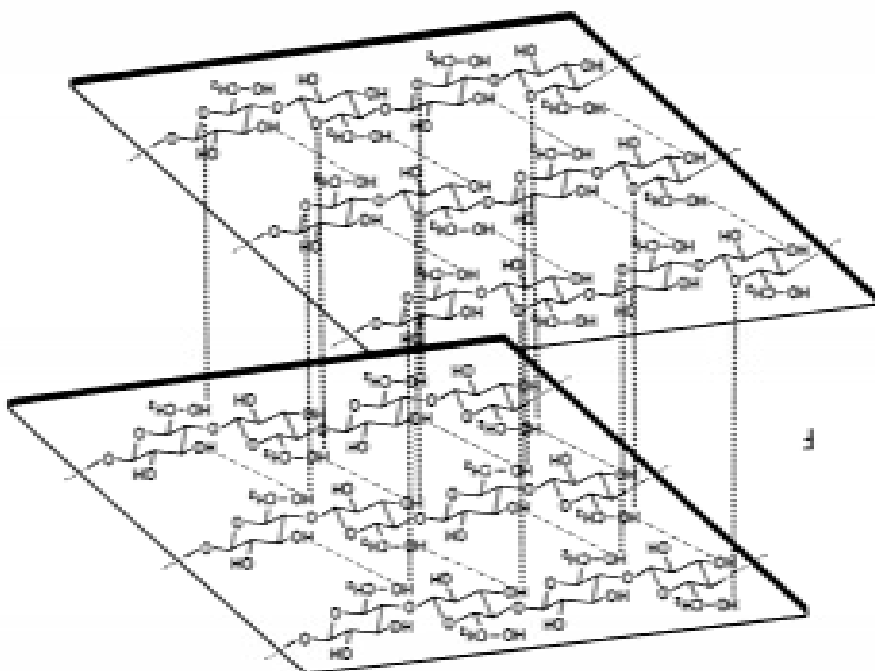


Abb. 2.2: Mikroskopischer Aufbau der pflanzlichen Zellwand (Teil 2) aus Nutsch (1991).
 Abkürzungen: if: interfilbrillärer Raum; im: intermicellärer Raum;
 mf: Mikrofilbrille; ef: Elementarfilbrille.

Man erkennt, daß die Mikrofilbrillen aus Elementarfilbrillen aufgebaut sind (Abbildung 2.2 D). In diesen Elementarfilbrillen sind die Cellulosemoleküle parallel

Abb. 2.3: Mikroskopischer Aufbau der pflanzlichen Zellwand (Teil 3) aus Nuitsch (1991). Der Polymerisationsgrad kann zwischen 1000 und 15000 (Nuitsch, 1991) liegen. Die Moleküllänge kann demnach bis zu 7,5 µm betragen. Wegen der hochgeordneten Struktur und dem hohen Molekulargewicht ist Cellulose in Wasser fast unlöslich und ihr Quellvermögen ist – abhängig von der Herkunft – eher gering (Belitz & Grosch, 1995). Die Einlagerung von Quellwasser im Cellulosegerüst ist nach Jacob et al. (1987) nämlich nur in den sehr kleinen Hohlräumen zwischen den Elementarfibrillen (vergleiche Abbildung 2.2 D) [Interzellarräumen] möglich. In den größeren interfibrillären Räumen (vergleiche Abbildung 2.2 D) der Primär- und Sekundärwand kann die Grundsubstanz durch eingelagerte Inkrustierungen verdrängt werden (Jacob et al.,



angeordnet. Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 2.2 E im Anschnitt sechs dieser Celluloseketten herausgezogen. In Abbildung 2.3 ist schließlich die kristalline Struktur am Beispiel von sechs Celluloseketten in der Elementarfibrille dargestellt. Dabei sind kovalente Bindungen durchgezogen, Wasserstoffbrückenbindungen in der Ebene gestrichelt und senkrecht zur Ebene gestrichelt widergegeben. Cellulose ist der Hauptbestandteil in pflanzlichen Zellwänden. Sie besteht aus η -Glucopyranose-Einheiten, die über 1,4-Bindungen glykosidisch verknüpft sind. Aufgrund der Kettenstruktur bilden sich die kristallinen Strukturen aus. Die Ketten sind etwas gefaltet, so daß sich inter- und intramolekulare Wasserstoffbrückenbindungen bilden können (Abbildung 2.3 F), die die geordneten Strukturen weiter erhöhen.