

Wertstoffgewinnung in der mechanischen Aufbereitung

W. Müller, G. Heckenkamp, M. Niesar, K. Fricke

87 Ausgangssituation

Die mechanische Aufbereitung hat sich im Konzept der MBA von der bloßen Materialaufbereitung zur Einstellung optimaler Rottebedingungen zum zentralen Instrument der Stoffstromtrennung entwickelt. Durch die mechanische Aufbereitung werden die vermischten Restabfälle in Stoffströme für die nachfolgenden Behandlungs- oder Verwertungsschritte getrennt. Weiterhin werden die Stoffströme für nachfolgende Verfahrensschritte vorbereitet.

Zentrale Aufgaben und Funktionen der mechanischen Aufbereitung sind:

- Abtrennung der heizwertreichen Komponenten, insbesondere Kunststoffe und Textilien vor der Deponierung;
- Fe- und NE-Metall-Scheidung mit dem Ziel der Verwertung **und** Schadstoffentfrachtung;
- Abtrennung von Störstoffen, die den Verfahrensablauf beeinträchtigen;
- Einstellung eines optimalen Materialaufschlusses, Wassergehaltes und einer optimalen Korngröße sowie Homogenität der biologisch zu behandelnden Fraktion – abhängig vom Rotte- oder Vergärungsverfahren;
- Konfektionierung des zu deponierenden Materials zur Gewährleistung hoher Einbaudichten mit geringen Durchlässigkeitsbeiwerten; hier insbesondere Wassergehalt ($w < w_{Pr}$); geringe Korngröße ($< ca. 100\text{ mm}$), große Homogenität und geringer Anteil schlecht verdichtbarer Komponenten.

Die Entscheidung für eine bestimmte Konzeption der mechanischen Aufbereitung hängt wesentlich von der angestrebten Qualität der Stoffströme im Hinblick auf die nachfolgenden Behandlungsverfahren ab.

Die Abtrennung der heizwertreichen Fraktionen gehört mittlerweile zum technischen Standard fortgeschrittener Konzeptionen der MBA. Sie wird als Anforderung auch vom UBA und BMU in die Neufassung der TAsi bzw. die Umsetzung der EU-Deponierichtlinie eingebracht.

88 Anforderungen an die Stoffstromtrennung

Die Restabfälle sollen in der mechanischen Aufbereitung in drei wesentliche Stoffströme geteilt werden:

- Heizwertreiche Grob- und Leichtfraktion zur energetischen Verwertung;
- Heizwertarme und / oder biologisch abbaubare Fraktionen zur anschließenden Deponierung;
- Fe- und NE-Metalle zur stofflichen Verwertung.

Besonderes Interesse gilt dabei zunehmend den abzutrennenden Grob- und Leichtfraktionen zur energetischen Verwertung. Die Anforderungen an diesen Stoffstrom sind einerseits durch den Mindest-Heizwert von 11.000 kJ/kg im KrW-/AbfG und andererseits durch zusätzliche materialspezifische Parameter von Seiten der Verwerter vorgegeben. Derzeit ungeklärt ist die Nachweisführung eines möglichst hohen Abscheidegrades der betreffenden Abfallfraktionen aus dem anschließend zu deponierenden Stoffstrom.

Ob die Vorgabe eines Grenzwertes für den Glühverlust im Deponiegut als Gütemaß für den Abscheidegrad der heizwertreichen Fraktionen – wie vom UBA/BMU gefordert – praktikabel und aussagefähig ist, wird vielfach bezweifelt (MÜLLER, et al. 1999).

Der Glühverlust wird sowohl durch den Gehalt an heizwertreichen Fraktionen als auch in gleichem Maße durch heizwertarme Bestandteile der Restabfälle wie z.B. Küchen- und Gartenabfälle beeinflusst. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Restabfall-Inputs kann ein Glühverlust von 30% im Deponiegut einerseits bereits durch marginale Abschöpfungen von heizwertreichen Abfällen erreicht werden (Ofenheizung, ländliches Gebiet) oder andererseits selbst bei einem theoretischen Abscheidegrad von 100% der betreffenden Fraktionen nur knapp unterschritten werden (Stadt, Fernheizung) (FRICKE et al., 1999).

Das eigentliche Ziel der Regulierung muß der Nachweis einer bestimmten Abscheidung heizwertreicher Abfallbestandteile aus dem Restabfall sein. Daher ist es aus fachlicher Sicht sinnvoller, einen Abscheidegrad für die heizwertreiche Fraktion festzulegen. Dies kann wirkungsvoll durch Festlegung eines Abscheidegrades oder ggf. zulässigen Restgehaltes der Kunststofffraktion im abzulagernden Material sichergestellt werden.

89 Systeme der MA und deren Effektivität zur Stoffstromtrennung

Die zur Trennung der Stoffströme in der mechanischen Aufbereitung eingesetzten Verfahrensschritte bestehen im wesentlichen aus:

- Siebung;
- Zerkleinerung;
- Fe- und NE-Metall-Scheidung.

Dabei kommen je nach Anlagenkonzeption unterschiedliche Systeme zum Einsatz. Während zur Siebung hauptsächlich Trommelsiebe verwandt werden, ist das Spektrum an Zerkleinerungsaggregaten größer und besteht aus:

- Walzen- oder Schneckenmühlen mit schonender, zerfasernder Zerkleinerung,
- Hammermühlen mit unspezifischer starker Zerkleinerungswirkung sowie

- Kugelmühlen mit sehr hohem Zerkleinerungsgrad.

Die Siebung trennt Stoffe unterschiedlicher Korngröße in die durch die Siebweite vorgegebenen Korngrößenklassen. Weitere Funktionen der Siebung sind:

- Abtrennung sperriger Bestandteile zur Verhinderung von Funktionstörungen in nachfolgenden Aggregaten und Fördereinrichtungen;
- Homogenisierung;
- Öffnung von Gebinden, Zerkleinerung durch Scherkräfte und Auflasten;
- Erzeugung eines geeigneten Kornspektrums für nachgeschaltete Verwertungs- und Behandlungsverfahren.

Die Siebung teilt das Aufgabegut in zwei Stoffströme, das Grobgut (Siebüberlauf, Überkorn) und das Feingut (Siebdurchgang, Unterkorn). Eine technische Siebung stellt einen unvollkommenen Trennungsprozeß dar. Abhängig von der Siebart verbleibt eine bestimmte Menge des Unterkorns im Grobgut, z.B. durch Anhaftungen. Ebenso befinden sich im Unterkorn unterschiedlich große Mengen der Grobkorns, u.a. verursacht durch sogenanntes Aufstellen von Abfallbestandteilen mit großer Längsausdehnung und geringem Durchmesser wie z.B. Stäbe.

Der Siebgütegrad ist die Kenngröße für die Trennschärfe eines Siebvorganges. Er wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst:

- Breite, Länge, Neigung und Form des Siebes;
- Siebgeschwindigkeit;
- Art und Öffnung des Siebbodens;
- Durchsatz, Feuchte, Kornverteilung und Faserigkeit des Siebgutes.

89.1 Sieblinien/Korngrößenverteilung

Der mittels Siebung erreichbare Abscheidegrad und die spezifische Wirkung der Zerkleinerung auf den gesamten Restabfall sowie auf einzelne Abfallfraktionen kann durch die Ermittlung von Sieblinien dargestellt werden.

89.1.1 Restabfall gesamt

Abbildung 1 zeigt die Korngrößenverteilung für Restabfall nach der Zerkleinerung mit unterschiedlichen Aggregaten im Vergleich zu einer Korngrößenverteilung für unzerkleinerte Restabfälle. Die Linien für unzerkleinerten Restabfall und für die Hammermühle sind jeweils als Mittelwert aus verschiedenen Untersuchungen mit Abweichungen dargestellt.

Deutlich zu erkennen ist bei allen Sieblinien eine Verlagerung der Korngrößen in das Unterkorn < 40 mm. Während im unzerkleinerten Restabfall etwa 40% im Unterkorn < 40 mm enthalten sind, erhöht sich dieser Anteil nach der Zerkleinerung in der Hammermühle auf 70%. Eine sehr weitgehende Zerkleinerung wird mit der Kugelmühle erzielt. Hier reichern sich nahezu 80% des Materials nach der Zerkleinerung in der Korngröße < 20 mm und 90% in der Korngröße < 40 mm an.

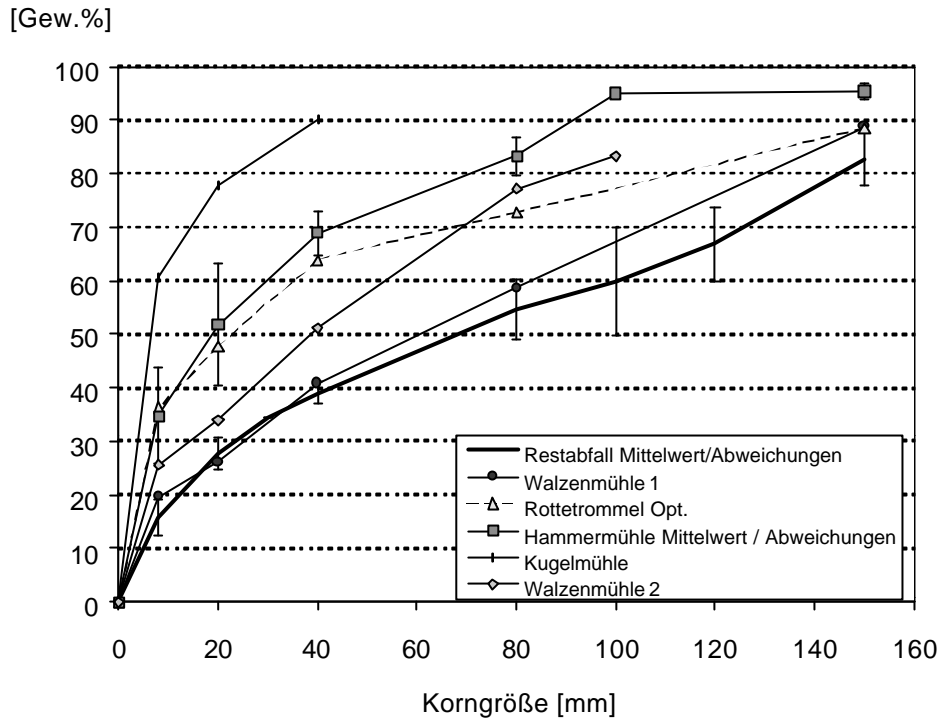


Abb. 1 Korngrößenverteilung von unzerkleinertem Resthaus- und Geschäftsmüll und nach Zerkleinerung mit verschiedenen Aggregaten

Bei Walzenmühle 2 ist im Gegensatz zu Walzenmühle 1 eine deutlichere Zerkleinerungswirkung erkennbar. Es wird deutlich, daß der Zerkleinerungsgrad von Walzenmühlen in starkem Maße von der Bauweise, Verschleiß und aggregatspezifischen Einstellungen (Walzenabstände etc.) beeinflusst wird.

89.2 Kunststoffe/Folien

Für die Bewertung der Abtrennung der heizwertreichen Fraktionen sind die Korngrößenverteilungen der einzelnen Abfallfraktionen heranzuziehen. Im folgenden sind die Korngrößenverteilungen der Fraktionen Folien und sonstige Kunststoffe als Beispiel für die heizwertreichen Bestandteile dargestellt.

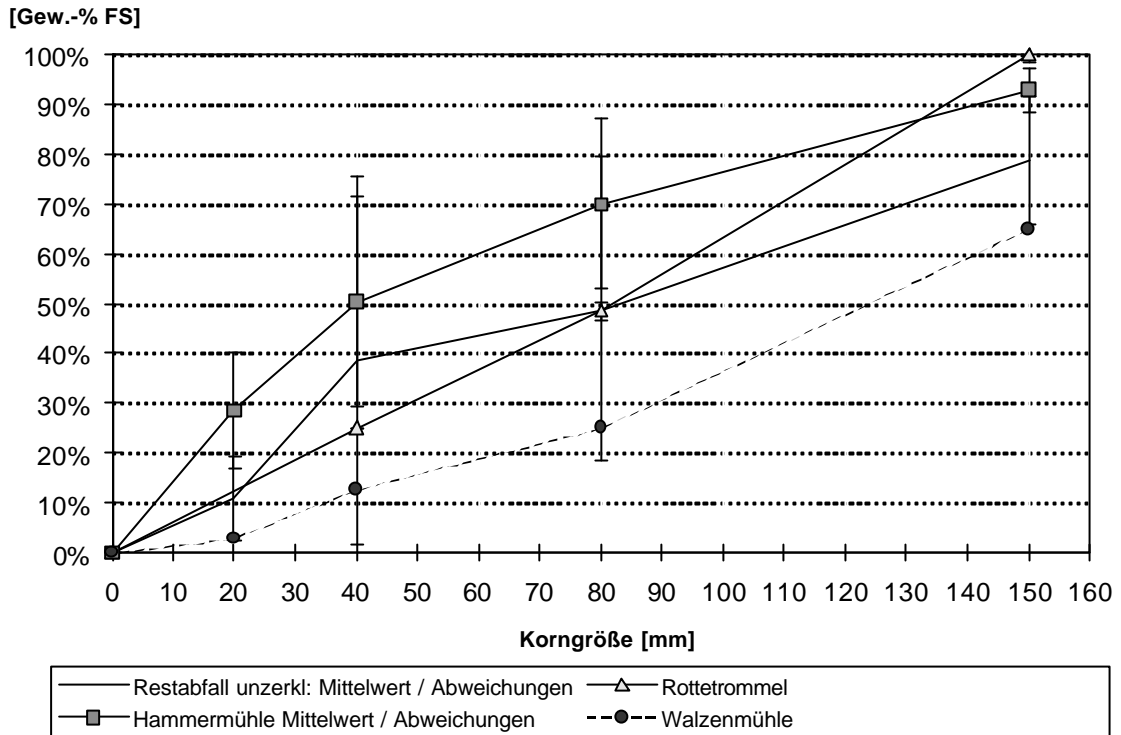


Abb. 2 Korngrößenverteilung der Fraktion Folien im unzerkleinerten Restabfall und nach Einsatz unterschiedlicher Zerkleinerungsaggregate

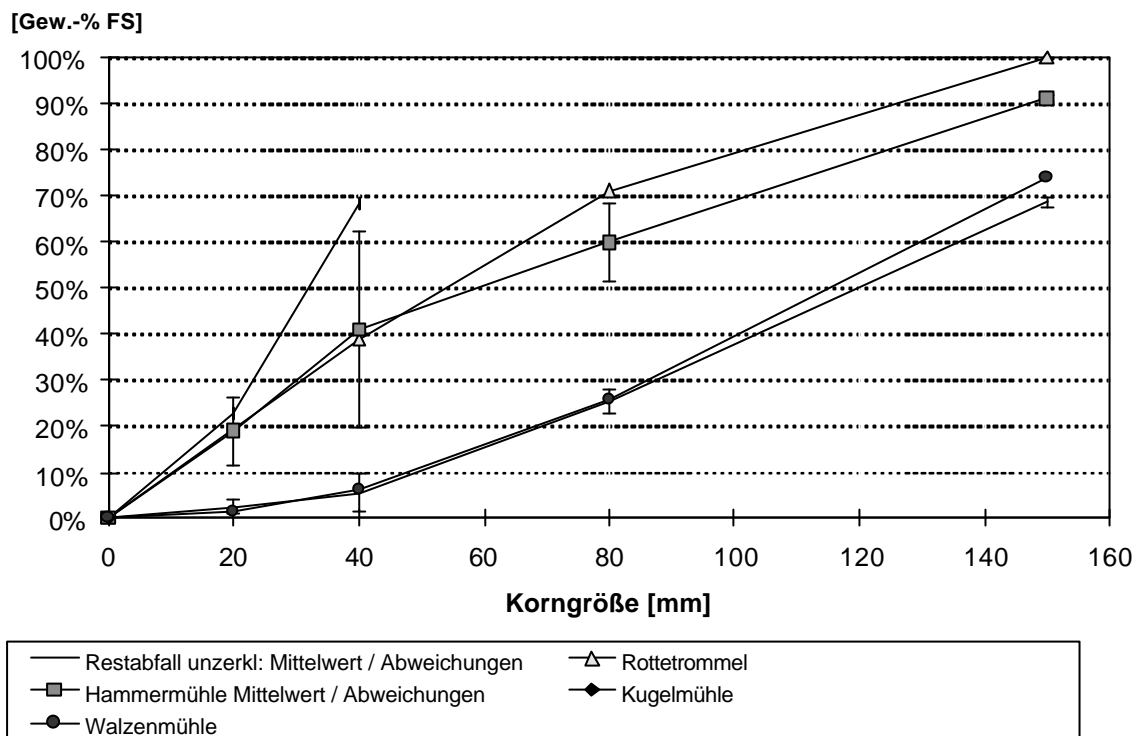


Abb. 3 Korngrößenverteilung der Fraktion Sonstige Kunststoffe unzerkleinert und nach Einsatz unterschiedlicher Zerkleinerungsaggregate

Folien und Sonstige Kunststoffe befinden sich unzerkleinert zu 75% in den Kornklassen > 80 mm. Während durch die Walzenmühle keine erkennbare Zerkleinerung erfolgt, gelangen durch die Zerkleinerung in der Hammermühle 60% der Fraktion Sonstige Kunststoffe und 70% der Folien in das Unterkorn < 80 mm.

89.3 Abbaubare Organik

Die biologisch abbaubaren Bestandteile sollten durch die Stoffstromtrennung in der mechanischen Stufe möglichst weitgehend in die Feinfraktion gelangen, die anschließend biologisch behandelt und deponiert wird. In Abbildung 4 ist die Korngrößenverteilung der Organikfraktion dargestellt.

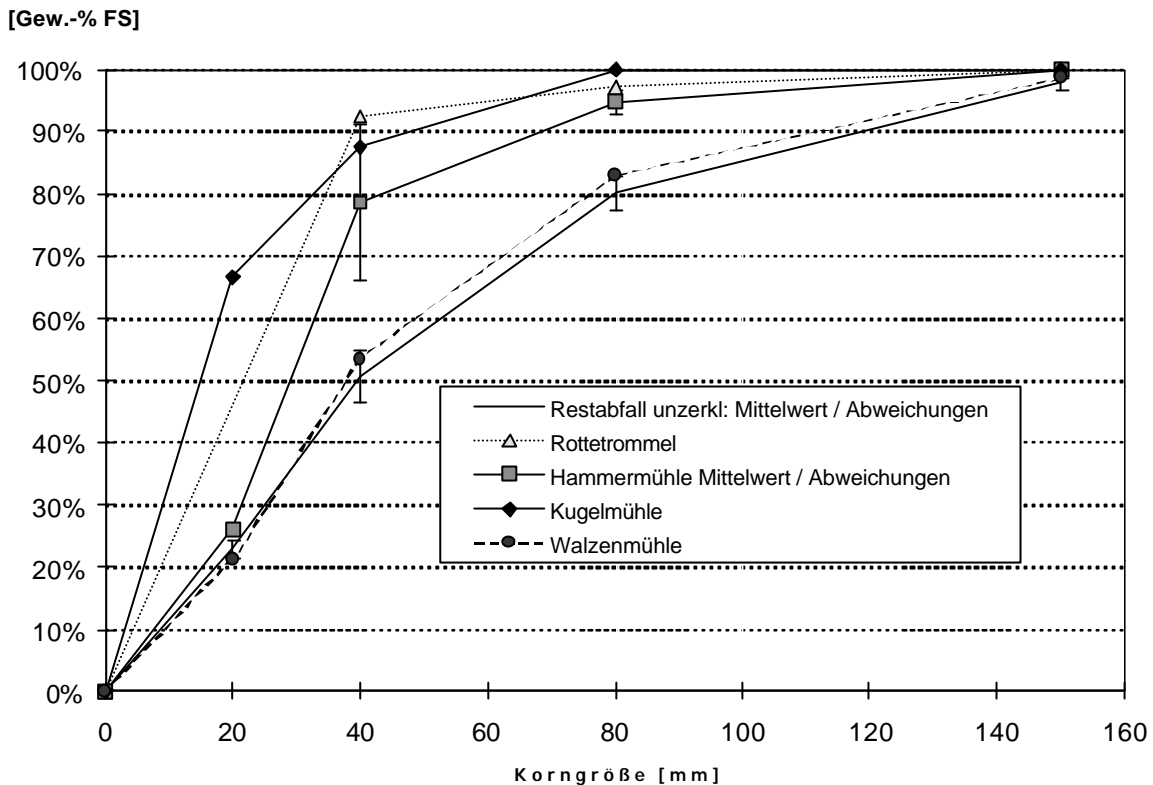


Abb. 4 Korngrößenverteilung der Fraktion Organik unzerkleinert und nach Einsatz unterschiedlicher Zerkleinerungsaggregate

Die Fraktion Organik befindet sich bereits unzerkleinert überwiegend in den unteren Korngrößen. Im Unterkorn < 80 mm sind 80% der Organik zu finden. Nach der Zerkleinerung in Hammer- und Kugelmühle befinden sich 80% bis über 90% der Organik in der Kornfraktion < 40 mm.

90 Ermittlung von Kenngrößen für die Stoffströme in nachfolgenden Behandlungs- und Verwertungsverfahren

Die Qualität der in der mechanischen Aufbereitung abgetrennten Stoffströme wird durch die Ermittlung von Kenngrößen bewertet. Anhand der Zusammensetzung der einzelnen Kornklassen nach Sortierfraktionen (z.B. Papier, Holz, etc.) lassen sich Heizwert (H_u) und Gehalt an biologisch abbaubarer Substanz (σTS_{bio}) als verwertungs- bzw. behandlungsspezifische Kenngrößen hochrechnen.

90.1 Kenngrößen der Sortierfraktionen

Die Charakterisierung einer Sortierfraktion als heizwertreich oder heizwertarm erfolgt über den Heizwert (H_u), der aus dem laboranalytischen Parametern Brennwert (H_o), Trockensubstanzgehalt (TS) und Wasserstoffgehalt (H) unter Einbeziehung der Verdampfungswärme für das Wasser berechnet wird.

Tab. 1 Charakterisierung von Abfallfraktionen nach chemisch-physikalischen Parametern (FRICKE et al., 1999)

	TS	OTS	OTS bio	Ho	Hu
	% FS	%TS	%TS	kJ/kg	kJ/kg
Org. - Garten	50	79	79	16.500	7.167
Org. - Haushalt	44	77	77	15.000	5.582
Schmutzpapier	55	88	88	18.700	8.943
Summe Organik	48	72	72	16.000	6.617
Organik < 40 mm	49	66	66	16.000	6.767
rec. Papier (nicht DSD)	68	80	76	16.500	9.777
Pappe (nicht DSD)	70	82	78	19.000	11.849
Summe Papier	69	80	76	17.000	10.283
Getränkeverbund	75	88	70	22.000	14.740
sonst. Verbundverp.	79	83	62	26.500	19.158
Blister u. Becher	88	90	5	35.700	28.354
Hohlkörper	85	90	0	29.500	22.055
Folien	77	90	0	34.900	23.987
sonst. Hartkunststoffe	95	90	0	30.500	25.832
Schaumstoffe u. Styropor	74	90	0	35.600	23.516
Summe Kunststoffe	85	90	0	29.500	22.055
Glas	98	2	0	0	-48
Fe-Metalle (nicht DSD)	93		0	0	-159
Nicht Fe-Met.(nicht DSD)	90		0	0	-220
Materialverbund	85	75	38	16.000	11.813
Textil	74	92	55	21.900	14.712
Holz	78	95	95	20.500	14.834
Mineralien	97		0	0	-71
Summe Sonstiges	80	30	8	15.600	11.562
Windeln	50	92	69	27.300	12.369
Problemstoffe	75		0	8.000	4.833
Fraktion < 8	68	28	28	4.500	2.529

Die Charakterisierung der Fraktionen bezüglich der Eignung für eine biologische Behandlung kann anhand des Gehaltes an biologisch abbaubaren Stoffen erfolgen. Einen Anhaltswert hierfür bietet der Gehalt nativ-organischer Substanzen (oTS_{bio}), der den unspezifischen Glühverlust in biologisch abbaubare und nicht abbaubare Komponenten differenziert.

Die chemisch-physikalischen Kennwerte der Sortierfraktionen sind in Tabelle 1 als Ergebnis umfangreicher Analysen aus den Untersuchungen im Rahmen von Forschungsprojekten sowie anderer Untersuchungen der IGW und Literaturwerten zusammenfassend dargestellt.

In Tabelle 2 sind die einzelnen Abfallfraktionen im Hinblick auf eine Zusammenfassung in die nachfolgend aufgeführten Stoffströme charakterisiert:

- Abtrennung einer heizwertreichen Fraktion zur energetischen Verwertung bzw. thermischen Behandlung;
- Abtrennung von Fraktionen zur biologischen Behandlung bzw. Deponierung.

Tab. 2 Zuordnung der Fraktionen zu Stoffströmen

Heizwertreich / energetisch verwertbar	biologisch abbaubar oder mineralisch
Papier/Pappe	Papier/Pappe
Kunststoffe	Organik
Getränkeverbund	Getränkeverbund
Sonstige Verbundverpackungen	Schmutzpapier
Materialverbund	Holz
Textilien	Glas/Mineralien
Holz	Windeln
Windeln	Feinmüll < 10 mm

Eine Sonderstellung nehmen die Abfallfraktionen Papier/Pappe und Windeln ein, die bei einem relativ hohen Anteil am Restabfall von 8 bzw. 15% an der Grenze des Heizwertkriteriums liegen und gleichzeitig hohe Anteile biologisch abbaubarer Substanz aufweisen.

Der Heizwert H_u , der das Maß für die bei der Verbrennung tatsächlich entstehende Wärmeenergie eines Brennstoffes ist, hängt sehr stark vom Wassergehalt des Brennstoffes ab, wie aus der Berechnungsformel für den H_u hervorgeht.

Dieser Zusammenhang hat auf die Fraktionen Papier/Pappe und Windeln einen entscheidenden Einfluß. Der mittlere H_u für Papier/Pappe liegt mit knapp 10.000 kJ/kg unter dem Mindestwert von 11.000 kJ/kg für die energetische Verwertung. Papier/Pappe neigt aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften zur Aufnahme von Wasser beim Kontakt mit wasserhaltigen Substanzen im Abfall wie Organik und Feinmüll.

90.2 Heizwert

In Abbildung 5 sind die Auswirkungen der Zerkleinerung auf den Heizwert der Siebüberläufe im Vergleich zu unzerkleinerten Abfällen dargestellt.

Die Ergebnisse wurden unter der Voraussetzung einer 100%-igen Siebwirkung ermittelt, was in der Praxis i.d.R. nicht der Fall ist. Die dargestellten Werte sind daher als Optimum bzw. Potential zu betrachten. In Abhängigkeit von der Dimensionierung des Siebaggregates sind bei einer Prognose für den Praxisfall ggf. Fehlsiebungsanteile zu berücksichtigen.

Der Mindest-Heizwert von 11.000 kJ/kg für die energetische Verwertung ist bei der Absiebung von unzerkleinertem Abfall nur mit Sieblochweiten zu erreichen, die deutlich über 80 mm liegen. Demgegenüber wird der Wert bei der Absiebung nach einer Zerkleinerung mit Hammermühle auch im Überkorn > 40 mm deutlich überschritten. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die abgeschiedene Abfallmenge nach der Zerkleinerung in der Hammermühle selbst im Überkorn > 40 mm nur bei etwa 30% des Gesamtinputs liegt.

Durch Zerkleinerung werden im Überkorn > 40 mm etwa gleiche Verhältnisse wie im unzerkleinerten Überkorn > 150 mm erreicht. Der H_u liegt bei ca. 14.000 kJ/kg, die abgeschiedene Menge bei 15-30% des Gesamtinputs.

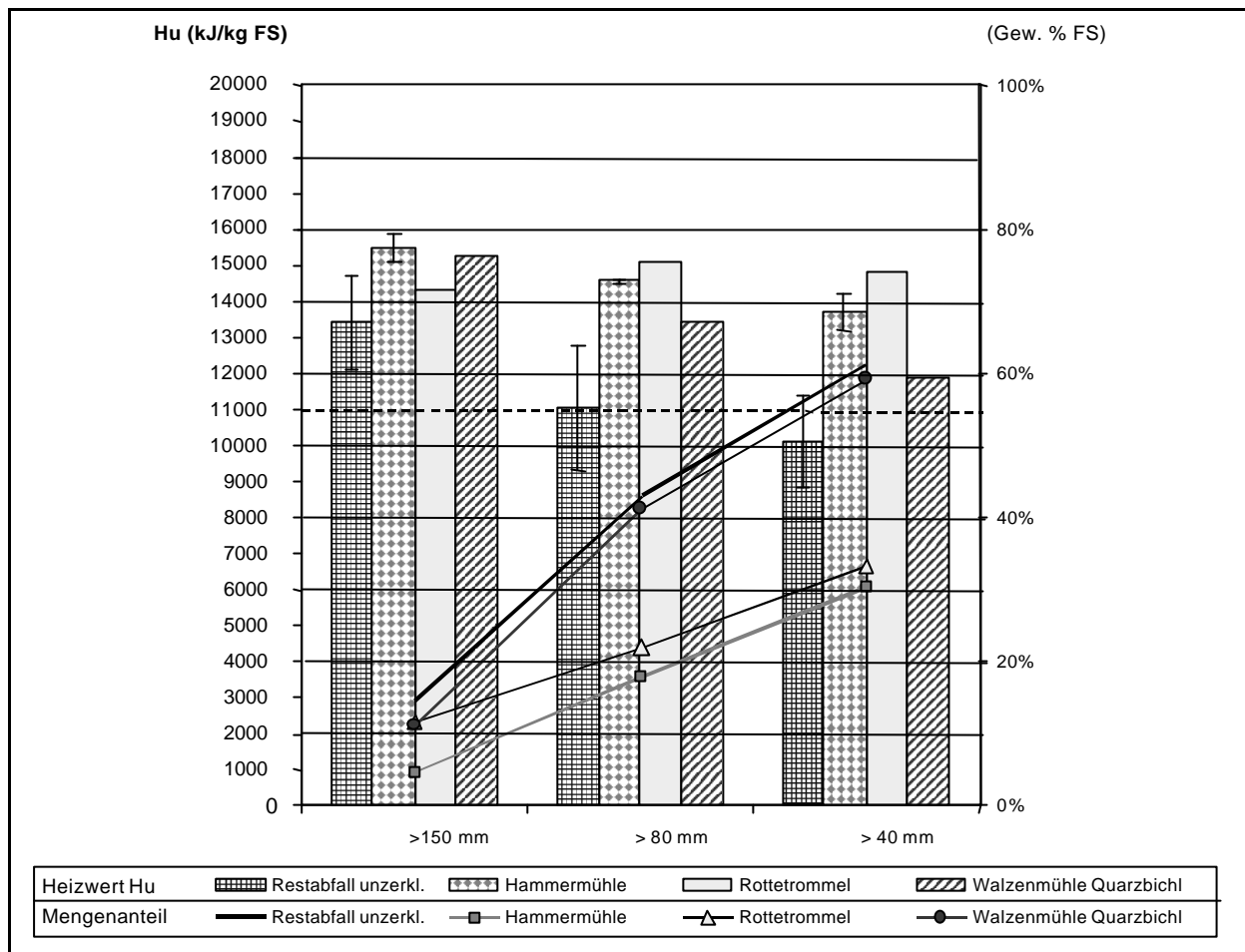


Abb. 5 Heizwert von Siebüberläufen unzerkleinerter und zerkleinerter Abfälle

90.3 Abaubare Organik

Die Menge an biologisch abbaubaren Bestandteilen ($\sigma\text{TS}_{\text{bio}}$) im Restabfall setzt sich aus den abbaubaren Anteilen unterschiedlicher Fraktionen zusammen. Dazu zählen neben der Organik insbesondere Papier/Pappe, Holz und Windeln, die gleichzeitig als energetisch verwertbar gelten. Abbildung 6 zeigt die durchschnittlichen $\sigma\text{TS}_{\text{bio}}$ -Gehalte im Siebdurchgang unzerkleinerter und zerkleinerter Abfälle.

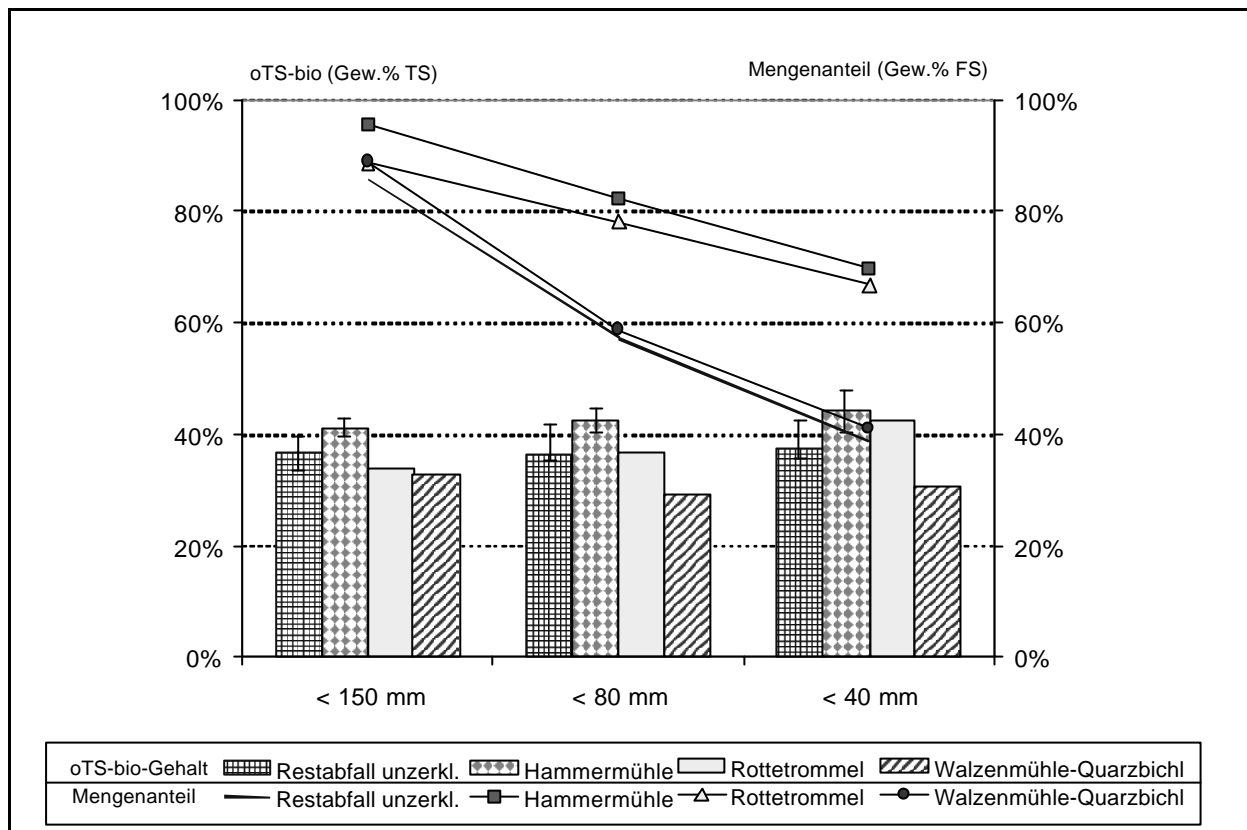


Abb. 6 oTS_{bio}-Gehalt im Siebdurchgang zerkleinerter und unzerkleinerter Abfälle

Der oTS_{bio}-Gehalt ist im unzerkleinerten und zerkleinerten Zustand in allen Siebfractionen nahezu gleich. In den größeren Kornklassen wird er hauptsächlich durch die Fractionen Windeln und Papier bestimmt, in den kleineren Kornklassen besteht er im wesentlichen aus Küchen- und Gartenabfällen.

Eine gewisse Anreicherung ist durch die Zerkleinerung in der Hammermühle erkennbar, da neben der Organik auch Windeln und Papier ins Unterkorn gelangen. Diese Anreicherung der nativ organischen Bestandteile wird von der gleichzeitigen Zerkleinerung der nicht biologisch abbaubaren Kohlenstoff-Komponenten und der mineralischen Bestandteile (Glas) nahezu ausgeglichen, weshalb die starke Erhöhung der abgeschöpften Menge nicht von einer Erhöhung des oTS_{bio} begleitet wird.

91 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben an großtechnischen Anlagen und Aggregaten wurde eine umfangreiche Datengrundlage für die Konzeptionierung von mechanischen Aufbereitungsstufen erarbeitet.

Die Abtrennung der heizwertreichen Leichtfraktion zur Erzeugung eines verwertungsfähigen Ersatzbrennstoffes stellt einen wesentlichen Baustein der MBA dar. Diese Forderung soll auch in die derzeit sich in Erarbeitung befindliche Überarbeitung der TA-Siedlungsabfall in eine Deponie-VO des BMU aufgenommen werden. In dieser Verordnung soll die effektive Abtrennung der heizwertreichen Fraktion mit Hilfe eines Glühverlustgrenzwertes von 30% (der TS) im Deponat sichergestellt werden. Aufgrund der großen Schwankungsbreite der Inputzusammensetzung ist dieser starre Grenzwert als nicht sachgerecht einzustufen und sollte daher durch die Definition eines Abscheidegrades für die Kunststofffraktion ersetzt werden.

Das technische Konzept der mechanischen Aufbereitung kann nur für den jeweiligen Einzelfall ermittelt und bewertet werden. Es ist abhängig von der Zusammensetzung und der Menge der einzelnen Inputströme, den Anforderungen der nachfolgenden Behandlungs- und Verwertungstechniken, der Deponiesituation und anderen regional- und standortspezifischen Gegebenheiten.

Für die effektive Abtrennung der heizwertreichen Fraktionen aus dem Abfallgemisch bieten sich verschiedene Lösungswege an. Die wesentlichen Fragestellungen im Rahmen einer konkreten Detailplanung sind dabei:

- Zielheizwert und –menge für die abgeschiedene Leichtfraktion sowie
- Anforderungen der nachfolgenden biologischen Behandlung an das Rottegut.

Für eine effektive Abscheidung der heizwertreichen Fraktionen bietet sich nach derzeitigem Kenntnisstand ein mehrstufiges Konzept der mechanischen Aufbereitung an. Mit einer einzigen Siebstufe vor der biologischen Behandlung sind hohe Abscheidegrade bei gleichzeitig guter Trennschärfe kaum zu erreichen. Je kleiner die Siebmaschenweite gewählt wird, desto größer ist die Gefahr, daß heizwertarme Bestandteile ins Überkorn gelangen, wodurch der Heizwert entscheidend herabgesetzt wird.

Für eine optimierte Abscheidung vor allem von Kunststoffen bietet sich eine Grobabsiebung vor der biologischen Behandlung und eine zusätzliche Absiebung mit einem kleineren Siebschnitt nach der Rotte an. Zur Heizwerterhöhung kann die abgetrennte Grobfraktion mit Hilfe von Windsichtern und Hartstoffabscheidern weiter aufbereitet werden. Da die Anforderungen an die Konditionierung der Ersatzbrennstoffe stark vom nachgelagerten Verwertungsverfahren abhängt, dürfte zumindest bei kleineren MBA eine weitergehende Aufbereitung der heizwertreichen Fraktion in der MBA weniger sinnvoll sein. Es bietet sich vielmehr eine angepaßte Aufbereitung am Standort der Verwertungsanlage an.

Ein weiterer obligater Schritt der mechanischen Aufbereitung ist die Abtrennung der Eisen- und Nichteisenmetalle. Hierdurch wird neben der Gewinnung von Wertstoffen eine Schadstoffentfrachtung der unterschiedlichen Stoffströme erreicht.

Auf Grundlage der umfangreichen Untersuchungen der IGW zur Zusammensetzung unterschiedlicher Abfallarten hinsichtlich stofflicher und chemisch-physikalischer Parameter und zu den Auswirkungen der einzelnen Aufbereitungsschritte kann bei bekannter Zusammensetzung des Inputs eine einzelfallbezogene Konzeption der mechanischen Aufbereitung (und der biologischen Behandlungsstufe) erstellt werden. Es ist möglich, die zu erwartenden Stoffstrommengen und –qualitäten vergleichsweise genau zu ermitteln.

92 Literatur

- MÜLLER, W., K. FRICKE, R. WALLMANN, J. HAKE, T. TURK, W. BIDLINGMAIER, H. DOEDENS, G. RETTENBERGER (1999): Anforderungen erfüllt – Mit einer hochwertigen MBA und einer angepaßten Deponietechnik können die Schutzziele der TASI eingehalten werden; Müllmagazin 4, S. 16 – 27
- FRICKE, K., W. MÜLLER, C. BARTETZKO, U. EINZMANN, J. FRANKE, G. HECKENKAMP, K. KELLNER-ASCHENBRENNER, R. KÖLBL, R. MELLIES, M. NIESAR, R. WALLMANN, H. ZIPFEL (1999): Stabilisierung von Restmüll durch mechanisch-biologische Behandlung und Auswirkungen auf die Deponierung, Endbericht des BMBF-Verbundvorhabens „Biologische Vorbehandlung von zu deponierenden Abfällen“, Teilvorhaben der Ingenieurgesellschaft Witzenhausen (Nr. 1480945)

Anschrift der Autoren:

Wolfgang Müller, Gregor Heckenkamp, Marcus Niesar, Klaus Fricke
Ingenieurgesellschaft Witzenhausen Fricke & Turk GmbH
Bisshäuser Aue 12
37213 Witzenhausen