

Untersuchungen zur Trennbarkeit von dynamisch getrockneten Restabfällen - erste Ergebnisse -

Dipl.-Ing. B. Bartha, Dr.-Ing. J. Brummack

Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Technische Universität Dresden

Investigations on the Separability of Dynamic Dried Municipal Solid Waste

Abstract

The physical properties of the output of biological drying of municipal solid waste (MSW) in a rotary drum reactor have been analysed. It could be shown, that the determined combination of biological and mechanical processes within the reactor can lead to output qualities that with state-of-the-art static reactors can not be reached or a complex post treatment (bulking, post-crushing) is necessary for that. By sieving and manual sorting in substance classes (fibrous, plastic, miscellaneous) the individual product fractions could be described in detail very good. The results can be the basis of the further development for separation of MSW.

Zusammenfassung

Im Rahmen von Untersuchungen zur biologischen Trocknung von Restabfällen in einem Drehrohrreaktor wurden die physikalischen Eigenschaften des Outputs analysiert. Es konnte gezeigt werden, dass die gezielte Kombination von biologischen und mechanischen Prozessen zu einer Qualität führt, die in statischen Reaktoren nach Stand der Technik, nicht oder nur nach aufwendigen Nachbehandlung (Auflockerung, Nachzerkleinerung) erreicht werden kann. Mit Siebungen und händischen Sortierung nach Stoffgruppen (Faseriges, Kunststoffe, Sonstiges) konnten einzelne Produktfraktionen sehr genau beschrieben werden. Die Ergebnisse können die Grundlage einer verfahrenstechnische Weiterentwicklung zur Restabfalltrennung bilden.

Keywords

biologische Trocknung, Restabfall, Drehrohrreaktor, dynamische Behandlung, Trennbarkeit

biological drying, MSW, rotary drum reactor, dynamic treating, separability

1 Einleitung

Die Autoren dieses Beitrages beschäftigen sich seit 6 Jahren mit der aeroben Behandlung von Restabfällen im dynamischen Reaktor. Ergebnisse dieser Arbeiten wurden u.a. in (BARTHA ET AL., 2003), (BARTHA ET AL., 2006) ausführlich publiziert.

Die aerobe Behandlung von festen Abfällen stellt prozesstechnisch betrachtet ein Dreiphasensystem dar, das durch eine äußerste Komplexität gekennzeichnet ist. In der Praxis dominiert dabei heute der statische aerobe Festbettprozess, obwohl dieser für biogene Abfälle oder Abfälle mit biogenem Anteil aus chemisch-physikalischer Sicht nur bedingt beherrschbar ist. Kennzeichnend für diese Prozesse ist die stoffsystembedingt

rasche Ausbildung von Inhomogenitäten in einem statischen Haufwerk, die sich während des Prozesses weiter verstärken. Die dennoch fast ausschließliche Anwendung des statischen aeroben Festbettprozesses basiert allein darauf, dass Prozesse in statischen Reaktoren (Boxen, Tunnel) technisch und ökonomisch relativ einfach umgesetzt werden können.

Dynamische Reaktoren, vor allem der Drehrohrreaktor, werden in der Praxis kaum genutzt, obwohl sie eine zyklische Auflösung der besonders kritischen Gradienten im Festbett erlauben. Gründe dafür sind neben den höheren Investitionskosten die negativen Erfahrungen aus dem bisherigen Einsatz von so genannten Rottetrommeln in der Kompostierung. Die Behandlung von nassen und anfallbedingt strukturarmen Bioabfällen, die für eine Behandlung im Festbett prinzipiell ungeeignet sind, deutet bereits auf das geringe Wissen über die im Drehrohrreaktor parallel ablaufenden mechanischen und biologischen Prozesse hin.

Durch die Einführung von komplexeren automatischen Sortiertechniken, wie sie aus der DSD-Sortierung bekannt sind, könnten aus Restabfällen weitere stofflich verwertbare Ströme, z.B. verschiedene Kunststoffarten oder Papier, erzeugt werden. Die erfolgreiche automatische Sortierung setzt ein rieselfähiges und bezogen auf die einzelnen Fraktionen homogenes Inputmaterial voraus. Mit steigender Heterogenität des zu trennenden Stoffstromes (Verklebungen, Anhaftungen) nimmt der apparatetechnische und energetische Aufwand zu bzw. die Produktqualität ab. Insbesondere bei flächigen Kunststofffraktionen (Folien, Tüten) können Anhaftungen den Produktwert signifikant mindern.

2 Biologische Restabfallkonditionierung im Drehrohr

2.1 Biologische Verfahren in der Restabfallbehandlung

Die Veränderungen des gesetzlichen Rahmens für eine Deponierung und das Umdenken beim Umgang mit Restabfall haben die mechanisch-biologische Abfallaufbereitung zu einem festen Bestandteil der Restabfallentsorgung und -nutzung in Deutschland werden lassen.

Bei allen mechanisch-biologischen Verfahren ist die biochemische Stoffwandlung der entscheidende Prozessschritt. Die vor- und nachgelagerten mechanischen Stufen dienen der Anpassung der Materialeigenschaften an die Erfordernisse des biologischen Prozesses oder werden zur Weiterverarbeitung des Outputs aus der biologischen Stufe benötigt. Bei aeroben Verfahrenskonzepten ist zwischen zwei Hauptzielen zu unterscheiden (BRUMMACK ET AL., 2005):

- biologische Stabilisierung durch quantitativen Abbau von nativen Kohlenstoffverbindungen zur Erzeugung einer ablagerungsfähigen sowie einer heizwertreichen Fraktion durch mechanisch-biologischen Aufbereitung (**MBA**) und
- Trockenstabilisierung durch biologisch unterstützten Wasserentzug und anschließender Stoffstromtrennung ohne Erzeugung einer ablagerungsfähigen Fraktion (**MBS**).

Die wesentlichen Anlagenkonzepte sind in der Abbildung 1 dargestellt.

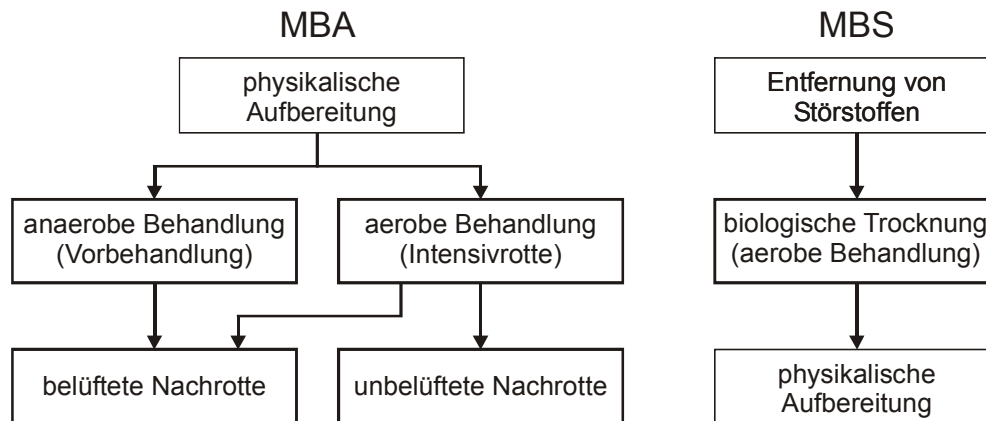


Abbildung 1 Biologische Verfahrenskonzepte zur Restabfallbehandlung

Von der bis 2007 genehmigten 5,2 Mio. Mg/a Anlagenkapazität in biologischen Restabfallbehandlungsanlagen entfallen etwa 4,0 Mio. Mg/a auf MBA- und 1,2 Mio. Mg/a auf MBS-Anlagen (BMU, 2006). Die Mehrzahl der umgesetzten Verfahren sieht eine rein aerobe Behandlung in der biologischen Stufe vor. Auch die wenigen anaeroben Konzepte benötigen zur Nachbehandlung des Gärrestes eine zweite dann aerobe Stufe. Somit hat die aerobe Behandlung eine Schlüsselfunktion in allen mechanisch-biologischen Aufbereitungsverfahren.

Bei den *MBA-Verfahren* zur Erzeugung ablagerungsfähiger Stoffe muss ein Großteil der organischen Bestandteile im Abfall abgebaut werden, um spätere unerwünschte biologische Prozesse im Deponiekörper zu unterbinden. Die Anforderungen an die Eigenschaften des Rotteoutputs (Deponiematerial) sind durch die Abfallablagerversordnung (2001) festgelegt.

Bei den *MBS-Verfahren* hingegen ist nur so viel Abbauleistung erforderlich, wie Energie für die Verdunstung von Wasser aus dem Material bis zu seiner Trockenstabilisierung benötigt wird. Dies ist mit einem intensiven Prozess zu erreichen, dessen Laufzeit um etwa eine Größenordnung kürzer ist als die für die biologische Stabilisierung in MBA-Verfahren erforderliche Zeit. Durch die Trocknung wird eine Modifizierung der physikalischen Eigenschaften des Abfalls erzielt. Die Gewinnung einer heizwertreichen und schadstoffentfrachteten Fraktion mit Brennstoffeigenschaften sowie weiterer stofflich

verwertbarer Fraktionen (Metalle, Mineralien) durch bekannte physikalische Trennverfahren (Sieben, Sichten, Magnetabscheiden) wird damit ermöglicht.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen MBA- und MBS-Konzepten besteht in der Art der Stoffführung vor und nach der biologischen Behandlung (siehe Abbildung 2). MBA-Anlagen sind meist als *Teilstromanlagen* ausgeführt. Dies bedeutet, dass nach der Vorzerkleinerung aber vor der biologischen Behandlung eine Stoffstromtrennung durchgeführt wird. Aus dem Gesamtstrom werden eine oder mehrere heizwertreiche Fraktionen sowie Metalle und Störstoffe separiert. In dem Reststrom konzentriert sich die biologisch zu behandelnde Abfallorganik auf, wobei unter Abfallorganik der biologisch abbaubare Teil des Abfalls verstanden wird. Der Reststrom wird vor der biologischen Behandlungsstufe konditioniert (homogenisiert, befeuchtet). Dabei wird anscheinend der Verfahrensökonomie folgend die biologisch zu behandelnde Materialmenge reduziert, gleichzeitig wird jedoch das umfangreiche Wissen über die optimalen Bedingungen einer Rotte nicht beachtet. Eine ausführliche Darstellung dieser Problematik und ihrer Folgen findet sich bei BRUMMACK ET AL. (2005).

Bei den MBS-Konzepten ist die Stoffstromtrennung, abgesehen von einer eventuellen Störstoffabscheidung, nach der biologischen Trocknung angeordnet. Diese Anlagen arbeiten in *Vollstrombetrieb*.

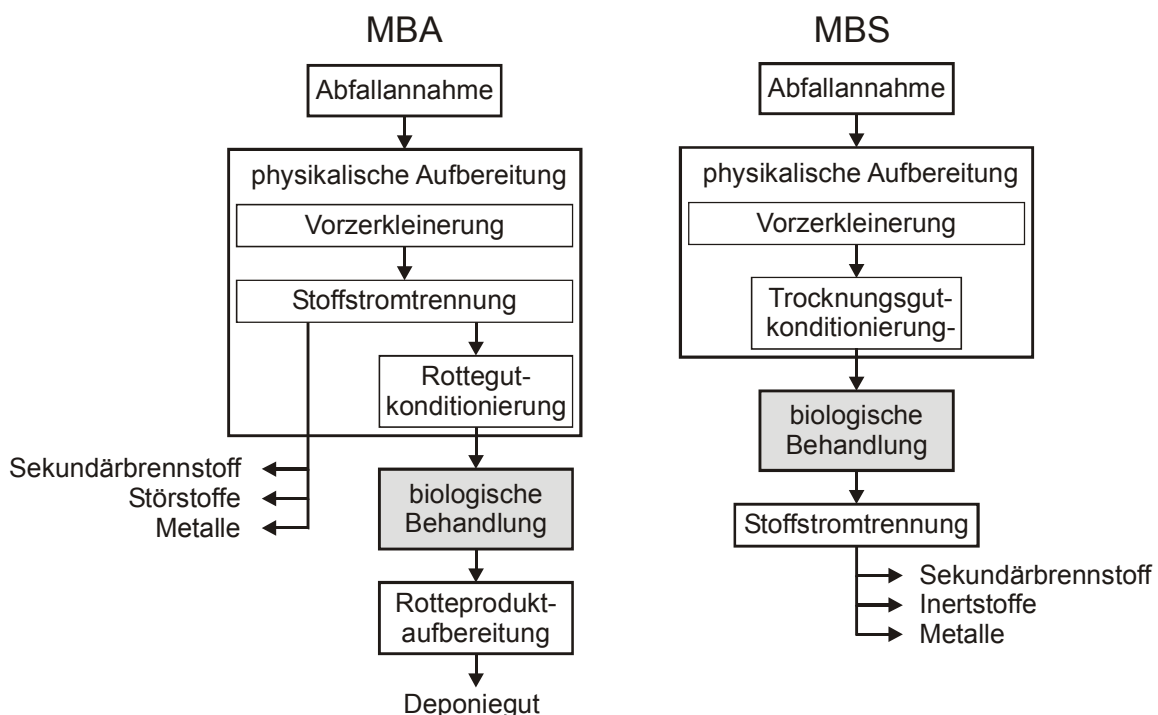


Abbildung 2 Schematischer Verfahrensablauf in MBA- und MBS-Anlagen

Ob und inwieweit eine Stoffstromtrennung vor der biologischen Stufe tatsächlich effektiv ist, hängt in erster Linie vom Anfallwassergehalt des Inputmaterials ab. Liegt dieser im Bereich größer 40 Ma.-%, was für mittlere und große Städte in Deutschland und ver-

gleichbaren Ländern relativ unabhängig von einer installierten Bioabfallgetrennsammlung typisch ist, erfordert eine physikalische Stoffstromtrennung vor der biologischen Behandlung wegen der eingeschränkten Trennbarkeit einen hohen apparativen und energetischen Aufwand. Schlecht trennbare Gemische führen generell zu erhöhtem Verschleiß an Apparaten mit entsprechenden Auswirkungen auf die tatsächlichen Instandhaltungskosten sowie die Verfügbarkeit der Anlagen.

In der aeroben MBA- als auch in der MBS-Technologie werden statisch arbeitende Reaktoren in Form von Rottetunneln, Rotteboxen sowie weitere vom Grundprinzip nicht abweichende Variationen davon für die biologische Intensivstufen eingesetzt. Der Einsatz statischer Reaktoren bedingt zwangsweise, dass alle mechanischen Prozessstufen vor bzw. nach der biologischen Behandlung zu realisieren sind. Aus diesem sequentiellen Prozessablauf folgt, dass die für die biologische Behandlung optimalen physikalisch-chemischen Eigenschaften des Substrates vor dem biologischen Prozess eingestellt werden müssen. Definierte Eingriffsmöglichkeiten auf die wichtigsten Haufwerkparameter sind während des laufenden biologischen Prozesses im statischen Reaktor ausgeschlossen. Nur mit einer Umlagerung des Materials können Parametergradienten temporär aufgehoben werden. Für feuchte Restabfälle ist es deshalb interessant, dynamische Reaktoren einzusetzen, die eine Kopplung biologischer und mechanischer Prozesse erlauben, also die biologische Behandlung und den mechanischen Aufschluss parallel zulassen.

2.2 Untersuchungen zur Restabfallbehandlung im Drehrohrreaktor

An der Technischen Universität Dresden wurde im Rahmen eines laufenden Promotionsverfahrens ein vollautomatisch arbeitendes kleintechnisches Versuchsdrehrohr zur Untersuchung der dynamischen Behandlung von Abfällen mit organischen Bestandteilen entwickelt und realisiert. Im Rahmen von drei Versuchsreihen konnten mit bis zu 1000 kg Input je Versuch folgende wesentliche Zusammenhänge verifiziert werden:

- Die Flexibilität des Drehrohrs gegenüber schwankenden Inputqualitäten konnte durch das breite Spektrum der eingesetzten Inputmaterialien (Restabfälle im Originalzustand, Feinfraktion von mechanisch vorbehandelten Restabfällen aus einer MBA-Anlage, Sortierreste aus einer Sortieranlage für Verpackungsabfälle) nachgewiesen werden.
- Weder eine Vor- noch eine Nachzerkleinerung des Materials sind erforderlich.
- Die Kombination von Prozess und Reaktor weist durch die zeitgleich realisierbaren mechanischen und biochemischen Teilprozesse die bestmöglichen Voraussetzungen für die Durchführung von Oberflächenprozessen in materialbedingt inhomogenen Festbetten auf. Bedingt durch die zyklische Reproduk-

tion der prozessrelevanten Triebkräfte wird dem bei statischen Reaktoren mit ihren unveränderlichen Oberflächenstrukturen in den Haufwerken unvermeidbaren Abfall der Prozessgeschwindigkeit so entgegengewirkt, dass praktisch zu jedem Zeitpunkt optimale Bedingungen für einen biologischen Abbau vorliegen.

- Es konnte gezeigt werden, dass bereits ein Drehzeitanteil von 1-2% der Gesamtprozesszeit ausreichend ist, um sowohl die theoretisch begründbaren Grenzen der biologischen Trocknung zu erreichen, als auch einen gewünschten mechanischen Aufschluss zu gewährleisten.
- Nur der dynamische Reaktor ermöglicht eine optimale Ausnutzung der Belüftungsluft und damit eine Minimierung der zugeführten Frischluftmenge und der anfallenden Abluftmengen. Projiziert man diese Option auf die real betriebenen Anlagen, lassen sich allein damit Einsparungen in Größenordnungen hinsichtlich des Energiebedarfes für die Bewegung der Luft, vor allem den Betrieb der Abluftreinigungsanlagen prognostizieren.
- Durch den auch bei statischen Reaktoren üblichen Umluftbetrieb, der im Drehrohr selbst bei extrem niedrigen Sauerstoffkonzentrationen in der Zuluft bis 3 Vol.-% noch einen regelgerechten Abbauprozess und damit eine optimale Wärmefreisetzung ermöglicht, ist eine weitere Reduzierung der zu behandelnden Abluftmengen möglich. Thermisch-regenerative Abluftreinigungsanlagen erfordern damit in zweifacher Hinsicht einen deutlich reduzierten Stützenergieaufwand. Es ist weniger Abluft zu behandeln und diese besitzt einen deutlich höheren Heizwert.

In Deutschland werden derzeit keine Drehrohrreaktoren in MBA/MBS-Anlagen für die biologische Behandlungsstufe eingesetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse sind jedoch für die zukünftige ökonomische Bewertung und damit die praktischen Einsatzchancen des dynamischen Prozesses als grundlegend anzusehen.

3 Untersuchung der Produktqualität nach der dynamischen Behandlung

3.1 Einfluss der dynamischen Behandlung auf die Produktqualität

Die dynamische Abfallbehandlung ist durch die Bewegung der Feststoffe während der Behandlung gekennzeichnet. Vor allem die Mischung der Materialien unterschiedlicher Dichte und Formstabilität führt zu einer Zerkleinerung, die sich vor allem auf die weiche Bestandteile auswirkt. Dabei entstehen wesentlich geringere Scher- und Druckkräfte, als die, die in Zerkleinerungsaggregaten auftreten.

Die Zerkleinerung von Restabfällen im Drehrohr ist *autogen*, da die zerkleinerungswirksamen, spezifisch schweren Bestandteile im Stoffsystem enthalten sind. Dies führt dazu, dass die Zerkleinerung

- *schonend* ist, da problematische Stoffe und Güter, z.B. Flaschen oder Batterien, nicht zerstört werden, und
- *selektiv* ist, da nur eine Zerkleinerung weicher Anteile (Vegetabilien) und teilweise Auflösung von Faserverbunden wie Papier, Pappe und Fliese) stattfindet.

Die mechanische Beeinflussung führt gleichzeitig dazu, dass immer wieder neue Oberflächen bei den biogenen Bestandteilen aufgeschlossen werden, die bis dahin dem aeroben Abbau nicht zugänglich waren. Aus Sicht der biologischen Prozesse entspricht dies einer regelmäßigen Zuführung von abbaubaren Substraten im Extremfall bis zu ihrem vollständigen Verbrauch.

Während des dynamischen biologischen Trocknungsprozesses verändern sich die physikalischen Eigenschaften des Materials. Der abnehmende Wassergehalt und die Veränderung der Korngrößenverteilung wirken sich auf die Zerkleinerung aus. Es ist zu erwarten, dass die Zerkleinerungsleistung mit der Prozesszeit abnimmt. In der letzten Prozessphase führt die Reibung von trockenen Materialien aufeinander zu einer Abreinigung von den Oberflächen.

Nach diesen Überlegungen ist ein Produkt aus einem Drehrohrreaktor zu erwarten, das ohne eine Nachzerkleinerung direkt einer Trennung in verschiedene Stoffströme unterzogen werden kann. Dies würde zu einem wesentlichen Vorteil gegenüber den MBS-Anlagen nach Stand der Technik führen, da dort neben einer Zerkleinerung auch eine Dekompaktierung zusammengetrockneter Agglomerate im Output notwendig ist.

3.2 Versuchsergebnisse

Am Ende jedes Versuches, die mit originalem Restabfall aus einer Großstadt durchgeführt wurden, wurden die Ergebnisse der Behandlung im Drehrohrreaktor sowohl nach qualitativen als auch nach quantitativen Parametern beurteilt.

a) qualitative Parameter

Die Abbildung 3 zeigt den geöffneten Reaktor am Versuchsende.



Abbildung 3 Geöffneter Reaktor nach Versuchsende (Inputmaterial: unzerkleinerter Restabfall)

Das Outputmaterial war locker und rieselfähig mit einem hohen Anteil an leichten fluffigen Komponenten, der vorwiegend aus aufgefasertem Papier und Pappe gebildet wurde. Ein Zusammentrocknen der Materialien, wie es bei statischen Reaktoren unvermeidbar ist, war generell nicht zu beobachten. Eine Verhakung von Materialien oder eine Zopfbildung konnte trotz der Verwendung von realem Restabfall ebenfalls nicht festgestellt werden. Der getrocknete Restabfall verfügte nach der Behandlung über eine ausgezeichnete Trennbarkeit durch Siebung.

b) quantitative Parameter

Zur Beurteilung des Trocknungsergebnisses wurde aus dem Produkt eine repräsentative Probemenge von 60-70 kg entnommen. Das Probematerial wurde auf fünf Sieben mit quadratischen Öffnungen händisch in sechs Fraktionen klassiert. Die Siebfraktionen wurden dann in drei Gruppen zusammengeführt:

- Die *Grobfraktion* > 50 mm bestand vorwiegend aus Kunststofffolien und -flaschen, Textilien und Holz.
- Die *Mittelfraktion* 20-50 mm beinhaltete aufgefasertes Papier, kleinere Kunststoffpartikel.
- In der *Feinfraktion* < 20 mm waren neben Papierfasern, kleinere Steine sowie Scherben zu finden.

Die Abbildung 4 zeigt die Siebfractionen.



Abbildung 4 Siebfractionen (fein, mittel grob) nach der dynamischen Behandlung (Inputmaterial: unzerkleinerter Restabfall)

Die Abbildung 5 (links) zeigt für die Versuche mit Restabfällen die Zusammensetzung der einzelnen Proben aus der Grob-, Mittel- und Feinfraktion. Aus Sicht der nachfolgenden Behandlungsstufen ist der Wassergehalt des Produktes von Bedeutung. Die Abbildung 5 (rechts) stellt die Wassergehalte dieser Fraktionen dar.

Die Versuche wurden entsprechend der gewählten Strategie nach der Aktivität und nicht bis zum Erreichen eines bestimmten Wassergehaltes geführt. Daher ist eine weitergehende Analyse des Outputs hier nur beschränkt möglich. Auf der Grundlage von lediglich acht bewerteten Versuchen kann somit keine quantitative Aussage zur Wasserverteilung in den Fraktionen getroffen werden.

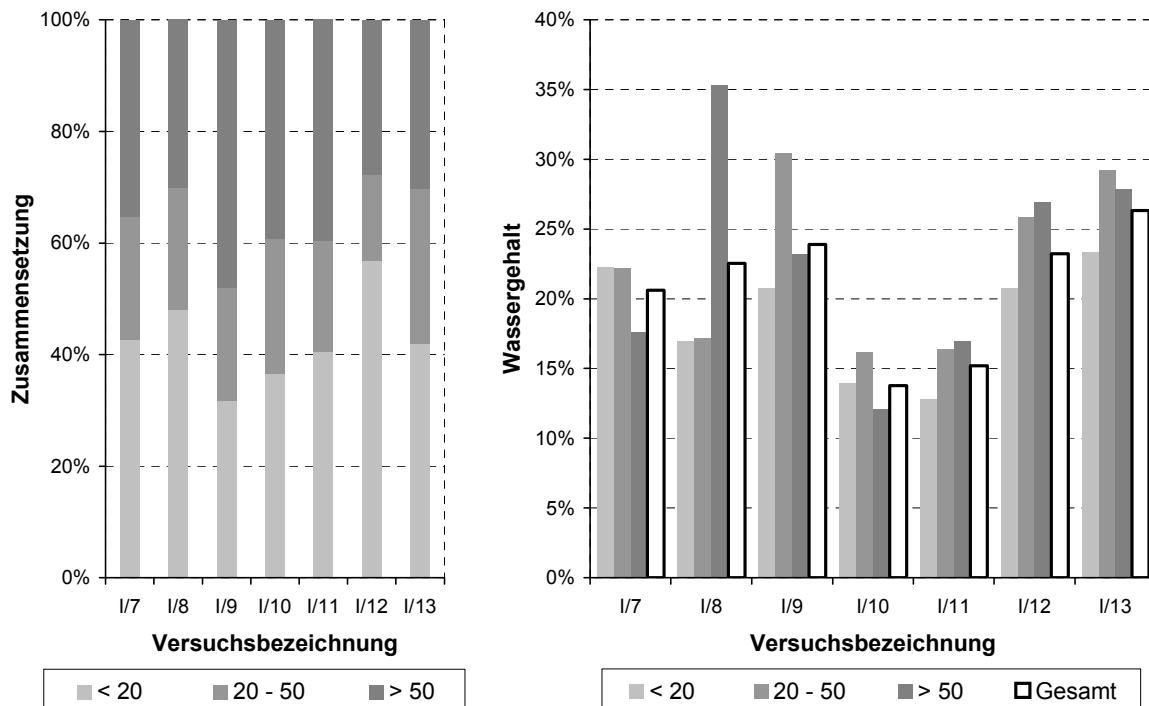


Abbildung 5 Masseanteile und Wassergehalt der Fraktionen im Output mehrerer Versuche nach der dynamischen Behandlung (Inputmaterial: unzerkleinerter Restabfall)

Es ist jedoch bereits erkennbar, dass die Materialfraktionen, wie beim dynamischen Prozess zu erwarten ist, nahe beieinander liegende Wassergehalte auswiesen. Besonders deutlich erkennbar ist dies bei den Versuchen I/10 und I/11, die bis zu geringen Endfeuchten gefahren wurden.

In einem weiteren Schritt wurde die Materialzusammensetzung der einzelnen Fraktionen untersucht. Dazu wurden die Siebfractionen händisch in die folgenden Stoffgruppen sortiert:

- Faserig (Textilien, Papier/Pappe)
- Kunststoffe
- Sonstiges (Steine, Keramik, Metalle, Glas)

In der Abbildung 6 ist dies beispielhaft für die Mittelfraktion 20 - 50 mm dargestellt.



Abbildung 6 Stoffgruppen der Mittelfraktion nach händischer Sortierung (Inputmaterial: unzerkleinerter Restabfall)

Die in der erwünschten Richtung hervorragende Selektivität der Zerkleinerung ist daran zu erkennen, dass überwiegend unzerbrochene Glasflaschen und unbeschädigte Dosen und Batterien gefunden werden konnten. Ein beeindruckendes Beispiel zeigt die unzerstörte Glühlampe in Abbildung 6, rechtes Bild oben Mitte. Inwieweit überhaupt eine unerwünschte Zerstörung von Komponenten stattfand, hätte nur eine vollständige Sortierung der Inputchargen mit einer Masse von jeweils bis zu 1000 kg vor der Behandlung ermittelt werden können, was aus hygienischen Gründen nicht möglich war.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen von Untersuchungen zur Prozessmodellierung und -steuerung der biologischen Trocknung von Restabfällen in einem Drehrohrreaktor wurden auch die physikalischen Eigenschaften des Outputs untersucht und ausgewertet. Es konnte gezeigt

werden, dass durch die gezielte Nutzung der Kombination von biologischen und mechanischen Prozessen eine Qualität des Outputs erreicht werden konnte, die in statischen Reaktoren nach Stand der Technik, entweder überhaupt nicht, wie die Sauberkeit von Oberflächen, oder nur nach aufwändigen Nachbehandlungsschritten, wie Dekompaktierung und Nachzerkleinerung, erreicht werden kann. Mit Siebungen und händischen Sortierung nach Stoffgruppen konnten einzelne Produktfraktionen genau beschrieben werden. Die bisher erzielten Ergebnisse bilden damit eine tragfähige Grundlage für die zukünftig zu entwickelnde Strategie für die Entwicklung einer an dynamisch erzeugte Outputmaterialien angepasste Stoffstromtrennung.

5 Literatur

- | | | |
|---|------|--|
| Bartha, B. et al. | 2002 | Steuerung eines Reaktors zur Aufbereitung von Abfällen mit biogenen Bestandteilen. Abschlussbericht zum DBU-Projekt 14736. |
| Bartha, B. et al. | 2006 | Entwicklung einer Steuerungsstrategie für biotechnologische Prozesse in der Abfallbehandlung, in: Abfallforschungstage 2006. Cuvillier Verlag, Göttingen, ISBN 3-86537-863-3. |
| BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) | 2006 | Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland 2006. Veröffentlicht unter: http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/doc/37876.php |
| Brummack, J. et al | 2005 | Ertüchtigung der Nachrotte in MBA's durch das Dombelüftungsverfahren (DBV), in: International Symposium MBT 2005. Cuvillier Verlag, Göttingen, ISBN 3-86537-665-7. |

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. B. Bartha
 Technische Universität Dresden, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
 D-01062 Dresden
 Telefon +49 351 46332045
 Email: Bela.Bartha@mailbox.tu-dresden.de
 Website: <http://www.tvt-uvt.tu-dresden.de/>

Dr.-Ing. Joachim Brummack
 Technische Universität Dresden, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
 D-01062 Dresden
 Telefon +49 351 46334430
 Email: Joachim.Brummack@tu-dresden.de
 Website: <http://www.tvt-uvt.tu-dresden.de/>