

Schwankungsparameter in der Abfallwirtschaft

Nico Schmalbein

Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, RWTH Aachen

Fluctuating parameters in the waste management business

Abstract

The prizes for primary raw materials increased significantly in the last years. The materials contained in municipal solid waste materials offer the possibility to extract secondary raw materials after adequate processing. They can, in some cases substitute primary resources and thereby add to a more sustainable resource supply. The fluctuations in the generation and composition of municipal solid waste materials provide high conditions to the process design, engineering and operation.

Zusammenfassung

Die Preise für Primärrohstoffe sind in den letzten Jahren signifikant gestiegen. Die in Siedlungsabfällen enthaltenen Materialien bieten die Möglichkeit, nach ausreichender Behandlung Sekundärrohstoffe zu gewinnen. Diese können in einigen Bereichen Primärrohstoffe substituieren und so zu einer nachhaltigeren Rohstoffversorgung beitragen. Die Schwankungen im Anfall und der Zusammensetzung von Siedlungsabfällen stellen dabei hohe Anforderungen an die Prozessdimensionierung, die angewandte Verfahrenstechnik und den Anlagenbetrieb dar.

Keywords

Schwankungen, Sekundärrohstoffe, Aufbereitung, Verfahrenstechnik, fluctuations, municipal solid waste materials, processing, process engineering

1 Einleitung

Die Entwicklung der Abfallwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft ist sowohl aus ökologischen wie auch ökonomischen Gründen von Bedeutung. Die wachsende Verknappung von Energie- und Fertigungsrohstoffen und den daraus resultierend steigenden Rohstoffpreisen zeigt einen zukünftigen Bedarf neuer Quellen für einige Materialien. Auch wenn viele der in Abfällen enthaltenen Stoffe ebenfalls aus nicht nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden, besteht die Möglichkeit zur erneuten oder weiteren Nutzung von Stoffgruppen wie beispielsweise Kunststoffen, Metallen oder Papier. Es besteht also einerseits die Möglichkeit bereits verbrauchte Materialien durch einen Kreislauf in neue Produkte zu überführen wie auch andererseits die Chance, die in einigen Materialien chemisch gebundene Energie zu nutzen.

1.1 Veränderungen einer Branche

Seit sich mit dem Inkrafttreten der TASI im Juni 2005 die Massenströme aus der Depo- nierung in andere Verwertungs- bzw. Entsorgungswege verschoben haben, ist das Bewusstsein für den Bedarf an wirtschaftlich-technischen Lösungen gewachsen [ifeu 2005]. Ein wichtiger Aspekt ist der wachsende Bedarf an Fertigungs- und Energieroh- stoffen. Auf Dauer wird das in Abfällen enthaltene Potential noch stärker als bisher ge- nutzt werden müssen um diesen Bedarf zu decken [Hoffmeyer 2005]. Die Erkenntnis, dass sich ein Teil der im Abfall enthaltenen Materialien nutzen lässt ist nicht neu, jedoch verändern sich die Anforderungen an Sekundärrohstoffe und die Bedingungen für eine möglichst effiziente wirtschaftliche Nutzung.

Im Gegensatz zu geologischen Lagerstätten für Primärrohstoffe, die sich über lange Zeiträume ausgebildet haben, sind Lagerstätten für Sekundärrohstoffe in vergleichswei- se kurzer Zeit entstanden. Auch die Erschöpfung der Lagerstätten richtet sich nicht nach den abgebauten/gesammelten Mengen sondern nach dem Güterverbrauch der Bewohner und der Besiedlungsdichte. Ein Beispiel für den Vergleich in der Förderung von Primär- und Sekundärrohstoffen besteht im Rheinischen Braunkohlerevier. Dort werden jährlich auf ca. 2.500 km², 96 Mio. Tonnen Braunkohle gefördert. Im Vergleich werden in dem gleichen Gebiet jährlich ca. 0,6 Mio. Tonnen an Siedlungsabfällen ge- sammelt [Destatis 2007]. Hinzu kommt, dass die Entstehung, Verfügbarkeit und Zu- sammensetzung der ‚abbaubaren‘ Sekundärrohstoffe nicht mit denen in Primärlager- stätten vergleichbar sind. Beispielsweise ist der Abbau von Sekundärrohstoffen in Form von Siedlungs- und Gewerbeabfällen nicht nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich. Grund dafür ist die Notwendigkeit der Abfallsammlung unter seuchenhygieni- schen Gesichtspunkten. Es kann also nicht nach Marktlage für die Produkte und dem Wertstoffgehalt des geförderten Rohstoffes über die Möglichkeit des Abbaus entschie- den werden. Diese Begleitumstände erschweren einen Übergang der Sekundärroh- stoffgewinnung aus der Abfallwirtschaft in eine wirtschaftlich stabile Kreislaufwirtschaft. Das Problem ist, dass die entstehenden sozialen Kosten nicht ausreichend Berücksich- tigt werden. Einige Materialien werden schon seit längerer Zeit aus Gründen der wirt- schaftlichen Vermarktung aus Abfällen aussortiert, wobei sich der Fokus in den letzten Jahren verschoben hat.

Die in Abfällen enthaltenen Metalle werden beispielsweise seit den 80er Jahren aus Abfällen separiert, da sie einerseits ein begehrter Sekundärrohstoff und andererseits ein Störfaktor für die meisten Weiterverarbeitungsprozesse sind [Pretz 2006]. Des Weiteren werden bestimmte Abfälle wie Altglas und Altpapier getrennt gesammelt, da es sich so als leichter erwiesen hat, die Anforderungen der weiterverarbeitenden Industrie durch eine Getrennterfassung zu erfüllen. Alle weiteren Stoffe die in Hausmüll und Gewerbe- abfällen vermischt gesammelt werden, müssen aufbereitet werden um die industriellen

Abfallforschungstage 2008 www.wasteconsult.de

Anforderungen an Sekundärrohstoffe zu erfüllen. Abbildung 1 zeigt die Gewinnungs- und Verbrauchskette von Primär- und Sekundärrohstoffen. Auch wenn die verwendeten Technologien teilweise unterschiedlicher Natur sind, sind die Hauptschritte vergleichbar. Die Sammlung von Abfällen wird dementsprechend als Urban-Mining (urbaner Abbau) bezeichnet [Weber 2006]. Die Einführung einer solchen Bezeichnung bedeutet einen wesentlichen Schritt weg von einem zu beseitigenden Reststoff, hin zu einer Rohstoffquelle. Es lässt sich nicht bestreiten, dass es immer noch signifikante Unterschiede zwischen diesen beiden Industriezweigen gibt, jedoch sind auch die Übereinstimmungen nicht von der Hand zu weisen. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass durch die Existenz menschlicher Behausungen auf absehbare Zeit weiterhin Abfälle erzeugt werden. Folglich können urbane Gebiete für die Dauer ihrer Nutzung auch als Quelle für Abfälle und somit Sekundärrohstoffe betrachtet werden.

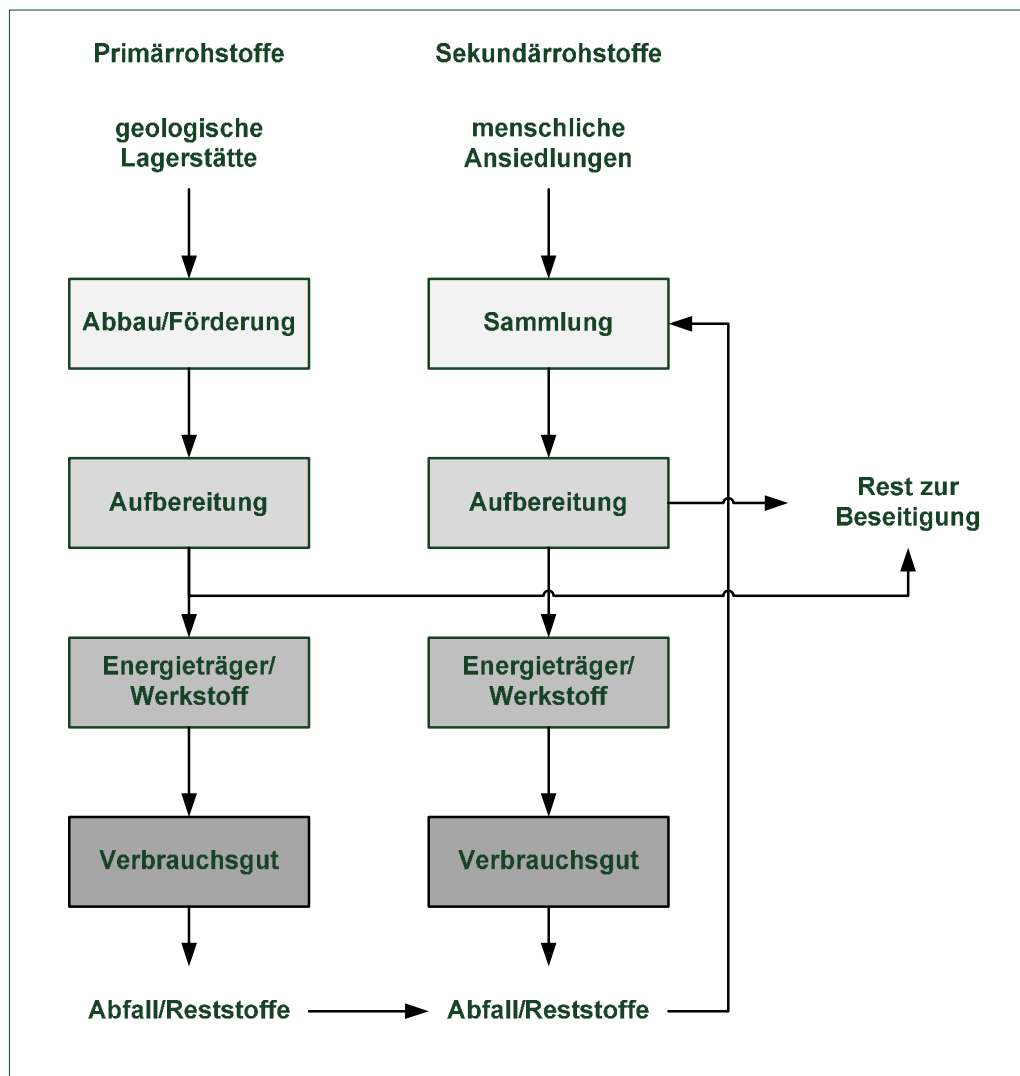


Abbildung 1 Vergleich der Nutzung von Primär- und Sekundärrohstoffen

2 Schwankungsparameter

Da der Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe sich hauptsächlich mit den verfahrenstechnischen Aspekten der Abfallaufbereitung beschäftigt, werden die Auswirkungen von externen und internen Schwankungsparametern auf den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen betrachtet.

An dieser Stelle wird eine erste Einteilung in innerbetriebliche und außerbetriebliche Einflussfaktoren durchgeführt. Die außerbetrieblichen Faktoren müssen berücksichtigt werden, können sich allerdings ohne Einflussnahme des Anlagenbetreibers ändern, wogegen dies bei den innerbetrieblichen Faktoren prinzipiell nicht der Fall ist. In der Praxis zeigt sich allerdings, dass sowohl die zeitliche Distanz zwischen Planung und Inbetriebnahme und eine fehlende Überwachung des Anlagenbetriebs auch hier zu Diskrepanzen zwischen geplantem und realem Betrieb führen können.

Außerbetriebliche Faktoren:

- Rechtliche und politische Rahmenbedingungen
- Besiedlungsstruktur im Anschlussgebiet der Anlage
- Art der Abfalltrennung im Anschlussgebiet der Anlage
- Behälterstruktur im Anschlussgebiet der Anlage
- Sammlung

Innerbetriebliche Faktoren:

- Anlieferung
- Anlagenbeschickung
- Verfügbarkeit

2.1 Außerbetriebliche Faktoren

Wie in der Einleitung zu Kapitel 2 bereits angemerkt, entziehen sich diese Faktoren teilweise oder komplett der Einflussnahme des Anlagenbetreibers, sollten aber soweit möglich doch berücksichtigt werden.

Die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen gehören zu den nur indirekt beeinflussbaren Faktoren, sollen aber an dieser Stelle erwähnt werden. Des Weiteren wird deutlich, dass sich einige der außerbetrieblichen Faktoren untereinander beeinflussen. Durch die Änderungen von politischen Programmen kann beispielsweise die Art der Getrenntsammlung verändert werden und so im Falle einer Zusammenlegung zweier

zuvor getrennt gesammelter Abfallströme die Zusammensetzung und die Eigenschaften des zu behandelten Materialstroms verändert werden. Auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen können maßgeblichen Einfluss auf die generelle Abfallzusammensetzung haben. Dies soll Anhand des im Jahre 2003 eingeführten Pflichtpfandes für Einweggetränkeverpackungen beispielhaft erläutert werden. Nach Angaben des statistischen Bundesamtes, in einer Pressemitteilung vom Februar 2005, hat sich mit Einfuhr des so genannten Dosenpfandes die Zusammensetzung der Leichtverpackungsabfälle verändert. Am deutlichsten wird dieser Veränderung bei Betrachtung der Daten, die durch die Gesellschaft für Verpackungsmarktforschungen mbH (GVM) im August des Jahres 2006 veröffentlicht wurden [GVM 2007]. Die folgende Abbildung 2 zeigt die mengenmäßige Entwicklung für sechs verschiedene in Leichtverpackungsabfällen enthaltene Stoffgruppen für die Jahre 1991, 1995 und 2000 bis 2005.

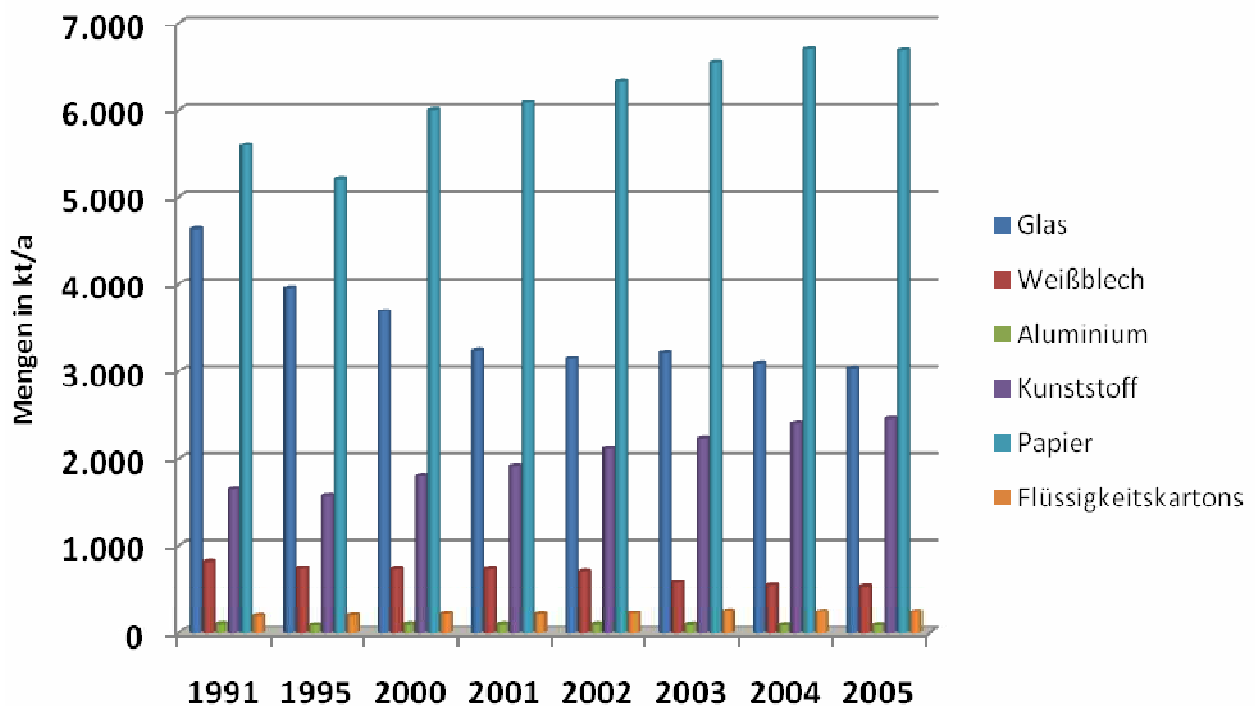


Abbildung 2 Mengenentwicklung von in LVP-Abfällen enthaltenen Stoffgruppen [GVM 2007]

Im Einzelnen soll an dieser Stelle nun die Stoffgruppe der Weißblechverpackungen betrachtet werden. Es wird deutlich, dass im Jahr 2003 ein Rückgang der Mengen von fast 18 Prozent im Vergleich zum Vorjahr stattgefunden hat.

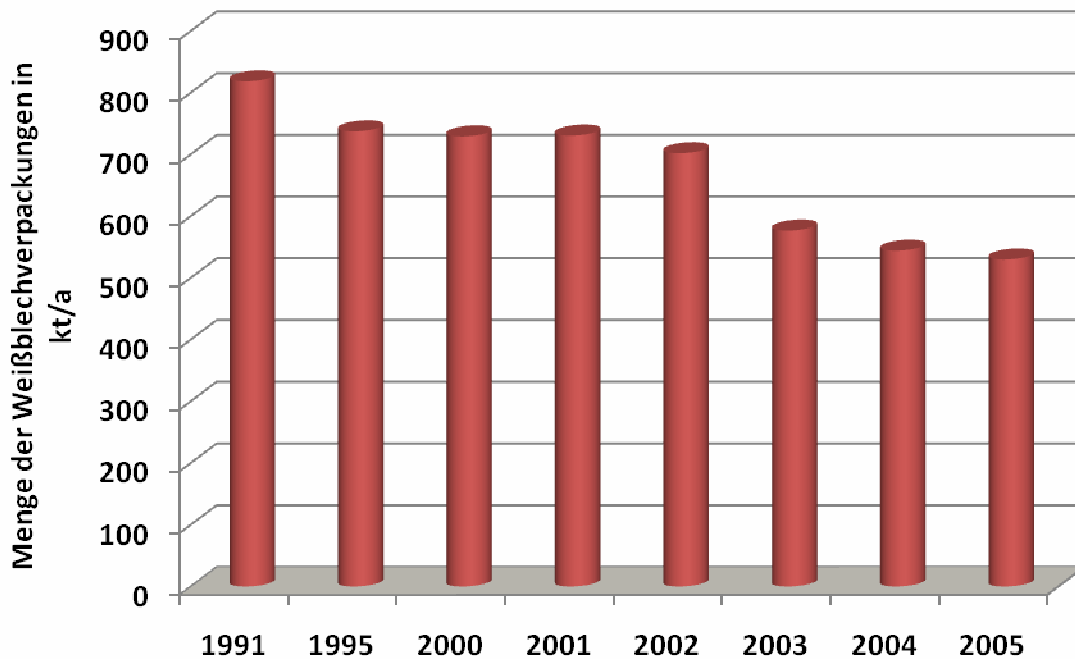


Abbildung 3 Mengenentwicklung von Abfällen aus Weißblechverpackungen [GVM 2007]

Diese Entwicklung dient als Beispiel für Auswirkungen auf die Abfallzusammensetzung durch Entscheidungen des Gesetzgebers. Das Resultat bestand im beschriebenen Fall in einem verstärkten Rückgang in der Nutzung von Weißblechverpackungen durch die Getränkeindustrie. Andere Verordnungen haben bewirkt, dass sich Stoffströme aus der allgemeinen Siedlungsabfallentsorgung in gesonderte Erfassungssysteme verschoben haben oder, dass Stoffströme die durch die Kommunen erfasst wurden, jetzt durch private Abnehmer gesammelt werden. Ein Beispiel dafür resultiert aus §10 Abs. 1 des Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG - Elektro- und Elektronikgerätegesetz). Durch dieses Gesetz werden die Hersteller von Elektronikgeräten verpflichtet, die an Stellen des öffentlich rechtlichen Entsorgungsträger gesammelten Altgeräte abzuholen und zu entsorgen.

2.1.1 Berücksichtigung der außerbetrieblichen Faktoren

Die außerbetrieblichen Schwankungsparameter entziehen sich in den meisten Fällen dem Einfluss der Anlagenplaner/-betreiber und können nur bedingt abgeschätzt werden. Es ist jedoch trotzdem ratsam, die rechtliche Entwicklung zum Beginn einer Projektplanungsphase so wie die Gegebenheiten und die eventuell vorhandenen möglichen Einflussmöglichkeiten in einer Region zu überprüfen. In Fällen wo diese Vorauswertung nicht stattgefunden hat, wurden bereits existierende Anlagen in gleicher Bauform in einem anderen Gebiet der Bundesrepublik nachgebaut und das Ausbringen an speziellen Wertstofffraktionen wie am Ort der ersten Anlage garantiert. Da allerdings im Einzugs-

gebiet der neu gebauten Anlage grundsätzlich geringere Mengen dieser Wertstoffe im Abfall vorhanden waren, konnten die vertraglich festgelegten Quoten nicht erfüllt werden. Es liegt daher grundsätzlich im Interesse des Planers, als Funktion garantierende Instanz, die Rahmenbedingungen eines Projekts vorab zu überprüfen.

2.2 Innerbetriebliche Faktoren

Die innerbetrieblichen Faktoren können im Gegensatz zu den außerbetrieblichen Faktoren im Rahmen der Planung einer Anlage direkt berücksichtigt werden. An jedem Punkt an dem das zu behandelnde Material innerhalb eines Prozesses bewegt oder behandelt wird, gibt es unterschiedliche Schwankungsparameter. In der folgenden Liste werden diese Parameter aufgelistet und anschließend an einigen Beispielen erläutert.

Innerbetriebliche Schwankungsparameter:

- Anlieferungsmengen
- Kontinuität der Prozessbeschickung
- Vereinzelung von Volumenströmen
- Stoffgruppenverteilung
- Korngrößenverteilung
- Wassergehalt

'Rohstoffcharakterisierung' und Stoffgruppenverteilung

Um die Problematik des Mediums Abfall zu konkretisieren ist es dienlich als erstes zu ermitteln, wo die Gemeinsamkeit aller im Abfall enthaltenen Materialien liegt. Dabei handelt es sich nicht um physikalische Eigenschaften sondern um die Tatsache, dass Abfälle Materialien sind, die ihre ursprüngliche Zweckbestimmung verloren haben und derer sich ihr Besitzer entledigen will beziehungsweise nach §3 des KrW-/AbfG entledigen muss. Dieser Umstand hat deutlichen Einfluss auf die charakteristischen Merkmale des Abfalls. Die einzige hervorstechende Eigenschaft, die bei ausnahmslos allen Stoffen im Abfall gleich ist, ist kein physikalisches Merkmal sondern eine Einteilung entsprechend der ursprünglichen Zweckbestimmung des Ausgangsmaterials [Thomé-Kozmiensky 2008]. Da sich diese Eigenschaft nicht für technische Prozesse nutzen lässt, kann die Suche nach einer 'best practise' Technik nur eine Annäherung an das sein, was eine möglichst große Anzahl von Materialien in der für den jeweiligen Prozessabschnitt gewünschten Weise so effektiv wie möglich behandelt.

Da Abfälle bereits im Sammelgefäß, spätestens aber im Sammelfahrzeug eine Vielzahl loser Verbunde bildet, ist eine Vorzerkleinerung vor der weiteren Behandlung häufig unerlässlich. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse einer Serie von Sortieranalysen des Lehrstuhls für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe dargestellt. Es wird deutlich, dass die in den einzelnen Stoffgruppen enthaltenen Materialien sich in ihrer Festigkeit, Härte und ihrem Verformungsverhalten deutlich unterscheiden. Dies ist bei der Wahl des zu verwendenden Vorzerkleinerers ein wesentlicher Auswahlparameter.

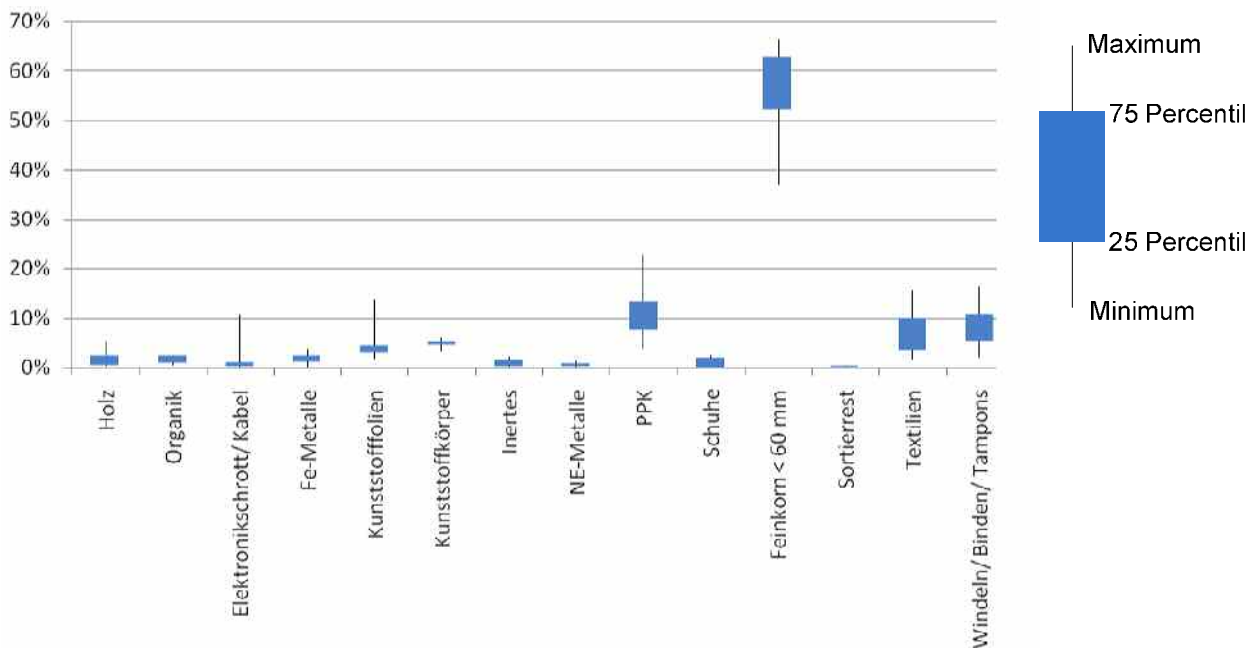


Abbildung 4: Schwankungen im Stoffgruppengehalt von unbehandeltem Hausmüll

Da sowohl die Mengen als auch die Zusammensetzungen schwanken, ist die Wahl der idealen Technik für einen Standort äußerst kompliziert. Die Frage die sich im Anschluss an eine gefällte Entscheidung für eine Prozesslinie stellt, ist ob und wie die gewählte Technik bei Spitzenereignissen reagiert. Diese Spitzenereignisse können sowohl hohe Durchsätze wie auch hohe Konzentrationen an schwer aufzubereitbaren Stoffgruppen für das jeweilige Aggregat sein.

Anlieferungsmengen

Der in Kapitel 2.1 bereits eingeführte Faktor der Anlieferung ist bereits von elementarer Bedeutung. Bei einer jährlichen Gesamtanlieferung von ca. 70.000 t würde eine Umrechnung auf 52 Wochen im Jahr, die täglich angelieferte Menge bei ca. 1.350 Tonnen pro Woche liegen. Der Graph in Abbildung 5 zeigt reale Werte für Schwankungen der wöchentlichen Anlieferung um diesen als Nulllinie dargestellten, gemittelten Wert.

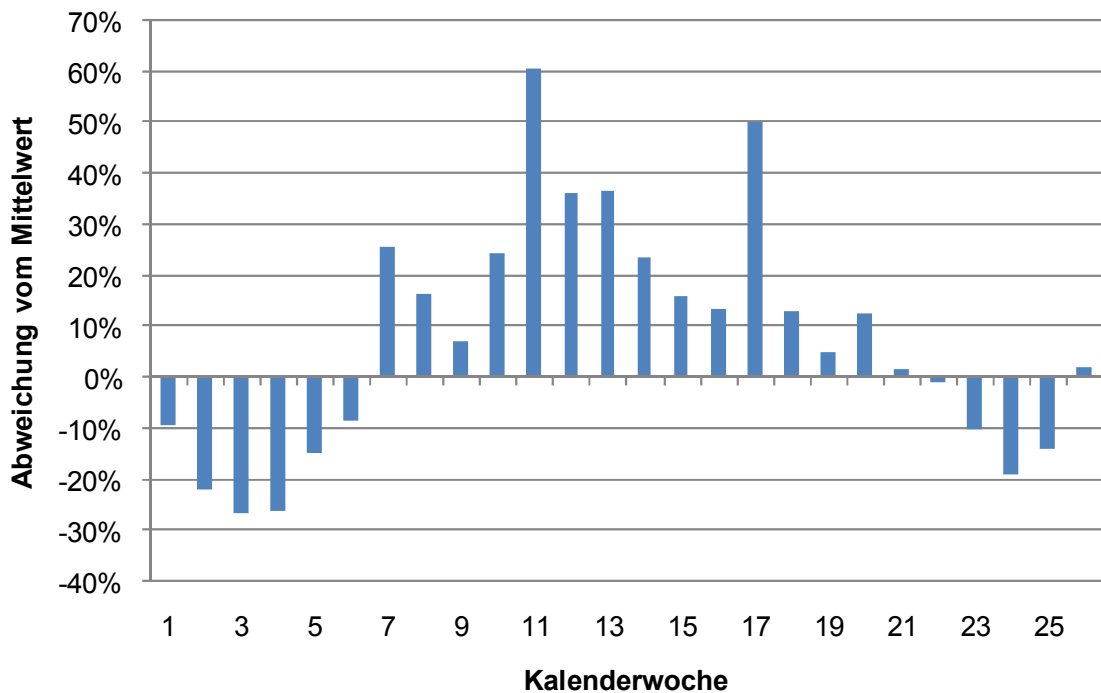


Abbildung 5 Abweichung der wöchentlichen Anlieferungsmengen vom Jahresmittel

Wird die Anlieferungsfläche einer Anlage auf einen solchen Mittelwert ausgelegt und fehlen die Ausweichkapazitäten, so hat dies Folgen für den Anlagenbetrieb. Bei allen Ereignissen welche Oberhalb der Null Prozentlinie liegen, kommt es im Falle einer Dimensionierung um den Wochenmittelwert zu einem Mengenaufstau in der Anlieferung. Eine gängige Reaktion auf solche Überlastzustände ist eine Verstärkung der Anlagenbeschickung und ein Auslagern von angelieferten Mengen auf nicht zugelassene Lagerflächen. Steigt die Beschickung der Anlage, also der Massendurchsatz pro Zeit, so verringert sich der Wirkungsgrad der meisten Trennprozesse. Da besonders Aggregate wie Fe-Metallscheider, NE-Metallscheider und sensorgestützte Sortiersysteme (bsp. Nah-Infrarot (NIR)) auf stark vereinzelt Monoschichten in der Aufgabe angewiesen sind, sollten Überfrachtungen aufgrund schwankender Beschickung ausdrücklich vermieden werden. Die Auslagerung von überschüssigen Mengen in der Anlieferung auf nicht als Lagerflächen zugelassene Flächen sollte aus rechtlichen- und sicherheitstechnischen Gründen vermieden werden.

Da diese Schwankungen nicht in wiederkehrenden Mustern verlaufen, lassen sie sich Anlieferungsdaten, falls vorhanden, nur verwenden um eine Aussage über die Größe und die Häufigkeit von Spitzenlasten in der Anlieferung zu kalkulieren. Mit Hilfe dieser Daten kann die Notwendigkeit zur Errichtung von Pufferflächen, die den Genehmigungsanforderungen an Lagerflächen für Abfälle entsprechen ermittelt werden.

Kontinuität der Prozessbeschickung

Da bei der Auslegung von Anlagen, wie erwähnt, mit auf die Anzahl der Betriebsstunden gemittelten Jahresdurchsatz gerechnet wird, werden auch die einzelnen Aggregate auf möglichst kontinuierliche und gleichbleibende Massen- und Volumenströme ausgelegt. In jeder Anlage, in welcher Inputmaterialien angeliefert werden, existiert eine Schnittstelle zwischen der betrieblichen Logistik und der Prozesslinie zur Materialverarbeitung. Im Gegensatz zu beispielsweise Schüttgütern oder Gütern mit gleichmäßiger Stückform ist die Erzeugung eines kontinuierlichen Volumenstroms an dieser Schnittstelle bei unbehandelten Siedlungsabfällen nicht möglich. Der Grund liegt im heterogenen Materialverhalten von Abfällen. Da das Korngrößenspektrum in der Anlieferung der Anlage nur durch die Größe des größten Sammelbehälters begrenzt ist und die Materialien durch ihre Struktur zu Einschlüssen neigen ist das Fließverhalten der Abfälle nach Aufgabe auf die erste Stufe des kontinuierlichen Prozesses unregelmäßig. Da zwischen der ersten Prozessstufe und dem Lager in der Anlieferung immer ein diskontinuierlicher und ein kontinuierlicher Prozess miteinander verknüpft werden, handelt es sich dort um eine Verknüpfung, die technisch relativ simpel aber organisatorisch sehr anspruchsvoll ist.

Vereinzelung der Volumenströme

Nahezu alle Sortieraggregate sprechen spezielle Eigenschaften einzelner Materialien an. Werden die zu sortierenden Stoffströme nicht vereinzelte, so hat dies unterschiedliche Auswirkungen. Bei Fe-Scheidern kann eine Überlagerung verschiedener Teile zu fehlaustragen sowohl in das Fe-Produkt wie auch den gereinigten Stoffstrom führen. Werden die abzuscheidenden Metalle von leichten dünnwandigen Materialien wie Kunststoffen überlagert, so werden diese mit großer Wahrscheinlichkeit in das Fe-Produkt ausgetragen, wogegen Überlagerungen durch schwere, dickwandige Materialien wie mineralische Stoffe oder Hölzer dazu führen können, dass Fe-Metalle im zu reinigenden Stoffstrom verbleiben, da die Kraft des Magnetfeldes nicht stark genug ist, sowohl den Metallkörper wie auch den überlagernden nichtmetallischen Körper auszutragen. Ähnlich wie bei der Eisenmetallabscheidung verhält es sich bei Siebprozessen und NE-Metallabscheidern. Im Falle von automatischen Sortieraggregaten ist die Vereinzelung noch wichtiger, da hier meist ein Sensorikprozess, welcher auf die Stoffstromoberfläche begrenzt ist und nur eine Eindringtiefe von wenigen Millimetern besitzt, eine Klassifizierung des Materials vornimmt. So werden bei Techniken wie der NIR (Nah-Infrarot-Sensorik) oder der Bilderfassung mittels Kameras überlagerte Objekte gar nicht wahrgenommen und entziehen sich so der Erfassung und Abtrennung. Selbst im Falle von Röntgensensoren ist die Effizienz der folgenden Austrageinheit von einer bestmöglichen Vereinzelung abhängig.

2.2.1 Berücksichtigung der innerbetrieblichen Faktoren

Im Gegensatz zu den außerbetrieblichen Faktoren können die aus den innerbetrieblichen Faktoren resultierenden Probleme in der Planung besser berücksichtigt werden. Im Rahmen der Prozessdimensionierung muss das Auftreten von Spitzenereignissen stärker berücksichtigt werden um häufigen Anlagenausfällen durch maschinelle Überlastungen vorzubeugen und die Effizienz der einzelnen Verfahrensschritte zu optimieren.

3 Fazit

Seit dem Einschränken der Ablagerungsmöglichkeiten von unbehandelten Siedlungsabfällen ist die technische Entwicklung der automatischen Sortierprozesse maßgeblich vorangeschritten. Aufgrund der physikalischen Rahmenbedingungen vieler Sortierprozesse hängt deren Effizienz von den für sie idealen Betriebsbedingungen ab. Da durch die Sortierung meist der wesentliche Schritt in der Behandlung vom Abfall zu einzelnen Sekundärrohstoffen stattfindet, muss verstärkt über die Idealisierung von Betriebsabläufen nachgedacht werden. In der Aufbereitung von Primärrohstoffen ist dies bereits seit langem der Fall, da sowohl die Aufbereitungsprozesse wie auch die Abnehmer der erzeugten Güter auf gleichbleibende Qualitäten angewiesen sind.

Die Schwierigkeit liegt für die Erzeuger von Sekundärrohstoffen in der Heterogenität der Ausgangsmaterialien. Je weniger differenziert verschiedene Stoffgruppen bereits beim Erzeuger von Abfällen gesammelt werden, desto mehr Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften werden vermischt und erschweren die anschließende Aufbereitung. Die Schwankungen in den entstehenden Mengen und der Zusammensetzung sind vielfältig und lassen sich kaum vorhersagen. Dementsprechend ist es von ausschlaggebender Bedeutung Anlagen zur Aufbereitung von Abfällen diesen Umständen entsprechend auszulegen. In welcher Form dies geschieht hängt von jeder konkreten Verfahrenslinie selbst ab. Die Gesamtbetrachtung von Anlagen unter dem Aspekt der Prüfung von Betriebsabläufen findet in der Regel ohne anschließende Veröffentlichung der Ergebnisse statt. Daher finden sich in der Fachliteratur nur wenige Veröffentlichungen die das Thema der Betriebsabläufe behandeln. Da dieses Thema für die technischen Aspekte der Aufbereitung von Abfällen allerdings unerlässlich ist, wird dessen Behandlung eine wichtige Rolle bei der Entwicklung zu einer effizienten Sekundärrohstoffversorgung spielen.

Literatur

- ifeu; 2005 Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Heidelberg
- Hoffmeyer, P.; 2005 Bio- und Restabfallbehandlung IX. Selbsttragende Ressourcenwirtschaft. Witzenhausen-Institut für Abfall, Energie und Umwelt, Witzenhausen, ISBN 3-928673-45-9.
- Destatis; 2007 Erhebung über Haushaltsabfälle – Vorläufiger Endbericht 2006. Statistische Bundesamt – Zweigstelle Bonn.
- Pretz, T.; Gillner, R.; 2006 Recycling Magazin 22/2006. Die Entwicklung der modernen Recyclingtechnik.
- Weber, B.; 2006 Sekundär-Rohstoffe 10/2006. „Urban Mining“ sichert Rohstoffe.
- GVM; 2007 Entwicklung des Verpackungsverbrauchs. Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung. 2007
- Thomé-Kozmiensky, K. J.; 2008 Energie aus Abfall Band 4. Abfallaufkommen und –entsorgung. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, ISBN 978-3-935317-32-0
- Thiel, S.;

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Nico Schmalbein
Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe

Wüllnerstr. 2

D- Aachen

Telefon +49 241 809 5702

Email: schmalbein (at) ifa.rwth-aachen.de

Website: www.iar.rwth-aachen.de