

Herausforderung Reststoffzerkleinerung – Einflussfaktoren bei der Zerkleinerung fester Abfälle –

Franz Schellander, Peter Schiffer und Helmut Flachberger

1.	Aufbereitung von festen Abfällen	419
2.	Projekthintergrund	421
3.	Vorstellung der Technikumsanlage.....	421
3.1.	Überblick zur Zerkleinerungstechnik in Radialspalt-Rotorscheren....	423
3.2.	Das Versuchsaggregat	424
3.3.	Mögliche Einflussgrößen bei der Zerkleinerung mit Radialspalt-Rotorscheren.....	424
4.	Auszüge aktueller Forschungstätigkeiten.....	425
4.1.	Versuche mit Zeitungspapier.....	426
4.2.	Versuche in der Ersatzbrennstoff (EBS)-Anlage	429
5.	Zusammenfassung und Ausblick	429

1. Aufbereitung von festen Abfällen

Der Aufbereitung von Reststoffen zur stofflichen bzw. energetischen Verwertung kommt in unserer Gesellschaft eine stetig steigende Bedeutung zu. Die Zerkleinerung stellt dabei oftmals einen ersten, zentralen Arbeitsschritt dar, sei es zur Herstellung bestimmter Dispersitäten, etwa um eine Verwendung als Ersatzbrennstoff zu ermöglichen, oder zur Herstellung ausreichender Aufschlussverhältnisse für einen nachfolgenden Sortierschritt zur stofflichen Verwertung der enthaltenen Wertstoffe.

Dem Zerkleinern von Primärrohstoffen als wesentlichen Grundprozess der Aufbereitungstechnik wurde u.a. aufgrund des hohen spezifischen Energieverbrauches seit jeher ein breiter Raum für Forschungsaktivitäten gewidmet. Die zum Einsatz gelangenden Wirkmechanismen und die Möglichkeiten zu deren Verbesserung werden weltweit intensiv beforscht und die Vielfalt an am Markt etablierten Aggregaten ermöglicht eine Auswahl des für die jeweilige Zerkleinerungsaufgabe bestmöglich geeigneten Maschinentyps.

Zudem stehen verschiedenste Labortests zur Verfügung, anhand derer optimale Betriebsbedingungen aufgefunden, betriebsrelevante Parameter messtechnisch erfasst und anhand etablierter Kennzahlen beschrieben werden können.

Bei der Zerkleinerung von Sekundärrohstoffen rückt die Energieeffizienz erst seit Kurzem in den Fokus der damit befassten Aufbereitungsingenieure, für die sich damit breite und herausfordernde Betätigungsfelder und forschungsrelevante Aktivitäten auftun. So stößt die Übertragung der Erkenntnisse der Zerkleinerung von Primärrohstoffen auf die von Sekundärrohstoffen an gewisse Grenzen, bedingt etwa durch die ausgesprochene Heterogenität der zu zerkleinernden Reststoffe.

In einem mehrjährigen Forschungsprojekt hat sich das Unternehmen Lindner Recyclingtech GmbH der Ergründung von Einflussfaktoren bei der Zerkleinerung von festen Abfällen als Grundlage für einen optimierten wie auch energieeffizienten Maschinenbetrieb angenommen. In dem von der FFG geförderten Forschungsprojekt wurde der Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung der Montanuniversität Leoben als Forschungspartner ins Boot geholt.

In einem ersten Schritt wurde eine Technikumsanlage entwickelt, gebaut und in Betrieb genommen, die es gestattet, relevante Betriebsparameter messtechnisch zu erfassen. In dem darauf folgenden zweiten Schritt wurden Parameterstudien mit unterschiedlichen Abfallarten gefahren, um die Einsatzmöglichkeiten und deren Grenzen auszuloten. Dem Erfassen reproduzierbarer Ergebnisse wurde dabei eine große Bedeutung beigegeben. Die nachfolgende Veröffentlichung stellt die Technikumsanlage vor und gibt einen Einblick in erste Versuchsergebnisse.

Lindner Recyclingtech GmbH

Die Firma Lindner Recyclingtech GmbH ist ein österreichisches Familienunternehmen im Bereich der Zerkleinerungstechnik – von der Planung über die Entwicklung, Konstruktion und Produktion, dem Vertrieb bis zu einem umfassenden Service. Zerkleinert werden Abfälle zur energetischen und wertstofflichen Verwertung, Papier, Kunststoffe, Gummi, Holz, Textilien und vieles mehr. Das Unternehmen ist spezialisiert auf Schredder und kompakte Aufbereitungssysteme für Ersatzbrennstoffe aus Haus-, Industrie- und Gewerbeabfall.

2. Projekthintergrund

Wie bereits zuvor erwähnt, kommt der Zerkleinerung von Sekundärrohstoffen unter (energie-)optimierten Betriebsbedingungen eine stetig steigende Bedeutsamkeit zu. Die Kunden achten mittlerweile verstärkt auf einen effizienten Anlagenbetrieb (z.B. Energie, Verschleiß, Verfügbarkeit) und fordern hierbei auch Garantiewerte im Rahmen der Angebotslegung ein.

Die Möglichkeit der Anpassung von bereits im Betrieb stehenden Zerkleinerungsaggregaten auf neuartige Abfallprodukte – die z.T. heute noch gar nicht in den Recyclingkreislauf gelangt sind – stellt eine zusätzliche Herausforderung an die Konstruktions- und Entwicklungsingenieure dar.

Aufgrund dessen entschloss sich das Unternehmen zum Bau einer mit moderner Steuerungs- und Messtechnik ausgestatteten Technikumsanlage, um auf Basis der bei den Versuchen gewonnenen Erkenntnissen die für die jeweiligen Zerkleinerungsaufgaben bestmöglich geeigneten Zerkleinerer anbieten zu können, damit die Kundenzufriedenheit zu steigern und allfällige Reklamationen und Nachbesserungen hintanzuhalten. Natürlich fließen auch weiterhin die Erfahrungen des Mitarbeiterstabs und die Rückmeldungen der Anlagenmannschaften von bei Kunden bereits installierten und sich im Betrieb bewährenden Aggregaten ein.

Anhand der im Kapitel 3.3. dargestellten Tabelle 1 geht eindrucksvoll hervor, dass das Zerkleinerungsverhalten fester Abfälle von vielen Faktoren beeinflusst ist. Das Forschungsprojekt hat sich daher das Ziel gesetzt, die wesentlichen Einflussparameter, die bei der Zerkleinerung von festen Abfällen mit Radialspalt-Rotorscheren wirken, messtechnisch zu erfassen sowie deren Einflüsse auf das Gesamtsystem zu analysieren und zu bewerten. Auch auf die Erfassung allfälliger Interdependenzen zwischen den einzelnen Einflussfaktoren soll im Projektverlauf großer Wert gelegt werden.

Die Analyse der Einflussfaktoren und deren Gewichtung soll die Auswahl des bestmöglich angepassten Zerkleinerers erleichtern, den Versuchsaufwand minimieren und helfen, optimale Betriebspunkte bei unterschiedlichen Materialzusammensetzungen aufzufinden.

Diese detaillierte Betrachtung soll in weiterer Folge natürlich auch positive Auswirkungen auf die Erhöhung der spezifischen Durchsatzleistung und die Reduktion des spezifischen Energiebedarfes haben.

3. Vorstellung der Technikumsanlage

Für die professionelle Durchführung von Zerkleinerungsversuchen wurde am Firmenstandort Feistritz eine moderne Technikumsanlage errichtet. Für die Forschungsversuche wurde der ausgewählte Zerkleinerer adaptiert, nachgerüstet, modifiziert und mit

zusätzlicher Sensorik ausgestattet, um systematische Versuchsreihen mit reproduzierbaren Ergebnissen durchführen zu können.

Nachfolgend ist der schematische Aufbau der Versuchsanlage dargestellt.

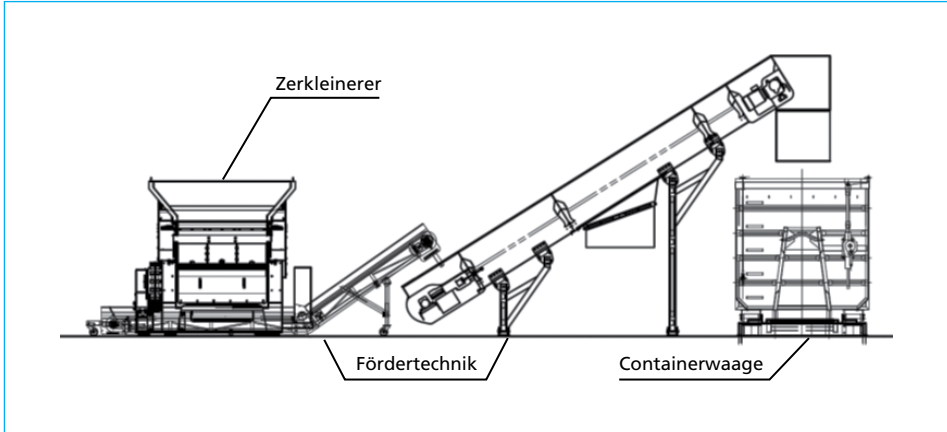


Bild 1: Schematischer Aufbau der Versuchsanlage

Neben der Aufzeichnung der Standardparameter können an der Anlage eine Vielzahl von zusätzlichen Parametern abgetastet und visualisiert werden. Das nachfolgende Bild 2 zeigt die Visualisierung der Wiegeeinheit. Die gewonnenen Daten werden in Excel basierenden Files tabellarisch und grafisch abgebildet sowie auch ausgewertet.

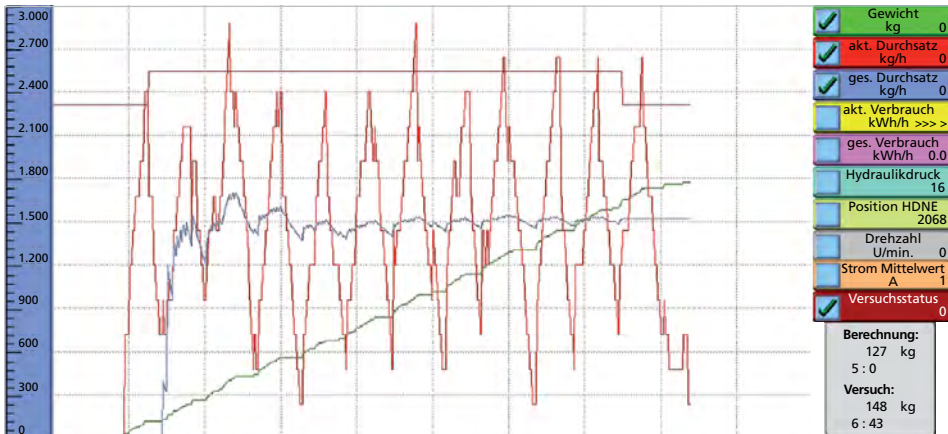


Bild 2: Screenshot der erweiterten Auswerteeinheit der Technikumsanlage

Im Bild 2 ist die zeitliche Zunahme der Masse (grün) sowie die über die Messung der Versuchszeit errechenbare Durchschnittsleistung (blau) mit der Einheit (kg/h) dargestellt. Zudem können Änderungen in der Durchschnittsleistung (rot), bezogen auf ein ausgewähltes Zeitintervall, verfolgt werden.

3.1. Überblick zur Zerkleinerungstechnik in Radialspalt-Rotorscheren

Nachfolgend werden die in einem Einwellen-Zerkleinerer ablaufenden Arbeitsschritte grob beschrieben. Bild 3 zeigt einen vereinfachten Schnitt durch das eingesetzte Aggregat.

Der Hauptanteil der Zerkleinerung findet im Bereich 1 (Rotormesser – Gegenmesser) statt. Das zerkleinerte Material wird vorwiegend durch die Rotordrehung nach unten (Bereich 2) befördert. Durch die Wahl unterschiedlicher Sieböffnungsweiten kann eine definierte obere Partikelgröße des Zerkleinerungsproduktes erreicht werden. Der Siebdurchgang wird durch die Sieböffnungen nach unten ausgetragen. Für den Siebüberlauf bestehen drei Möglichkeiten der Weiterbehandlung:

- Weiterbeförderung (mit einer gewissen Zerkleinerungswirkung) des Materials im Siebraum (Rotormesser-Sieb)
- Zerkleinerung des Materials am zweiten Gegenmesser (Bereich 3)
- Rückführung des Materials in den Schneidraum

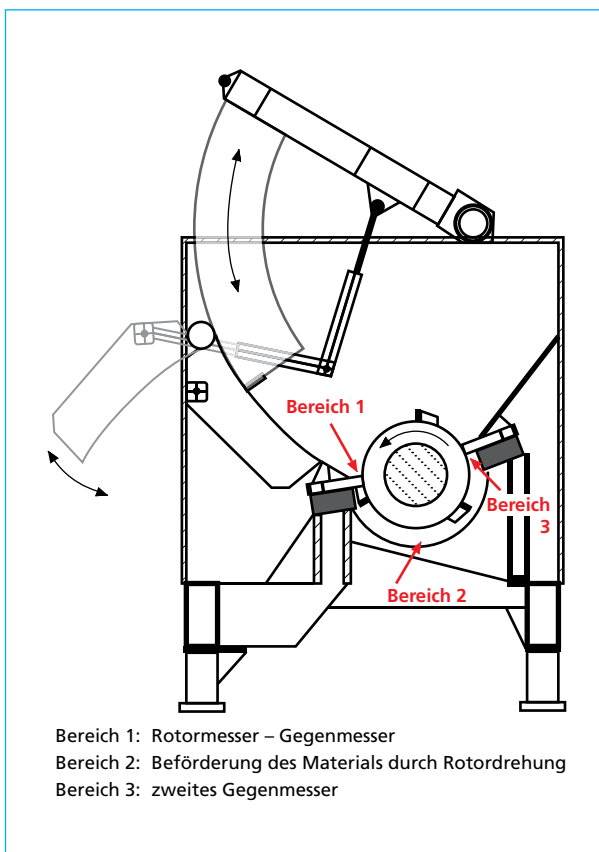


Bild 3:

Schnittdarstellung einer Radialspalt-Rotorschere

Im Schneidraum oberhalb des Rotors wird das Material zusätzlich durch eine hydraulische Nachdruckeinrichtung zum Rotor befördert, wodurch ein verbessertes Einzugverhalten des Materials erreicht wird.

3.2. Das Versuchsaggregat

Der Grundaufbau der Forschungsmaschine basiert auf einem Rotor mit einem Messerflugkreis von 424 Millimeter und einer effektiven Rotorlänge von 1.080 Millimeter. In die Maschine können unterschiedliche Schnittsysteme und Siebformen eingebaut werden.

Aktuell besteht die Möglichkeit, vier unterschiedliche Schnittsysteme einzubauen, welche wiederum jeweils durch Variation der Anzahl an unterschiedlichen Messergeometrien modifiziert werden können. Die Schnittsysteme unterscheiden sich dabei durch die Anordnung der Messer am Umfang, durch die Anzahl der eingebauten Messer und durch die Geometrie der verwendeten Messer. Die haus eigene Innovation der geschraubten Messerhalter ermöglicht den Einbau von Blinddeckel. Dadurch kann die Anzahl der Messer reduziert werden. Die Gegenmesser sind so eingebaut, dass der Schnittspalt zwischen Messer und Gegenmesser variabel einstellbar ist, um den Einfluss von *schneidender vs. reißender Beanspruchung* zu ergründen.

Beim Versuchsaggregat wurde weiters das Antriebskonzept modifiziert. Somit sind Versuche über einen großen Drehzahlbereich bei gleichbleibendem Moment möglich.

3.3. Mögliche Einflussgrößen bei der Zerkleinerung mit Radialspalt-Rotorscheren

Um einen Überblick über die bekannten bzw. weiteren möglichen Einflussgrößen der Zerkleinerung zu bekommen, wurden diese zu Beginn des Projektes herausgearbeitet und in der nachfolgenden Tabelle 1 übersichtlich aufgelistet.

Die erste bzw. die zweite Spalte beinhalten die stoffbedingten bzw. betriebsbedingten Einflussgrößen. Einige davon können zur Prüfung und Gewichtung des Einflusses sehr rasch in den Versuchsreihen berücksichtigt werden (z.B. Drehzahl, Verschleißzustand), andere wiederum sind aufgrund von fixen Vorgaben bzw. Parametern unveränderlich (z.B. Materialstärke, Verunreinigungsgrad).

Die konstruktiven Einflussfaktoren der dritten Spalte können nach vorangegangener Analyse für die Weiter- bzw. Neuentwicklung von Zerkleinerungsaggregaten eine wesentliche Rolle spielen.

Als Beispiel sei hier die Veränderung des Rotordurchmessers genannt, welche eine Auswirkung auf die Durchsatzleistung, das Anfahrverhalten, die Anfälligkeit von Schäden gegenüber Störstoffen, den Energiebedarf, usw. haben kann.

Tabelle 1: Mögliche Einflussgrößen bei der Zerkleinerung fester Abfälle

Einflussgrößen		
stoffbedingte	betriebsbedingte	konstruktionsbedingte
<p>Materialeigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> - Festigkeitseigenschaften, Verformungs- und Bruchverhalten (spröde, elastisch) <p>Form Aufgabegut</p> <ul style="list-style-type: none"> - Form bei der Aufgabe (lose Ballen) - Einzelstückgröße - Materialstärke <ul style="list-style-type: none"> - Stückform (stängelig, plattig, voluminös) - Schüttdichte (Hohlraumvolumenanteil) <p>Sonstiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verunreinigung - gemischter Abfall - Monocharge - Feuchtigkeit 	<p>Beanspruchungsgeschwindigkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rotorumfangsgeschwindigkeit (konstant, variabel) <p>Verschleißzustand der Zerkleinerungselemente</p> <p>Steuerung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Programmoptionen (z.B. Prop.-Regelung) - Reversiermöglichkeit <p>Sonstiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - äußere Bedingungen (Temperatur, usw.) - Beschickung (volle/ teilweise Befüllung des Trichters) 	<p>Gestaltung des Zerkleinerungsraumes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anordnung Rotor-Stator - Spaltweiten (axial/radial) <p>Gestaltung des Rotors</p> <ul style="list-style-type: none"> - effektive Rotorlänge - Rotordurchmesser - Messerflugkreis - Messeranzahl - Messeranordnung <p>Gestaltung der Zerkleinerungselemente des Rotors</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abmessung - Form (gerade Messer, Spitzmesser) - Frei-, Keil- und Spanwinkel <p>Gestaltung und Anordnung der Gegenmesser</p> <p>Gestaltung und Anordnung des Siebrostes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sieböffnungsweite, Siebfläche - Sieblochform - Blechstärke - Abstand zum Messer <p>Gestaltung der Materialzufuhr</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nachdrücker <p>Antrieb</p> <ul style="list-style-type: none"> - System (Direkt, Hydraulik) - Unter-, Überdimensionierung - Effekte, Schwungmasse (Antriebsscheibe, Vorgelege) - direkte Krafteinwirkung an den Zerkleinerungswerkzeugen - Reversiermöglichkeit

4. Auszüge aktueller Forschungstätigkeiten

Im nachfolgenden Kapitel werden einige aktuelle Versuchsreihen vorgestellt und Auszüge aus den Ergebnissen veröffentlicht.

Bei den ersten Versuchen stellte sich wie erwartet die Heterogenität des Inputmaterials als große Herausforderung bei der Evaluierung von Einflussfaktoren heraus. Daher wurde für die Durchführung der Parameterstudien zunächst auf ein homogenes Material zurückgegriffen.

Bei der Erforschung dieser Einflussfaktoren wurden und werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt. Einerseits die Analyse der Einflussfaktoren (reduziert auf das Maschinenverhalten) mittels Einsatz von homogenem Material (siehe Kapitel 4.1.) und andererseits die Analyse von Einflussfaktoren in industriellen Betriebsanlagen (siehe Kapitel 4.2.).

4.1. Versuche mit Zeitungspapier

Um den Einfluss der Änderung diverser Maschinenparameter an der Versuchsmaschine darzustellen, wurde in einem ersten Schritt mit Zeitungspapier in loser Form gearbeitet.

Mit dieser Vorgehensweise konnten nach ersten Tastversuchen systematische Versuchsreihen durchgeführt und reproduzierbare Versuchsergebnisse erzielt werden. Bild 4 zeigt sechs aufeinander folgende Messungen mit gleichen Betriebsbedingungen. Die geringe Abweichung von maximal vier Prozent vom Mittelwert wurde als tolerierbar bewertet.

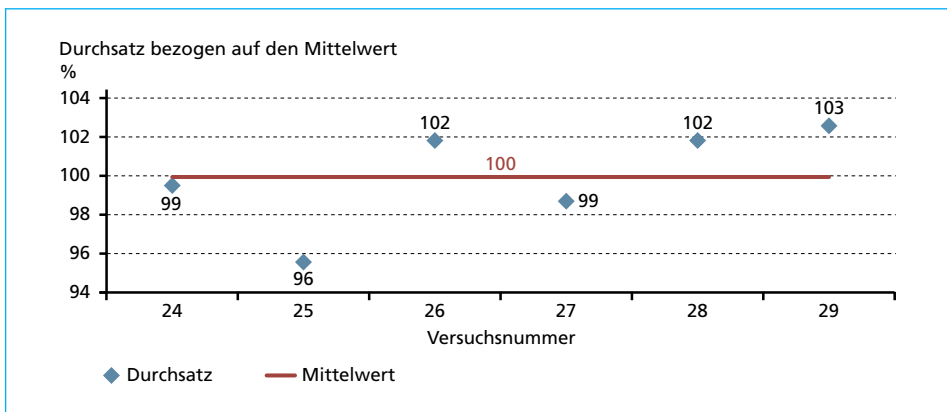


Bild 4: Darstellung von sechs Vergleichsmessungen zur Erhebung der Reproduzierbarkeit

Aufgrund der vorhandenen Reproduzierbarkeit der Daten wurde die erste Testreihe mit der Gegenüberstellung der Einflussfaktoren Drehzahl, Sieböffnungsweite und Schnittsystem gestartet. Zur Kontrolle wurden einige Einstellwerte mehrmals angefahren. Das nachfolgende Bild 5 visualisiert die Ergebnisse der ersten Testreihe. Bei dieser Testreihe wurden drei ausgewählten unterschiedlichen Schnittsystemen (SS1 bis SS3) jeweils drei unterschiedliche Sieböffnungsweiten (SÖW1 bis SÖW3) gegenübergestellt. Die Sieböffnungsweite (SÖW1) repräsentiert dabei eine kleine Öffnungsweite, SÖW2 eine mittlere und SÖW3 eine große.

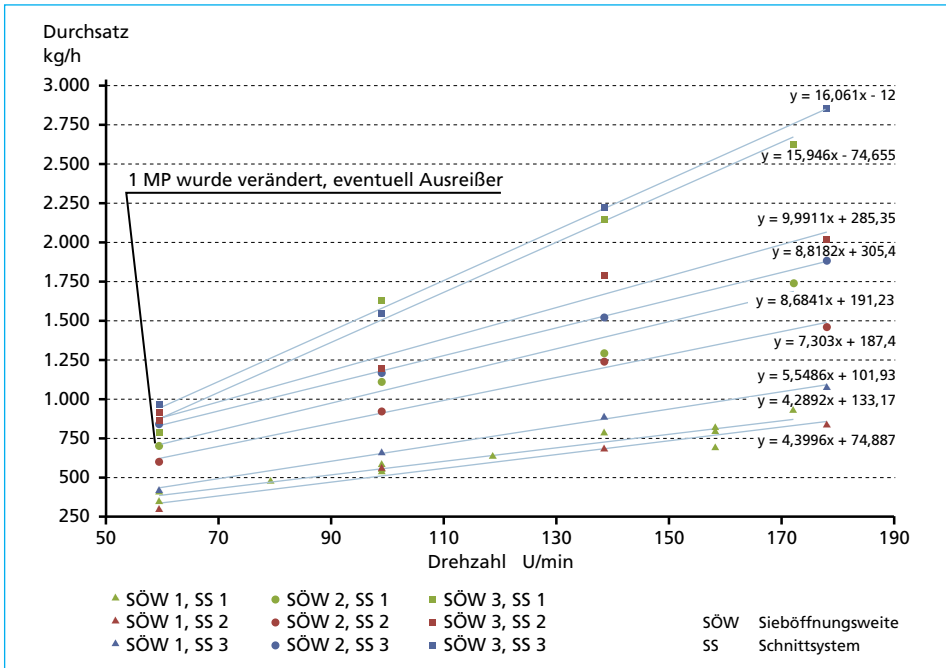


Bild 5: Darstellung des Durchsatzes in Abhängigkeit von Sieböffnungsweite, Schnittsystem und Drehzahl

Parallel zur ersten Testreihe wurde des Weiteren noch der Einfluss diverser Maschineneinstellungen, wie z.B. des Drucks der Nachdrückereinheit, herausgearbeitet.

Mit dieser Versuchsreihe konnte ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Drehzahl und Durchsatz des Versuchsaggregates im Drehzahlbereich 60 bis 180 U/min aufgezeigt werden.

Weiters wurde dadurch die Auswahl des Schnittsystems mit Fokus auf die Durchsatzleistung bei gleichbleibender Produktqualität (Outputmaterial) und bei gleichbleibendem Energieeinsatz erleichtert sowie Optimierungspotenziale an den anderen Schnittsystemen identifiziert.

Während die drei verglichenen Schnittsysteme (SS1, SS2 und SS3) bei den zwei unterschiedlichen Sieböffnungsweiten SÖW1 und SÖW2 gute Parallelitäten aufwiesen, gab es beim Sieb SÖW3 eine deutlich erkennbare Änderung in der Steigung der Geraden des Schnittsystems SS2. Da sich das Schnittsystem SS2 vom Aufbau wesentlich zu den Schnittsystemen SS1 und SS3 unterscheidet, ist dies als Grund für diese Änderung anzuführen. Offenbar ist das Schnittsystem SS2 aufgrund der Geometrie (Anordnung und Form der Messer) mit zunehmender Drehzahl und Sieböffnungsweite nicht mehr in der Lage, die Materialmengen zu verarbeiten.

Eine lineare Steigerung der Durchsatzleistung in Abhängigkeit von der Sieböffnungsweite konnte nicht eindeutig herausgearbeitet werden, mitunter ist aufgrund der Versuche davon auszugehen, dass bei kleinen Sieböffnungsweiten der Reibkoeffizient

an den Wänden der Lochung indirekt proportional zur Lochfläche ist und somit den Materialdurchgang bremst. Diese Hypothese muss jedoch mit weiteren Versuchen untermauert werden.

Bezüglich des spezifischen Energieverbrauchs in kWh bezogen auf eine Stunde Versuchsdauer konnte festgestellt werden, dass sich dieser bei den durchgeführten Versuchen nahezu unabhängig vom Schnittsystem und der Sieböffnungsweite verhält. Eine Erklärung dafür liefert die motorbezogene Regelung des Nachdrückers. Hingegen ist der spezifische Energieverbrauch in kWh bezogen auf ein Kilogramm Aufgabegut abhängig vom Schnittsystem und der Sieböffnungsweite. Wobei anzumerken ist, dass dieser mit der Drehzahl im getesteten Bereich jeweils leicht gesunken ist.

Während sich die Produkte abhängig von der Sieböffnungsweite verändern (siehe dazu Bild 6) konnte hinsichtlich der geprüften Schnittsysteme bei gleichbleibender Sieböffnungsweite keine wesentliche Änderung der Partikelgrößenverteilung und des Schüttgewichtes festgestellt werden.



Aufgabematerial
Zeitungspapier in loser Form



Produkt bei Sieböffnungsweite 1 – SÖW 1



Produkt bei Sieböffnungsweite 2 – SÖW 2



Produkt bei Sieböffnungsweite 3 – SÖW 3

Bild 6: Darstellung des Aufgabematerials (oben links) und der Produkte (rechts sowie unten links und rechts) bei drei unterschiedlichen Sieböffnungsweiten

Eine weitere Testreihe war u.a. die Untersuchung unterschiedlicher Siebgeometrien mit Variation des Abstands zum Rotor. Unterschiedliche Messergeometrien bei einer schneidenden bzw. scherenden Belastung konnten auch erfolgreich getestet werden.

Als Fazit der Versuchsreihen mit Zeitungspapier ist zu betonen, dass die optimale Betriebspunkteinstellung essenziell für den durchsatz- und energieoptimierten Betrieb der Zerkleinerungsmaschine ist.

4.2. Versuche in der Ersatzbrennstoff (EBS)-Anlage

Um auch unter realen Bedingungen Einflussfaktoren darstellen zu können, wurde in weiterer Folge eine Versuchsreihe bei Kunden gestartet. Ziel dieser Versuchsreihe war es, die Drehzahlabhängigkeit bei zwei Maschinen, welche sich nur vom Antriebskonzept unterscheiden, herauszuarbeiten und eine vorangegangene Optimierung am Schnittsystem auf Tauglichkeit zu prüfen. Weiters sollten mit dieser Versuchsreihe weitere Optimierungspotenziale der industriellen Betriebsanlage ausgearbeitet und umgesetzt werden. Das dafür verwendete Material setzte sich aus Produktionsabfällen zusammen, die vor Aufgabe in die Versuchsmaschinen mittels Vorzerkleinerung und Störstoffentfernung vereinheitlicht wurden, damit das Material in möglichst homogener Form vorlag.

Bei den ersten Versuchen zur Prüfung auf eine Reproduzierbarkeit stellte sich bisweilen jedoch heraus, dass sich Vergleichsmessungen aufgrund der noch immer großen Inhomogenität des Inputmaterials als äußerst schwierig gestalteten. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde die Anzahl der Messungen erhöht, um mittels Mittelwertbildung eindeutige Tendenzen feststellen zu können.

Durch die erhebliche Steigerung der Anzahl an Versuchen war es nunmehr möglich, zwischen den zu vergleichenden Schnittsystemen eindeutige Tendenzen darzustellen. Durch die durchgeführten Optimierungsmaßnahmen an der Anlage konnte – insbesondere durch die Änderung diverser Maschineneinstellparameter – auch eine Leistungssteigerung der industriellen Betriebsanlage erzielt werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Technikumsanlage ist Lindner Recyclingtech GmbH nunmehr in der Lage, Einflussfaktoren bei der Zerkleinerung unterschiedlichster Materialien darzustellen.

Nach Abschluss der Versuchsreihe mit Zeitungspapier wurden weitere Versuchsreihen mit diversen weiteren Monochargen durchgeführt, um die gewonnenen Erkenntnisse zu untermauern und allfällige Querverbindungen zwischen den einzelnen Materialien herauszuarbeiten.

Mit dem Forschungsaggregat können weiters aus der Industrie herangetragene neue Zerkleinerungsaufgaben detailliert geprüft und mittels der aufgebauten Messtechnik eventuell vorhandene Optimierungsmaßnahmen ausgelotet werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen ist es damit möglich, ein auf das zu zerkleinernde Material optimal angepasstes Zerkleinerungsaggregat auszusuchen und in weiterer Folge optimierte Betriebspunkte zu finden.

Eine optimale Abstimmung von Betriebspunkten hinsichtlich Durchsatzleistung und spezifischem Energieverbrauch ist laut Meinung der Autoren eine der zukünftigen Herausforderungen in der Zerkleinerungstechnik von festen Abfällen.

Die große Bandbreite an Abfallströmen und deren Heterogenität stellt jedoch hinsichtlich der Gegenüberstellung von Einflussfaktoren einen limitierenden Faktor dar.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 7

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014

ISBN 978-3-944310-09-1

ISBN 978-3-944310-09-1 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2014

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Fabian Thiel, Janin Burbott, Cordula Müller,

Katrin Krüger

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.