

Simulation mechanischer Aufbereitungsprozesse in der Abfallbehandlung

Bertram Zwisele

ARGUS GmbH, Berlin

Jan Rosenkranz

Technische Universität Berlin

André Nordwig

Fraunhofer First, Berlin

Simulation of Mechanical Processes in Waste Treatment

Abstract

A critical analysis of mechanical processes in waste treatment plants hints at vulnerable spots in the interaction of plant units and deployed heterogeneous materials. The simulation of mechanical processes in waste treatment may depict the total material flow in a plant and as such, contribute to a better understanding of the behaviour in heterogeneous materials, to identify bottlenecks, to check plant modifications and hence, to support planning and reducing time for implementation period

The project community, consisting of ARGUS, the Technical University of Berlin and the Fraunhofer FIRST has developed a demonstration model for a simple plant configuration including an air separator, metal separators and comminution aggregates. First encouraging results are available. In a concerted effort with industrial partners a simulation model is gradually developed and customised to real conditions. The system is to support schedulers, manufacturers and operators of waste treatment plants with planning and extensions for existing plants, with quality management, system analysis and development of plant specific simulation models and model adjustments to operation data.

Zusammenfassung

Eine kritische Analyse der mechanischen Aufbereitungsprozesse in Abfallbehandlungsanlagen zeigt vor allem Schwachstellen im Zusammenspiel von Anlagenaggregaten und heterogenem Einsatzmaterial auf. Die Simulation mechanischer Aufbereitungsprozesse in der Abfallbehandlung kann dazu beitragen, den gesamten Stofffluss einer Anlage abzubilden, das Verhalten heterogener Einsatzstoffe besser zu verstehen, kapazitative Engpässe zu identifizieren, Anlagenmodifikationen zu prüfen und damit die Planung zu unterstützen und Inbetriebnahmephasen zu verkürzen und einen reibungslosen Anlagenbetrieb zu sichern.

Die Projektgemeinschaft, bestehend aus ARGUS, der TU Berlin und Fraunhofer First, hat ein Demonstrationsmodell für eine einfache Anlagenkonfiguration mit Windsichter, Metall-Abscheidern und Zerkleinerungsaggregaten entwickelt. Erste vielversprechende Ergebnisse liegen vor. Gemeinsam mit Industriepartnern soll nun das Simulationsmo-

dell schrittweise an reale Bedingungen angepasst und verfeinert werden. Das System soll Planer, Hersteller und Betreiber von Abfallbehandlungsanlagen bei der Planung und Erweiterung von Abfallbehandlungsanlagen, der Schwachstellenanalyse und Optimierung von bestehenden Anlagen, dem Qualitätsmanagement, der Systemanalyse und Entwicklung von anlagenspezifischen Simulationsmodellen und der Modellanpassung an Betriebsdaten unterstützen.

Keywords

§ Abfallbehandlung	§ Waste treatment
§ mechanische Aufbereitung	§ mechanical processing
§ Simulation	§ simulation
§ Prozessanalyse	§ process analysis
§ Stoffstromanalyse	§ material flow analysis
§ Windsichter	§ air separator
§ Sortierprozesse	§ separation processes
§ Zerkleinerungsprozesse	§ comminution processes
§ Abfallprobenahme	§ waste sampling
§ Massenbilanzierung	§ mass balancing

1 Problembeschreibung und Ansatz

Eine kritische Analyse der mechanischen Aufbereitungsprozesse in Abfallbehandlungsanlagen zeigt vor allem Schwachstellen im Zusammenspiel von Anlagenaggregat und heterogenem Einsatzmaterial auf. Unvorhersehbare Qualitätsschwankungen der Einsatzmaterialien führen zu temporären Abweichungen und Überschreitungen der zulässigen Qualitätstoleranzen einzelner Behandlungsaggregate. Dies führt dann in der gesamten Behandlungsabfolge zu Störungen bis hin zum Anlagenstillstand und aufwändigen manuellen Eingriffen. Unzureichende Mengendurchsätze und mangelnde Produktqualitäten sind die Folge.

Die Planung und Auslegung komplexer Aufbereitungsanlagen beruht bislang weitgehend auf Erfahrungswerten. Bis zur stabilen Inbetriebnahme sind oftmals langwierige und kostenintensive Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Die Simulation mechanischer Aufbereitungsprozesse in der Abfallbehandlung kann dazu beitragen, den gesamten Stofffluss einer Anlage abzubilden, das Verhalten heterogener Einsatzstoffe besser zu verstehen, kapazitive Engpässe zu identifizieren, Anlagenmodifikationen zu prüfen und damit die Planung zu unterstützen und Inbetriebnahmephasen zu verkürzen.

Das Simulationswerkzeug wird den versierten und erfahrenen Entwicklungsingenieur nicht ersetzen. Es ist vielmehr an eine effektive Unterstützung in Form eines Analysewerkzeugs gedacht. Mit dem Simulationssystem werden Stoffdatenbanken, Prozessbeschreibungen in Form mathematischer Modelle sowie Simulationstechniken bereitgestellt, auf deren Basis ein effektives Werkzeug entwickelt werden kann. Dazu ist eine enge Zusammenarbeit mit Anlagenbetreibern und Entwicklungsingenieuren erforderlich.

Innovationen und Vorteile für Hersteller und Betreiber von Abfallbehandlungsanlagen werden in folgenden Bereichen gesehen:

- Implementierung neuer Ansätze zur Beschreibung der Stoffeigenschaften gemischter Siedlungsabfälle
- Verbesserung der Probenahme heterogener Stoffsysteme als Grundlage zur Beurteilung der Wirkungsgrade von Anlagen- und Anlagenteilen. (Bislang ist ein methodischer Ansatz für ein neues Probenahmeverfahren (KUYUMCU, H. Z.; ZWISELE, B., 2004/2005) entwickelt, auf dessen Grundlage ein Standard-Verfahren umsetzbar ist.)
- Berücksichtigung der abfallspezifischen Stoffeigenschaften in der Beschreibung der Prozesstechnik (z. B. die selektive Zerkleinerung gemischter Abfälle, Berücksichtigung von Anhaftungen und Verklebungen etc.)
- Nutzung hochentwickelter Simulationstechnik zur Beschreibung komplexer und hinsichtlich der Verschaltung komplizierter technischer Systeme

Die Projektgemeinschaft, bestehend aus ARGUS, der TU Berlin und Fraunhofer First, hat ein Demonstrationsmodell für eine einfache Anlagenkonfiguration mit Windsichter, Metall-Abscheidern und Zerkleinerungsaggregaten aufgebaut. Das System stellt folgende Funktionen bereit, die in Zusammenarbeit mit interessierten Anlagenbetreibern und Entwicklungsingenieuren entsprechend der gewünschten Anwendungstiefe vorangetrieben werden können.

- Stoffdatenbank für die Beschreibung relevanter chemisch-physikalischer und biologischer Parameter der Einsatzmaterialien
- Rechenalgorithmus zur Beschreibung der verfahrenstechnischen Abläufe (integriertes mathematisches Simulationsmodell zur Beschreibung der verfahrenstechnischen Prozesse) in einem Behandlungsaggregat
- Berechnung der mechanischen Aufbereitung (einzelne Prozessschritte und Verfahren) unter Berücksichtigung dynamischer Schwankungen der Aufgabeströme und weiterer diskreter Ereignisse (Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme, Wegfall oder Zusammenführung der Abfallerfassung usw.)
- Quantifizierung der statistischen Unsicherheit des Simulationsmodells

- Untersuchung und Beurteilung unterschiedlicher Anlagenkonfigurationen durch ein modular aufgebautes Simulationsmodell

2 Modellierung der verfahrenstechnischen Prozesse

Am Beispiel einer einfachen Anlagenkonfiguration wird die verfahrenstechnische Beschreibung der mechanischen Prozesse erläutert. In Abbildung 1 ist die Konfektionierung eines Gewerbeabfalls mit geringen organischen Bestandteilen zu einem Sekundärbrennstoff dargestellt. Es kommen die Prozesse der Klassierung, Sortierung, Zerkleinerung und Agglomeration zum Einsatz.

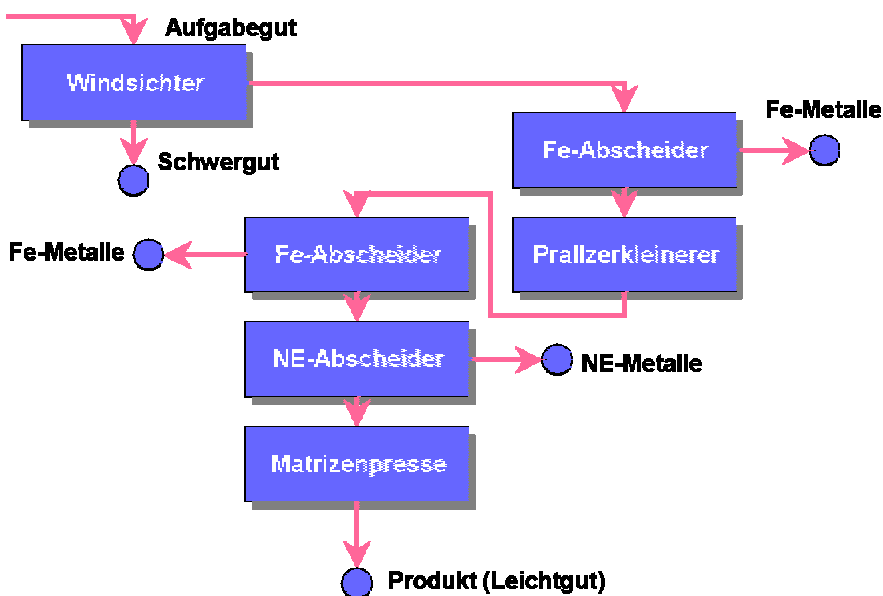


Abbildung 1 Demonstrationsbeispiel für eine Anlagenkonfiguration

Für die Prozessbeschreibung ist zunächst eine entsprechende Kennzeichnung der Stoffströme erforderlich. Für das betrachtete Demonstrationsbeispiel wird im ersten Schritt folgende Stromstruktur entwickelt:

- Gliederung in Feststoff- und Fluidstrom zur Berücksichtigung der Mehrphasigkeit
- Untersetzung des Feststoffstromes in Teilströme für die verschiedenen Stoffgruppen (Leichtstoff, Schwerstoff usw.)
- Je Stoffgruppe Mengenstromangabe, mittlere stoffliche Zusammensetzung und Partikelgrößenverteilung

Die Stromstruktur lässt sich flexibel erweitern, beispielsweise um partikelgrößenabhängige Zusammensetzungen und weitere mehrdimensionale Verteilungen. Im vorliegen-

den Fall werden die Stoffgruppen Leichtstoffe, Schwerstoffe, Mineralik, Eisenmetalle und NE-Metalle unterschieden.

Auf die einzelnen Datenelemente der Eingangsströme in einen Apparat bzw. Prozess kann dann für die Berechnung der Stoffwandlung zugegriffen werden. Exemplarisch werden im folgenden der Windsichter und die Fe-Abscheider bezüglich ihrer verfahrenstechnischen Funktion und deren Abbildung in einem Modell vorgestellt.

Magnetabscheider (Sortierung)

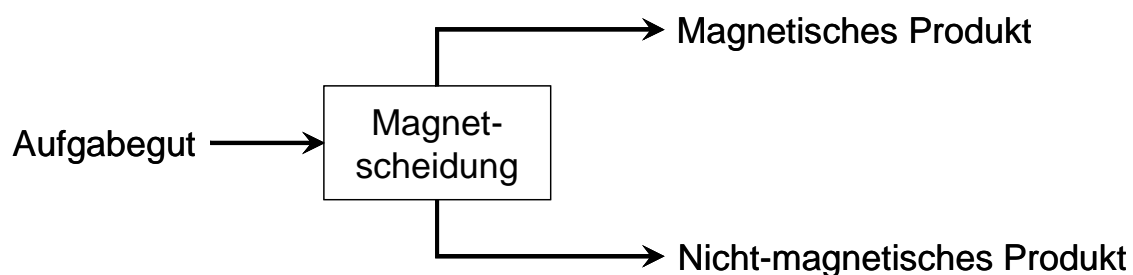


Abbildung 2 Schematische Beschreibung eines Magnetabscheiders

Der Magnetscheider trennt störende metallische Bestandteile entsprechend den magnetischen Eigenschaften aus dem Stoffstrom ab, wobei auch nicht-magnetische Partikeln mit ausgetragen werden können. Im einfachsten Fall lässt sich das Prozessverhalten durch die Angabe von Abscheidegraden je Stoffgruppe beschreiben. Die Massenanteile der Partikelgrößenverteilung je Stoffgruppe bleiben hierbei in beiden Produktströmen gleichermaßen erhalten.

Mit dem Abscheidegrad der Fe-Metalle gilt dann die Bilanzgleichung für die Stoffgruppen-Massenströme (Gleichungen 1 und 2)

$$\dot{M}_{P1,Fe} = \eta_{Fe} \cdot \dot{M}_{A,Fe} \quad \text{Gleichung 1}$$

und
$$\dot{M}_{P2,Fe} = \dot{M}_{A,Fe} - \dot{M}_{P1,Fe} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit:

\dot{M} Massenstrom: A Aufgabe, P₁, P₂ Produkte

η_{Fe} Abscheidegrad der Fe-Metalle

Windsichter (Stromsortierung)

Mit dem Windsichter werden überwiegend leichte und flugfähige Stoffbestandteile von schweren nicht flugfähigen Stoffbestandteilen abgetrennt, d. h. neben der Klassierung nach der Partikelgröße erfolgt eine Sortierung bzw. Trennung nach der Materialart aufgrund unterschiedlicher Materialdichten und Teilchenformen. In einer Abfallaufbereitungsanlage werden bei diesem Verfahrensschritt die heizwertreichen Stoffe (meist flugfähig) von den heizwertarmen Stoffen abgetrennt.

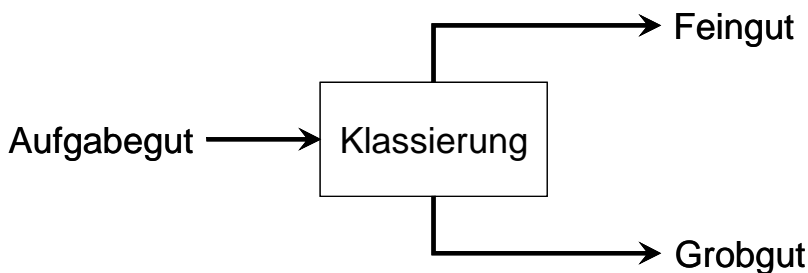


Abbildung 3 Schematische Beschreibung eines Windsichters

Zur Beschreibung des Klassierprozesses im Beispiel werden Trenngrade verwendet, die sich wertmäßig je nach Materialart und Partikelgrößenfraktion unterscheiden. Der Partikelformeinfluss wird zunächst nicht berücksichtigt. Die fraktionellen Trenngrade lassen sich über eine sogenannte Trennfunktion mathematisch einheitlich beschreiben. Gegenüber der oben beschriebenen Vorgehensweise zur Modellierung der Magnetscheidung wird somit bereits eine größere Modellierungstiefe erreicht.

Die Prozessberechnung mit Hilfe der Trennfunktion erfolgt dann in den Schritten:

- Berechnung des Trennfunktionswertes je Stoffgruppe und Partikelgröße („fraktionelles Teilungsverhältnis“)
- Teilung auf Ebene der Fraktionsmassenströme je Stoffgruppe
- Neuberechnung der Massenanteile der Partikelgrößenverteilung je Stoffgruppe bezogen jeweils auf den neuen Teilstrom in Schwergut/Grobgut und Leichtgut/Feingut

Die Gesamtbilanz berechnet sich nach Gleichung 3. Die Fraktionsbilanz ergibt sich unter Berücksichtigung des Fraktionstrenngrades gemäß Gleichung 4. .

$$\dot{M}_A = \dot{M}_{P1} + \dot{M}_{P2} \quad \text{Gleichung 3}$$

$$\dot{M}_{P1} \cdot p_{1,i} = T_i(x_i) \cdot \dot{M}_A \cdot f_i \quad \text{Gleichung 4}$$

mit

- f_i Massenanteil der Fraktion i im Aufgabegut
- $p_{1,i}$ Massenanteil der Fraktion i im Produktstrom 1 (Grobgut)
- $T_i(x_i)$ Fraktionstrenngrad der Fraktion i , berechnet über Trennfunktion
- \dot{M} Massenstrom: A Aufgabe, P_1, P_2 Produkte

Die Trennfunktion zur Bestimmung der fraktionellen Teilungsverhältnisse kann beispielsweise nach Gleichung 5 berechnet werden (LYNCH, A. J., 1977).

$$T(x) = \frac{e^{\alpha \cdot x / x_T} - 1}{e^{\alpha \cdot x / x_T} + e^{\alpha} - 2} \quad \text{Gleichung 5}$$

mit

- α Trennschärfe-Parameter
- x Partikelgröße
- x_T Trenngrenze

Die Trenngrenze x_T stellt hierin die Partikelgröße dar, bei der sich der fraktionelle Teilstrom gerade zu gleichen Teilen auf die beiden Produkte verteilt. Die empirische Bestimmung der Trenngrenze und der Trennschärfe erfolgt im vorliegenden Fall über eine Anpassungsrechnung an gemessene Stromdaten.

Alternativ lassen sich für eine Berechnung der beiden Trennfunktionsparameter wiederum Modellgleichungen formulieren. Unterschiedliche Modellierungstiefen ergeben hierbei hinsichtlich der eingehenden Stoff- und Prozess- bzw. Apparateparameter sowie dem Grad der Berücksichtigung physikalischer Wirkprinzipien. Weitere Verbesserungen des Trennmodells lassen sich erzielen, wenn der Prozessraum in Teilbereiche gegliedert und für diese die hierin abgrenzbaren Teilprozesse beschrieben werden.

3 Umsetzung der Simulationsaufgabe

Zur Umsetzung der Simulationsaufgabe wird auf das Simulationswerkzeug MOSILAB (**M**odeling & **S**imulation **L**aboratory) zurückgegriffen, das unter der Federführung von Fraunhofer FIRST entwickelt wird (NYTSCH-GEUSEN ET.AL., 2005). Das Simulationswerkzeug eignet sich zur Entwicklung komplexer, heterogener technischer Systeme. MOSILAB nutzt eine objektorientierte, nichtkausale Modellformulierung auf Basis der Sprache Modelica® (<http://www.modelica.org>).

Das System besteht aus einer Arbeitsumgebung zur Simulation (IDE), einem Simulatorkernsystem mit verschiedenen austauschbaren numerischen Verfahren sowie Schnittstellen zu Standard simulationssoftware. Durch die offene, erweiterbare und skalierbare Softwarearchitektur eignet sich MOSILAB gut als Framework für die Entwicklung von Spezialsimulatoren. Abbildung 4 zeigt die Benutzeroberfläche zur Bedienung des Simulationssystems.

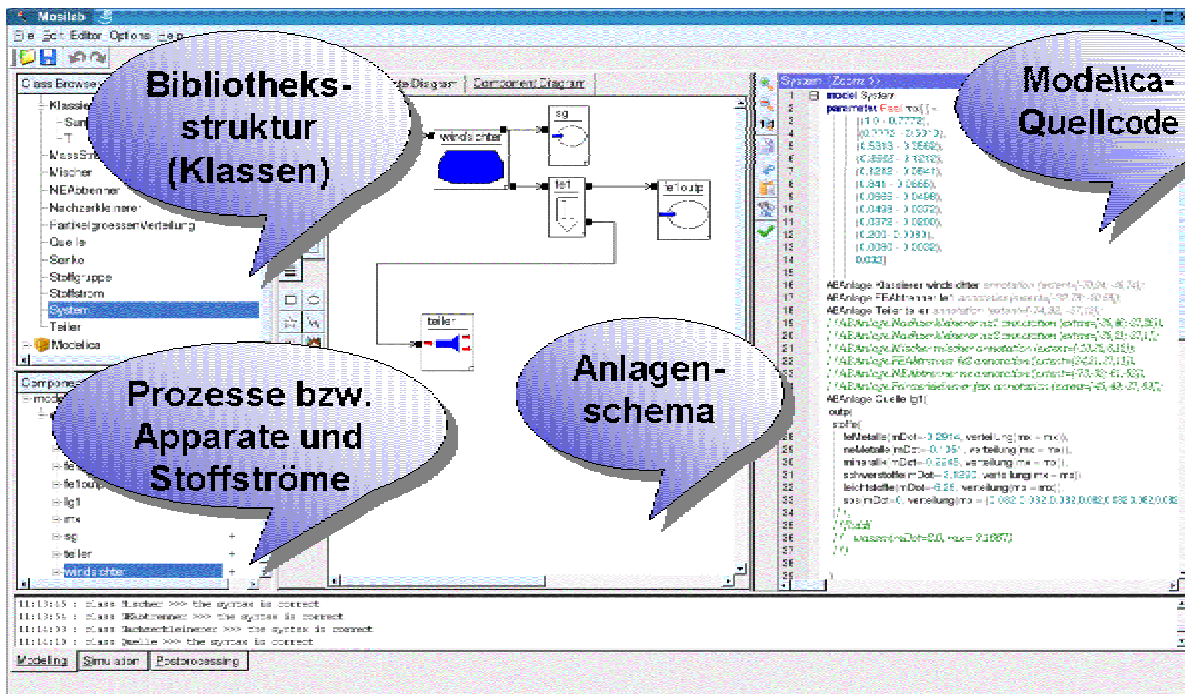


Abbildung 4 Verwaltung der Prozesselemente und Anlagenstruktur

Auf der linken Seite oben können aus vordefinierten Modellbibliotheken Anlagenkomponenten (z. B. ein Windsichter und ein Eisenabscheider) bzw. Stoffstromsysteme (z. B. ein heterogen zusammengesetzter Stoffstrom unterschiedlicher Partikelgröße) per Drag and Drop ausgewählt in einem grafischen Editor zu einem Anlagenschema zusammengesetzt werden. Auf der rechten Seite wird ausgehend von der grafischen Modellierung das dazugehörige Modelica-Modell automatisch erzeugt, welches im Editor noch um weitere Informationen ergänzt werden kann.

Abbildung 5 zeigt die hierarchische Modellierung eines Stoffstroms mittels Modelica. Eine übergeordnete Modellklasse von Typ *Stoffstrom* beinhaltet neben dem Gesamt-massenstrom einen Feststoffstrom, welcher wiederum in sechs Stoffgruppen (Fe-Metalle, NE-Metalle, Schwerstoffe, Leichtstoffe etc.) untergliedert ist. Jede Stoffgruppe wiederum enthält eine individuelle Partikelgrößenverteilung. Mit diesem Modellierungsprozess können flexibel unterschiedlichste Stoffstromzusammensetzungen modelliert werden.

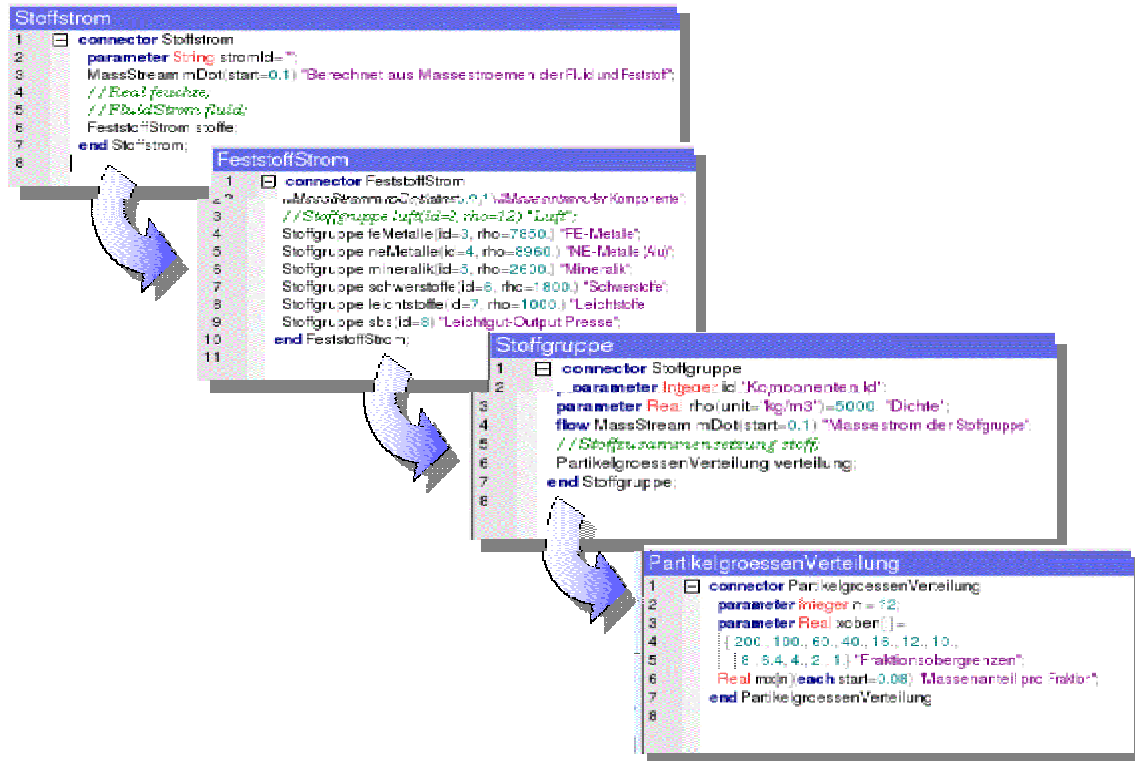


Abbildung 5 Hierarchische Beschreibung der Stoffströme

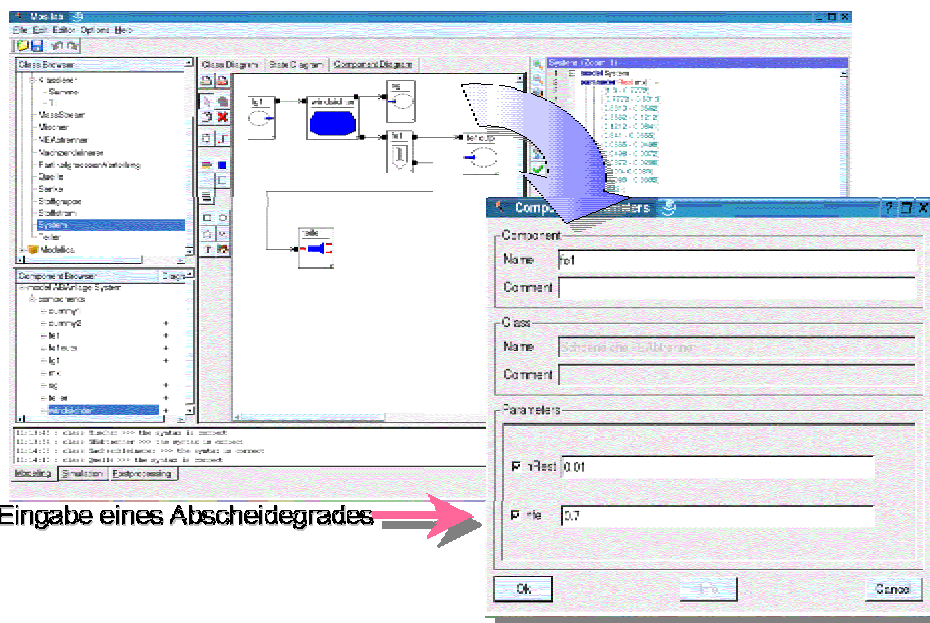


Abbildung 6 Parametrisierung der Apparate/Prozesse: Beispiel Fe-Abscheider

Abbildung 6 verdeutlicht, dass ein Anlagenmodell in MOSILAB auf einfache Weise parametrisiert werden kann. Für jede Anlagenkomponente steht ein Kontextmenü zur Verfügung, über welches alle die Komponente beschreibenden Parameter modifiziert werden können.

4 Beispielhafte Simulation eines Anlagenausschnitts

Für die in Abbildung 1 beschriebene Demonstrationsanlage wurde ein stationäres Anlagenmodell mit dem Simulationssystem erstellt und simuliert. Die Produktionsziele der Anlage liegen in der Verarbeitung einer heizwertreichen Materialfraktion zur Herstellung eines Sekundärbrennstoffes. Die enthaltenen Wertstoffe, Fe- und NE-Metalle sollen möglichst vollständig separiert werden. Die Anlage soll definierte Störstoffgehalte, Heizwerte sowie Pelleteigenschaften einhalten.

Als Aufgabematerialien werden feste vorbehandelte Abfälle, bestehend aus den Stoffgruppen Leichtstoffe (Kunststoffe, Textilien, Papier / Pappe), Schwerstoffe (Holz, grobe Kunststoffteile, nasse Papierklumpen), Mineralik und Fe- und NE-Metalle eingesetzt.

Als Prozesse werden die mehrstufige Zerkleinerung (Partikelgrößenverringern, Aufschluss), die Stromsortierung (Windsichtung), die Magnetscheidung, die Wirbelstromsortierung und die Pressagglomeration („Pelletierung“) eingesetzt und sind entsprechend zu modellieren. Für die Modellierung des Feststoffstroms wurde die stoffliche Zusammensetzung und die Partikelgrößenverteilung berücksichtigt und für die Prozesse wurden folgende Modellansätze verwendet:

Windsichter:	mehrpametrische Trennfunktion
Fe- und NE-Abscheider:	partikelgrößenunabhängige Austragswahrscheinlichkeiten unterschiedlich für die Stoffgruppen
Prallzerkleinerer:	Fraktions- oder auch Populationsbilanzen unter Verwendung von mehrparametrischen Auswahl- und Bruchverteilungsfunktionen
Matrizenpresse:	Vorgabe einer definierten Partikelgrößenverteilung

Die stationäre Simulation erlaubt Abschätzungen über die Größe der erreichbaren Ausbeute für Endprodukte bei vorgegebenen Charakteristiken der Komponenten und in Abhängigkeit vom Stoffstrom am Eingang der Anlage. Ein Beispiel für ein Modellergebnis ist in Abbildung 7 zu finden.

Strom-ID	LG1	SG	LG2	FE-1	LG3	LG3s	FE-2-3	LG4	NE-12	LG5	SBS
Name	Aufgabe Windsichter	Schwertgut	Leichtgut	Eisenmetalle	Aufgabe Nachzerklei- nerung	Zerkleinerung sprrodukt	Eisenmetalle	Leichtgut	NE-Metalle	Leichtgut	Produkt
gesamt	10,000	3,031	6,969	0,153	6,816	6,816	0,081	6,734	0,050	6,684	6,684
FE	0,291	0,099	0,193	0,121	0,071	0,071	0,068	0,004	0,000	0,004	0,004
NE	0,105	0,053	0,053	0,004	0,049	0,049	0,001	0,048	0,024	0,024	0,024
Mineralik	0,225	0,160	0,065	0,006	0,059	0,059	0,001	0,058	0,005	0,053	0,053
Schwertgut	3,129	2,057	1,072	0,011	1,061	1,061	0,005	1,056	0,011	1,045	1,045
Leichtgut	6,250	0,863	5,587	0,011	5,576	5,576	0,007	5,569	0,011	5,558	5,558

Abbildung 7: Für die Demonstrationsanlage berechnete Stromdaten in t/h

In Abbildung 8 ist die Anpassungsgüte der Simulation an die gemessenen Werte dargestellt. Bei der Interpretation der Anpassungsgüte ist zu berücksichtigen, dass die Prozessparameterisierung mit den empirischen Daten der Anlage vorgenommen wurde. Weitere Simulationsszenarien müssen zeigen, wie gut die Modellannahmen auf veränderte Anlagenkonfigurationen, veränderte Einsatzmaterialien oder veränderte Betriebszustände reagieren.

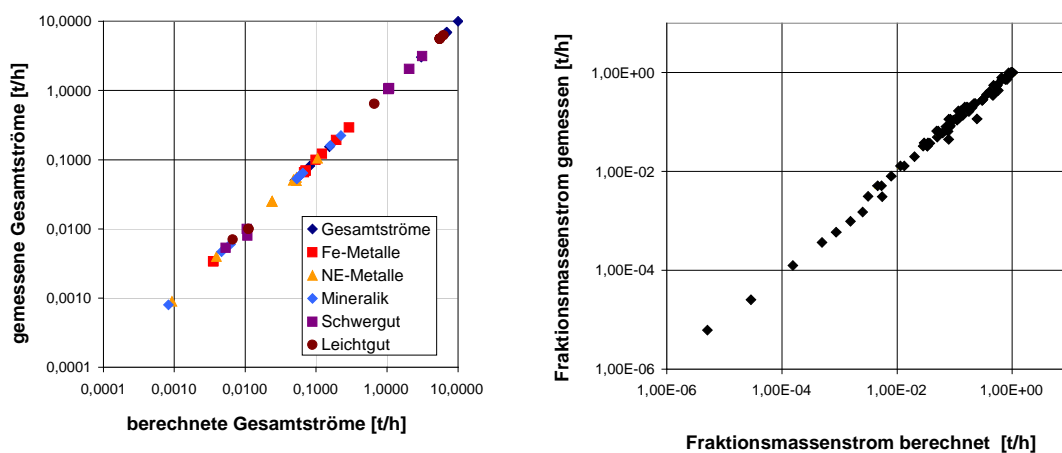


Abbildung 8: Anpassungsgüte des Modells für die Stoffzusammensetzung und die Partikelgrößenverteilung

Da das Modell für die Analyse des stationären Verhaltens entwickelt wurde, sind die Zustandsvariablen zeitunabhängig. Wenn der Durchsatz einer Anlage untersucht wer-

den soll ist das Modell dahingehend weiterzuentwickeln, dass Kapazitäten und Verweilzeiten von und in Komponenten unterstützt werden. Um realistischere Modelle zu erhalten sind auch Feuchtigkeitsabhängigkeiten in den Definitionen der Verhaltensfunktionen einzuführen. Zu diesem Zweck sind einige der bisherigen konstanten Parameter durch Funktionen der Zeit, der Last, der Feuchte und der Temperatur zu ersetzen. Die Sprachcharakteristika von Modelica sind für solche Arten von Modellverfeinerung hervorragend geeignet.

5 Anwendungsbezug und Nutzen des Simulationsmoduls

Ein Demonstrationsmodell für eine einfache Anlagenkonfiguration mit Windsichter, Fe-Abscheider, NE-Abscheider und Zerkleinerungsaggregat liegt vor. Für ein definiertes Abfallgemisch mit bekannter Teilchengrößenverteilung konnten erste erfolgversprechende Ergebnisse erzielt werden. Die zugrundeliegende Stoffdatenbank und die Prozessbeschreibung sind momentan im Aufbau. Im Weiteren wird es darauf ankommen, gemeinsam mit Partnern aus der Industrie, das Modell mit Prozessdaten zu füllen, die Prozessbeschreibung weiter zu verfeinern und die Simulationsfunktionen den Anforderungen der Anlagenbetreiber in der Praxis anzupassen.

Nach dieser Phase der Weiterentwicklung, für die derzeit ein Forschungsvorhaben beantragt wird, steht ein Werkzeug für interessierte Planer, Hersteller und Betreiber von Anlagen zur Verfügung, das Unterstützung in folgenden Bereichen bietet:

- Planung und Erweiterung von Abfallbehandlungsanlagen
- Schwachstellenanalyse und Optimierung von bestehenden Anlagen
- Qualitätsmanagement
- Systemanalyse und Entwicklung von anlagenspezifischen Simulationsmodellen
- Modellanpassung an Betriebsdaten

6 Literatur

- Kuyumcu, H. Z.;
Zwisele, B.: 2004 Probenahme von heterogenen Abfällen – Entwicklung eines Probenahmeverfahrens; in Aufbereitungstechnik 45 (2004) Nr. 12; ISSN 1434-9302; Bochum.
- Kuyumcu, H. Z.;
Zwisele, B.: 2005 Probenahme von heterogenen Abfällen – Ergebnisse der Probenahmeversuche; in Aufbereitungstechnik 46 (2005) Nr. 1-2; ISSN 1434-9302; Bochum.
- Lynch, A.J. 1977 Mineral Crushing and Grinding Circuits, Elsevier Scientific, Amsterdam-Oxford-New York
- Nytsch-Geusen et.al. 2005 GENSIM – Entwicklung eines generischen Simulationswerkzeugs für heterogene technische Systeme mit Modellstrukturdynamik; Berlin.

Anschrift der Verfasser(innen)

Dr.-Ing. Bertram Zwisele
ARGUS GmbH
Franklinstr. 1
D-10587 Berlin
Telefon: +49 30 398060-0
Email: info@argus-statistik.de
Website: www.argus-statistik.de

Dr.-Ing. Jan Rosenkranz
TU-Berlin, Fachgebiet Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitung
Ernst-Reuter-Platz 1
D-10623 Berlin
Telefon: +49 30 314 -0
Email: jan.rosenkranz@aufbereitung.tu-berlin.de
Website: www.tu-berlin.de/fak3/aufbereitung/

Dr. André Nordwig
Fraunhofer First, Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik
Kekuléstraße 7

D-12489 Berlin

Telefon: +49 30 63921821

Email: andre.nordwig@first.fraunhofer.de

Website: www.first.fraunhofer.de