

Softwareunterstützte Messdatenauswertung zur Optimierung von Prozessen im Baustoffrecycling

1 Einleitung

Werkzeuge, die sich für die Berechnung von Abläufen der mechanischen Verfahrenstechnik anhand von empirischen Daten eignen, sind auf dem gegenwärtigen Markt nur unvollständig oder überhaupt nicht zu finden, obwohl sie die Arbeit erheblich vereinfachen bzw. beschleunigen können.

Bei der softwareunterstützten Messdatenauswertung steht die Simulation verfahrenstechnischer Zusammenhänge im Mittelpunkt. Das heißt, der Anwender kann an einem Softwaremodell die gewünschten Parameter vorgeben und erhält durch eine Simulation die entsprechenden Ergebnisse. So können aufwendige und vor allem kostenintensive Untersuchungen vermieden werden.

Optimierung mittels Berechnungen ist bei dem heutigen Kosten- und Konkurrenzdruck nicht mehr wegzudenken. Mit der Simulation kann dem Anwender ein Werkzeug gegeben werden, mit dessen Hilfe er eine Anlage bzw. einen verfahrenstechnischen Prozess optimal und kostengünstig gestalten kann.

1.1 Problematik

Betreiber von technischen Anlagen haben beim Verwalten ihrer Daten oft das Problem, dass die zu ihrer Verfügung stehenden großen Mengen an Messdaten, nicht bzw. nur unzureichend ausgewertet werden können. Die Ursachen liegen meist darin, dass die Datenmenge zu umfangreich ist oder eine Auswertung der Daten zu Kosten- bzw. Zeitintensiv ist.

Wenn beispielsweise bereits bei der Archivierung der Messdaten Fehler auftreten oder eine gewissenhafte Systematisierung fehlt, ist es im Nachhinein kaum noch möglich, gezielt auf bestimmte Messdaten zuzugreifen oder diese auszuwerten. Eine Vorhersage von produktspezifischen Eigenschaften unter Einbeziehung von Messdaten, welche auf der Anlage mit ähnlichen Einstellungen gewonnen wurden, ist somit nicht mehr möglich.

Eine weitere Folge einer unzureichenden oder fehlenden Messdatenauswertung ist die mangelnde Prozessoptimierung. Durch die gezielte Auswertung bestimmter Anlagenparameter, ist es möglich optimale Einstellungen zu berechnen, um die Leistung der Anlage bei gleicher oder sogar besserer Produktqualität zu erhöhen.

Eine ähnliche Problematik ist auch an wissenschaftlichen Einrichtungen wie Hochschulen, Fachhochschulen oder Instituten zu finden. Auch hier können erhebliche Mengen an Messdaten aus experimentellen Versuchen entstehen, welche analysiert und ausgewertet werden müssen. In einem gewissen Rahmen kann und wird dies mit Tabellenkalkulationssoftware wie z.B. Microsoft Excel statistischen Programmen getan, wobei dem Anwender hier durch die verwendete Software Grenzen gesetzt werden.

Gerade im wissenschaftlichen Bereich ist es erforderlich, Messdaten optimal darstellen und analysieren zu können, um Zusammenhänge zu erkennen und diese berechenbar zu gestalten. Um hier Erfolge zu erzielen, müssen meist umfangreiche

Hilfsmittel oder ganz spezielle Softwarelösungen herangezogen werden. Diese setzen jedoch überwiegend erhebliche Grundkenntnisse in der Bedienung und Anwendung voraus, sodass Aufwand und Nutzen in keinem Verhältnis stehen.

1.2 Lösungsvorschlag

Die unter Punkt 1.1 aufgeführten Probleme haben ihre Ursachen zum einen darin, dass Verfahrens- und dazugehörige Produktmesswerte oftmals nicht systematisch genug verwaltet werden, um daraus empirische Abhängigkeiten ableiten zu können oder Messdaten mit bestimmten Kriterien gefiltert abrufen zu können.

Zum anderen sind die Trendfunktionen, die in Standardkalkulationsprogrammen verwendet werden, für viele verfahrenstechnische Zusammenhänge nicht geeignet, insbesondere für solche, die einem Sättigungswert zustreben.

Um diese Defizite abzubauen, wird eine Software benötigt, die die Ermittlung verfahrenstechnisch begründeter Abhängigkeiten auf der Grundlage systematisch abgelegter Messdaten erlaubt.

Mit einer solchen Software muss es möglich sein, Messdatenreihen systematisch abzulegen, zu verwalten und bestehende Abhängigkeiten durch Funktionen darzustellen. Mit Hilfe dieser Funktionen und deren Verknüpfung können dann Prozessparameter nicht nur reproduziert sondern auch optimiert werden.

2 Softwareunterstützte Messdatenauswertung

2.1 Entwicklung der Software *ProcSim*

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einer neuen Maschinenteknik zur nassmechanischen Trennung von Stoffen nach ihren spezifischen Gewichten“ ergab sich die Notwendigkeit, verfahrenstechnischen Parameter und die erzielten Ergebnisse von insgesamt 35 Versuchsreihen systematisch abzulegen und auszuwerten. Nach ersten Versuchen mit herkömmlichen Softwaretools entstand die Idee eine spezielle Software zu entwickeln, welche eine komfortablere und sachgerechte Auswertung erlaubte. Es entstand die Software *JigSim*. Damit konnte auf der Basis der empirischen Messdaten ein Modell erstellt werden, welches den Zusammenhang zwischen Trennerfolg und Prozessparametern herstellte (Abb. 1 und Abb. 2).

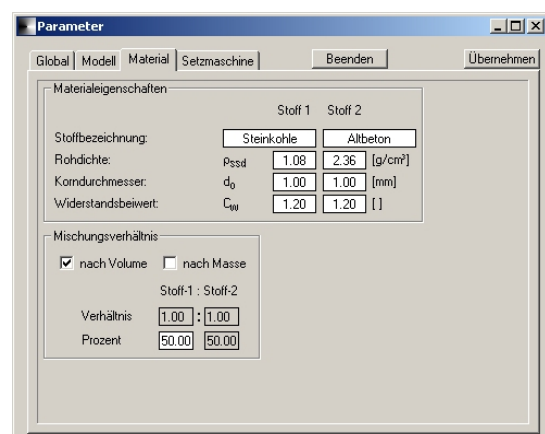


Abb. 1: Software *JigSim* - Parameter

Die erfolgreiche Implementierung ausgewählter Funktionen zur Simulation empirischer Abhängigkeiten in die Software *JigSim* war der Ausgangspunkt dafür, dieses Verfahren auch auf andere verfahrenstechnische Prozesse anzuwenden.

Somit entstand die Software *ProcSim* (processes simulation), welche dahingehend abgeändert wurde, dass prozesstypische Variablen und Parameter frei einstellbar sind. Ebenso wurde die unter Punkt 1.2 angesprochene Datenbank integriert. Derzeitig befindet sich die Software in einem frühen Entwicklungsstadium (Alpha-Version), da noch wesentliche Anwenderfunktionen implementiert werden müssen. Die Hauptfunktionen der Software (Daten-darstellung, Messdatenauswertung, Simulation) sind bereits integriert und funktions-tüchtig.

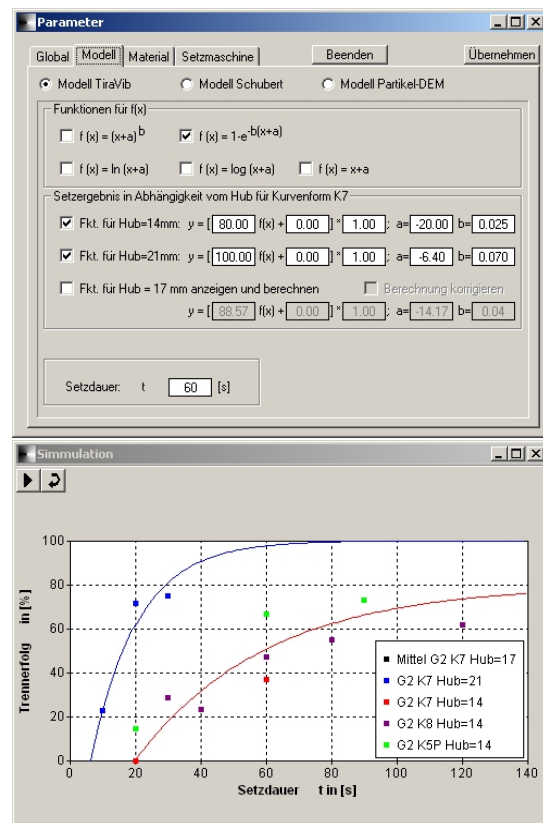


Abb. 2: Software *JigSim* - Simulation

Mit dem derzeitigen Stand der Alpha-Version *ProcSim* können folgende Aufgaben bearbeitet werden:

1. Systematische Speicherung von Messergebnissen
2. Gezielter Abruf von Messdaten
3. Darstellung der Daten in frei definierbaren Diagrammen
4. Festlegen von Trendfunktionen mit variablen Anpassungsfaktoren
5. Analyse und Auswertung der Messdaten
6. Simulation von Prozessen durch empirische Modelle auf der Basis der Trendfunktion

2.2 Funktionsweise der Software *ProcSim*

Anhand der folgenden 4 Schritte soll erklärt werden, wie die Software *ProcSim* funktioniert und Ergebnisse simuliert werden können.

Schritt 1: Daten Ein- und Ausgabe

Für die Messdateneingabe besitzt die Software derzeitig nur eine Importfunktion, wobei die Messdaten in einem bestimmten Dateiformat vorliegen müssen. In einer späteren Version ist die direkte Eingabe der Daten in die Software (Eingabemaske), ein Excel-Import und der Import über eine Schnittstelle vorgesehen. Nach der Eingabe können die Messdaten in einem frei definierbaren Diagramm ausgegeben werden. Ist eine schematische Einordnung der Daten in Messreihen noch nicht erfolgt, so kann dies anschließend vorgenommen werden.

Als Beispiel für die Messdatenausgabe zeigt Abb. 3 zwei frei generierte Messreihen $y = f(x)$. Die Messreihen untereinander unterscheiden sich in einem weiteren Parameter (hier z-Wert genannt) und müssen daher getrennt voneinander betrachtet werden. Erst bei der späteren Simulation wird eine Verknüpfung zwischen den Messreihen vorgenommen.

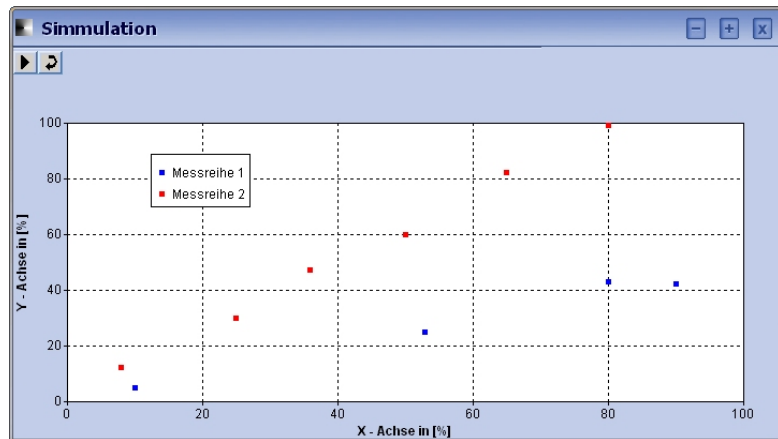


Abb. 3: Ausgabe der Messdaten im Diagramm

Schritt 2: Bestimmung der Abhängigkeiten und Ermittlung der Trendlinie

Um anhand des Datenmaterials neue Anlageeinstellungen simulieren zu können, müssen die vorhandenen Daten analysiert und als Funktion (Trendlinie) in das Modell eingebunden werden.

Für die Beschreibung der Datenreihe durch eine Funktion werden 5 Grundfunktionen zur Verfügung gestellt (siehe Abb. 4 links). Welche Funktion für die jeweils zu simulierenden Prozesse geeignet ist, sollte einzeln geprüft werden. Für eine spätere Version ist eine automatische Funktionserkennung vorgesehen.

Die ausgewählte Grundfunktion wird anschließend in die folgende Formel (siehe Abb. 4 rechts) eingesetzt:

<input type="checkbox"/> $f(x) = (x+a)^b$	<input type="checkbox"/> $f(x) = e^{-b(x+a)}$
<input type="checkbox"/> $f(x) = \ln(x+a)$	<input type="checkbox"/> $f(x) = \log(x+a)$
<input checked="" type="checkbox"/> $f(x) = x+a$	

$y = [1.25 \text{ f(x) } + 0.00] \cdot 1.00 ; a = 0.00 \text{ b} = 0.000$	$y = [0.50 \text{ f(x) } + 0.00] \cdot 1.00 ; a = 0.00 \text{ b} = 0.000$
---	---

Funktion 1: $y = 1,25 \cdot x$	Funktion 2: $y = 0,5 \cdot x$
--------------------------------	-------------------------------

Abb. 4: Funktion mit Parametereingabe zur Ermittlung der Trendlinie

Insgesamt stehen für jede der 5 Grundfunktionen 4 Anpassungsfaktoren (a, b, Faktoren für Grundfunktion, Summand für Grundfunktion) zur Verfügung. Damit ist man in der Lage, die Funktion sehr genau an die Messdatenreihe anzupassen. Anhand dieser Funktion ist es dem Programm möglich, für jeden Wert x einen entsprechenden y-Wert und umgekehrt zu berechnen.

In Abb. 5 ist für das Beispiel aus Schritt 1 das Diagramm mit den dazugehörigen Funktionen dargestellt. In diesem Beispiel handelt es sich um eine einfach lineare Abhängigkeit.

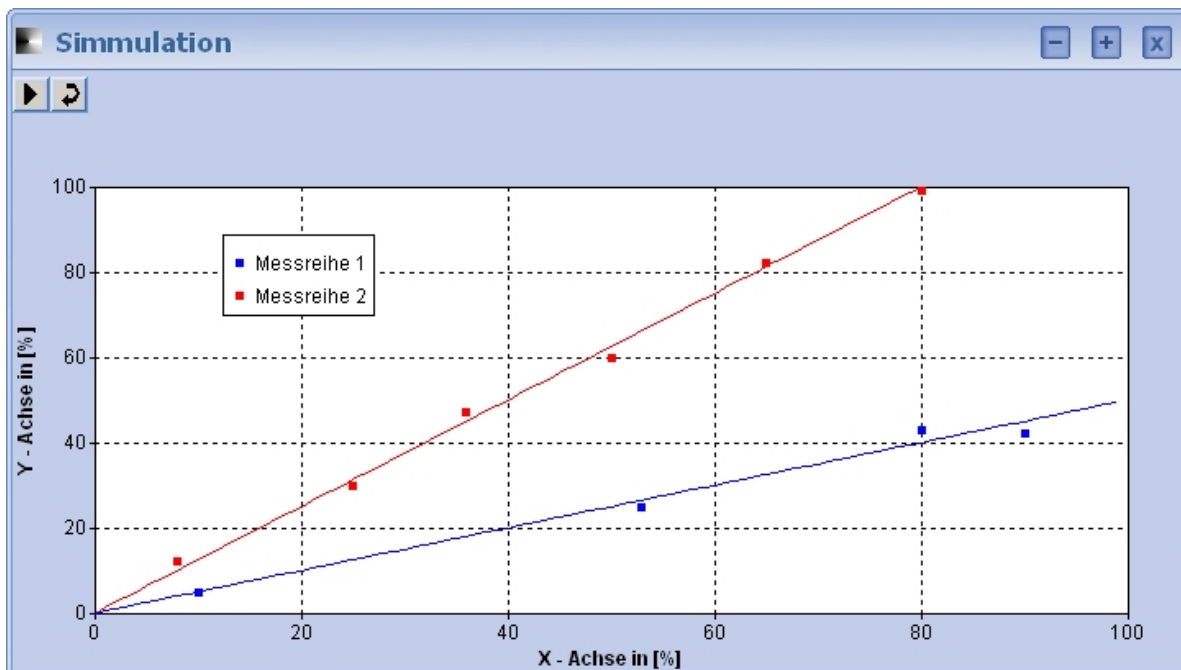


Abb. 5: Diagramm mit Trendlinie der Messreihe 1 und 2

Schritt 3: Simulation durch Interpolation zwischen den Messdaten

Im 3. Schritt können Prozesseinstellungen zwischen den eingetragenen Messdaten aufgrund der Trendlinien simuliert werden. Hierfür kann der entsprechende x-Wert eingeben werden und der dazugehörige y-Wert berechnet werden.

In Abb. 6 ist das Ergebnis für das unter Schritt 1 benutzte Beispiel im Diagramm dargestellt. Im rechten Bereich sind die jeweiligen Funktionen der Messreihen zu sehen. Im unteren Bereich des Parameterfensters wurde ein x-Wert für die Messreihe 1 von 70 % vorgegeben. Daraufhin erfolgt die Simulationsberechnung und die grafische bzw. rechnerische Ausgabe des Simulationsergebnisses im Simulationsfenster.

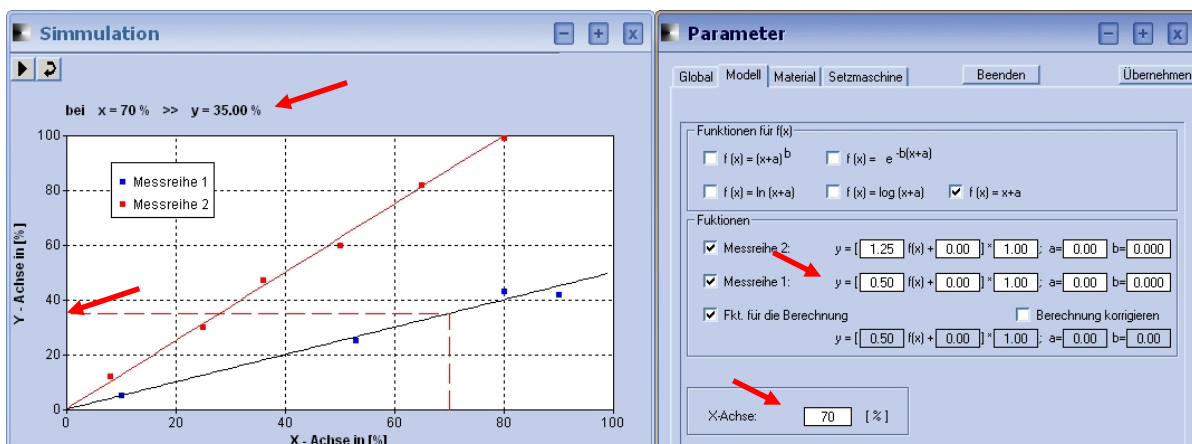


Abb. 6: Diagramm mit Simulationsergebnis

Schritt 4: Simulation durch Interpolation zwischen den Messreihen

Im 4. Schritt soll erklärt werden, wie mehrere Messreihen in einer Simulation untereinander verknüpft werden. Diese Verknüpfung kann nur durchgeführt werden, wenn die einzelnen Messreihen durch einen weiteren Parameter (z-Wert) gekennzeichnet sind und eine Abhängigkeit besteht.

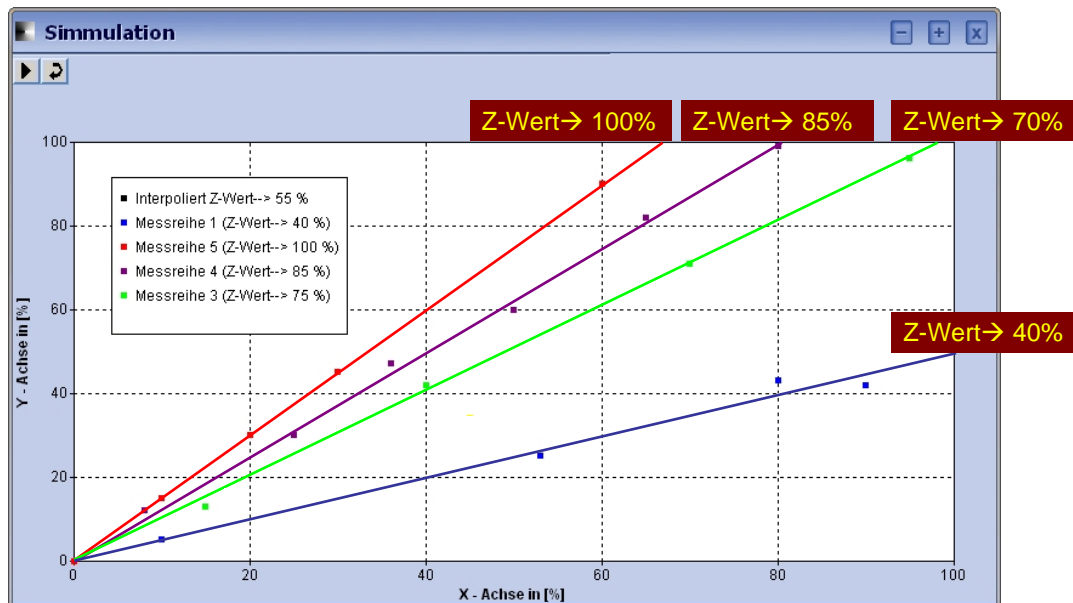


Abb. 7: Vier Messreihen mit stetigem Anstieg des z-Wertes

Zur Demonstration wird das bisherige Beispiel um 2 Messreihen erweitert (Abb. 7). Dargestellt werden Messreihen, wobei sich jede Messreihe durch einen bestimmten z-Wert von den anderen unterscheidet.

Für die Berechnung einer Funktion mit einem dazwischen liegenden z-Wert werden entsprechend der Änderung des z-Wertes alle Anpassungsfaktoren linear zwischen der oberen und unteren Grenzfunktion interpoliert. Für eine spätere Programmversion ist vorgesehen, auch nichtlineare, nach bestimmten Funktionen vorgenommene Interpolationen einzuführen.

Um diese Vorgehensweise zu verdeutlichen, ist die Berechnung der resultierenden Funktion für das Beispiel in Abb. 8 dargestellt. Im Parameterfenster wird die obere bzw. untere Grenzfunktion und der z-Wert ($z = 55\%$) festgelegt. Daraufhin erfolgt die Berechnung der resultierenden Funktion durch Parameterinterpolation und gleichzeitige Darstellung im Diagramm. Um nun den y-Wert berechnen zu können, muss ein x-Wert ($x = 70\%$) vorgegeben werden oder umgekehrt. Anschließend erfolgt die Simulationsberechnung und die grafische bzw. rechnerische Ausgabe des Simulationsergebnisses ($y = 52,50\%$) im Simulationsfenster.

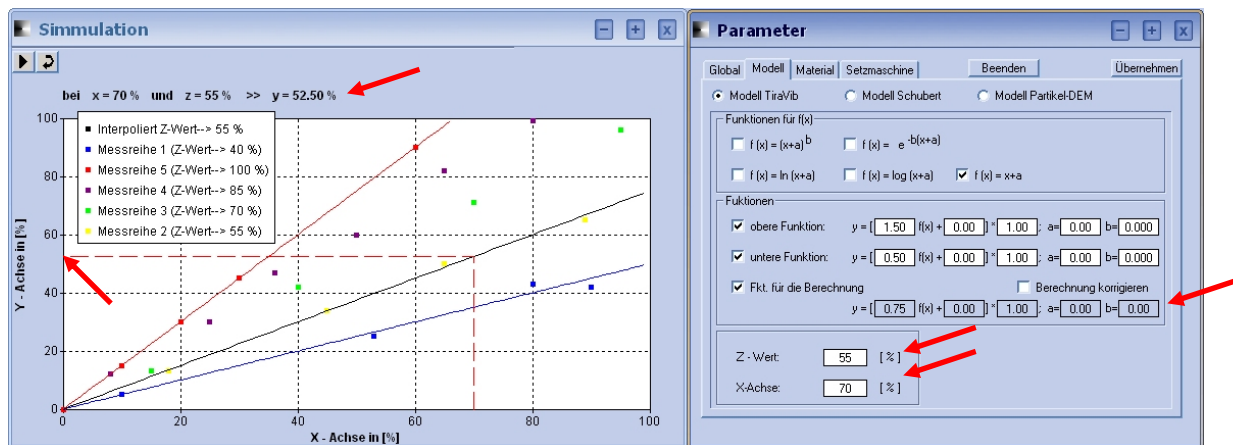


Abb. 8: Diagramm mit Simulationsergebnis für eine interpolierte Messreihe mit $z = 55\%$

3 Beispiele

3.1 Empirisches Modell Kreislaufmahanlage

Beschreibung der Versuchsanlage

Im Aufbereitungstechnikum der Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung an der Bauhaus-Universität Weimar wird seit 1997 eine kleintechnische Kreislaufmahanlage betrieben. Mit dieser Anlage ist es möglich, unterschiedlichste mineralische Stoffe praxisnah zu Mehlen variabler Feinheit aufzumahlen. Im Rahmen von Forschungsprojekten und studentischen Arbeiten wurde diese Anlage zur experimentellen Bestimmung der Mahlbarkeit von Rohstoffen und Zwischenprodukten der Steine-Erden-Industrie sowie von Recyclingmaterialien genutzt. Gleichzeitig diente die Anlage der Herstellung ausreichender Mengen an Probematerial für baustofftechnische Versuche. Abb. 9 zeigt das Herzstück der Anlage – die Kugelmühle Super Orion 100/70 S.O. (eff. Durchm.: 820 mm, eff. Länge: 700 mm, Drehzahl 32 U/min) – und die Entnahmestutzen für das Mühlenausgangsmaterial (1), das Grobgut (2), das Feingut (3) und den Staub (4).

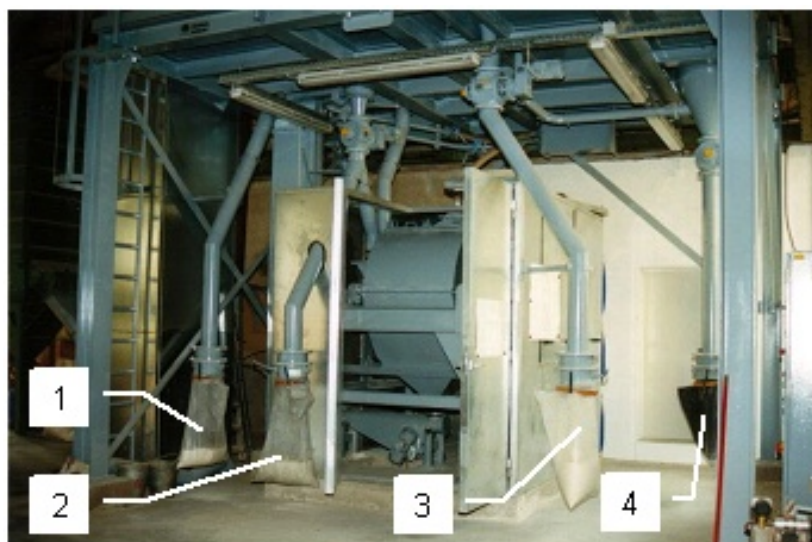


Abb. 9: Kreislaufmahanlage im Aufbereitungstechnikum

Das Fließschema der Anlage ist in Abb. 10 dargestellt. Das Aufgabegut – hier ist aus technologischen Gründen eine Größtkornbegrenzung von 4 mm gegeben – wird aus einem Vorlagebehälter direkt in die Kugelmühle dosiert. Das Mahlgut durchläuft die Mahltrommel auf ihrer Länge und wird dabei durch die Bewegung der Mahlkörper (Cylpebse) zerkleinert, bevor es über Schlitze in die weiterführende Förderrinne austreten kann. Es wird mittels Becherwerk über-

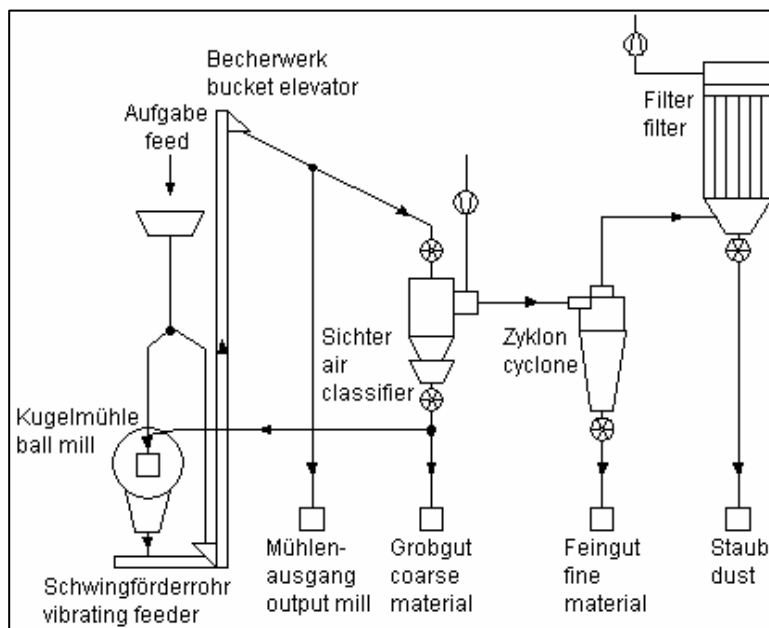


Abb. 10: Fließschema der Anlage

hoben und so dem Sichter zugeführt. Als Sichter kommt ein Kanalsichtsichter vom Typ 100 ATP mit horizontal gelagerter Sichterachse zum Einsatz. Über die Drehzahl des Sichterrades, die zwischen 1.150 und 11.500 U/min stufenlos regelbar ist, können Trennkorngrößen von 4 bis 100 μm und Massendurchsätze von 2 bis 50 kg/h erzielt werden. Während das Sichtergrubgut durch die Schwerkraft in die Mühle zurückläuft, wird das Feingut pneumatisch zur Vorabscheidung in den Zyklon transportiert.

Der Feinststaub gelangt über eine Rohrleitung in die Textilschlauchfilteranlage und wird dort vom Luftstrom getrennt. Feingut und Filterstaub können jeweils unterhalb des Gerätes über Zellenradschleusen abgegriffen werden. Für feinste Produktkorngrößen, bei denen eine effektive Nutzung des Zyklons nicht mehr gegeben ist, besteht die Möglichkeit der Überbrückung, sodass die Produktabscheidung ausschließlich über die Filteranlage erfolgt.

Verwendete Versuchsmaterialien und Messdaten

Für die Demonstration der Software am Beispiel der Kreislaufmahlanlage wurden die Messdaten aus 2 Diplomarbeiten [2, 3] verwendet. Die bei den Versuchen verwendeten Materialien waren Hüttensand und Zementklinker. Sie wurden bei abgestufter Sichterzahl auf unterschiedliche Feinheiten aufgemahlen. Für die Analyse und Simulation liegen zwei Messreihen mit jeweils 3 Parametern (mittlere Korngröße, Sichterzahl, Anlagedurchsatz) vor.

Die in die Software importierten Daten können in verschiedenen Diagrammen dargestellt werden. In Abb. 11 wird eine mögliche Darstellung der Messdaten gezeigt. Dabei ist im Diagramm die Abhängigkeit der mittleren Korngröße von der Sichterzahl für die beiden untersuchten Stoffe dargestellt. In einem weiteren Diagramm wurde die Abhängigkeit des Durchsatzes von der Sichterzahl dargestellt.

Denkbar ist, dass noch weitere Parameter wie der x_{80} -Wert oder die Trennkorngröße des Sichters eingegeben werden, um so in einer späteren Simulation auch diese Werte vorhersagen bzw. simulieren zu können.

Analyse der Messdaten

Bei der Analyse der Messdaten wird versucht durch eine Funktion die Messdaten welche eine Messreihe bilden, darzustellen. Damit wird sie für eine spätere Simulation nutzbar. In diesem Beispiel stellte sich heraus, dass eine potenzielle Funktion den Daten der Messreihe am ehesten entspricht.

Bei zunehmender Sicherterraddrehzahl nimmt die erreichte mittlere Korngröße bei geringen Drehzahlen zunächst stark ab, um dann bei hohen Drehzahlen nur noch sehr wenig abzunehmen.

In Abb. 11 ist das Diagramm für die Abhängigkeit der mittleren Korngröße von der Sicherterraddrehzahl mit den Funktionen für die Messreihe Zementklinker und Hütensand dargestellt.

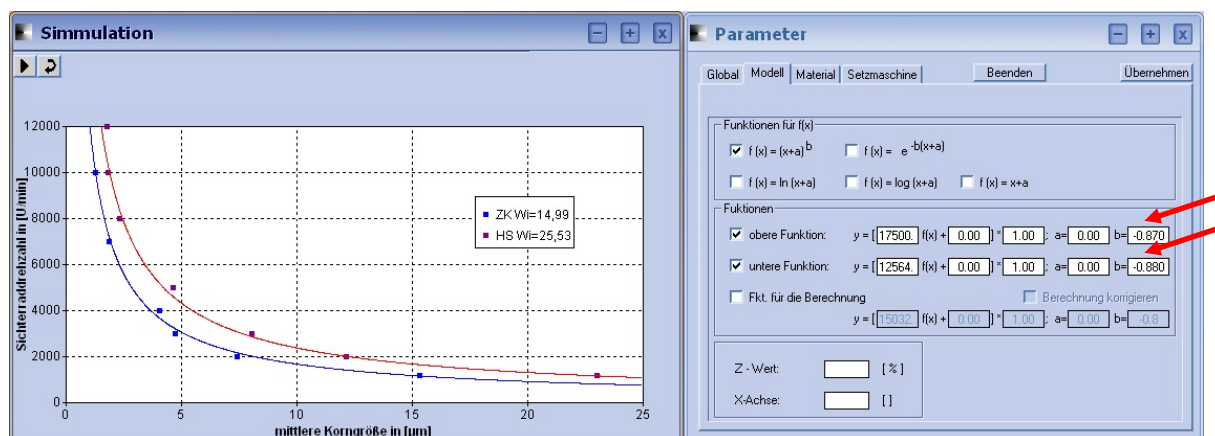


Abb. 11: Funktionen für die Messreihe 1 und 2 für die Abhängigkeit der mittleren Korngröße von der Sicherterraddrehzahl

Wie zu erkennen ist und auch der Korrelationskoeffizient zeigt (untere Funktion Hütensand $R^2=0,9945$ bzw. obere Funktion Zementklinker $R^2=0,9923$), konnte eine sehr genaue Angleichung an die Messdaten erreicht werden. Die gleiche Vorgehensweise ist für die Abhängigkeit des Durchsatzes von der Sicherterraddrehzahl anzuwenden.

Simulation

Unter Zuhilfenahme der im Schritt 2 ermittelten Funktionen ist es mit der Software möglich, die für eine bestimmte mittlere Korngröße erforderliche Sicherterraddrehzahl zu berechnen. Mit der erhaltenen Sicherterraddrehzahl kann anschließend im zweiten Simulationsfenster der Durchsatz berechnet werden. Durch diese Methode erhält man alle nötigen Parameter, um mit der Kreislaufmahanlage die gewünschte mittlere Korngröße zu erreichen.

In Abb. 12 wurde als Beispiel eine mittlere Korngröße von 12 μm vorgegeben (siehe Parameterfenster). Die Simulation errechnet daraufhin eine Sicherterraddrehzahl von

1410 U/min, welche an der Kreislaufmahlanlage einzustellen wäre, um diese Korngröße zu erhalten.

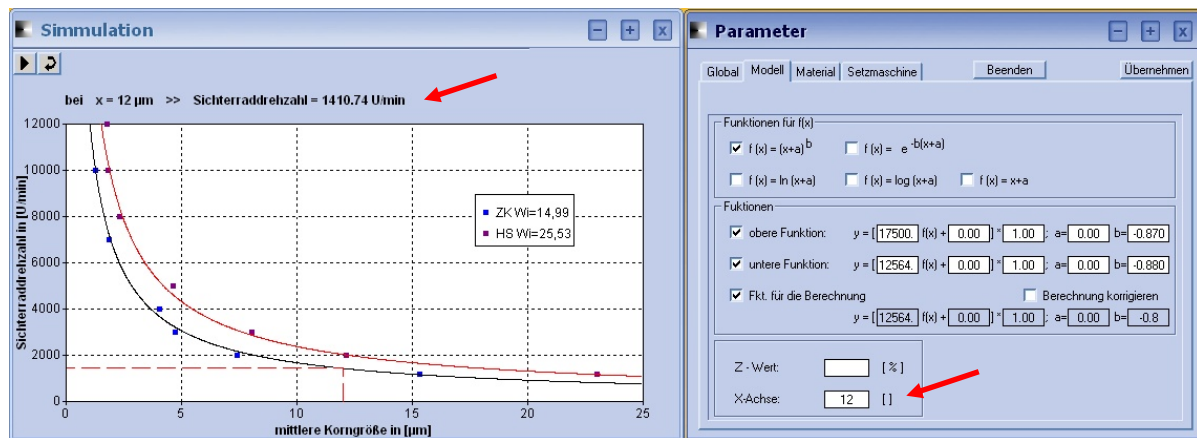


Abb. 12: Simulation der Sichterraddrehzahl

Diese Sichterraddrehzahl wird im zweiten Berechnungsschritt dazu verwendet, um den Anlagendurchsatz zu berechnen. Grundlage dafür ist die Abhängigkeit zwischen Sichterraddrehzahl und Durchsatz, welche aus der zweiten Messdatenreihe errechnet wurde. Für den Durchsatz wurde ein Wert von 39,72 kg/h prognostiziert (Abb. 13).

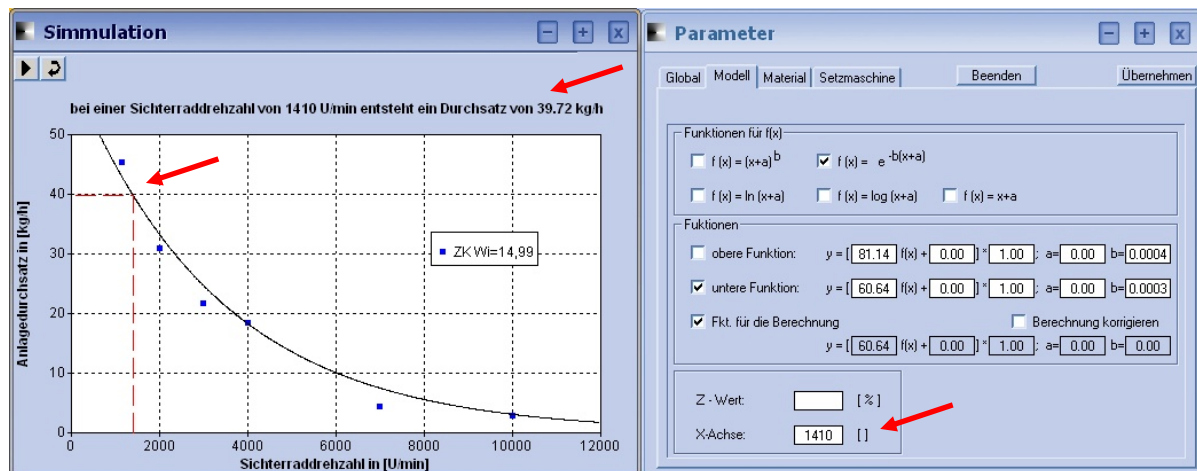


Abb. 13: Simulation des Anlagendurchsatzes

Der praktische Nutzen der Simulationen liegt schon jetzt auf der Hand, denn so ist es möglich in relativ kurzer Zeit für eine zu erreichende Produktkorngröße die entsprechenden Parametereinstellungen der Kreislaufmahlanlage vorzubestimmen und einen Durchsatz zu prognostizieren. Für einen Kundenwunsch könnte so mit ziemlicher Genauigkeit eine Kostenschätzung aufgestellt werden, da Energie- und Zeitaufwand ermittelt werden können.

Simulation zwischen der oberen und unteren Funktion

Um eine Simulation für ein Material durchzuführen, welches auf der Kreislaufmahlanlage noch nicht gemahlen wurde, ist es notwendig einen Parameter zu ermitteln, welcher die Messreihen bzw. Funktionen untereinander verbindet. Aus der Literatur geht hervor, dass sich der spezifische Arbeitsindex nach Bond hierfür eignet [5]. Dieser Wert ist für eine große Anzahl von natürlichen Rohstoffen, industriellen Ne-

benprodukten und feinkörnigen Produkten bekannt. Eigene Untersuchungen liegen für verschiedene Recyclingmaterialien aber auch für Hüttensand ($W_i = 25,53 \text{ kWh/t}$) und Zementklinker ($W_i = 14,99 \text{ kWh/t}$) vor.

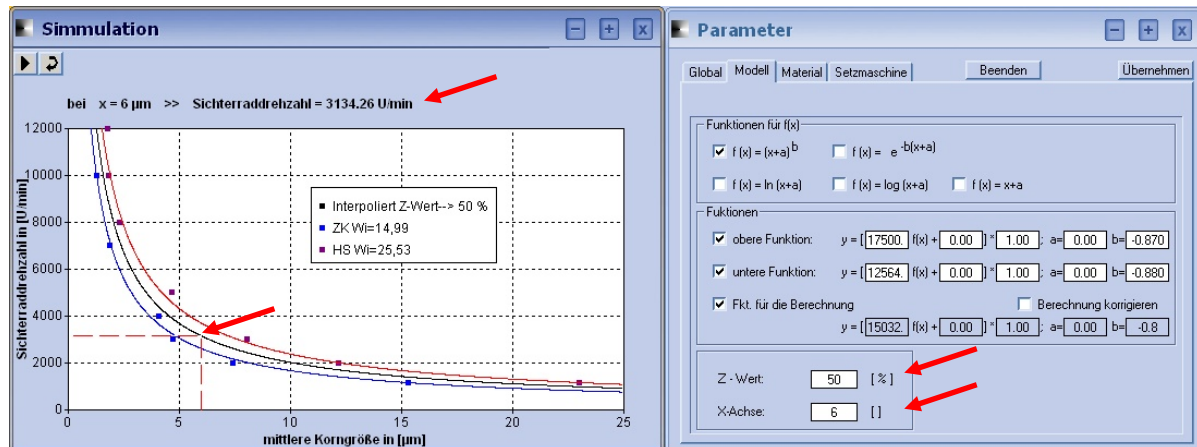


Abb. 14: Berechnung der resultierenden Funktion Simulation des Anlagendurchsatzes

In Abb. 14 soll für ein Material mit einem spezifischen Arbeitsindex von $W_i = 20,00 \text{ kWh/t}$ eine Simulation durchgeführt werden. Hierfür wird ein z-Wert in Prozent angegeben, der dem W_i -Wert entspricht. Dabei entsprechen 0% dem W_i -Wert der unteren und 100 % dem der oberen Funktion. In diesem Fall ist der z-Wert 50 %, da der W_i -Wert genau dem Mittel entspricht. Während der Simulation wird, wie unter Punkt 0 beschrieben, eine resultierende Funktion ermittelt. Mit dieser ist es möglich, wie im Schritt 3 durch Vorgabe einer mittleren Korngröße die Sichterraddrehzahl und den Anlagendurchsatz zu berechnen.

Da es sich hier um ein empirisches Modell handelt, kann nur in den Grenzen simuliert werden, in denen auch Messdaten vorliegen. Je weiter man sich von diesen Messdaten entfernt, desto größer werden die Abweichungen von der Realität. Aus diesem Grund sollte es jedoch vermieden werden einen z-Wert zu verwenden, welcher deutlich ober- bzw. unterhalb der Grenzfunktionen liegt. Extrapolationen sind bis zu 10 % vertretbar.

4 Weiterentwicklung der Software

Die Software *ProcSim* befindet sich derzeit noch im Entwicklungsstadium (Alpha-Version). Grundlegende Funktionen sind bereits integriert und funktionstüchtig, jedoch müssen Anwenderfunktionen überarbeitet bzw. hinzugefügt werden, damit die Bedienbarkeit und der Umgang mit den Messdaten optimal und effizient gestaltet werden kann.

Im weiteren sollen folgende Programmerweiterungen hinzugefügt werden:

- automatische Erkennung der Funktionsart

Das heißt, die Software soll mithilfe einer automatischen Erkennungsroutine feststellen, ob die Messdaten einer linearen, potenziellen, polynomischen, exponentiellen oder logarithmischen Funktion entsprechen.

- automatische Erkennung der Funktionsparameter
Bei der Ermittlung der Trendlinie müssen die Funktionsparameter vom Anwender vorgegeben werden. Da dies sehr aufwendig und ungenau ist, wird bereits an einer automatischen Parametererkennung für die einzelnen Funktionstypen gearbeitet. Ebenso soll eine Korrelationsanalyse integriert werden.
- nichtlineare Interpolation zur Ermittlung der resultierenden Funktion
Wie unter Punkt 2.2 Schritt 4 schon angesprochen wurde, kann zwischen den Parametern der oberen und unteren Funktion nur linear interpoliert werden, um anhand eines z-Wertes eine resultierende Funktion zu berechnen. Da es aber sehr oft der Fall ist, dass nichtlineare Abhängigkeiten bestehen, soll die Software um diese Funktion erweitert werden.
- dreidimensionales Diagramm
Im Zusammenhang mit der nichtlinearen Interpolation soll die Darstellung der z-Achse im Diagramm realisiert werden. So können Messdaten und Simulationsergebnisse kompakter und übersichtlicher dargestellt werden. Weiterhin ergibt sich die Möglichkeit Simulationsergebnisse in Form von dreidimensionalen Flächendiagrammen darzustellen.

Die genannten Programmerweiterungen sollen bis zum 3. Quartal 2005 in die Software eingearbeitet werden, sodass bis zu diesem Zeitpunkt eine erste Beta-Version zur Verfügung stehen wird. Anschließend erfolgt ein Betatest mit ausgewählten Anwendern.

Sollten Sie Interesse an der Software *ProcSim* haben, so können Sie sich als Beta-Tester unter der E-Mail-Adresse lars.wienke@epromod.de oder unter <http://www.epromod.de> bewerben.

5 Zusammenfassung

Die im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einer neuen Maschinenteknik zur nassmechanischen Trennung von Stoffen nach ihren spezifischen Gewichten“ erstellte Simulationssoftware *JigSim* ließ erkennen, dass sich mit der Methode, basierend auf der empirischen Modellierung, beachtliche Simulationsergebnisse erzielen lassen.

Daraufhin entstand die Software *ProcSim*, welche auf dem gleichen Prinzip der Modellierung beruht, jedoch durch die Anpassungsfähigkeit für eine Reihe von verfahrenstechnischen Prozessen angewendet werden kann.

Am Beispiel der Kreislaufmahlung konnte das Potenzial der Modellierungsmethode gezeigt werden. Mit zum Teil nur wenigen Messdaten konnte für das gesamte Spektrum an Sichterraddrehzahlen eine stoffspezifische Simulation durchgeführt werden. Teilweise ist es sogar möglich, unter Einbeziehung des spezifischen Arbeitsindex, Mahlvorgänge mit Materialien zu simulieren, welche zuvor noch nicht auf der Anlage verwendet wurden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn über die Materialeigenschaften weiteres Datenmaterial vorliegt.

Die Software *ProcSim* ist ein Hilfsmittel um verfahrenstechnische Anlagen simulieren zu können und eignet sich daher insbesondere für Firmen aus dem Sektor der Verfahrenstechnik. Mit dem Modell einer Anlage kann ein Unternehmen schnell auf Produktwünsche ihrer Kunden reagieren und verfahrenstechnische Einstellungen optimal vorausberechnen.

Ein weiteres Einsatzgebiet für *ProcSim* ist in den Universitäten und Fachhochschulen zu finden. Hier werden häufig Modelle benötigt, um Vorgänge, welche bereits experimentell untersucht worden, mathematisch beschreibbar zu machen. Um somit ein Mittel zur Versuchsauswertung zu besitzen und Rückschlüsse auf die stattfindenden Vorgänge ziehen zu können.

Mit der Weiterentwicklung der Software ist sicher gestellt, dass sich die Anwenderfreundlichkeit und die Modellierung weiter verbessern. Eine erste Anwenderversion der Software *ProcSim* wird gegen ende des Jahres 2005 zur Verfügung stehen.

Für aktuelle Informationen, auch in Bezug auf den Betatest, informieren Sie sich bitte auf der Projekthomepage (<http://www.epromod.de>).

Literaturverzeichnis

- [1] Förster, E.; Rönz, B.: Methoden der Korrelations- und Regressionsanalyse : ein Leitfaden für Ökonomen. Berlin, Verl. Die Wirtschaft, 1979
- [2] Heimann, D.: Untersuchungen zum Mahlverhalten von Altbeton. Diplomarbeit. Bauhaus-Universität Weimar. 2000
- [3] Wienke, L.: Modellierung der Kreislaufmahlung mit der Kugelmahl-Sichtanlage. Diplomarbeit. Bauhaus-Universität Weimar. 2000
- [4] Höffl, K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. 1987
- [5] Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. 4. Aufl. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. 1989
- [6] Brey, A.: Mahlbarkeit von Feststoffen. Praktikum "Mechanische Verfahrenstechnik". Bauhaus-Universität Weimar. 1988

Verfasser:

Dipl.-Ing. Lars Wienke, Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller,
Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung
Bauhaus-Universität Weimar
Coudraystrasse 7, 99423 Weimar

E-Mail: lars.wienke@bauing.uni-weimar.de oder
anette-m.mueller@bauing.uni-weimar.de

Homepage: <http://www.epromod.de>

Tel.: 03643/5846-53 oder 06