

Dieses Dokument stammt von:

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

**Ihr Partner für Visualisierungen in der Architektur,
im Maschinenbau und der Verfahrenstechnik.**



2D / 3D Visualisierung und Animation für

- e-Learning, Schulung, interaktive Software
- Präsentationsfilme, Exposés, Printmedien, Messeauftritt
- Internetauftritte, Präsentationssoftware, Kundengespräche
- Marketing geplanter Bauten, Qualitätssicherung
- Digitale Handbücher bzw. Bedienungsanleitungen

Auf der nächsten Seite finden Sie das angeforderte Dokument.

Untersuchungen zur Optimierung der Setzmaschinentechnik

Dipl.-Ing. Lars Wienke, Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller

1 Einleitung

Das Nasssetzen ist ein in der Grundstoffindustrie mindestens seit Agricola bekanntes Verfahren. Ursprünglich in erster Linie für die Kohle- und Erzaufbereitung eingesetzt, gewinnt es in jüngerer Zeit auch für die Abfallaufbereitung zunehmend an Bedeutung. Bei diesem Übergang zu anderen Stoffsystemen wird offenkundig, dass die vorhandenen Methoden zur verfahrenstechnischen Auslegung nicht anwendbar bzw. nicht ausreichend sind. Das hat zusammen mit den neuen Möglichkeiten der Simulation von Prozessen mittels Computer zur Folge, dass von verschiedenen Gruppen an Diskreten Elemente-Modellierungen für die Grundvorgänge des Setzens gearbeitet wird. Diese Modelle zielen vor allem darauf ab, Bewegungs- und Schichtungsvorgänge zu erfassen und vorhersagbar zu machen. Trotz dieser viel versprechenden Ansätze liegen bis heute keine Erkenntnisse vor, die eine objektive verfahrenstechnische Auslegung von Setzmaschinen ermöglichen.

Die Hersteller von Setzmaschinen sind mit dem Problem konfrontiert, dass sie für ihr Produkt die maschinen- und verfahrenstechnische Gewährleistung übernehmen müssen. Sie benötigen eine Basis, welche die verfahrenstechnische Auslegungen für definierte Aufgabenstellungen ermöglicht. Hierzu dienen i.d.R. Erfahrungen aus der Praxis und Untersuchungsberichte, in denen z.B. dokumentiert ist, welchen Einfluss verschiedene Parameter wie Partikelgröße, Partikelform, Dichte usw., auf das verfahrenstechnische Ergebnis haben. Häufig sind die Aussagen in solchen Unterlagen jedoch nur unzureichend quantifiziert, manchmal sogar nur qualitativ. Erfahrung und fundierte Kenntnisse über die Hintergründe der verfahrenstech-

nischen Prozesse ermöglichen es dem Fachmann aber trotzdem, eine mehr oder weniger genaue quantitative Aussage über die Größe und Konfiguration der auszulegenden Maschine zu machen. Fehlt allerdings ein gültiges mathematisches Modell, dann besteht die Gefahr, dass unterschiedliche Fachleute, trotz gleicher, aber interpretierbarer Informationen, zu unterschiedlichen Ergebnissen gelangen. Ohne Modell sind neu hinzugekommene Erkenntnisse nur schwer zu integrieren. Das hat u.a. zur Folge, dass die Möglichkeiten vorhandener Setzmaschinen nicht optimal genutzt und Weiter- bzw. Neuentwicklungen nicht so gezielt betrieben werden können, wie dies auf Basis einer brauchbaren mathematischen Beschreibung möglich wäre.

2 Zielstellung des Projektes

Der unzureichende Wissensstand über das nassmechanische Dichtesortieren und die zunehmende Bedeutung dieses Verfahrens für die Abfalltrennung sind für das Institut für Technische Dokumentation, Schulung und Beratung GmbH, die Bauhaus-Universität Weimar und das ift – Institut für Fertigkeitstechnik und Fertigungsbau Weimar e.V. Anlass zu einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des Förderprogramms »Innovationskompetenz« geförderten Forschungsarbeit, welche die Optimierung der Setzmaschinentechnik und

die Anpassung an die neuen Einsatzgebiete zum Inhalt hat. Ziele sind die Verbesserung der Trennergebnisse sowie Senkung der Investitions- und Betriebskosten durch Veränderungen der Materialbewegungen.

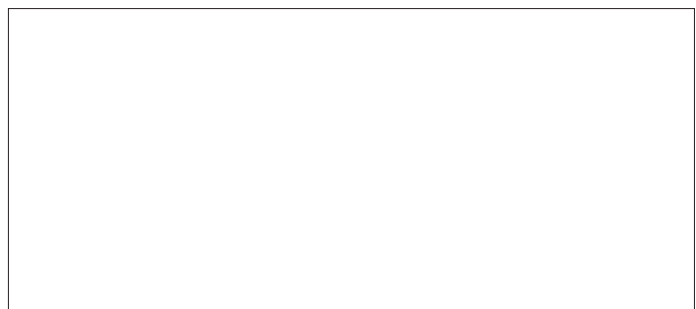
Damit eine optimale Abstimmung von Setzmaschinen auf die jeweilige Aufgabenstellung und eine gezielte Weiterentwicklung ermöglicht werden, soll ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Nasssetzprozesses auf Basis theoretischer Betrachtungen und empirischer Untersuchungen entwickelt werden.

Auf Basis der im Projektverlauf gewonnenen Erkenntnisse soll eine optimierte Setzmaschine zur nassmechanischen Sortierung von Stoffen nach ihren spezifischen Dichten entwickelt werden. Ziele sind die Verbesserung der Trennergebnisse sowie die Senkung der Investitions- und Betriebskosten durch Veränderungen der Materialbewegungen.

3 Grundsätzlicher Aufbau und Funktionsweise von Nasssetzmaschinen

Nasssetzmaschinen bestehen aus einem Setzfass mit einem geeigneten Setzgutträger (in der Regel ein Siebboden aus Kunststoff), einer Einrichtung zur Flüssigkeitspulsation (mechanischer Hub, Luftpulsation) und einem Austrag (Schieber, Schwenkbett, Wehr, Zellenradschleuse). In Abb. 1 ist beispielhaft eine Nasssetzma-

Abb. 1:
Prinzip einer
Nasssetz-
maschine [1]



schine dargestellt, deren Flüssigkeitspulsation durch Auf- und Abbewegung eines beweglichen, mit Wasser gefüllten Unterkastens, der gegen das statische Setzfass mit Membranen abgedichtet ist, realisiert wird.

Es ist bekannt, dass eine Partikelschicht unter der Wirkung eines aufströmenden Fluids aufgelockert wird. Weiter ist bekannt, dass eine aufgelockerte Schicht, bei der die gegenseitige Partikelbeeinflussung weitgehend aufgehoben ist, einem stabilen Zustand zustrebt. Bei gleicher Partikelgröße bedeutet das, dass eine Schichtung nach der Partikeldichte erfolgt. Beim Setzprozess wird das zu sortierende Gut auf einen Setzgutträger aufgegeben, der aus einem Rost oder Siebbelag besteht. Beim Setzprozess strömt das Fluid periodisch auf und ab, wodurch die Gutschicht bzw. das Setzbett infolge der pulsierenden Fluidströmung jeweils kurzzeitig aufgelockert wird. In dieser Auflockerungsphase können sich die Teilchen relativ zueinander bewegen, wobei sich die Partikel mit geringeren Dichten über denen mit der höheren Dichte einordnen. Die sich so ausbildende Schichtenfolge kann dann mit Hilfe von Austragsvorrichtungen oberhalb des Setzgutträgers ausgetragen werden [2].

Neben der Schichtung muss ein Materialtransport durch die Setzmaschine realisiert werden. Das geschieht durch die Neigung des Setzgutträgers, Hubarbeit und Wasserströmung in Richtung Austrag. Das Setzgut bewegt sich somit während des Sortiervorganges in Förderichtung. Sortiertes Leicht- und Schwergut werden anschließend getrennt ausgetragen.

Das Nasssetzvorgang lässt sich somit in folgende Einzelprozesse unterteilen [3]:

- Auflockern des Setzbettes
- Sortieren der Partikel nach der Dichte während der Sedimentationsphase
- Transport
- Austrag

Der Vorgang des Sortierens nach der Dichte hat eine bemerkenswerte Folge [4]:

Die potentielle Energie des unsortierten Aufgabegutes ist größer als die potentielle Energie des sortierten Gutes. Somit liegt der Schwerpunkt des

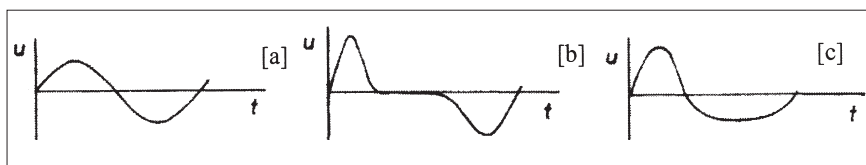


Abb. 2: Setzhub-Zeit-Diagramme $u = f(t)$ [5]

unsortierten Aufgabegutes über dem Schwerpunkt des sortierten Gutes.

4 Versuche zur Optimierung der Setzmaschinenteknik

Die Frage, welchen Einfluss das Setzhubdiagramm auf den Setzvorgang hat, ist bis jetzt noch nicht eindeutig geklärt worden. Auf der einen Seite zeigen die Versuche, dass mit asymmetrischen Schwingungen Verbesserungen bei der Setzbarkeit erreicht werden. Hierbei wird ein schneller Anhub und ein wesentlich langsamerer Abhub gefordert. Auf der anderen Seite sind nicht wenige Autoren der Auffassung, dass das harmonische Diagramm allen Ansprüchen genügt oder sogar dass die Form des Setzhub-Diagramms von untergeordneter Bedeutung ist, wenn nur Hub, Hubzahl und Unterwasserstrom entsprechend geeignet gewählt sind [5].

In Abb. 2 sind verschiedene Geschwindigkeitsdiagramme für Setzzyklen dargestellt. Der weit verbreitete sinusförmige Verlauf ist in Abb. 2a zu sehen. Der Zyklus nach Abb. 2b liefert einen verzögerten Abstrom und ist bei druckluftgesteuerten Setzmaschinen anzutreffen. Ihm liegt der Gedanke zugrunde, den Auflockerungszustand möglichst lange zu erhalten. Mayer [4] sah auf Grundlage seiner Vorstellungen das in Abb. 2c dargestellte Geschwindigkeitsdiagramm als optimal an. Durch einen kräftigen Aufstrom soll das Bett im ganzen angehoben werden. Das Absinken soll sich im ruhigen Fluid vollziehen und schließlich der Hub bei geringem Abstrom ausklingen.

4.1 Versuchsmaterial

Die Sortierbarkeit von Materialgemischen mittels eines Setzvorganges hängt von den Dichteunterschieden und der Korngröße des Gemisches ab. Nach Schubert kann die Sortierbarkeit anhand des Quotienten

$$q = \frac{\rho_s - \rho_F}{\rho_L - \rho_F}$$

- q Sortierbarkeit
- ρ_s Dichte der spezifisch schweren Komponente
- ρ_L Dichte der spezifisch leichten Komponente
- ρ_F Dichte des Fluids

beurteilt werden [5]. Bei folgenden Werten von q ist ein Gemisch in Abhängigkeit von der Korngröße sortierbar:

- q > 2,5 Trennung bis zu Korngrößen von etwa 100 μm herab möglich
- q > 1,75 Trennung bis 200 μm herab möglich
- q > 1,5 Trennung bis zu 1,5 mm abwärts möglich, aber schwierig
- q > 1,25 Trennung bei noch größerem Gut mit mäßigem Erfolg möglich
- q < 1,25 durch Setzen keine Trennung möglich.

Bei der hier untersuchten Fraktion 1/4 mm stellt eine Sortierbarkeit von $q = 1,5$ also einen Grenzwert dar, oberhalb der ein Sortiereffekt erreicht werden kann. Anhand dieses Grenzwertes und des Stoffbestandes, der in Bauabfällen häufig vorkommt, wurden Versuchsmaterialien ausgewählt (siehe Tabelle 1). Durch die Auswahl von Steinkohle soll das in Bauabfällen enthaltene Altholz berücksichtigt werden, dass ähnliche Dichten aufweist. Allerdings sind die Farbkontraste, die für die Bildanalyse erforderlich sind, in Gemischen wie Altholz-Ziegel nicht deutlich genug. Dagegen hebt sich die Steinkohle aussagekräftig von den übrigen Komponenten ab.

Die Dichteunterschiede und die berechneten Sortierbarkeiten (Tabelle 2) zeigen, dass die ausgewählten Gemische einen ausreichend breiten Bereich repräsentieren.

Tabelle 1: Rohdichte der einzelnen Materialien

Material	Korngröße d_0 in [mm]	ρ_a in [g/cm ³]	ρ_{rd} in [g/cm ³]	ρ_{ssd} [in g/cm ³]
Steinkohle	1 - 4	1,10	0,90	1,08
Altbeton	1 - 4	2,60	2,20	2,36
Ziegel	1 - 4	2,57	1,67	2,02
Gipskarton	1 - 4	Wert aus Literatur $\rho = 1,2 \text{ g/cm}^3$		

ρ_a – scheinbare Rohdichte
 ρ_{rd} – Rohdichte auf ofentrockener Basis
 ρ_{ssd} – Rohdichte auf wassergesättigter und oberflächentrockener Basis [ssd: saturated surface dry]

Tabelle 2: Dichteunterschiede in den Gemischen

Materialgemisch	Dichteunterschied $\Delta\rho_{ssd}$ in [g/cm ³]	Sortierbarkeit q
Ziegel / Altbeton	0,34	1,33
Steinkohle / Altbeton	1,28	17,0
Steinkohle / Ziegel	0,94	12,75
Gipskarton / Altbeton	1,16	6,8

4.2 Versuchsstand

Der Versuchsstand wurde vom IFF Weimar e.V. konstruiert. Als Erregersystem kommt der TIRAVib-Shaker zum Einsatz, der speziell für die Setzversuche mit einer Wanne und einem Setzgutträger ausgerüstet wurde. Am Versuchsstand können folgende Parameter variiert werden:

- Setzbethöhe
- Frequenz
- Kurvenform
- Dauer des Setzprozess
- Hub
- Wasserhöhe in der Wanne

Da eine Variation aller Parameter aus Zeitgründen nicht realisierbar war, wurden nur die entscheidenden Einflussgrößen, wie Frequenz, Kurvenform, Hub und Setzdauer verändert.

Abb. 3: TIRAVib-Shaker



Eine Setzbethöhe von $10 \cdot d_0 = 40 \text{ mm}$ bis $20 \cdot d_0 = 80 \text{ mm}$, wie sie Schubert vorschlägt [5], konnte nicht realisiert werden, da der Siebrand nur 70 mm hoch ist und das Material beim Setzvorgang über den Siebrand befördert würde. Experimentell erwies sich eine Setzbethöhe von 45 mm als praktikabel.

Schwerpunkt der Versuche war es,

den Einfluss der Schwingungsform auf das Setzergebnis zu untersuchen. Insgesamt konnten 13 Kurvenformen in 52 Testreihen und 140 Versuchen untersucht werden.

4.3 Ergebniserfassung

Die Ergebniserfassung erfolgte visuell bzw. durch eine Bildanalyse, durch Dichtemessungen an einzelnen Proben und durch die Bilddokumentation. Während des Versuches wurden mit Hilfe eines an der Wanne angebrachten Schwingungssensors die Bewegungen der Wanne in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Damit ist es möglich, das Weg-Zeit-Diagramm (Abb. 4) jedes Versuches aufzuzeichnen und später auszuwerten. Ebenso gibt dieses Signal Aufschluss über den aktuellen Hub.

Für die visuellen Erfassung der Schichtung wurde das Material bis zur Hälfte des Setzbettrügers entfernt. Anschließend wurde die Schichtung von schräg oben fotografiert (siehe Abb. 5). Die Position der Kamera wurde während der gesamten Versuchsreihe nicht verändert.

Die Auswertung der fotografisch festgehaltenen Setzergebnisse erfolgte

Abb. 4: Bilderfassung des Setzergebnisses

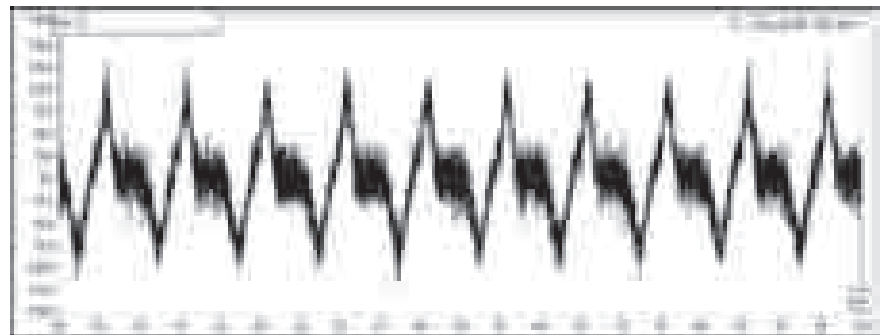
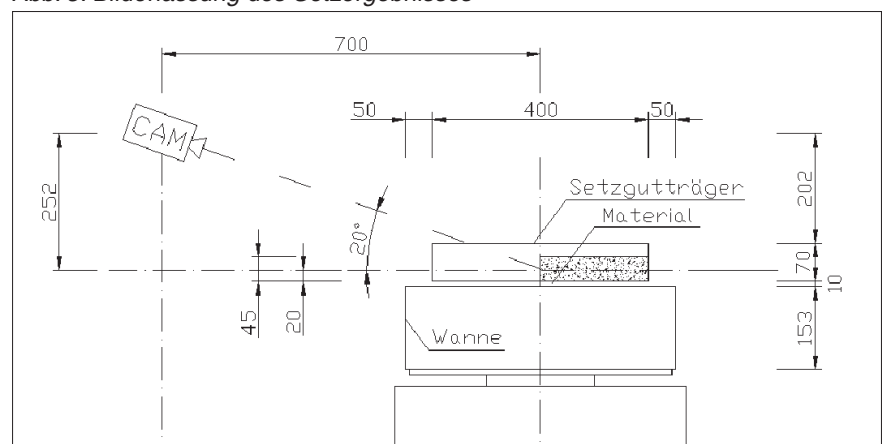


Abb. 5: Bilderfassung des Setzergebnisses



nach zwei Methoden. Die eine ist die augenscheinliche Begutachtung der Schichtung, wobei das Setzergebnis in einzelne Ergebnisklassen, von vollständiger Trennung (+++) bis keinerlei Trennung (-), eingestuft wird. Die zweite Methode ist die Bildauswertung am Computer. Hierbei wird anhand der Farbunterschiede erkannt, welcher Anteil an Leichtgut sich im unteren Schwergutbereich befindet.

Bei der Computerauswertung wird das Bild in zwei Bereiche geteilt, den oberen Teil, welcher die Leichtgutschicht darstellt und den unteren Teil mit der Schwergutschicht. Für die Auswertung ermittelt nun der Computer den Anteil an schwarzen Partikeln im unteren Teil. Je geringer dieser prozentuale Wert ist, desto besser ist die Schichtung gelungen. Der als p_s bezeichnete schwarze Flächenanteil bewegt sich zwischen 0 und 50 %. 0 % bedeutet eine ideale Trennung. Bei 50 % hat keinerlei Trennung stattgefunden. Zusätzlich erfolgt am Ende einer Versuchsreihe eine Probenahme. Hierbei wird schichtweise das Leichtgut und das Schwergut entnommen. Anhand einer späteren Dichtebestimmung können Aussagen über den Erfolg des Setzvorganges getroffen werden.

5 Versuchsergebnisse

5.1 Einfluss der Dichteunterschiede der Materialgemische

In Tabelle 3 sind die Versuchsergebnisse der untersuchten Materialgemische im Vergleich aufgeführt. Es wurden asymmetrische Schwingungs-

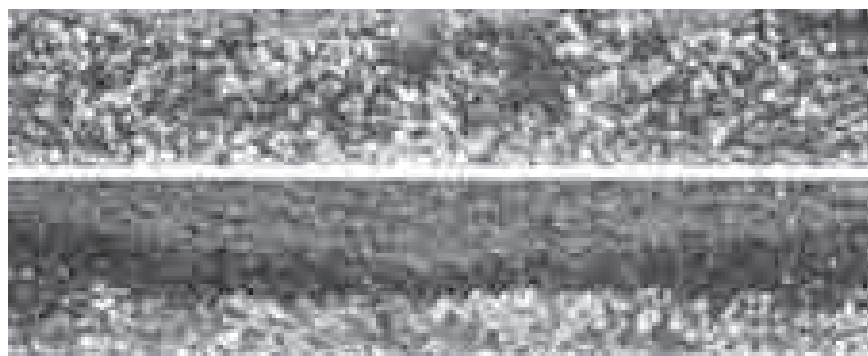


Abb. 6: oben – Setzergebnis bei einem Hub von $h_{Hub} = 14,08$ mm, unten – $h_{Hub} = 19,07$ mm

formen gewählt, die im Laufe der Versuche als günstig erkannt wurden. Die Einstufung der Sortierbarkeit q kann mit den aufgeführten Versuchen bestätigt werden. Für das Gemisch Ziegel / Altbeton wurde eine Sortierbarkeit von 1,33 berechnet, bei der nach SCHUBERT eine Trennung nur bei größerem Gut mit mäßigem Erfolg möglich ist. Obwohl für dieses Gemisch optimale Versuchsparameter gewählt wurden, war keine Trennung möglich. Die drei anderen Gemische hingegen haben einen q -Wert größer 2,5. Erwartungsgemäß konnte bei relativ geringer Setzzeit und kleinem Hub eine gute Trennung erreicht werden.

5.2 Einfluss des Hubs

Der Hub ist in erster Linie nach den Erfordernissen der Auflockerung festzulegen und hängt folglich von der Setzbethöhe bzw. der oberen Aufgabekorngröße d_0 ab. Für den optimalen Hub wird folgender empirisch ermittelter Zusammenhang angegeben [5]:

$$h = 8,1 \cdot d_0^{0,6} \quad \begin{matrix} h & \text{in mm} \\ d_0 & \text{in mm} \end{matrix} \quad (1)$$

Nach diesem Zusammenhang würde sich bei einer oberen Korngröße von 4 mm ein Hub von rund 19 mm ergeben. Da sich ein größerer Hub positiv auf das Setzergebnis auswirkt, sollte für alle Versuche ein Hub von 20 mm eingestellt werden. Während der Versuche zeigte sich allerdings, dass der maximale Hub abhängig von der Kurvenform ist und die 20 mm nicht immer erreicht werden konnten. Aus diesem Grund wurde entschieden, teilweise mit einem Hub von 14 mm zu arbeiten, um dennoch die verschiedenen Kurvenformen miteinander vergleichen zu können.

Die Abb. 6 veranschaulicht am Beispiel des Steinkohle-Altbeton-Gemisches, dass ein größerer Hub zu einem besseren Setzergebnis führt. Die Setzdauer betrug bei beiden Versuchen 20 Sekunden. Bei einem Hub von 14 mm konnte keinerlei Schichtung festgestellt werden, dagegen erfolgte bei einem Hub größer 19 mm eine schon fast perfekte Trennung.

5.3 Einfluss der Schwingungsform

Es wurden 3 Schwingungsformen in Anlehnung an Abb. 2 untersucht. Als weitere Einflussgröße wurde untersucht, wie sich ein Impuls auf die Trennung auswirkt. In der Gegenüberstellung zur harmonischen Schwingung K3 wurden in der Absinkphase verzögerte Schwingungen K7 und K8 sowie Schwingungen mit einem überlagerten Impuls K3P und K5P untersucht. In Tabelle 4 sind die in bezug auf die Schwingungsform interessantesten Versuchsreihen für die Materialkombination Steinkohle/Altbeton aufgeführt. Bei diesen Versuchen wurde darauf geachtet, dass Parameter wie Frequenz ($f = 1$ Hz) und Setzbett-

Tabelle 3: Materialgemische und ihre Setzbarkeit

Versuch	Kurvenform	Setzdauer in [s]	sonstige Parameter	augenscheinliche Beurteilung
Ziegel / Altbeton	K7	120	$h_{Hub} = 19$ mm	–
Ziegel / Altbeton	K5P	60	$h_{Hub} = 19$ mm	–
Steinkohle / Altbeton	K7	60	$h_{Hub} = 14$ mm	+
Steinkohle / Altbeton	K5P	60	$h_{Hub} = 14$ mm	++
Steinkohle / Ziegel	K7	30	$h_{Hub} = 14$ mm	++
Steinkohle / Ziegel	K5P	60	$h_{Hub} = 14$ mm	++
Gipskarton / Altbeton	K7	30	$h_{Hub} = 14$ mm	+++
Gipskarton / Altbeton	K5P	60	$h_{Hub} = 14$ mm	+

K7 - asymmetrische Schwingung ähnlich wie Abb. 2b
 K5P - asymmetrische Schwingung ähnlich wie Abb. 2c mit Impuls
 ++++ perfekte durchgehende Schichtung
 +++ perfekte Schichtung in der Mitte / Rand leicht vermischt
 ++ perfekte Schichtung in der Mitte / Rand stark vermischt
 + gute Schichtung in der Mitte / Rand stark vermischt

– leichte Schichtung
 -- dünne Leichtgutschicht auf dem Setzbett
 --- keine Veränderung

Tabelle 4: Versuche für die Kurvenauswertung

Nr.	Gemisch	Kurvenform	Zeit in [s]	h_{Hub} in [mm]	augenscheinliche Beurteilung	Schwarzanteil p_s
1	Steinkohle / Altbeton	K3	120	19	—	-
2	Steinkohle / Altbeton	K7	30	22	++++	22,3
3	Steinkohle / Altbeton	K3P	50	19	++	13,2
3	Steinkohle / Altbeton	K7	60	14	+	31,7
4	Steinkohle / Altbeton	K5P	30	19	++++~	13,0
5	Steinkohle / Altbeton	K5P	60	14	++~	16,6
6	Steinkohle / Altbeton	K5P	90	14	+++	13,5
7	Steinkohle / Altbeton	K8	60	14	++	26,4
9	Steinkohle / Ziegel	K8	60	14	+++	16,3
10	Steinkohle / Ziegel	K7	30	14	++	15,9
11	Steinkohle / Ziegel	K5P	60	14	++	13,3
12	Gipskarton / Altbeton	K8	60	14	+	15,3
13	Gipskarton / Altbeton	K7	30	14	+++	19,6
14	Gipskarton / Altbeton	K5P	60	14	+	29

K3 - harmonische Schwingung wie Abb. 2a
 K3P - harmonische Schwingung wie Abb. 2a mit Impuls
 K7 - asymmetrische Schwingung ähnlich wie Abb. 2b
 K8 - asymmetrische Schwingung ähnlich wie Abb. 2c
 K5P - asymmetrische Schwingung ähnlich wie Abb. 2c mit Impuls
 ++++ perfekte durchgehende Schichtung - leichte Schichtung
 +++ perfekte Schichtung in der Mitte / Rand leicht vermischt -- dünne Leichtgutschicht auf dem Setzbett
 ++ perfekte Schichtung in der Mitte / Rand stark vermischt --- keine Veränderung
 + gute Schichtung in der Mitte / Rand stark vermischt
 p_s - Anteil schwarzer Pixel im unteren Schwergutbereich (Bildauswertung)

höhe ($h = 45$ mm) konstant gehalten werden.

Günstige Setzergebnisse wurden mit den Schwingungskurven K3P, K5P, K7 und K8 erreicht. Um den Versuchsaufwand zu minimieren, wurden die Versuchsreihen mit den Gemischen Ziegel/Altbeton, Steinkohle/Ziegel und Gipskarton/Altbeton nur mit den erfolgreichsten Kurvenformen durchgeführt.

Aus den Untersuchungen ist zu erkennen:

- Mit der harmonischen Schwingung K3 wurde nur ein sehr schlechtes Trennergebnis erreicht, obwohl ansonsten mit optimalen Versuchsparemtern gearbeitet wurde.
- Die asymmetrische Schwingung K7 im Versuch 1 zeigt nach 30 Sekunden ein ausgezeichnetes Setzergebnis. Dies ist zum einen auf den großen Hub zurückzuführen und zum anderen auf eine günstige Kurvenform. Bei einer Verringerung des Hubes auf 14 mm zeigte sich, dass mit der Kurve K7 nur noch mittelmäßige Setzerfolge erzielt wurden.
- Mit der Kurvenform K5P stellte sich ebenso wie bei der K7 schon nach 30 Sekunden eine perfekte Schichtung ein. Dennoch ist anhand der p_s -Werte aus Tabelle 4 zu erken-

nen, dass die Kurve K5P ein besseres Setzergebnis hervorbringt als die Kurve K7. Diese Aussage gilt auch bei auf 60 s verlängerter Setzdauer und auf 14 mm verringertem Hub (Versuche 3 und 5).

- Bei den Versuchen mit der Kurvenform K8 war aufgrund der Versuchseinrichtung kein größerer Hub als 14 mm zu erreichen. Bei dieser Kurvenform liegt eine schnelle Anhubphase vor, gefolgt von einer Pause und einer langsamen Setzphase. Bei Versuch 7 konnte bereits nach 60 Sekunden ein gutes Setzergebnis nachgewiesen werden.

Als Fazit kann festgestellt werden, dass der Impuls eine positive Reaktion erzeugt, da nach der Anhubphase das Materialbett erschüttert wird und ein positiver Auflockerungseffekt entsteht. Nachteil eines solchen Impulses ist, dass ein hoher Energieaufwand und ein aufwendiges Erregersystem notwendig sind, welches diese Impulse erzeugen kann. Weiter folgt aus den Untersuchungen, dass die positiven Auswirkungen eines zusätzlichen Impulses nur bei einfachen Schwingungsformen auf treten. Bei komplizierten Kurven sollte deshalb versucht werden, den Impuls ohne Veränderung der Grundschwingung zu inte-

grieren. Nur dann ist eine Verbesserung des Setzergebnisses zu erwarten.

6 Zusammenfassung

Das seit Jahrhunderten bekannte und vor allem im Bergbau und in der Kiesindustrie eingesetzte Verfahren des Dichtesortierens durch Nasssetzen erhält gerade durch das in den letzten Jahren immer mehr forcierte Recyceln von Wertstoffen neue Impulse. Diesem Verfahren eröffnen sich dadurch ständig weitere Anwendungsgebiete – es gewinnt an Bedeutung.

Um Nasssetzmaschinen optimal einsetzen zu können, werden quantifizierbare Kenntnisse deshalb immer wichtiger. Damit eine optimale Abstimmung der Setzmaschinen auf die jeweilige Aufgabenstellung und eine gezielte Weiterentwicklung möglich wird, soll ein Modell zur Beschreibung des Nasssetzprozesses auf Basis theoretischer Betrachtungen und empirischer Untersuchungen entwickelt werden.

Anhand der bereits durchgeführten Untersuchungen konnten wichtige Daten für eine Modellierung gesammelt werden. Im Vordergrund dieser Untersuchungen stand die Kurvenform des Setz-Hub-Diagramms, allerdings war es ebenfalls erforderlich, Parameter wie die Zeit, den Hub oder die Frequenz zu variieren. Insgesamt konnten 13 Kurvenformen in 52 Testreihen und 140 Versuchen untersucht werden.

Während der Versuche stellte sich heraus, dass ein größerer Hub den Setzvorgang erheblich verbessert. Eine größere Setzdauer hat ganz klar einen positiven Einfluss. Jedoch konnte bei Problemgemischen mit geringeren Dichteunterschieden festgestellt werden, dass auch bei sehr langen Setzvorgängen keine Verbesserungen zu beobachten sind. Ebenso verhält es sich mit der Setzbethöhe. Je geringer sie ist, desto besser ist das Setzergebnis.

Bei den untersuchten Modellgemischen Steinkohle/Altbeton, Steinkohle/Ziegel und Altbeton/Gipskarton konnten gute Trennergebnisse erreicht werden. Jedoch konnte bei dem Materialgemisch Altbeton/Ziegel auch bei Verwendung optimaler Versuchsparameter kein Ansatz zu einer Schichtbildung erreicht werden.

Bei den Schwingungsformen stellte sich klar heraus, welche Kurvenform

bei den vorhandenen Parametern ungeeignet für den Setzvorgang ist. Positive Trennerfolge konnten mit den asymmetrischen Schwingungen erreicht werden. Zum Einsatz des Impulses ergab sich, dass dieser einen positiven Effekt haben kann, aber auch die eigentliche Schwingung zerstören kann. Bei den durchgeführten Versuchen konnte die Aussage aus der Fachliteratur bestätigt werden, dass eine schnelle Anhubphase und eine darauf folgende lange Setzphase eine positive Wirkung auf den Setzvorgang haben.

Auf Basis der in den Vorversuchen gewonnenen Erkenntnisse wird nun begonnen, eine optimierte Setzmaschine zur nassmechanischen Sortierung von Stoffen nach ihren spezifischen Gewichten zu entwickeln.

7 Quellenverzeichnis

- [1] Marx, G.; Moskala, R.; Schneider-Kühn, U.: Dichtesortieren auf Nasssetzmaschinen. *Aufbereitungs-Technik* 40 (1999)5, S. 215–224.
- [2] Hemming, W.: *Verfahrenstechnik*. Vogel Buchverlag, Würzburg 1993.
- [3] Magin, S.: *Verfahrenstechnische Auslegung von Schwingsetzmaschinen*, Diplomarbeit Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, April 1997.
- [4] Mayer, F.W.: Eine neue Erklärung des Setzvorganges und ihre Folge für die zweckmäßige Gestaltung des Setzhubdiagramms. *Glückauf* 87 (1951)33/34, S. 776–783.
- [5] Schubert, H.: *Aufbereitung Fester Stoffe. Band II: Sortierprozesse*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1996, S. 41–71.
- [9] Kellerwessel, H.: *Setzmaschinen, besonders für Recyclingaufgaben – Möglichkeiten, Grenzen, Bauarten*. *Aufbereitungs-Technik* 34 (1993), 10, S. 521-530.

Verfasser:

*Dipl.-Ing. L. Wienke,
Prof. Dr.-Ing. habil. A. Müller
Bauhaus-Universität Weimar
Professur Aufbereitung von
Baustoffen und Wiederverwertung
Coudraystraße 7
99423 Weimar
E-Mail:
lars.wienke@bauing.uni-weimar.de
oder
anette-m.mueller@bauing.uni-
weimar.de
Tel.: 0 36 43 / 58 46-53 oder -06*