

## **12. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2007**

Wirtschaft trifft Wissenschaft

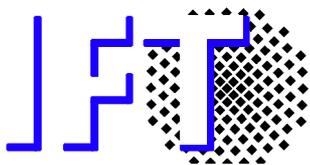
---

### **Versatzbaustoffe Eine Herausforderung für die Fördertechnik**

Dipl.-Ing. C. Vorwerk

Dipl.-Ing. T. Kuczera

Prof. Dr.-Ing. K.-H. Wehking



Dipl.-Ing. Christian Vorwerk

Universität Stuttgart

Institut für Fördertechnik und Logistik

Holzgartenstrasse 15 B

70174 Stuttgart



## **Versatzbaustoffe – Eine Herausforderung für die Fördertechnik**

*Bei der Planung schüttguttechnischer Förderanlagen wird aufgrund der zum Teil erheblich variierenden Eigenschaften des Fördergutes sehr viel Erfahrung benötigt. Für viele aktuelle Problemfälle konnten bisher noch keine befriedigenden Lösungen gefunden werden. Im Rahmen eines Industrieprojektes wurden die auftretenden Ausfallzeiten und Schwachstellen in der schüttguttechnischen Förderanlage eines Versatzbergwerkes identifiziert, die maßgeblich zu Störungen und Kosten führen. Des Weiteren wurden Schüttguteigenschaften und Umgebungseinflüsse untersucht um Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Schüttguteigenschaften und dem Fließverhalten herzustellen. Die Auswertung der auftretenden Störungen mit einer ABC/XYZ-Analyse hat ergeben, dass zum einen ein großer Teil der Förderprobleme durch kohäsive und adhäsive Einflüsse im Schüttgut entsteht und zum anderen ungeeignete Geometrien in Bunkern und Übergabestellen die Bildung von Anbackungen unterstützen. Durch die systematische und methodische Analyse einer Förderanlage konnten konstruktive Optimierungsmaßnahmen entwickelt werden.*

### **1 Einleitung**

Zur wirtschaftlichen Förderung von Schüttgütern werden in den verschiedensten Industriezweigen Gurtförderer eingesetzt. Gurtförderanlagen haben sich aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften durchgesetzt, so dass sie die wichtigsten und meist verbreiteten Förderer darstellen. Das ständige Interesse der Wirtschaft an einer weiteren Erhöhung des Fördervolumens und der damit verbundenen Steigerung von Förderleistung und Kapazität haben dazu geführt, dass eine Variantenvielfalt von Gurtförderern unterschiedlicher Abmessungen entstanden ist.

Vor allem im Bergbau findet der Gurtförderer ein sehr breites Anwendungsspektrum und hat sich hier zunächst Untertage und dann auch Übertage durchgesetzt, wo besonders schwierige Anforderungen an ihn gestellt werden, wie beispielsweise durch den Erzabbau, bei dem teilweise sehr abrasives Fördergut transportiert werden muss.

Neben der konstruktiven Auslegung der einzelnen Gurtförderer beeinflussen vor allem die Schüttguteigenschaften das Förderverhalten und damit die Leistungsfähigkeit einer Anlage, so dass es sinnvoll erscheint die Geomechanik in die Untersuchungen der Anlagen mit einzuschließen. Somit stellt die Optimierung von Gurtförderanlagen ein interdisziplinäres Handlungsfeld zwischen der Geomechanik (Untersuchung der Schüttguteigenschaften) und der Fördertechnik (Untersuchung der Konstruktionsteile der Anlage) dar.

Um die Anlagenplanung und –optimierung zu beschleunigen und bereits in der Planungsphase einer Neukonstruktion Schwierigkeiten erkennen und vermeiden zu können wird zunehmend eine Simulation und Modellierung der Förderprozesse durchgeführt.

## 2 Das Versatzbergwerk in Bad Friedrichshall-Kochendorf

Seit über 100 Jahren gewinnt die Südwestdeutsche Salzwerte AG (SWS) in den Bergwerkstandorten Heilbronn und Bad Friedrichshall-Kochendorf Salz. Im Jahre 1994 wurde der Standort Bad Friedrichshall-Kochendorf (siehe Bild 1) zum Versatzbergwerk umfunktionierte. Die durch bergbauliche Tätigkeit entstandenen Hohlräume werden nun zur Beseitigung von Abfällen unterschiedlichster Art genutzt. Die angelieferten staubförmigen oder stückigen Abfälle werden in Übertage gelegenen Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen gebrochen, z. T. mehrfach vermischt und mit stetigen und unstetigen Fördermitteln nach Untertage transportiert und dort dauerhaft eingelagert. Um diese Aufgabe wahrnehmen zu können, hat die SWS 1992 die Tochtergesellschaft UEV – Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH gegründet, die zusammen mit der Albert Huthmann GmbH für die Entsorgung und Aufbereitung der Versatzstoffe zuständig ist.



**Bild 1:** Versatzbergwerk Kochendorf

Pro Jahr werden mehrere 100.000t Abfälle in Form von Schüttgütern per LKW oder Bahn angeliefert. Dies sind beispielsweise:

- Rauchgasreinigungsrückstände aus Abfallverbrennungsanlagen,
- REA-Gips, Flugaschen und Kesselaschen aus Kohlekraftwerken,
- Böden mit schädlichen Verunreinigungen,
- Bauschuttmaterialien und Straßenaufbruch,
- Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen oder Hochofenprozessen,
- Gießerei-Reststoffe,
- Filterkuchen aus der Abwasserbehandlung verschiedener industrieller Anlagen,
- Salzhaltige wässrige Lösungen als Anmachwasser,
- Rückstände aus der Chlor-Alkalielektrolyse.

Dabei wird nicht aufzubereitendes Material direkt über Gurtförderanlagen zum Schacht gefördert (siehe Bild 3). Ein geringer Anteil der Stäube wird mit Wasser vermischt und anschließend mit einer ähnlich großen Menge von Schlacken aus der Direktannahme (Material direkt nach Anlieferung) homogen vermischt und zum Schacht des Bergwerkes gefördert. Das restliche Fördergutaufkommen ist gekennzeichnet durch schwierig zu fördernde Stäube, die mit Wasser vermischt zu Anbackungen führen, störende Anteile (z. B. Metalle) enthalten und wird von der Fa. Huthmann aufbereitet. Beispielsweise wird das Schüttgut hierbei von metallischem Schrott getrennt, gepuffert, vorgemischt, z. T. einige Tage zur Verfestigung gelagert, aufbereitet, ggf. erneut befeuchtet, in einem abgestuften Gemisch ansatzweise homogenisiert und dann ebenfalls mit Gurtförderern zum Schacht transportiert und im Versatz Untertage verbaut.

Nicht aufzubereitendes Material, das im „Direktversatz“ nach Untertage gefördert werden kann, ist gekennzeichnet durch:

- Grobentschrottung,
- Restfeuchte von 10-15%,
- Organische Anteile (Restorganik) von < 5%,
- Korngröße bis ca. 60mm,
- Geomechanische Versatzfunktion,
- Arbeitssicherheitliche Unbedenklichkeit im offenen Umgang.

## 2.1 Ausgangssituation

Trotz des inzwischen mehrjährigen Betriebs der fördertechnischen Anlage seit Juni 1998 und diversen Änderungen und Anpassungen vor allem zur Kapazitätserhöhung sind verschiedene Probleme bei der Schüttgutförderung noch nicht gelöst. Als wichtigste Ursache werden die nicht konstanten Stoffeigenschaften des einzulagernden Materials gesehen, die auch innerhalb eines einzigen Tages mehrfach drastisch wechseln können und eine Anpassung der Fördertechnik auf einen kontinuierlichen Förderprozess stark erschweren. Im Vergleich zu beispielsweise Baustoffen muss hier mit extremen Schwankungen aller Stoffeigenschaften gerechnet werden. Insbesondere hydraulisch bindende Materialien mit variierendem Wassergehalt führen deshalb häufig zu Überschüttungen von Übergabestellen oder Brückenbildung beim Bunkerabzug.

Der an Abstreifern und Auskleidungsmaterial von Schurren entstehende Verschleiß nimmt an verschiedenen Stellen der fördertechnischen Anlage für den Betreiber inakzeptable Größenordnungen an.

Durch eine Variation der Fördergeschwindigkeiten von Gurtförderern und die damit einhergehende Änderung der Abwurfparabeln von den Trommeln kommt es teilweise zu einer außermittigen Gutaufgabe am abziehenden Gurt einer Übergabestelle. Der dadurch maßgeblich verursachte Schiefelauf des abziehenden Fördergurtes verursacht weitere Schwierigkeiten, insbesondere erhöhten Gurtverschleiß.

Die mangelhafte Funktion der eingesetzten Abstreifer (bindendes Material setzt sich unter dem Abstreifer fest und hebt ihn vom Gurt ab) führt zu einem nennenswerten Anteil von Fördergut am Untertrum des Gurtes, das dort später abfällt und starke Verschmutzungen zur Folge hat. Dadurch ist der Einsatz von zusätzlichen Gurtförderern (Reinigungsbänder) zum Abtransport dieser Materiale sekundärströme an einigen Stellen nötig.

Die geometrische Ausführung der zum Einsatz kommenden den Gutstrom leitenden Schurren ist z. T. nicht an die Geschwindigkeitsverhältnisse des Gutstroms beim Auftreffen auf die Schurre (im gesamten Spektrum möglicher Fördergeschwindigkeiten) und an die Anforderungen an die Gutstromeigenschaften (Förderrichtung /-geschwindigkeit) beim Verlassen der Schurre angepasst und führt zu erhöhtem Verschleiß an den Schurrenaukleidungen und den abziehenden Gurtförderern.

## 2.2 Ziele

Im Rahmen des durchgeführten Projektes sollte zunächst nur die Übertage liegende schüttgutfördertechnische Anlage betrachtet werden. Der un stetige Transport des Materials nach Untertage im Förderschacht und die Förderanlage Untertage mit einer Gesamtlänge von mehreren Kilometern wurden nicht untersucht.

Bestandteile der Untersuchungen waren:

- Analyse der Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Schüttguteigenschaften und der Förderbarkeit bzw. dem Fließverhalten des Schüttgutes,
- Identifikation der Probleme in der Förderanlage und Analyse deren Ursachen,
- Ermittlung der Schwachstellen im Aufbereitungsprozess des Versatzmaterials, bzw. das Aufzeigen von Optimierungspotential.

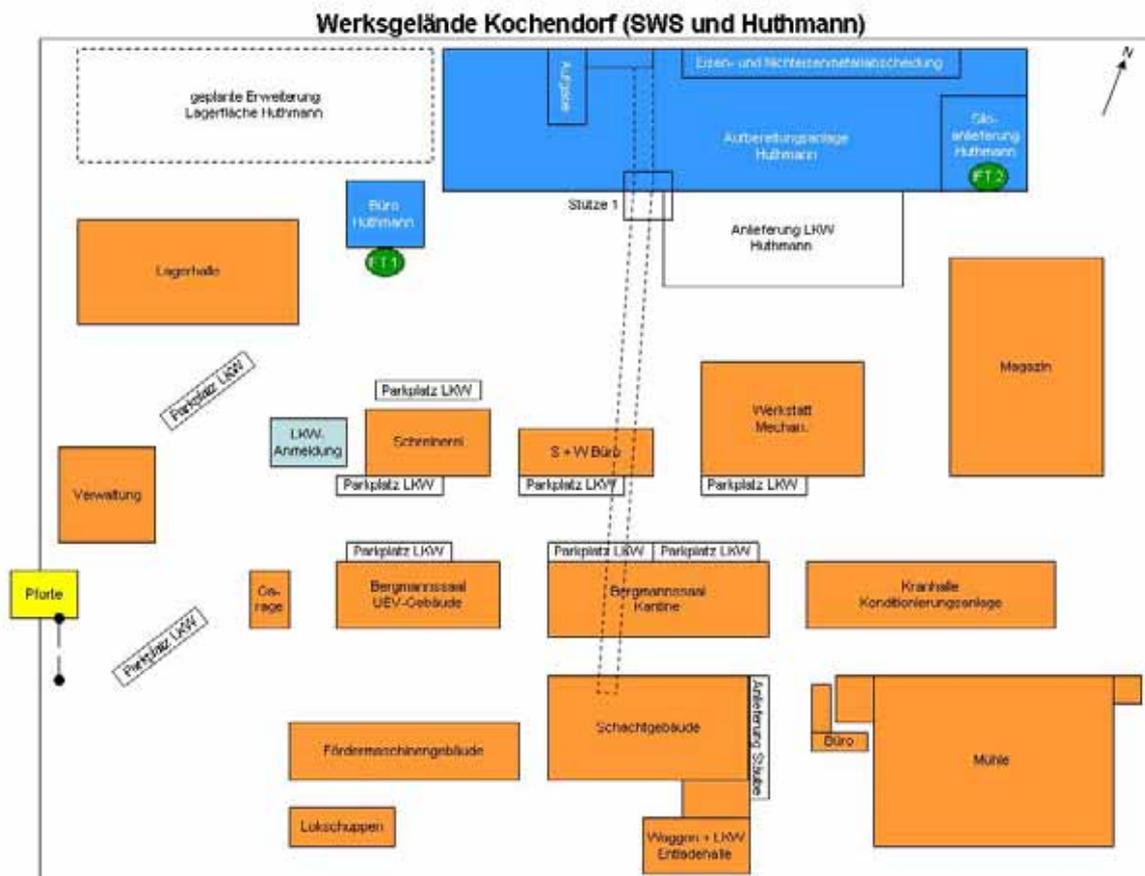
## 3 Systemanalyse der Versatzanlage

Durch den Abbau von Salz durch die Südwestdeutsche Salzwerke AG sind Hohlräume von vielen Mio m<sup>3</sup> entstanden. Um auf lange Sicht eine Einsturzgefahr zu vermeiden, müssen diese Hohlräume nach behördlichen Anordnungen in einem auf Jahrzehnte angelegten Programm wieder befüllt werden. Diese Aufgabe wird als Versatz bezeichnet und kann mit Hilfe von Abfallprodukten bewerkstelligt werden, so dass sich der Versatz wirtschaftlich bezahlt macht. Es handelt sich somit nicht um eine Untertagedeponie in der Reststoffe beseitigt werden, sondern um einen Untertageversatz.

Die umweltverträgliche Verwertung der Abfälle ist durch Anhydrit Gesteinsschichten, die sich über- und unterhalb der Hohlräume befinden gegeben, da diese einen vollständigen Einschluss gewährleisten (es kann kein Grundwasser durch diese Schichten dringen).

### 3.1 Versatzanlage Kochendorf

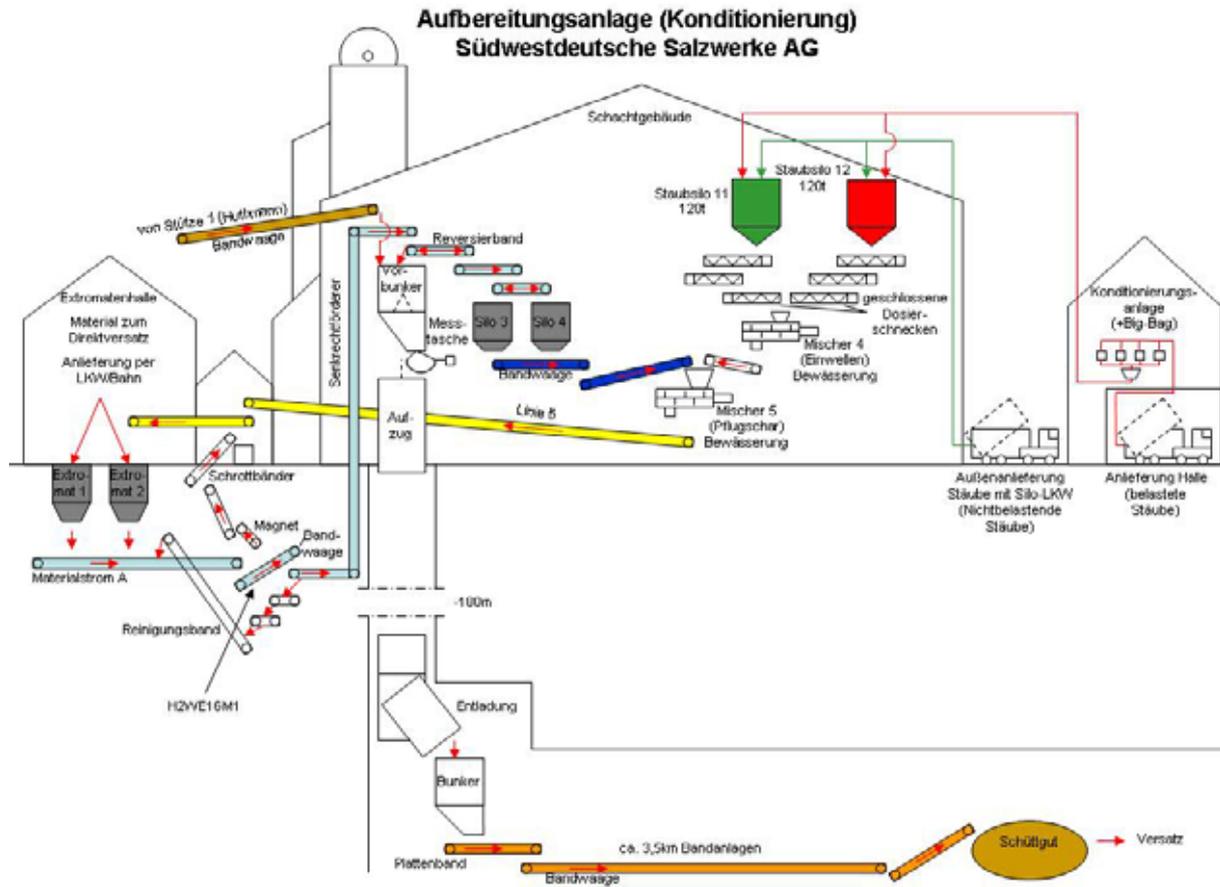
Der Versatzbetrieb findet auf dem Werksgelände der SWS statt (siehe Bild 2). Der größte Teil der Schüttgüter und Stäube wird via LKW angeliefert. Nach dem Passieren der Pforte werden die Ladungen der LKW im Portal (LKW-Anmeldung) registriert, wo ihnen eine Abladestelle zugeordnet wird. Nach meist kurzer Wartezeit können die LKW die Abladestelle anfahren und ihre Ladung abkippen. Bei der Fa. Huthmann sind mehrere Abladestellen für Schüttgüter und drei für Silo-LKWs mit Stäuben vorhanden. Die Anlieferung der Stäube findet auf dem Aufbereitungsgelände der Fa. Huthmann statt, wobei der Boden mit sehr feuchtem Versatzmaterial bedeckt ist. Um die LKW-Reifen nach erfolgter Abladung vom Versatzmaterial zu befreien um die Straßenbelastung sowie Umweltbelastung gering zu halten, wird die Auffahrt zum Huthmann-Gelände bewässert, wodurch sich das Versatzmaterial von den Reifen löst und dem Aufbereitungsplatz zugeführt wird.



**Bild 2:** Werksgelände Bergwerk Bad Friedrichshall-Kochendorf

Bei der SWS steht eine Extromatenhalle (Anlieferungshalle) mit zwei Silos, die jeweils getrennt voneinander befüllt werden können, zum Abladen der Schüttgüter zur Verfügung, in der Schüttgüter direkt nach der Abladung vom LKW oder Bahn in den Förderstrom eingeschleust werden. Unbelastete Stäube, die keine Schwermetalle enthalten oder über ein hohes Wasserstoffbildungspotential verfügen, werden vor dem Schachtgebäude entladen, wobei jeweils nur ein LKW entladen werden kann. Schwermetallbelastete Stäube werden in zwei abgeschlossenen Räumen ausgepumpt, und später mit anderen Stäuben ver-

mischt, so dass die Konzentration der Schwermetalle abnimmt. Um Verschmutzungen auf der LKW-Ladefläche zu entfernen, steht bei der Fa. Huthmann ein Reinigungsplatz zur Verfügung auf dem die LKW abgespritzt werden können. Verschmutzungen und Wasser werden auf den Aufbereitungsplatz geleitet und versetzt.



**Bild 3:** Aufbereitungs- und Konditionierungsanlage

### 3.1.1 Abwärtsförderung nach Untertage

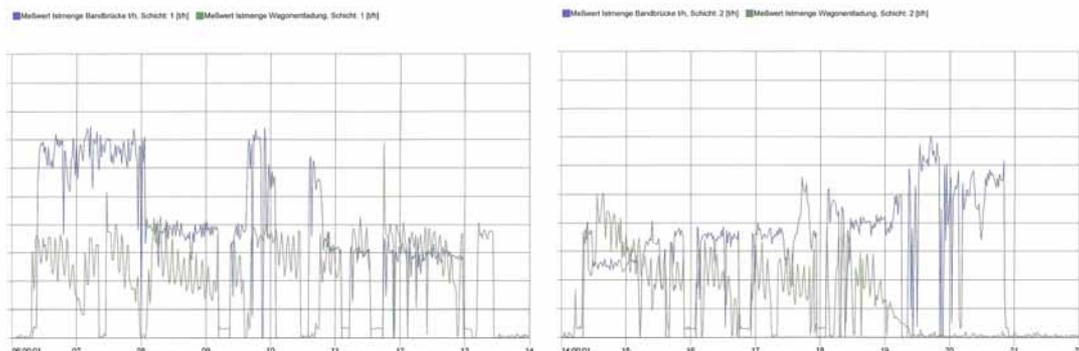
Die beiden Schüttgutteilströme der Fa. Huthmann und der SWS gelangen im Schachtgebäude von jeweils unterschiedlichen Gurtförderern in den Vorbunker, wo sie zwischengelagert und abgewogen werden (siehe Bild 3). Die Befüllung des Vorbunkers geschieht in unterschiedlichen Massenverhältnissen der Versatzmaterialien der Fa. Huthmann und SWS. Das Schüttgut der Fa. Huthmann kann exklusiv (ohne den Schüttgutstrom der SWS) in den Vorbunker gefördert werden. Dies ist der Fall, wenn die Silos 3 und 4 befüllt werden. Die überwiegende Förderung besteht darin, dass beide Schüttgutströme zusammen in den Vorbunker aufgegeben werden, wobei die Massenverhältnisse individuell eingestellt werden. Der Schüttgutstrom der SWS setzt sich aus mehreren Varianten zusammen. Entweder wird nur aus Extromat 1, Extromat 2 oder Linie 5 abgezogen oder aber aus einer beliebigen Kombination der drei Förderströme.

Im Vorbunker wird das Schüttgut durch einen „Reiter“, der eine Hosenrutsche ausbildet, in zwei Schüttgutströme geteilt. Unter den beiden Teilen der Hosenrutsche befindet sich jeweils ein Segmentschieber. Dieser hat die Aufgabe den Schüttgutstrom zu unterbrechen wenn die darunter liegenden Messtaschen ihre maximale Füllmenge erreicht haben. Von dort gelangt das Schüttgut über einen Tischverschluss in den Skip (Fördergefäß) des Aufzuges, der das Material nach Untertage transportiert. Zum Transport des Schüttgutes nach Untertage stehen zwei Aufzüge zur Verfügung die abwechselnd nach oben oder unten fahren. Falls Personentransport stattfindet, müssen die Skips und der Vorbunker frei von Schüttgut sein, um eine Gefährdung auszuschließen. Die Unterbrechungen der Förderung bei Zwischenseilfahrten während des Betriebs dauern mehrere Minuten, da die Aufzüge und der Vorbunker entleert und anschließen wieder gefüllt werden müssen.

### 3.1.2 Förderung und Versatz Untertage

Untertage wird das Schüttgut vom Aufzug (Skip) in einen Bunker entladen. Von dort wird dieses durch ein Plattenband abgezogen und auf einen Gurtförderer aufgegeben, der es über weitere Gurtförderer mit einer Länge teilweise mehreren Kilometer zur Versatzstelle bringt. Hier übernehmen Radlader den weiteren Transport und bringen das Schüttgut in die endgültige Position. Die Schüttgüter werden dabei in mehreren Lagen mit Zwischensalzsichten übereinander geschichtet und nach jeder Lage verdichtet, in dem die Radlader darüber fahren. Können die Radlader aufgrund der restlich verbleibenden Höhe des Salzhohlraums nicht mehr fahren, wird das Schüttgut mit Baggern in diese Hohlräume gedrückt.

Die Förderteilmengen werden mittels Bandwaagen ermittelt und elektronisch aufgezeichnet (siehe Bild 4). Somit wird hier sowohl die Schüttgutmenge zum Befüllen der Silos 3 und 4 als auch die Schüttgutmenge zum Versatz bestimmt. Diese Aufzeichnung wird u. a. benötigt, um festzustellen welche Massenverhältnisse die beiden Schüttgutströme zu einander zum Zeitpunkt guter oder schlechter Förderbarkeit hatten, um hieraus evtl. Zusammenhänge zu erschließen.



**Bild 4:** Aufzeichnung der Fördermengen

## 4 Funktions- und Fehleranalyse

Die Funktionsanalyse beschreibt die einzelnen Funktionen der hauptsächlich von Störungen betroffenen Elemente der Förderanlage. Darauf aufbauend werden die im Untersuchungszeitraum auftretenden Störungen dargestellt und im Anschluss durch eine ABC-Analyse ihrer Auftretswahrscheinlichkeit nach klassifiziert, so dass gezielt an den am häufigsten auftretenden Störungen mit den größten Auswirkungen Optimierungen durchgeführt werden können.

### 4.1 Funktionsbeschreibung Vorbunker

Am Vorbunker werden die Schüttgutteilströme von den jeweiligen Gurtförderern zusammengeführt. Die Aufgabe des Vorbunkers ist im wesentlichen, die beiden Schüttgutströme zu bündeln, einen kleinen Schüttguttaster aufzubauen, das Schüttgut in zwei Ströme aufzuteilen, diese nach Gewicht zu portionieren und letztendlich in die Skips der Aufzüge zur Abwärtsförderung aufzugeben. Diese Funktionen werden folgendermaßen realisiert.

#### 4.1.1 Schüttgutteilung

Die beiden Gurtförderer, die rechtwinklig zu einander stehen, werfen das Schüttgut in den Vorbunker (siehe Bild 5 (Draufsicht)), wobei die Anordnung der Gurtförderer in der Seitenansicht verdreht ist, um eine bessere Übersicht zu ermöglichen. Falls der Vorbunker nicht vollständig gefüllt ist, findet die Teilung des gemeinsamen Förderstroms noch während der Flugphase des Schüttgutes an der Hosenrutsche („Reiter“) statt. Das Schüttgut der SWS wird parallel zur Hosenrutsche abgeworfen, wobei diese mittig zum abwerfenden Gurtförderer angeordnet ist und so eine gleichmäßige Schüttgutteilung für die Ost- und Westtasche erreicht wird. Der Gurtförderer mit dem Versatzmaterial der Fa. Huthmann (Bandbrücke) steht senkrecht zur Hosenrutsche. Um hier eine gleichmäßige Teilung des Schüttgutstroms zu erreichen, wird die Fördergeschwindigkeit des Gurtförderers variiert, so dass sich die Abwurfparabeln verändern und das Schüttgut bei schneller Fördergeschwindigkeit in die Osttasche und bei langsamer in die Westtasche geworfen wird. Ist der Vorbunker über die „Spitze“ bzw. den „Reiter“ der Hosenrutsche befüllt, fallen beide Schüttgutströme aufeinander in den Vorbunker und bilden einen Schüttkegel aus. Beim Öffnen des Segmentschiebers rutscht das Schüttgut in die jeweilige Messtasche, wodurch das ruhende Schüttgut am Reiter in zwei Teile getrennt wird.

#### 4.1.2 Messtaschen

In den Messtaschen wird das Schüttgut mit Hilfe von Wägezellen abgewogen. Ist die Messtasche leer, öffnet der Segmentschieber, der sich zwischen Hosenrutsche und Messtasche befindet. Das Schüttgut rutscht vom Vorbunker in die Messtasche bis das Sollgewicht erreicht ist, worauf der Segmentschieber wieder schließt. Anschließend öffnet sich der Tischverschluss, der das Schüttgut von der Messtasche in den Skip des Aufzuges aufgibt.

## 4.2 Störungen beim Förderprozess

Während des Untersuchungszeitraums der Förderanlage traten an unterschiedlichen Stellen im Vorbunker Störungen bzw. Schwachstellen auf.

- Das auf dem Gurtförderer „Bandbrücke“ nach dem Abwurfvorgang kleben bleibende Schüttgut, wird durch einen Abstreifer entfernt und auf eine Führungsrutsche abgeworfen. Diese hat die Aufgabe, das Schüttgut in den Vorbunker rutschen zu lassen. Allerdings bleibt das Versatzmaterial je nach Beschaffenheit (Schüttguteigenschaften) dort liegen und baut sich auf. Ein Produktionsausfall ist nicht die Folge, jedoch muss die Stelle teilweise mehrmals pro Schicht durch einen Mitarbeiter gereinigt werden.
- Das Schüttgut bleibt nach einer gewissen Produktionszeit, die zwischen mehreren Minuten und Stunden liegen kann, auf der Spitze des Reiters und den Wänden des Vorbunkers kleben. Diese Anbackungen bauen sich teilweise bis zu einem Meter hoch auf, bis sie auf die Höhe des Gurtförderers, der das Versatzmaterial des SWS transportiert, erreichen. Zudem bleibt an den Wänden Material kleben und verengt den Durchflussquerschnitt bis es zu Verstopfungen kommt. Der Versatzbetrieb muss daraufhin eingestellt und der Vorbunker aufwendig unter enormen Krafteinsatz der Mitarbeiter geputzt werden, da das Material an den Wänden aushärtet und weggeschlagen werden muss.
- Durch Anbackungen in der Messtasche werden zwar das Sollgewicht abgewogen, allerdings weniger Fördergut in den Skip aufgegeben. Somit entstehen Verluste in der Förderleistung. Wenn die Anbackungen in den Messtaschen zu groß werden, wird die Förderung unterbrochen und kann erst nach Reinigung der Messtaschen wieder fortgesetzt werden.
- Nach dem Entleeren der Messtasche über den Tischverschluss, bleibt auf diesem Schüttgut liegen, so dass er nicht mehr geschlossen werden kann. Eine unzureichende Funktionsweise des vorhandenen Abstreifers und klebendes Schüttgut sind die Ursache. Die Folge ist eine Unterbrechung der Förderung zur Reinigung des Tischverschlusses durch einen Mitarbeiter.
- Im Allgemeinen bauen sich Anbackungen an den Wänden im Skip nur sehr langsam auf, so dass nur alle zwei bis drei Monate eine Reinigung durchgeführt werden muss. Allerdings stellen die Anbackungen so genannte „Totlasten“ dar, die unnötigerweise transportiert werden. Dies ist zum einen aus energetischer Sicht ungenügend aber auch aus Sicherheitsgründen bedenklich, da mehr als das erlaubte Sollgewicht transportiert wird.

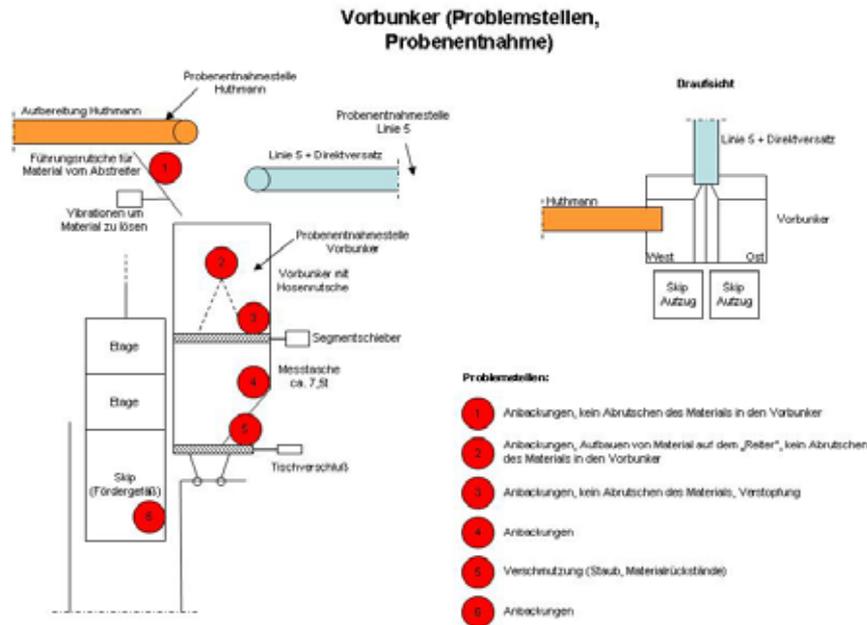


Bild 5: Vorbunker

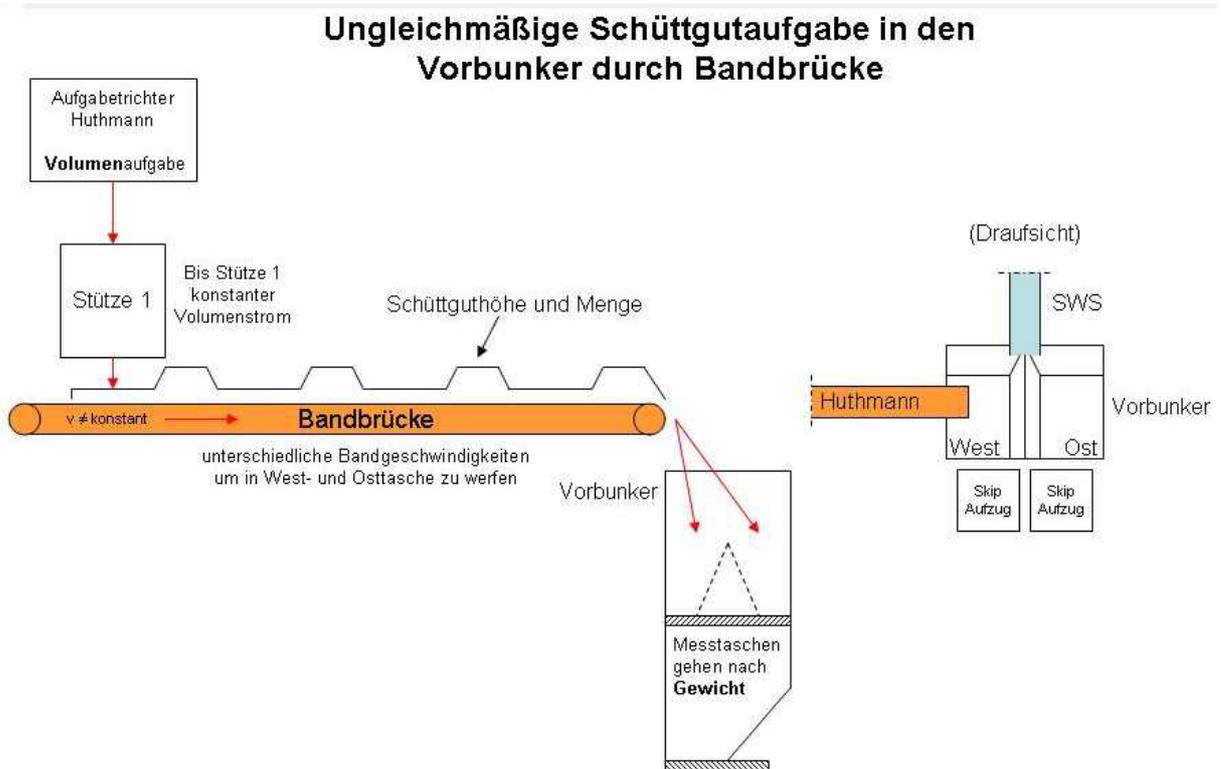
#### 4.2.1 Gleichmäßigkeit der Gutaufgabe

Wie bereits beschrieben, wird die Schüttgutteilung des Versatzmaterials der Fa. Huthmann durch unterschiedliche Geschwindigkeiten des Gurtförderers realisiert.

Der Aufgabetrichter liefert einen konstanten Volumenstrom, der am Plattenband durch die Höhe der Öffnung, durch die das Versatzmaterial abgezogen wird, eingestellt werden kann. Dieser konstante Volumenstrom ist bis zur Stütze 1 gegeben. Die Bandbrücke läuft wie beschrieben mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Läuft der Gurtförderer mit hoher Geschwindigkeit, so liegt auf diesem ein flacher Schüttguthaufen, läuft der Gurtförderer mit langsamer Geschwindigkeit, so liegt auf ihm ein großer Schüttguthaufen. Um eine gleichmäßige Schüttgutaufgabe in beide Teile der Hosentrutsche (Ost- und Westtasche) zu erreichen, muss der große Schüttguthaufen bei langsamer Gurtgeschwindigkeit in die Westtasche und bei schneller Gurtgeschwindigkeit in die Osttasche geworfen werden.

Tatsächlich ist dies jedoch nicht der Fall, so dass die Folge eine stärkere Befüllung der Osttasche als die der Westtasche ist. Das Schüttgut wird somit im Vorbunker unsymmetrisch aufbaut. Beim Öffnen des Segmentschiebers (Ost-Seite) rutscht das aufgebaute Schüttgut schlagartig mit hoher Geschwindigkeit in die Messtasche. Beim Aufprall des Schüttgutes in der Messtasche wird auf Grund von dynamischen Kräften ein höheres Gewicht angezeigt und der Segmentschieber schließt, obwohl das Sollgewicht nicht vorhanden ist. So entsteht ein Förderverlust von teilweise über einer Tonne pro Hub des Aufzuges. Diese Situation tritt vor allem in der Osttasche des Vorbunkers auf, wenn diese sehr stark befüllt ist.

Eine gleichmäßige Schüttgutaufgabe in den Vorbunker kann z.B. durch eine Steuerung der Umschaltfrequenz zwischen schneller und langsamer Fördergeschwindigkeit, die ein Teiler der Gurtlänge bezogen auf die Gurtgeschwindigkeit ist, realisiert werden (Bild 6).

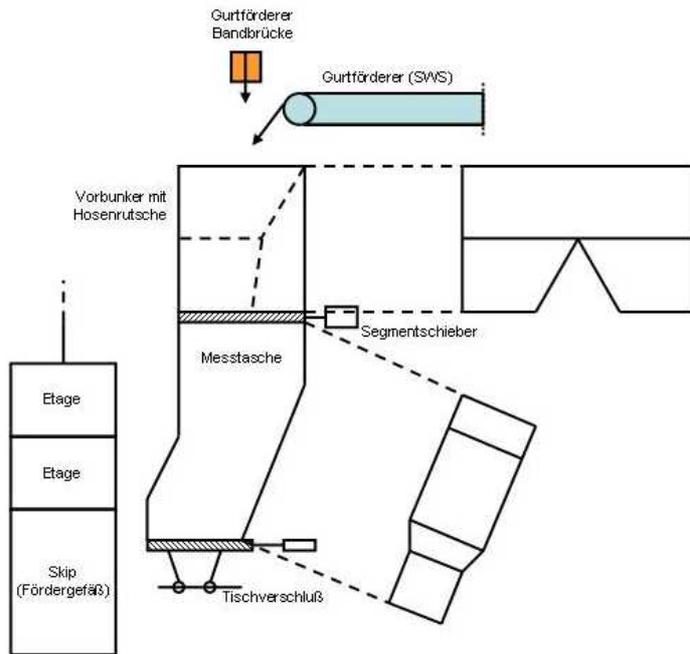


**Bild 6:** Unsymmetrische Aufgabe Bandbrücke / Vorbunker

#### 4.2.2 Geometrie der Messtasche

Ungeeignete Bunkergeometrien unterstützen die Bildung von Anbackungen an Wänden und Konstruktionsteilen (siehe Bild 7). Der Vorbunker und die Messtaschen beinhalten mehrere Schwachstellen in ihrer Geometrie. Zum einen hat das Schüttgut eine große Fallhöhe und verdichtet beim Aufprall im Vorbunker das vorhandene Schüttgut durch Stöße. So rücken vor allem die feinen Schüttgutteilchen näher aneinander, wodurch die Kräfte zum Haften an den Bunkerwänden und den einzelnen Teilchen zunehmen. Das Schüttgut ist im Vorbunker kurzzeitig in Ruhe. Dadurch haben die einzelnen Schüttgutteilchen Zeit Anziehungskräfte zueinander aufzubauen. Verjüngungen, wie sie vor allem in der Messtasche der Fall sind, führen zu schlechtem Materialfluss, da sich das Schüttgut vor der Verjüngung staut und diese evtl. verstopfen kann.

Das Schüttgut enthält oft Lappen und Folien. Diese neigen dazu auf der Spitze der Hosenrutsche (Reiter) liegen zu bleiben. Ein Aufbau des Materials auf dem Reiter wird dadurch begünstigt. Die Kanten zweier Wände im Vorbunker stoßen oft senkrecht aufeinander. Hier entstehen die Anbackungen, die sich von dort über die komplette Fläche der Wand ausbreiten. In den Messtaschen wurden diese durch Rundungen ersetzt, wodurch sich die Anbackungen reduziert haben, aber nicht vollständig ausbleiben.

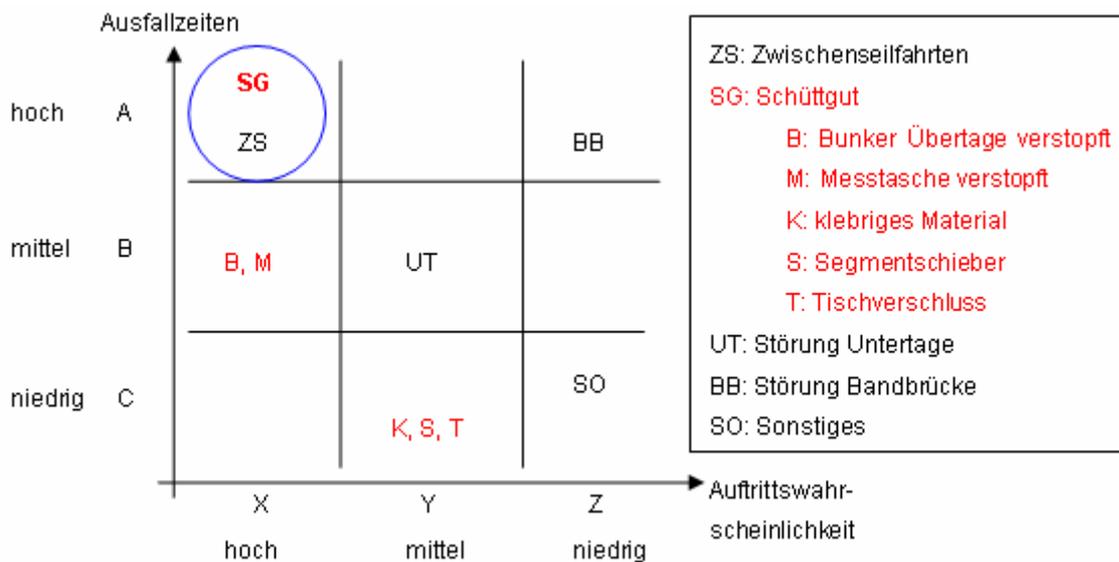


**Bild 7:** Geometrie Messtasche

### 5 ABC/XYZ-Analyse

Während des gesamten Untersuchungszeitraums wurde eine Störungsanalyse durchgeführt, die als Grundlage die Dokumentation der Störungen durch die Fördermaschinen beinhaltet. Es wurden sämtliche Störungen im Untersuchungszeitraum von insgesamt 36 Arbeitstagen aufgezeichnet und ausgewertet.

Neben den Stillstandszeiten des Versatzbetriebes findet nach jeder Schicht eine notwendige Reinigung der Förderanlage statt. Hinzu kommen weitere Stillstandszeiten pro Schicht, in der Seilfahrten der Mitarbeiter bei Schichtbeginn und –ende durchgeführt werden. Bild 8 zeigt die Ergebnisse der ABC/XYZ – Analyse:



**Bild 8:** ABC/XYZ-Analyse

Dabei wird die gesamte Ausfallszeit der einzelnen Ausfallarten auf die Auftrittswahrscheinlichkeit bezogen, die angibt, ob die Ausfälle regelmäßig (täglich) oder mit starken Schwankungen bis sehr selten auftraten.

## **6 Schüttgutanalysen**

Die Schüttgutanalysen dienen zur Erstellung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den verschiedenen Schüttguteigenschaften und dem Fließverhalten des Schüttgutes. Zudem sollen Bestimmungsmethoden der Schüttguteigenschaften dargestellt werden, die sich für das vorhandene Schüttgut eignen und aussagekräftige Werte für deren Verhalten liefern, um diese zugunsten besserer Förderbarkeit verändern zu können.

### **6.1 Auswahl der Bestimmungsmethoden**

Im Rahmen des Projektes wurden die folgenden acht Schüttguteigenschaften und mögliche Einflussfaktoren bestimmt:

- Umgebungstemperatur,
- Probertemperatur,
- Luftfeuchtigkeit,
- Wassergehalt,
- Scherfestigkeit,
- Böschungswinkel,
- Schüttdichte,
- Korngrößenverteilung.

Alle Methoden zur Bestimmung der Schüttguteigenschaften wurden nach DIN-Normen durchgeführt, soweit dies möglich ist, um zu gewährleisten, dass es sich um reproduzierbare und erprobte Verfahren handelt.

### **6.2 Temperatur und Luftfeuchtigkeit**

Die Schüttgutlieferung, -aufbereitung und -lagerung findet bei der Fa. Huthmann überwiegend auf dem Freigelände statt. Dies hat zur Folge, dass die klimatischen Umgebungseinflüsse, wie Wärme, Kälte und Regen den Schüttgutaufbereitungsprozess sowie die Förderung beeinflussen können. Um Korrelationen zwischen den Umgebungseinflüssen (Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit) und dem Fließverhalten des Schüttgutes herzustellen, werden diese Werte über den gesamten Untersuchungszeitraum automatisiert aufgenommen. Der Standort des Messgerätes wird vor dem Beginn der Messungen festgelegt und nicht mehr verändert.

Als Messgerät eignet sich ein Standard Data Logger (siehe Bild 9). Er nimmt bis zu 56 Tage alle fünf Minuten sowohl die Umgebungstemperatur, als auch die Luftfeuchtigkeit auf. Die Daten werden gespeichert, und können später am Computer ausgelesen werden. Das Messgerät ist sehr kompakt gebaut und hat eine Länge von ca. 100mm, so dass es

ohne großen Aufwand möglich ist das Messgerät an einer beliebigen Messstelle in der Versatanlage Bad Friedrichshall-Kochendorf zu platzieren.

Um die Zuverlässigkeit zu erhöhen und die Messungen nicht während der Auslesung unterbrechen zu müssen, werden zwei baugleiche Geräte redundant eingesetzt.



**Bild 9:** Standard Data Logger (EL-USB-2)

Die Umgebungstemperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessung wird im November und Dezember durchgeführt, in denen mit Temperaturschwankungen zwischen  $-15^{\circ}\text{C}$  und  $25^{\circ}\text{C}$  gerechnet werden muss. Die Messgenauigkeit in diesem Temperaturbereich kann Bild 10 entnommen werden. Aus den gemessenen Werten wird zusätzlich der Taupunkt für jede Messung berechnet.

Umgebungstemperatur ( $-15^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ ):  $\Delta T_{max} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$

Luftfeuchtigkeit ( $0\%RH - 100\%RH$ ):  $\Delta \varphi_{rel,max} \pm 5\%RH$



**Bild 10:** Messgenauigkeit des EL-USB-2

Eine alternative manuelle Messung der Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit durch Mitarbeiter ist nicht zweckmäßig, da der Aufwand, die Daten in regelmäßigen Abständen händisch zu messen, zu hoch ist. Die einfache Handhabung des EL-USB-2 ermöglicht es die Daten ohne großen Aufwand systematisch zu erfassen.

Parallel zu den Aufzeichnungen der Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit, wird das Wetter in Form von beispielsweise „Sonne“, „Regen“ usw. dokumentiert, um vor allem den Einfluss des Niederschlags auf das Fließverhalten der Schüttgüter zu erfassen.

### 6.3 Schüttguttemperatur

Die Schüttguttemperatur weicht i. a. von der Umgebungstemperatur ab, da im Schüttgut teilweise noch chemische Reaktionen mit Wärmeentwicklung ablaufen. Ein möglicher Einfluss der Temperatur des Schüttgutes auf das Förderverhalten soll durch die Untersuchungen geklärt werden. Die Messung der Proben­temperatur wird mit einem digitalen Messfühler (siehe Bild 10) durchgeführt. Unmittelbar nach der Probenahme wird der Messfühler im Labor in die Schüttgutprobe geführt, bis dieser vollständig eingetaucht ist.



**Bild 10:** Temperaturmessfühler

### 6.4 Wassergehalt

Der Wassergehalt einer Bodenprobe kann mit verschiedenen Verfahren nach DIN 18121 Teil 1 und 2 bestimmt werden.

#### 6.4.1 Standardverfahren (Ofentrocknung)

Das Standardverfahren zur Bestimmung des Wassergehalts einer Schüttgutprobe ist die Ofentrocknung nach DIN 18121-1. Eine definierte Probenmenge wird dem Stoffstrom entnommen und gewogen. Anschließend findet in einem Trockenschrank (Ofen) bei 105°C eine 20 Stunden dauernde Trocknungsphase statt, nach der die Probe wieder gewogen wird. Die Differenz der beiden gemessenen Massen ist die verdampfte Wassermasse der Schüttgutprobe. Weiterhin gibt es sogenannte Schnellverfahren.

#### 6.4.2 Schnellverfahren (Übersicht):

- a) Verfahren durch Schnelltrocknung mit
  - Infrarotstrahler,
  - Elektroplatte oder Gasbrenner,
  - Mikrowellenherd;
- b) Verfahren ohne Trocknung der Probe mit
  - Tauchwägung
  - Großpyknometer (doppeltes Wägen);
- c) Calciumcarbidverfahren;
- d) Luftpyknometerverfahren.

Die Vorgehensweise der einzelnen Verfahren können der DIN 18121-2 entnommen werden.

## 6.5 Scherfestigkeit

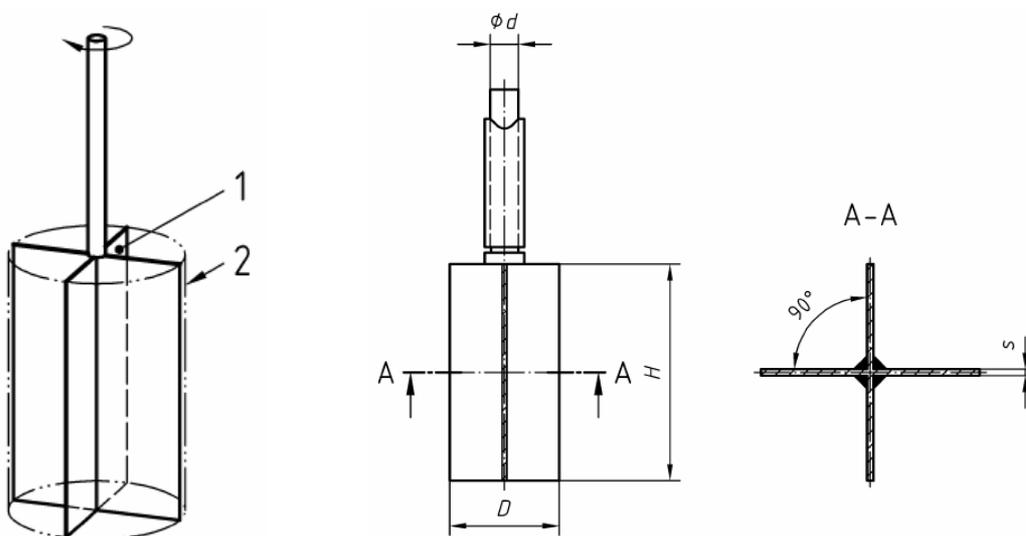
Die Scherfestigkeit kann nach den Normen DIN 18137-1, -2, -3 und DIN 4094-4 folgendermaßen bestimmt werden:

- a) Triaxialversuch (DIN 18137-2),
- b) Direkte Scherversuch (DIN 18137-3)
  - Rahmenscherversuch,
  - Kreisringscherversuch,
- c) Flügelscherversuche (DIN 4094-4)

Die Versuche nach DIN 18137-2 und -3 erfordern das Beschaffen von aufwendigen Gerätschaften und sind nur innerhalb eines Labors durchführbar. Das Flügelschergerät ist ein einfaches und kompaktes Messgerät, dass direkt bei der Schüttgutprobenentnahme angewendet werden kann. Das Flügelmessgerät wird aus diesem Grund für die Bestimmung der Scherfestigkeit der Schüttgutproben nach DIN 4094-4 angewandt.

### Versuchsgeräte:

- Flügelschergerät (Bild 11),
- Eimer (10 l).



**Bild 11:** Flügelschergerät

Legende:

1 Flügel

2 Oberfläche des abgesicherten Bodenkörpers

D Flügelbreite

H Flügelhöhe

s Blechdicke

d Stabdurchmesser

Je nach Konsistenz des Schüttgutes werden unterschiedliche Flügelgrößen verwendet. Weiche Böden erfordern den Einsatz eines großen Flügels, da sie eine geringe Scherfestigkeit besitzen. Bei steifen Böden sollte ein kleinerer Flügel verwendet werden, da hier eine hohe Scherfestigkeit vorliegt. So kann das selbe (Drehmoment-) Messgerät zur Bestimmung der Scherfestigkeit unterschiedlicher Böden verwendet werden. Es werden lediglich die „Flügel“ gewechselt.

Um möglichst gleiche Versuchsbedingungen herzustellen und damit reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wird die Schüttgutprobe in einen 5 Liter Eimer mit Hilfe einer Schaufel eingefüllt. Das Flügelmessgerät wird bis zur vorgesehenen Eindringtiefe mit gleichmäßiger Geschwindigkeit (bis 2 cm/s) senkrecht in das Schüttgut eingedrückt. Der Flügel darf dabei nicht durch Schläge, Vibrationen oder Drehungen eingetrieben werden. Anschließend wird der Flügel mit konstanter Drehgeschwindigkeit (ca. 10°/s) bis zum Abschneiden des zylindrischen Bodenkörpers gedreht (im Normalfall 360°-Drehung). Das dafür erforderliche Drehmoment  $M_{max}$  kann nach Entfernen des Flügelmessgeräts aus der Schüttgutprobe an diesem abgelesen werden und zum maximalen Scherwiderstand  $c_{fv}$  nach Gleichung (1) umgerechnet werden.

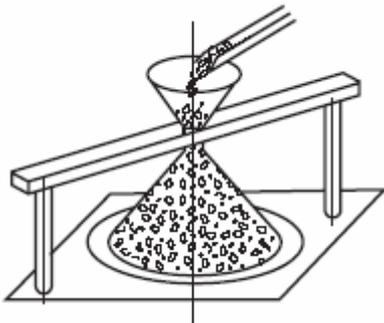
$$c_{fv} = \frac{6M_{max}}{7\pi D^3} \quad (1)$$

Der Messfehler des Flügelmessgerätes liegt im Bereich von  $\pm 10\%$  der Ablesung.

## 6.6 Böschungswinkel

Der Schüttkegel kann durch folgende nicht genormte Verfahren hergestellt werden:

- Hohlzylinder füllen und anheben,
- Trichter (siehe Bild 12).



**Bild 12:** Schüttkegelbestimmung mit Trichter

Da zur Bestimmung der Schüttdichte ein passender Hohlzylinder mit einem Durchmesser von 100mm vorhanden ist, kann dieser zur Herstellung des Schüttkegels verwendet werden und wird somit als Verfahren ausgewählt. Ein Trichter mit einer Größe vom 5-fachen des Größtkorns, müsste dafür neu beschafft werden und scheidet somit aus.

Der *dynamische Schüttkegel* beschreibt die Situation auf dem Gurtförderer. Er kann nur direkt bei Stillstand des Gurtförderers abgelesen werden, da Vibrationen, Gurtförderereigenschaften usw. sehr schwierig im Labor herzustellen sind, und dabei mit sehr hohen Unsicherheiten gerechnet werden müsste.

## 6.7 Schüttdichte

### 6.7.1 Laborversuche (DIN 18125-1):

- a) Ermittlung der Masse der Schüttgutprobe
  - Präzisionswaage,
- b) Ermittlung des Volumens der Schüttgutprobe
  - Tauchwägung,
  - Ausmessung des Probekörpers.

Die Laborversuche eignen sich nur für Schüttgutproben, die einen festen Zusammenhalt bilden und ohne Änderung der Dichte geometrisch regelmäßige Probekörper bilden. Diese Eigenschaft wird von dem vorhandenen Schüttgut nicht erfüllt.

### 6.7.2 Feldversuche (Übersicht nach DIN 18125-2):

- a) Ausstechzylinderverfahren,
- b) Sandersatz-Verfahren,
- c) Ballon-Verfahren,
- d) Flüssigkeitsersatz-Verfahren,
- e) Gipsersatz-Verfahren,
- f) Schürfgruben-Verfahren.

Von den Feldversuchen eignet sich nur das Ausstechzylinderverfahren zur Schüttdichtebestimmung des Schüttgutes, da es bei allen anderen Verfahren notwendig ist, standfeste Gruben auszuheben. Dies ist nur mit langen Stillstandszeiten des Gurtförderers möglich und kann somit nicht durchgeführt werden. Das Ausstechzylinderverfahren wird zur Ermittlung der Schüttdichte verwendet.

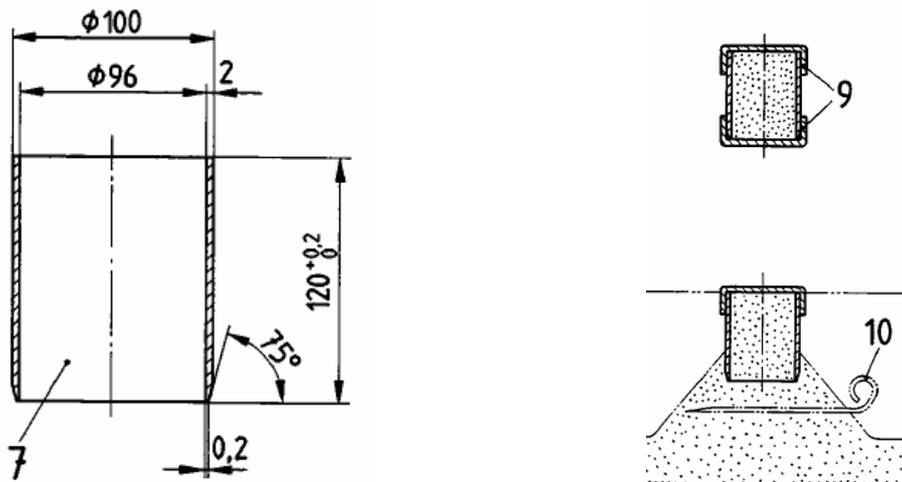
Die Schüttdichtebestimmung erfolgt nach Auswahl des Verfahrens mit dem Ausstechzylinderverfahren nach DIN 18125-2.

#### Versuchsgeräte:

- Ausstechzylinder aus nahtlosem Präzisionsstahlrohr nach DIN EN 10305-1 mit innenliegender Schnittkante,
- Deckel zum beidseitigen dichten Verschließen des Ausstechzylinders,
- Klebestreifen,
- Präzisionswaage.

Der Ausstechzylinder wird senkrecht nach DIN 4021 in die Schüttgutprobe eingebracht.

Wenn das Schüttgut den oberen Rand des Zylinders erreicht hat, wird das überstehende Schüttgut vorsichtig mit einem Messer abgestrichen und ein Deckel darauf gesetzt. Anschließend wird der Schüttguthaufen seitlich etwas abgetragen und ein Ausstechblech eingeführt um den Zylinder von unten abzudichten (siehe Bild 13). Der Zylinder wird entnommen, gedreht und mit einem weitem Deckel abgedichtet. Somit wird ein definiertes Volumen (hier:  $V=0,8686\text{dm}^3$ ) aus der Schüttgutprobe entnommen. Im Labor wird die Schüttgutprobe gewogen und mit dem Volumen ins Verhältnis gebracht um die Schüttdichte, wie sie auf dem Förderer vorhanden ist, zu bestimmen.



**Bild 13:** Ausstechzylinder zur Dichtebestimmung

Legende:

7 Entnahmezylinder

9 Verschlusskappen (mit Klebestreifen abgedichtet)

10 Ausstechblech

Zur Untersuchung des Einflusses der Probenmenge wird ein 5 Liter Eimer zur Bestimmung der Schüttdichte verwendet. Das Schüttgut wird vom Gurtförderer entnommen und in den Eimer bis zur 5 Liter Markierung gefüllt. Im Labor wird dieses Volumen gewogen und zur Schüttdichte berechnet.

## 6.8 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung lässt sich nach DIN 18123, DIN 66165-1 und -2 bestimmen.

### a) DIN 18123

- Siebung für Schüttgutproben mit Korngröße  $> 0,063\text{mm}$
- Sedimentation für Schüttgutproben mit Korngrößen  $< 0,125\text{mm}$
- Siebung und Sedimentation

Die Verfahren lassen sich sowohl von Hand als auch maschinell durchführen.

### b) DIN 66165 für Korngrößen von etwa 0,005 bis 125mm

- Handsiebverfahren (Trockensiebung, Naßsiebung)
- Maschinensiebverfahren

Die Korngrößenanalyse wird an der Universität Stuttgart durch die Materialprüfungsanstalt

(MPA) nach DIN 18123 maschinell durchgeführt. Um die Probenmenge zu reduzieren, wird die Schüttgutprobe vor Ort getrocknet und alle Bestandteile größer als 16mm werden ausgesiebt. Schüttgutteile größer als 16mm sind nicht für Anbackungen relevant, da bei großen Schüttgutteilen die Schwerkraft die dominierende Kraft darstellt. Bei sehr kleinen Schüttgutteilchen haben die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen einen größeren Einfluss als die Schwerkraft, so dass diese aneinander haften. Die weiteren Untersuchungen finden an der MPA statt.

## **6.9 Probenahme**

Um möglichst repräsentative und reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten, ist es notwendig das Verfahren der Probenentnahme festzulegen, so dass dieses unabhängig vom Probenehmer durchgeführt werden kann. Das Vorgehen wird dabei an die Richtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) angelehnt.

### **6.9.1 Entnahmepunkte**

Das Versatzmaterial der Fa. Huthmann wird vom Gurtförderer „Bandbrücke“, kurz vor dem Einwurf in den Vorbunker, entnommen (siehe Bild 3). Das Versatzmaterial der SWS wird auf Grund unzureichender Zugängigkeit des Gurtförderers vor dem Vorbunker am Schräggurtförderer vor dem Senkrechtförderer entnommen.

### **6.9.2 Probennahmestrategie**

Die Schüttgutanalysen zielen darauf ab, Unterschiede zwischen gutem und schlechtem Förderverhalten des Schüttgutes herauszustellen. Dazu ist es notwendig den Schüttgutstrom über einen längeren Zeitraum zu beobachten, um die vorhandene Ist-Situation einschätzen zu können. Die Fördermaschinenisten haben über die Situation den besten Überblick und können hierzu Auskunft geben.

Somit ergeben sich zwei Entnahmefälle. Proben sind zum Einen zu ziehen, wenn Störungen auftreten, die auf das Schüttgut zurückzuführen sind, beispielsweise bei Anbackungen im Vorbunker. Die zweite Entnahmesituation ist gekennzeichnet durch gute Förderbarkeit des Schüttgutes, wenn es über einen längeren Zeitraum keine Unterbrechung der Förderung auf Grund von Anbackungen des Schüttgutes an den Wänden des Vorbunkers gibt.

Die Schüttgutproben beider Förderströme müssen unmittelbar nacheinander entnommen werden, sofern diese zusammen in den Vorbunker gefördert werden, um sicherzustellen, dass die Kombination der Schüttguteigenschaften richtig erfasst wird.

### **6.9.3 Durchführung der Probenahme**

- 1) Die Gurtförderer müssen aus Sicherheitsgründen zur Probenahme abgestellt werden. Hierzu ist es notwendig den Fördermaschinenisten Bescheid zugeben.

- 2) Durch eine Sichtkontrolle wird das Schüttgut auf dem Gurtförderer auf Homogenität überprüft. Falls Unterschiede in Farbe, Korngrößen oder Konsistenz (Wassergehalt) des Schüttgutes feststellbar sind, ist es notwendig eine Mischprobe mit allen Komponenten, möglichst mit ähnlichen Massenanteilen wie auf dem Gurtförderer, zu erstellen.
- 3) Das Erstellen einer Mischprobe erfordert, dass an mehreren Stellen des Gurtförderers Schüttgut entnommen wird, so dass eine Mindestprobenmenge von 5 Litern Schüttgut vorhanden ist. Große Schüttgutbrocken oder -steine sollten aussortiert werden, da diese gutes Förderverhalten aufweisen und nicht für die Störungen verantwortlich sind. Zudem wird bei kleinen Korngrößen eine geringere Probenmenge benötigt.
- 4) Falls die Probe nicht sofort im Labor entwickelt werden kann, muss diese luftdicht verschlossen und mit Datum, Uhrzeit, Stoffstrom und Fehlerklassifizierung beschriftet werden.
- 5) Die Zusammensetzung des Schüttgutes, soweit diese ermittelbar ist, wird festgehalten, um Störungen, die möglicherweise durch Einzelkomponenten des Schüttgutes (beispielsweise bestimmte Filterstäube) verursacht werden, feststellen zu können. Das Versatzmaterial der Fa. Huthmann wird in drei Zustände „frisches“, „abgelagertes“ oder „gemischtes“ Material klassifiziert, das durch den aufgebenden Laderfahrer erfragt werden kann. Bei „frischem“ Material handelt es sich um Schüttgut, das direkt nach der Siebanlage entnommen und direkt aufgegeben wird. „Abgelagertes“ Material wird nach dem Durchlaufen der Siebanlage auf eine Halde gegeben und dort mehrere Tage gelagert. „Gemischtes“ Material setzt sich aus beiden Komponenten zusammen und wird vor der Aufgabe mit Hilfe der Radlader vermischt.  
Die Klassifizierung des Versatzmaterials der SWS nach Filterstäube, Zuschlagstoffe, Schüttgut und Direktanlieferung kann an der „Schaltwarte Linie 5“ erfragt werden. Oft handelt es sich beispielsweise nicht nur um einen Filterstaub, sondern um mehrere, die alle erfasst werden müssen. Weiter ist festzustellen, welcher Schüttgutstrom (Extromat 1,2, Linie 5, Direktanlieferung) zum Entnahmezeitpunkt in Betrieb war.
- 6) Als Probenahmeprotokoll wird das Formblatt zur Klassifizierung von Schüttguteigenschaften verwendet. Es enthält alle wesentlichen Kenndaten und dient als Merkliste sowohl zur Probenahme, als auch später bei der Analyse der Schüttguteigenschaften im Labor.

## 6.10 Messergebnisse und kritische Betrachtung

Wie bereits beschrieben, wurden im Rahmen des Projektes die folgenden Schüttguteigenschaften und Umgebungsbedingungen bestimmt: Wassergehalt, Schüttdichte, Scherfestigkeit, Böschungswinkel, Proben temperatur, Korngrößenverteilung (von 12 Proben durch die MPA), Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit.

Entwickelt wurden 81 Schüttgutproben bzw. 39 Szenarien guter und schlechter Förderbarkeit der Schüttgutteilströme des Versatzmaterials der Fa. Huthmann und SWS.

Tabelle 1 stellt den Bereich der gewonnenen Messwerte während des Untersuchungszeitraums dar. Sie zeigt die Schwankungen der einzelnen Schüttguteigenschaften.

	Huthmann		SWS	
	von	bis	von	bis
Wassergehalt in %	11,2	36,6	4,9	32,5
Durchschnittliche Wassergehalt in %	20,6		17,3	
Schüttdichte in t/m <sup>3</sup>	0,9	1,36	0,76	1,15 (1,45)
Durchschnittliche Schüttdichte in t/m <sup>3</sup>	1,11		0,93	
Scherfestigkeit	30	106	22	72
Böschungswinkel in °	30	45	30	45
Korngrößenverteilung d<0,063mm in %	10,5	23,8	10,1	31,1
Durchschnittliche Korngrößenverteilung	14,8		20,1	
Umgebungstemperatur in °C	-0,5 bis 18			
Luftfeuchtigkeit in %RH	61 bis 95,5			
Probentemperatur in °C	12,9	34,4	16,3	33,9
Durchschnittliche Probentemperatur	24,0		25,5	

**Tabelle 1:** Zusammenfassung Schüttguteigenschaften

Der Wassergehalt ist die am meisten schwankende Schüttguteigenschaft der beiden Versatzbaustoffe der Fa. Huthmann und SWS. Er wird als Hauptursache für Störungen in Form von Anbackungen im Vorbunker gesehen. Die Vermutung, dass große Unterschiede in den Wassergehalten der beiden Versatzbaustoffe die Ursache für Anbackungen sind, konnte nur zum Teil bestätigt werden. In ca. 58% der Fälle von schlechter Förderbarkeit waren die Wassergehälter mit mehr als 5% auseinander gelegen. Im Umkehrschluss trat gute Förderbarkeit in ca. 79% der untersuchten Fälle bei Differenzen kleiner als 5% ein.

Das Verfahren zur Bestimmung der Schüttdichte wurde während den Untersuchungen geändert. Die Schüttdichte wurde darauf mit einem 5 Liter Eimer als Messgefäß, statt einem Ausstechzylinder bestimmt. Damit sollen Messfehler, die durch eine geringe Probenmenge entstehen könnten, ausgeglichen werden. Die erhaltenen Werte liegen leicht über denen, die durch den Ausstechzylinder ermittelt wurden. Die Messungen haben ergeben, dass die Schüttdichte des Versatzbaustoffs der Fa. Huthmann im Normalfall größer als  $1 \text{ t/m}^3$  ist und meist um  $1,1 \text{ t/m}^3$  pendelt. Die Schüttdichte des Versatzbaustoffes der SWS liegt unter  $1 \text{ t/m}^3$  (ca.  $0,9 \text{ t/m}^3$ ). Dies ist auf den hohen Staubanteil (Filterstäube) zurückzuführen. Aus der Schüttdichte lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt keine Rückschlüsse auf das Fließverhalten des Schüttgutes ziehen, da diese zu u. a. zu wenig schwanken.

Die vorhandenen Flügel des Scherfestigkeitsmessgerätes eignen sich nicht zur Bestimmung, da die Flügel zu klein sind und Messwerte im untersten Anzeigebereich anzeigen. Um aussagekräftigere Messwerte zu erhalten, wurde aus Zeitgründen durch die Werkstatt der SWS ein größerer Flügel gefertigt. Somit stimmt die Einheit der Messungen nicht mehr mit der vorherigen überein. Eine Umrechnung der Werte auf die vorhandene Einheit wird nicht durchgeführt, da der Flügel wiederum aus Zeitgründen nicht unter den erforderlichen Toleranzen gefertigt wurde. Für einen qualitativen Vergleich der Werte ist der Flügel allerdings ausreichend. Eine Aussage über gute oder schlechte Fließfähigkeit des Schüttgutes kann mit den gewonnenen Messwerten nicht getroffen werden.

Der Böschungswinkel beider Versatzbaustoffe pendelt zwischen  $30^\circ$  und  $45^\circ$ . In allen Situationen guter und schlechter Förderbarkeit sind alle Winkel aufgetreten. Deshalb lässt sich aus den Messungen keine Aussage über die Fließfähigkeit generieren.

Die Korngrößenverteilung hat ergeben, dass der Schluffanteil (Korngröße  $< 0,063\text{mm}$ ) des Versatzmaterials der Fa. Huthmann bis zu 23,8% und der SWS bis zu 31,1% ausmacht. Zu berücksichtigen ist, dass Grobkorn größer als 16mm ausgesiebt worden ist und sich somit der Prozentsatz auf die verbleibende Masse bezieht. Der hohe Anteil an Schluffkorn unterstützt die wesentlichen Kräfte, wie Flüssigkeitsbrücken, Van-der-Waals-Kräfte und elektrostatische Kräfte, die für das Anbackungen im Vorbunker verantwortlich sein können. Diese Kräfte wirken sich nur bei sehr kleinen Korndurchmessern aus, da in dieser Situation die Schwerkraft nicht die dominierende Kraft darstellt.

Die Temperatur des Versatzmaterials erreicht Werte bis zu  $34^\circ\text{C}$  und ist auf exotherme chemische Reaktionen zurückzuführen. Gute und schlechte Fließfähigkeit des Schüttgutes ist in allen Temperaturbereichen aufgetreten. Somit lässt sich auf Grund der Probentemperatur keine Aussage treffen.

Während des gesamten Untersuchungszeitraums herrschten ähnliche klimatische Bedingungen. Die Luftfeuchtigkeit schwankte in einem Bereich zwischen 60 und 95%RH. Die Umgebungstemperatur lag in einem Bereich zwischen  $0^\circ\text{C}$  und  $18^\circ\text{C}$ . Somit ist es nicht möglich wesentliche Unterschiede in der Anzahl der Störungen, die auf Grund des Schüttgutes entstanden sind, den Witterungsverhältnissen insbesondere der Luftfeuchtig-

keit und Temperatur zuzuordnen. Um dies erreichen zu können, müsste über den Verlauf eines ganzen Jahres die Luftfeuchtigkeit und Temperatur aufgezeichnet werden.

Die Dokumentation der Witterungseinflüsse hat ergeben, dass bei allen Witterungsverhältnissen (Regen, Sonne, bewölkt) Störungen in Form von Anbackungen auftreten. Somit lassen sich die Anbackungen nicht bestimmten Witterungsverhältnissen zuordnen. Regen erhöht zwar prinzipiell den Wassergehalt des Schüttgutes, allerdings wird eine sehr hohe Wassermenge benötigt, um einen Schüttguthalde zu durchdrängen. Lediglich während der nicht überdachten Förderung auf den Gurtförderern der Fa. Huthmann kann sich bei starkem Regen der Wassergehalt deutlich erhöhen. Zu bemerken ist jedoch, dass es während des Untersuchungszeitraums keine starken Regenschauer oder einen Platzregen gab. Die Situation in diesem Fall sollte in weiteren Untersuchungen betrachtet werden.

Bei allen Probeentnahmen wurden die Massenströme der Versatzbaustoffe der Fa. Huthmann und SWS, wie sie zusammen in den Vorbunker gefördert werden, festgehalten. Ein Zusammenhang zwischen der Fließfähigkeit des Schüttgutes und bestimmten Verhältnissen der Massenströme kann nicht festgestellt werden. Während der Förderung werden die Massenströme über Bandwaagen festgehalten. Die Bestimmung des Massenstroms bei Probennahme erfolgt durch das Anlegen einer Ausgleichsgeraden an die Kurven, da diese starke Schwankungen aufzeigen. Somit wird der Massenstrom mit einer gewissen Unsicherheit bestimmt.

Während den Untersuchungen konnten weitere Erkenntnisse über Schüttguteigenschaften gewonnen werden.

Schüttguteigenschaften, die eine gutes Fließverhalten hervorrufen:

- Rieselfähigkeit (körniges Schüttgut),
- trockene Stoffe (Problem der Staubbildung),
- sandige Stoffe,
- Granulieren von Stäuben unter hoher Energieaufwendung,
- Schüttgüter (Huthmann-Schlacke), die nach einer Zeitverfestigung von mehreren Tagen wieder gebrochen werden,
- wenn sich mit dem Schüttgut ein „Schneeball“ formen lässt,
- große Schüttgutbrocken und Steine.

Schüttguteigenschaften, die eine schlechtes Fließverhalten hervorrufen:

- Schüttgüter mit Bindemittel-Eigenschaften (beispielsweise Gips und Wasser),
- feine Schüttgüter insbesondere Schluff (Korngröße  $< 0,065\text{mm}$ ) mit hohem Wassergehalt führen zu Anbackungen an Konstruktionsteile,
- hoher Wasseranteil im Schüttgut.

Schüttgut-Phänomene:

- Schüttgütern kann nicht angesehen werden, wie viel Wasser sie enthalten. Beispielsweise sieht das Schüttgut der SWS mit einem hohen Anteil an Filterstäuben relativ trocken aus, hat aber einen etwa gleich hohen Wassergehalt wie der Versatzbaustoff der Fa. Huthmann, der hauptsächlich aus Müllverbrennungsschlacken besteht und feucht „aussieht“. Dieses Phänomen wird auch als „Doppelporosität“ bezeichnet. Wasser wird in den Feinporen der Teilchen gespeichert und ist nicht sichtbar. Bei z.B. Vibrationen löst sich dieses Wasser und tritt aus. Ein zuvor trocken erscheinendes Schüttgut kann nach einem längeren Transport mit einem Gurtförderer nass erscheinen, da dieses Wasser ausgetreten ist.
- Proctorkurven liefern für das vorhandene Schüttgut (Huthmann-Schlacke) keine Anhaltswerte, da die Kurven zu stark streuen. Es wird versucht, den Wassergehalt kleiner als bei größter Verdichtbarkeit zu halten.

Filterstäube sind hygroskopisch, das heißt sie binden Feuchtigkeit aus der Umgebung an sich. Sie neigen sie zur Agglomeration.

## 6.11 Störungsanalyse

Die statistische Untersuchung der Störungen hat ergeben, dass es im Prinzip vier Hauptausfallsarten, die zu Produktionsstillstand führen, gibt. Absteigend angeordnet nach ihrer vorkommenden Häufigkeit sind dies:

- Störungen durch schlechte Fließeigenschaften des Schüttgutes,
- Zwischenseilfahrten,
- Störungen des Gurtförderers (Bandbrücke) und
- Störungen der Förderanlage Untertage.

Rund ein Drittel der Ausfallzeiten sind auf die schlechten Fließeigenschaften des Schüttgutes zurückzuführen. Somit bilden diese den größten Teil und werden mit höchster Priorität betrachtet. Vor allem im Vorbunker und den Messtaschen treten diese Störungen in Form von Anbackungen auf und werden durch ungeeignete Geometrien in ihrer Bildung unterstützt.

Die Bestimmung der Schüttguteigenschaften hat ergeben, dass folgende Untersuchungen keine aussagekräftigen Werte zur Bestimmung des Fließverhaltens des vorhandenen Schüttgutes liefern:

- Schüttdichte
- Scherfestigkeit
- Böschungswinkel
- Probertemperatur
- Korngrößenverteilung

Als einziges aussagekräftiges Verfahren ist die Bestimmung des Wassergehalts geeignet, wobei sich auch hier keine eindeutigen Aussagen über gutes und schlechtes Fließverhalten des Schüttgutes haben treffen lassen.

Zur Lösung der Schüttgutproblematik stehen für den weiteren Verlauf des Projektes zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Die Schüttguteigenschaften werden durch eine Veränderung des Aufbereitungsverfahrens verbessert, so dass sich eine gute Förderbarkeit mit der vorhandenen Anlage ergibt. Eine Anpassung der vorhandenen Förderanlage an das Schüttgut stellt die zweite Möglichkeit dar. Alle Aufbereitungsschritte bleiben unverändert, aber beispielsweise die Geometrien im Vorbunker oder Beschichtungen werden geändert.

## **6.12 Weitere Untersuchungen**

### Bestimmung der Reibungskoeffizienten des Schüttgutes

Die Bestimmung der Reibungskoeffizienten dient zur Auslegung von Bunkern. Anhand des Rutschwinkels können die Neigung und Geometrien im Bunker festgelegt werden. Zur Bestimmung eignen sich zwei Methoden, die „schiefe Ebene“ und die Bestimmung der Reibungskoeffizienten in Anlehnung an DIN EN 1724. Der Vorteil der Bestimmung nach DIN EN 1724 ist, dass vorher definierte Spannungen auf das Schüttgut aufgebracht werden und so immer unter der selben Vorspannung reproduzierbare Ergebnisse erhalten werden. Zudem lässt sich eine Zeitverfestigung, in dem man die Vorspannung über eine definierte Zeit wirken lässt, erzeugen. Die DIN EN 1724 ist der „schiefen Ebene“ vorzuziehen. Vorteil der „schiefen Ebene“ ist jedoch die schnelle Durchführbarkeit und die Möglichkeit Geometrien (wie Kanten in denen Material zuerst kleben bleibt) zu untersuchen, in dem man gezielt diese Geometrien als „Rutsche“ verwendet.

### Modell der Messtasche im Maßstab 1:5

Mit Modellversuchen kann das Verhalten des Schüttgutes simuliert werden. Beispielsweise können die Auswirkungen verschiedener Wassergehälter des Schüttgutes untersucht werden. Auch ist eine Überprüfung möglich, wie sich der Versatzbaustoff der Fa. Huthmann mit dem der SWS vermischt und die Qualität der Vermischung die Fließeigenschaften beeinflusst.

### Zeitverfestigung

Eine Untersuchung der Veränderung des Fließverhaltens unter Zeitverfestigung kann ergeben, wie lange es sinnvoll ist beispielsweise das Versatzmaterial der Fa. Huthmann bis zur Aufgabe zu lagern.

### Wasseraufnahmevermögen

Das Wasseraufnahmevermögen stellt dar, wie viel Wasser ein trockener Stoff bzw. das Schüttgut aufnehmen kann. Mit diesem Wert kann ermittelt werden, ab wann eine Sätti-

gung des Schüttgutes mit Wasser erreicht ist und wie viel Prozent der momentane Wassergehalt davon ist. Werte, wie beispielsweise 20% Wassergehalt, erhalten erst ihre volle Aussagekraft, wenn festgestellt wird, ob das Schüttgut bei diesem Wert mit Wasser gesättigt ist, oder aber ob es noch Wasser aufnehmen kann.

#### Bestimmung des pH-Wertes

Der pH-Wert könnte ein Maß für das Fließverhalten sein.

### **6.13 Weiteres Optimierungspotential**

- In der Schüttgutaufgabe der Fa Huthmann sind Optimierungsmöglichkeiten geben, die langfristig zu einer besseren Ausnutzung der Kapazität der Anlage führen und Reinigungen verringern.
- Eine Änderung der Geometrie der Übergabestelle kann zu weniger Gurtverschleiß und einer symmetrischen Aufgabe führen.
- Die Abstreifer an sämtlichen Gurtförderern sowohl der Fa. Huthmann als auch der SWS wiesen Defizite auf. Am Gurt bleiben Reste des Versatzmaterials kleben und werden im Untertrum zurückgefördert. Während diesen Transports fällt Material ab und verschmutzt die Fläche unterm Gurt. Hinzu kommt die Verschmutzung der Tragrollen des Untertrums, an denen Anbackungen entstehen, die zu Verschleiß des Gurtes und zu Schiefelauf führen können.
- Der Metalldetektor des Schräggurtförderers (interne Bezeichnung: H2WE16M1) hält das Förderband teilweise bei sehr kleinen Metallteilen, die nicht zu einer Zerstörung des Senkrechtförderers führen, an. Häufig tritt dies beim Schüttgut „Kempfen-Schlacke“ auf, das im Direktversatz gefördert wird und viel Metall enthält. Dies hat Ausfallzeiten und Personalaufwand zur Folge, da ein Mitarbeiter die Störung beim Gurtförderer nach Überprüfung auf Metallteile quittieren muss.
- Die Aufbereitungsanlage der SWS ist sehr stark auf eine Just-In-Time-Anlieferung des Schüttgutes und der Filterstäube ausgelegt. Treffen viele LKWs gleichzeitig zur Anlieferung des Schüttgutes ein, so muss mit längeren Wartezeiten gerechnet werden.
- Die Befüllung der Silo 3 und 4 mit Schüttgut erfolgt mit dem Senkrechtförderer. Während der Befüllung steht dieser nicht zum Transport von Versatzmaterial nach Untertage zur Verfügung.

## 7 Zusammenfassung

Die Förderung von Schüttgütern mit ungünstigen und stark schwankenden Fließeigenschaften bereitet in der Praxis große Probleme. Im untersuchten Versatzbergwerk verursachen störungsbedingte Stillstandszeiten der Förderanlage trotz jahrelanger Erfahrung hohe Kosten.

Durch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte systematische Analyse der fördertechnischen Anlage konnten in Verbindung mit den untersuchten Schüttguteigenschaften des Versatzmaterials zum Störungszeitpunkt sowie den vorherrschenden Umgebungsbedingungen zahlreiche Ursachen von Störungen identifiziert und Verbesserungspotentiale aufgezeigt werden.

Die vorgestellte Projekt macht dabei deutlich, wie komplex das Verhalten von Schüttgütern sein kann. Zwar gibt es eine Vielzahl von Schüttguteigenschaften, allerdings liefern nur die wenigsten Anhaltswerte über das Fließverhalten. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass sowohl der Wassergehalt als auch die Korngrößenverteilung einen maßgeblichen Einfluss auf das Fließverhalten des Schüttgutes haben.

Die Analyse der Ausfallzeiten im Versatzbergwerk hat ergeben, dass ein nennenswerter Anteil der auftretenden Ausfallzeiten auf schlechtes Fließverhalten des Versatzbaustoffes und ungeeignete Geometrien im Vorbunker der Vertikalförderung zurückzuführen sind. Eine zur Zeit laufende Forschungsarbeit des IFT soll zur Klärung dieser Problematik beitragen, in dem die Ist-Situation der Schüttgutströme (Huthmann und SWS) im Vorbunker und den Messtaschen durch Modellierung und Simulation basierend auf kontinuumsmechanischen Berechnungen dargestellt wird. Daraus sollen konstruktive Veränderungen abgeleitet und simuliert werden, um eine Verbesserung der Förderung zu erreichen. Zu dem wird die Steuerung und Taktung des Gurtförderers „Bandbrücke“ optimiert, um eine symmetrische Gutaufgabe und -teilung im Vorbunker zu erhalten.

Daneben sollten zusätzliche Untersuchungen von Schüttgutproben mit der Bestimmung weiterer Schüttguteigenschaften, die für das Fließverhalten des Schüttgutes ausschlaggebend sind durchgeführt werden, um evtl. daraus verfahrenstechnische Optimierungen im Aufbereitungsprozess ableiten zu können.

## Literaturverzeichnis

BENJAMIN, C.W., NEMETH, J. (2001):

Transfer Chute Design for Modern Materials Handling Operations. In bulk solids handling Vol. 21 2001 Nr 1, Verlag Vogel 2001, S. 31-34.

BENJAMIN, C.W., BURLEIGH, A.C. NEMETH, J. (1999):

Transfer Chute Design – A New Approach Using 3D Parametric Modelling. In bulk solids handling Vol. 19 1999 Nr 1, Verlag Vogel 1999, S. 29-33.

DILEFELD, M.; VORWERK, C.; WILLENIUS, ; RICHTER, (2002):

Modellierung des Schüttgutstroms an Übergabestellen von Gurtförderern. In: 7. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2002, Innovative Verfahren und Techniken / Hrsg. F. Krause, W.Günthner. München: Verlag Herbert Utz Verlag, 2002.

GRÖGER, T. (1998):

Partikelmechanische Untersuchungen zur senkrechten Schlauchgurtförderung. Magdeburg, Universität, Diss., 1998.

HAJDANY, V.; RAFFAJ, A. (1976):

Zum Abwurfvorgang bei Gummigurt-Förderern. In fördern und heben 26 (1976) Nr. 9 S. 965-967.

HERZOG, M. (1996):

Untersuchungen zur Verbesserung der Schüttgutübergabe zwischen Gurtförderern. Dresden, Technische Universität, Diss., 1996.

HUSTRULID, A. ():

Parallel Implementation of the Discrete Element Method. Engineering Division. Colorado School of Mines.

KATTERFELFD, A. (2005):

Funktionsanalyse von Rohrkettenförderern. Magdeburg, Otto-von-Guericke-Universität, Diss., 2005.

KORZEN, Z. (1980):

Auswirkung von Prallwänden auf den Materialabwurf bei Gurtförderern. In Aufbereitung Nr. 11 (1980) S. 552-557.

KORZEN, Z. (1983):

Über das Spannungs- und Fließverhalten von Schüttgütern in vertikalen Verladeeinrichtungen. In Aufbereitung Nr. 11 (1983) S. 656-661.

KORZEN, Z. (1984):

Zum Abwurfvorgang bei Gurtförderern. In fördern und heben 34 (1984) Nr. 5 S. 380-388.

KORZEN, Z. (1985):

Über das Druck- und Fließverhalten von Schüttgütern an Förderband-Aufgabestellen. In fördern und heben 35 (1985) Nr. 7 S. 523-528.

KRAUSE, F.; HENTSCHEL, R. (1979):

Schüttgutübergabe. Magdeburg, TH, Forschungsbericht, 1979.

KRAUSE, F.; DILEFELD, M.; WILLENIUS, P. VORWERK, C. (2005):

Normierte mathematische Modellierung der Eigenschaften gutstromlenkender Elemente von Schüttgutübergabestellen. In: 10. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2005, Neue

- Trends in der Anlagenentwicklung / Hrsg. F. Krause, P. Horn, W. Günther. Magdeburg: Verlag LOGiSCH, 2005, S. 195-227.
- KRAUSE, F.; DILEFELD, M.; VORWERK, C. (2006):  
Kontinuumsmechanische Berechnung von Schüttgutströmen in Übergabestellen von Gurtförderern. In: 11. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2006, Neue Techniken und Verfahren / Hrsg. F. Krause, W. Günther. München 2006, Kapitel III.
- MAGENS, E.-P. (1985):  
Spezielle Reibwiderstände in Gurtförderanlagen. In: Braunkohle 37 1985 Heft 5 S. 158-166.
- PAJER, G.; KUHN, H.; KURTH, F. (1988):  
Stetigförderer. 5. Auflage. Berlin: Verlag Technik, 1988.
- ROBERTS, A.; WICHE, S. (1999):  
Interrelation Between Feed Chute Geometry and Conveyor Belt Wear. In: bulk solids handling Vol. 19 1999 Nr. 1. Verlag Vogel, 1999, S. 35-39.
- ROBERTS, A. (2006):  
Bulk Solids Handling - An Historical Overview and Current Developments. In: bulk solids handling Vol. 26 2006 Nr. 6. Verlag Vogel, 2006, S. 392-419.
- SCHMIDT, H. (2001):  
Grundlagen der Geotechnik. 2. Auflage. Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden: Verlag B. G. Teubner GmbH, 2001.
- SCHULZE, D. (1991):  
Untersuchungen zur gegenseitigen Beeinflussung von Silo und Austragorgan. Braunschweig, Universität, Diss., 1991.
- SCHULZE, D. (1999):  
Grundlagen der Schüttgutmechanik. 1999.
- VOM STEIN, R. (1985):  
Optimierung der Übergabzone von Gurtförderanlagen. Hannover, Universität, Diss., 1985.
- WEHKING, K.H. (1986):  
Untersuchungen zur Optimierung von horizontal arbeitenden Trogkettenförderern. Dortmund, Universität, Diss., 1986.
- WUCHERT, F. (1988):  
Fördergutübergabe an Gurtbandförderern, Dresden, TU, Diplomarbeit, 1988.
- WERNER, K-D (1978):  
Untersuchung von Schüttgutübergabestellen, Magdeburg, TH, Diplomarbeit, 1978.
- 
- DIN 12339 Laborgeräte aus Glas; Petrischalen. Ausgabe: April 1984.
- DIN 12341 Laborgeräte aus Glas; Uhrglasschalen. Ausgabe: März 1970.
- DIN 18121-1 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Wassergehalt, Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung. Ausgabe: April 1998.
- DIN 18121-2 Baugrund - Untersuchungen von Bodenproben; Wassergehalt - Teil 2: Bestimmung durch Schnellverfahren. Ausgabe: August 2001.
- DIN 18123 Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben; Bestimmung der Korngrößenverteilung; Ausgabe: November 1996.

---

DIN 18125-1	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung der Dichte des Bodens, Teil 1: Laborversuche. Ausgabe: August 1997.
DIN 18125-2	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben- Bestimmung der Dichte des Bodens– Teil 2: Feldversuche. Ausgabe: August 1999.
DIN 18127	Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben, Proctorversuch; Ausgabe: November 1997.
DIN 18137-1	Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen. Ausgabe: August 1990.
DIN 18137-2	Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Triaxialversuch. Ausgabe: Dezember 1990.
DIN 18137-3	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben- Bestimmung der Scherfestigkeit– Teil 3: Direkter Scherversuch. Ausgabe: September 2002.
DIN 22101	Stetigförderer, Gurtförderer für Schüttgüter - Grundlagen für die Berechnung. Ausgabe: August 2002.
DIN 25448-	Ausfalleffektanalyse (Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluß-Analyse). Ausgabe: Mai 1990.
DIN 4021	Baugrund; Aufschluß durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben. Ausgabe: Oktober 1990.
DIN 4094-4	Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 4: Flügelscherversuche; Ausgabe: Januar 2002.
DIN 50011-12	Klimate und ihre technische Anwendung; Klimaprüfeinrichtungen; Klimagröße; Lufttemperatur. Ausgabe: September 1987.
DIN EN 10305-1	Präzisionsstahlrohre - Technische Lieferbedingungen - Teil 1: Nahtlose kaltgezogene Rohre; Deutsche Fassung EN 10305-1:2002. Ausgabe: Februar 2003.
DIN EN 1724	Leichte Fördergurte - Prüfverfahren für die Bestimmung des Reibwertes; Ausgabe: August 1999.
DIN EN ISO 8295	Kunststoffe - Folien und Bahnen - Bestimmung der Reibungskoeffizienten. Ausgabe: Oktober 2004.
DIN ISO 3435	Stetigförderer; Klassifizierung und Symbolisierung von Schüttgütern; Ausgabe: Februar 1979.
LAGA PN98	Richtlinie: Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien. Dezember 2001; Fassung 2002.
VDI 2225	Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren.Ausgabe: November 1997.
VDI 3604	Gurtförderer für Schüttgut, Übergabeeinrichtungen. Ausgabe: Januar 2001.
VDI 3605	Gurtförderer für Schüttgut, Reinigungseinrichtungen. Ausgabe: Dezember 2005.