

Dossier – Transportkonzept für stückiges Brennholz

Diplomarbeit an der TU-Graz
Institut für Technische Logistik



von

Robert Weiss

Graz, Mai 2012

Vorwort

Diese Diplomarbeit wurde zur Erlangung des akademischen Grades „Diplomingenieur des Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbaus“ verfasst. Sie ist im Zuge meines Studiums an der TU Graz am Institut für Technische Logistik in Zusammenarbeit mit der Firma Simbürger entstanden.

Besonders möchte ich mich für die Unterstützung und die Betreuung bei den Herrn Dipl.-Ing. Andreas Wolfschluckner und Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Cristian Landschützer bedanken.

Einen großen Dank möchte ich an Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jodin Dirk für seine Unterstützung richten.

Eine sehr große Hilfe waren auch die übrigen Mitarbeiter am Institut. Besonders erwähnen möchte ich Herrn Stefan Kratochwill, der mich bei den praktischen Teilen dieser Arbeit tatkräftig unterstützt hat.

Bei der Firma Simbürger bedanke ich mich für die sehr gute Zusammenarbeit.

Ein riesiges Dankeschön gebührt meiner Familie, die mich während meiner Studienzeit unterstützt und mir die Chance dieser Ausbildung ermöglicht hat.

Abschließend möchte ich mich noch bei meiner Freundin Julia, die in jeder Situation für mich da ist und mir zur Seite steht, herzlichst bedanken.

Kurztext

Deutsch

In dieser Diplomarbeit wird ein Konzept erarbeitet, mit dem es möglich ist grobes, unregelmäßiges Schüttgut zu dosieren und zu transportieren. Dieses vorgegebene Brennmaterial wird in so kleinen Dosiereinheiten benötigt, dass herkömmliche Dosier- und Transporteinrichtungen nicht ohne Modifikationen eingesetzt werden können.

Nach bekannten Verfahren der Ideenfindung und angemessenen Bewertungsmethoden werden mögliche Lösungsvarianten erarbeitet. Die schlussendliche Konkretisierung erfolgt durch entsprechende Laborversuche.

Ausgehend von den gewonnenen Informationen während der Arbeit werden neben den Hauptaufgaben Dosieren und Transportieren auch notwendige Zusatzeinrichtungen behandelt. Diese bestehen hauptsächlich aus Mess- und Auflockerungseinheiten.

Aus der Gesamtheit der Teillösungen lässt sich schlussendlich ein passendes Gesamtkonzept kombinieren.

Der Abschluss dieser Diplomarbeit stellt einen Kostenvergleich mit einem existierenden Prototypen, welcher parallel zu dieser Arbeit entwickelt wurde und keinerlei Einfluss auf das erarbeitete Konzept hat, dar.

Englisch

In this Master's thesis a concept is developed with the ability to dose and transport coarse and irregular bulk goods. This predetermined heating fuel is needed in such small doses, so that conventional dosage- and transport installations cannot be used without modifications.

According to well-known procedures of finding advisable solutions and appropriate valuation methods, potential solution possibilities are elaborated.

The final concrete results follow from corresponding laboratory experiments.

Based on the information obtained during work, beside the main task of dosage and transport also necessary auxiliary devices are discussed as well. These devices mainly consist in measurement- and dispersal units.

From the totality of the partial solutions, a final convenient overall concept can be combined.

The conclusion of this Master's thesis is a cost comparison with an existing prototype, which was developed in parallel to the work and has no influence on the developed concept.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Einleitung | 7 |
| 1.1 | Ausgangssituation | 7 |
| 1.2 | Aufgabenstellung | 7 |
| 2 | Problemanalyse | 9 |
| 2.1 | Fördergut | 9 |
| 2.1.1 | Schüttgüter | 10 |
| 2.1.2 | Stückgüter | 18 |
| 2.1.3 | Klassifizierung | 18 |
| 2.2 | Kernproblematik | 19 |
| 2.2.1 | Verbesserung der Schüttgutbewegung | 20 |
| 2.3 | Dosier- und Transportsysteme | 22 |
| 2.3.1 | Dosiersysteme | 22 |
| 2.3.1.1 | Dosierverfahren mit Messung | 22 |
| 2.3.1.2 | Dosierverfahren ohne Messung | 23 |
| 2.3.2 | Messverfahren | 33 |
| 2.3.2.1 | Volumetrische Messverfahren | 33 |
| 2.3.2.2 | Gravimetrische Messverfahren | 34 |
| 2.3.2.3 | Besondere Methoden | 34 |
| 2.3.3 | Transportsysteme | 35 |
| 2.3.3.1 | Förderer mit Zugmittel | 35 |
| 2.3.3.2 | Förderer ohne Zugmittel | 37 |
| 2.4 | Vorgehensweise zur Lösungsfindung | 39 |
| 2.4.1 | VDI 2221 | 39 |
| 2.4.1.1 | Arbeitsabschnitte | 41 |
| 2.5 | Lösungssuche | 43 |
| 2.6 | Bewertungsmethoden | 45 |
| 2.7 | Kostenvergleich | 46 |
| 3 | Entwicklung von Maßnahmen – Methodisches Vorgehen nach VDI 2222 | 47 |
| 3.1 | Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung | 47 |
| 3.2 | Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen | 48 |
| 3.3 | Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen | 49 |
| 3.3.1 | Schüttguteigenschaften - Laborversuche | 50 |
| 3.3.1.1 | Schüttdichte | 50 |
| 3.3.1.2 | Benötigte Menge | 51 |
| 3.3.1.3 | Auslaufversuch | 52 |
| 3.3.1.4 | Abrutschversuch | 53 |
| 3.3.1.5 | Schüttwinkel | 54 |
| 3.3.2 | Nebenfunktionen | 55 |
| 3.3.3 | Nebenfunktion Messen | 55 |
| 3.3.3.1 | Gewähltes Messverfahren | 56 |
| 3.3.4 | Hauptfunktion Dosieren | 56 |
| 3.3.4.1 | Gewähltes Dosierverfahren | 59 |
| 3.3.5 | Dosiereinrichtung - Versuchsaufbau | 60 |
| 3.3.5.1 | Zellenrad / Zellschleuse | 60 |
| 3.3.5.2 | Drehkratzer / Kaugummiautomat | 65 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.3.6 | Nebenfunktion Auflockern | 69 |
| 3.3.6.1 | Gewählte Auflockerungseinrichtung | 69 |
| 3.3.7 | Hauptfunktion Transport | 71 |
| 3.3.7.1 | Gewählte Transportmittel | 72 |
| 3.3.7.2 | Transport I: Lagerplatz – Dosiereinheit | 73 |
| 3.3.7.3 | Transport II: Dosiereinheit – Brenner | 75 |
| 3.3.8 | Hauptfunktion Lagern | 76 |
| 4 | Ergebnisse – Konzeptlösungen | 77 |
| 5 | Kostenvergleich | 81 |
| 5.1 | Prototyp der Firma Simbürger | 81 |
| 5.2 | Erarbeitetes Idealkonzept nach Kapitel 4 | 83 |
| 5.3 | Ergebnis | 84 |
| 6 | Zusammenfassung | 85 |
| 7 | Verzeichnisse | 86 |
| 7.1 | Literaturverzeichnis | 86 |
| 7.2 | Abbildungsverzeichnis | 88 |
| 7.3 | Tabellenverzeichnis | 89 |

1 Einleitung

Der Bedarf an nutzbarer Energie ist in unserer derzeitigen Gesellschaft stetig am Steigen. Um dieser Nachfrage gerecht zu werden, ist es notwendig, neue Energiequellen zu erschließen und Bestehende zu optimieren.

Energie tritt in unterschiedlichen Formen auf, Beispiele dafür sind die chemische Energie, die elektrische Energie, die potentielle Energie oder auch die mechanische Energie.

Die für uns Menschen sehr wichtige und ständig begleitende Energie in Form von Wärme wird bei der chemischen Reaktion der Verbrennung freigesetzt.

Wir benötigen sie unter anderem um unsere Haushalte zu heizen und unser Warmwasser aufzubereiten.

Unter den vielen zur Verfügung stehenden Brennstoffen ist Holz seit jeher der wichtigste. Bei vernünftiger und nachhaltiger Nutzung stellt dieser Rohstoff eine sichere und konstante Energiequelle dar.

1.1 Ausgangssituation

Die Firma Simbürger mit Sitz in Graz hat zu diesem Zweck ein System erfunden, mit dem kleines, stückiges Brennholz optimal verbrannt werden kann. Bei diesem Material handelt es sich um sogenanntes „Knüppelholz“, das bei der forstwirtschaftlichen Nutzung von Wäldern zur Brennholzgewinnung in Form von kleinen Ästen, Bäumen oder Sträucher anfällt und normalerweise ungenutzt bleibt. Diese Rundhölzer werden vor ihrer Verwendung auf die für das Verbrennungssystem optimalen Maße abgelängt. Das so entstandene Brennmaterial hat Abmaße von 20mm bis 50mm und liegt in unregelmäßiger Form vor. Zur Befuerung des verwendeten Brenners werden, abhängig von der jeweiligen auftretenden Anforderung, ein Durchsatz von 1-4kg Brenngut pro Stunde benötigt. Das entspricht einer durchschnittlichen Förder- und Dosierleistung von etwa 4-5 größeren Stücken alle 15min.

1.2 Aufgabenstellung

Aufgabe dieser Diplomarbeit ist es, Konzepte für die Dosierung und den Transport des Stückholzes vom Lagerplatz bis zum Brenner zu finden und diese bezüglich der gestellten Anforderungen zu bewerten. Aus den erarbeiteten Möglichkeiten ist die zu favorisierende Variante zu zeigen.

Neben der Hauptaufgabe dem Dosieren und Transportieren sind auch Möglichkeiten zum Speichern und Austragen des Brennmaterials anzugeben.

Im Anschluss ist das erarbeitete Konzept mit einem existierenden Prototyp bezüglich Herstellkosten zu vergleichen. Dieser ist parallel zu dieser Arbeit von

der Firma Simbürger entwickelt worden und hat keinerlei Einfluss auf diese Arbeit.

In Abbildung 1-1 ist schematisch der Weg des Brennmaterials vom Lagerplatz bis zum Ofen dargestellt.

Das gespeicherte Gut muss mittels einer Dosiereinrichtung auf die passende Menge aufgeteilt und danach über eine entsprechende Transporteinrichtung bis zum Brenner befördert werden. Dabei ist nicht festgelegt, ob die Dosiereinrichtung direkt nach dem Lagerbereich positioniert sein muss oder auch an einer geeigneten Stelle innerhalb der Transportkette platziert sein kann.

Der direkte Eintritt des Brennmaterials in den Ofen ist nicht Teil dieser Arbeit.

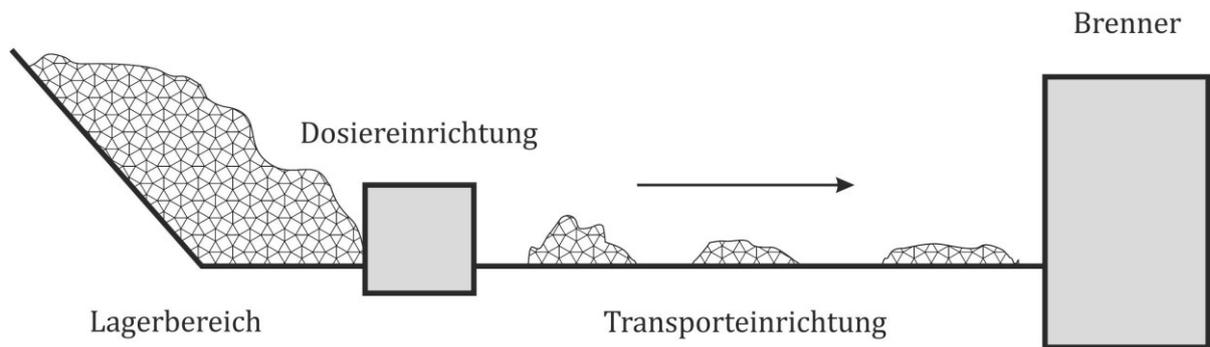


Abbildung 1-1: Schema

2 Problemanalyse

Aus der gegebenen Aufgabenstellung und des gezeigten Schemas in Kapitel 1.2 ist ersichtlich, dass der zentrale Kern dieser Arbeit das vorgegebene Brennmaterial darstellt.

Die zu entwickelnden Konzepte für die Dosierung und den Transport müssen auf dieses spezielle Gut abgestimmt sein.

2.1 Fördergut

Bei dem gegebenen Brennmaterial handelt es sich großteils um nicht nutzbare Holzabfälle, die in der Forstwirtschaft anfallen. Diese reichen von kleinen Bäumen, Ästen und Sträuchern bis zum Verschnitt, der bei Brennholzerstellung anfällt. Allerdings ist es natürlich auch möglich, vorhandenes Brennholz auf die passende Größe zu zerkleinern und damit den vorhandenen Brenner zu befeuern.

Dieses Gut liegt demnach in sehr unterschiedlicher Form vor und ist an keine geometrischen Vorgaben gebunden, anders als bei den sonst weit verbreiteten Holzpellets, die in sehr regelmäßiger Form und Größe existieren. Dieses Brennmaterial hat unregelmäßige Ecken und Kanten, kann Astansätze und Verzweigungen, sowie unterschiedliche Oberflächen wie auch Holzfeuchtigkeit aufweisen. Abbildung 2-1 zeigt mögliche Holzstücke dieses Gutes. Es sind die unterschiedlichen Größenordnungen, min. 20mm x 20mm x 20mm bis max. 50mm x 50mm x 50mm, wie auch abweichenden Formen, Spanbildung / Einschnitte, zu erkennen.

Die Holzart ist ebenfalls nicht festgelegt, es können alle Arten von Weich- bis Hartholz auftreten und dem Brenner zugeführt werden.

Aus der Summe dieser Vorgaben lassen sich nur sehr schwer einheitliche, brennstoffspezifische Anforderungen an das Konzept festlegen, da die auftretenden Parameter des Brennmaterials stark variieren.



Abbildung 2-1: Brennmaterial

Um sich ein genaueres Bild von dem vorliegenden Brennmaterial zu machen und in weiterer Folge ein geeignetes Konzept entwickeln zu können, ist es notwendig dieses Fördergut zu definieren.

Dazu ist grundlegendes Wissen über Fördergüter notwendig.

Diese können in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- Schüttgüter
- Stückgüter

Eine genauere Definition und entsprechende Eigenschaften helfen das vorgegebene Brennmaterial zu deklarieren und ein entsprechendes Dosier- und Transportkonzept zu finden.

2.1.1 Schüttgüter

Diese Fördergüter werden in geschütteter Form gelagert und transportiert.

Sie verhalten sich nicht wie Festkörper oder Flüssigkeiten und lassen sich dadurch auch nicht als solche betrachten.

Merkmale, die diese Art von Gütern beschreiben und auch wichtig für die Wahl eines geeigneten Fördervorganges sind, werden nachstehend aufgelistet.

a) Korngröße

Die Körnung ist die Korngrößenverteilung und bezeichnet den größten Kantenabstand eines Teilchens.

Diese wird durch Prüfsiebung mittels Rundlochbleche nach DIN 4187 bzw. Drahtgewebe nach DIN 4188 bestimmt und gibt eine prozentuelle Korngrößenverteilung an.

In der Literatur sind unterschiedliche Einteilungen der Schüttgüter gebräuchlich, eine davon ist in Tabelle 2-1 nach der VDI-Richtlinie 2393 dargestellt.

| Gruppe | Korngröße d_k in mm von mindestens 60% des Gutvolumens | |
|--------|--|-----------|
| A | | bis 0,4 |
| B | über | 0,4...1 |
| C | über | 1...3 |
| D | über | 3...10 |
| E | über | 10...25 |
| F | über | 25...50 |
| G | über | 50...75 |
| H | über | 75...150 |
| L | über | 150...300 |
| K | über | 300 |

Tabelle 2-1: Korngröße

Da die Korngröße weitere Eigenschaften der Schüttgüter bestimmt, wie etwa Schüttdichte, mögliche Wasserzahl sowie Fließfähigkeit und Festigkeit, hat sie entscheidenden Einfluss auf die Auswahl der verwendeten Fördermittel.

b) Kornform

Eine mögliche Klassifizierung der Schüttgüter stellt Tabelle 2-2, nach [VDI2393], dar.

| | |
|-----|---------------------------|
| I | Würfelform |
| II | Prisma- oder Nadelform |
| III | Platten- und Schuppenform |
| IV | Kugelform |
| V | Zylinderform |
| VI | Fadenform |

Tabelle 2-2: Kornform

Die Form ist mitentscheidend für das Förderverhalten der Schüttgüter und bestimmt daher unter anderem die Auswahl und Dimensionierung eines geeigneten Fördermittels.

Scharfkantige und abrasive Güter tragen etwa maßgeblich zum Verschleiß der Bauteile bei, mit denen sie in Kontakt kommen.

c) Dichte [PKK82]

Unterschieden wird dabei zwischen der Dichte der Schüttgutmasse und der Schüttdichte.

- Die Dichte ρ wird als Fördergutmasse m je Volumenanteil V der Schüttgutteilchen in $\left[\frac{t}{m^3}\right]$ angegeben.

$$\rho = \frac{m}{V} = \left[\frac{t}{m^3}\right] = \left[\frac{kg}{dm^3}\right] \quad \text{Gl. 2-1}$$

- Die Schüttdichte ρ_S bezeichnet die Masse der Schüttprobe m_S je Volumen V_S der Schüttprobe inkl. Zwischenräume, angegeben in $\left[\frac{t}{m^3}\right]$.

$$\rho_S = \frac{m_S}{V_S} = \left[\frac{t}{m^3}\right] = \left[\frac{kg}{dm^3}\right] \quad \text{Gl. 2-2}$$

Diese stellt aber keine Gutkonstante dar, sondern ist von weiteren Zustandsgrößen abhängig, besonders:

- Korngröße und Kornverteilung
- Porenanteil
- Feuchtigkeitsgehalt

Der Porenanteil n beschreibt das Verhältnis aus Rauminhalt der Poren V_P zu Rauminhalt der Schüttgutprobe V_S .

$$n = \frac{V_P}{V_S} = \frac{V_S - V}{V_S} \quad \text{Gl. 2-3}$$

Die Schüttdichte in Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgrades kann für div. Schüttgüter Tabellen entnommen werden.

d) Wassergehalt und Konsistenz [PKK82]

Schüttgut kann Wasser in folgenden Formen enthalten:

- Strukturwasser
- Adsorbiertes Wasser
- Solvationswasser
- Porenwasser

Die Eigenschaften von Schüttgütern werden unter normalen Bedingungen nur durch Änderungen des Gehaltes an Solvations- und Porenwasser beeinflusst. Das erste ist sogenanntes bewegliches Wasser das einzelne Körner umgibt, das zweite füllt Räume zwischen den Körnern aus.

Die daraus ableitbare natürliche Wasserzahl w ergibt sich aus verdunsteter Wassermenge m_W pro Trockenmasse der Probe m_T , bei Trocknung ei-

ner Gutprobe und beeinflusst dadurch die Konsistenz von bindigem Schüttgut. Beispiele hierfür sind feiner Sand oder Ton.

$$w = \frac{m_W}{m_T} \quad \text{Gl. 2-4}$$

e) Schüttgutfestigkeit [PKK82]

Unter der Scherfestigkeit ist der innere Widerstand eines Schüttgütters gegen die Verschiebung in einer Gleit- oder Bruchfläche zu verstehen.

Das Schüttgut wird als Coulomb'scher Reibungskörper idealisiert, der nur Druck- und Schubspannungen, aber keine Zugspannungen übertragen kann. Bei dieser Idealisierung reichen zur Kennzeichnung des Schüttgutverhaltens die drei Größen Schüttdichte ρ_S , innerer Reibwert μ und Wandreibwert μ_W aus. Die Grundlage ist, dass das Verhältnis der Schubspannung τ zur Normalspannung σ im Haufwerk höchstens den Wert der inneren Reibung μ erreichen kann.

Coulombsche Bruchbedingung:

$$\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_{max} = \tan\varphi = \mu \quad \text{Gl. 2-5}$$

Dabei stellt φ den Winkel der Scherfestigkeit oder auch Winkel der inneren Reibung dar.

Bei Schüttgütern mit Haftfestigkeit, bindigem Schüttgut, kommt zusätzlich die Haftfestigkeit (Kohäsion) zu tragen, soll hier aber nicht weiter behandelt werden.

Die Betrachtung des Spannungszustandes in einem Schüttgütters erfolgt auf der Grundlage einer Stabilitätsuntersuchung. Es wird die Grenzlage bestimmt, bei der Bruch oder Gleitung im Schüttgütters auftritt.

Die experimentelle Bestimmung der Scherfestigkeit und dadurch der Parameter der Bruchbedingung und des Reibwertes erfolgt in einem Scherversuch. Dabei wird der Schüttgütters unter Belastung unterschiedlicher Normallasten F_{Ni} entlang einer Scherfläche $S - S$ abgeschert. Die dazu notwendigen Scherkräfte F_{Si} werden gemessen. Aus den Messwerten F_{Ni} und F_{Si} können bei bekannter Scherfläche A die Spannungskomponenten σ_i und τ_i ermittelt werden und in einem $\tau - \sigma$ -Diagramm, Abbildung 2-2, eingetragen werden. Man erhält näherungsweise eine Gerade und es lässt sich der Parameter φ ermitteln.

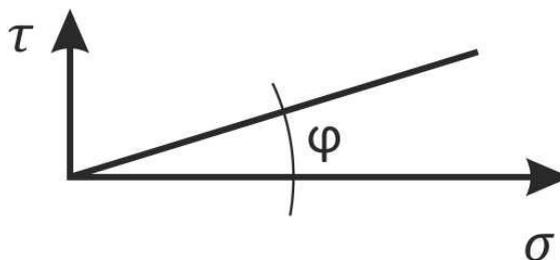


Abbildung 2-2: $\tau - \sigma$ -Diagramm

Abbildung 2-3 zeigt den Aufbau eines solchen Schergerätes.

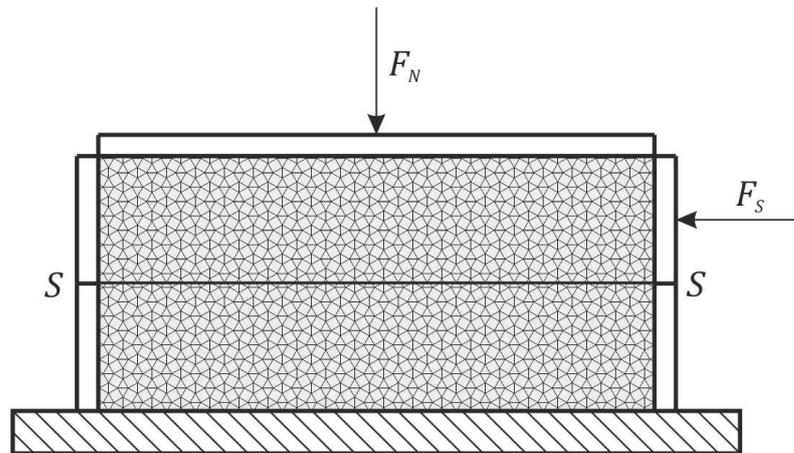


Abbildung 2-3: Scherversuch

Angaben solcher Scherfestigkeitsparameter verschiedener Schüttgüter sind in der Literatur leider nur als Orientierungswerte zu finden, da diese sehr spezifisch sind und für jedes individuelle Schüttgut ermittelt werden müssen.

f) Wandreibung [PKK82]

Die Wandreibung μ_W bzw. der Wandreibungswinkel φ_W kennzeichnen den Widerstand den ein Fördergut auf einer Stützfläche seiner Verschiebung entgegensetzt. Sie hängen von Form und Größe der Gutteilchen sowie von der Beschaffenheit der Unterlage ab.

Die Wandreibungszahl μ_W lässt sich experimentell nach Abbildung 2-4 aus Normal- und Tangentialkraft in Ruhe bestimmen.

$$F_T = F_N * \mu_W = F_N * \tan\varphi_W \qquad \text{Gl. 2-6}$$

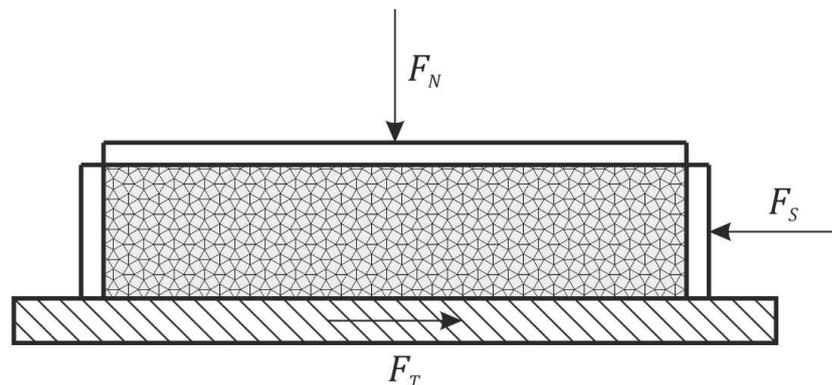


Abbildung 2-4: Wandreibung 1

Die Wandreibungszahl μ_W von nicht klebrigen Schüttgütern lässt sich durch schräg stellen der Unterlage ermitteln, woraus der Grenzneigungswinkel δ_{grenz} hervorgeht, bei dem das Schüttgut gerade zu rutschen beginnt.

$$m * g * \sin\delta_{grenz} = m * g * \cos\delta_{grenz} * \mu_W = m * g * \cos\delta_{grenz} * \tan\varphi_W \quad \text{Gl. 2-7}$$

$$\tan\delta_{grenz} = \tan\varphi_W \quad \text{Gl. 2-8}$$

$$\delta_{grenz} = \varphi_W \quad \text{Gl. 2-9}$$

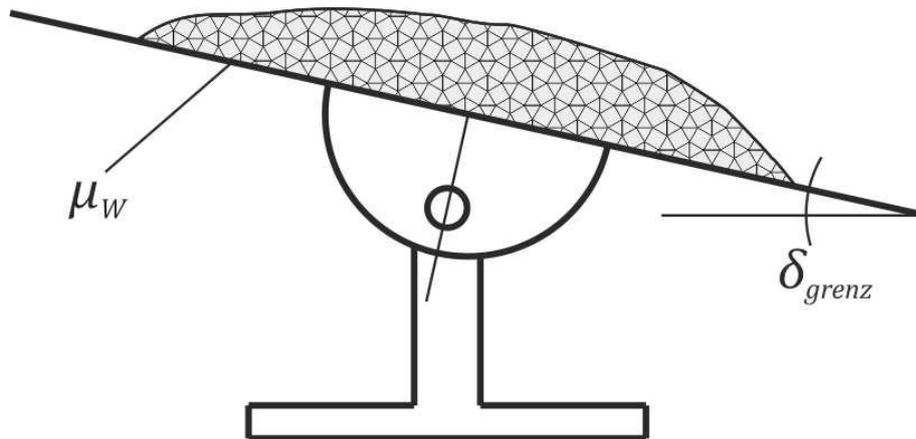


Abbildung 2-5: Wandreibung 2

g) Böschungswinkel [PKK82]

Aufgrund der inneren Reibung bildet Schüttgut einen Schüttgutkegel, welcher gegen die waagrechte Unterlage geneigt ist. Gemessen kann dieser mit einem Auslaufversuch, siehe Abbildung 2-7, werden.

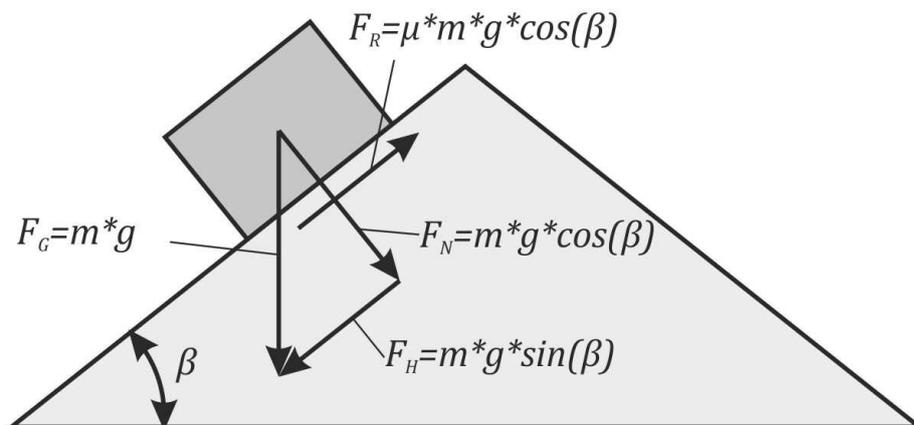


Abbildung 2-6: Böschungswinkel

Abbildung 2-6 zeigt ein auf einer geneigten Schüttfläche liegendes Schüttgutteilchen. Dieses bleibt solange in Ruhe, solange die Hangabtriebskraft F_H kleiner oder max. der Reibkraft F_R ist.

$$m * g * \sin\beta = \mu * m * g * \cos\beta \quad \text{Gl. 2-10}$$

$$\tan\beta = \mu \quad \text{Gl. 2-11}$$

Die innere Reibung μ ist bei Schüttgütern dadurch bestimmt, dass das Verhältnis aus auftretender Schubspannung τ zur Normalspannung σ je Schüttgutteilchen höchsten dieser Reibung entspricht.

$$\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_{max} = \tan\varphi = \mu \quad \text{Gl. 2-12}$$

$$\sigma = \frac{m * g * \cos\beta}{A} \quad \text{Gl. 2-13}$$

$$\tau = \frac{\mu * m * g * \cos\beta}{A} \quad \text{Gl. 2-14}$$

$\varphi = \text{Reibungswinkel}$

$$\tan\beta = \mu = \tan\varphi \quad \text{Gl. 2-15}$$

$$\beta = \varphi \quad \text{Gl. 2-16}$$

In den meisten Fällen ist der Schüttwinkel β in Ruhe dem inneren Reibungswinkel φ der inneren Reibung des Schüttgutes gleich. Durch Rütteln der Unterlage bildet sich der Böschungswinkel der Bewegung.

$$\beta_{dyn} = (0,6 - 0,8) * \beta \quad \text{Gl. 2-17}$$

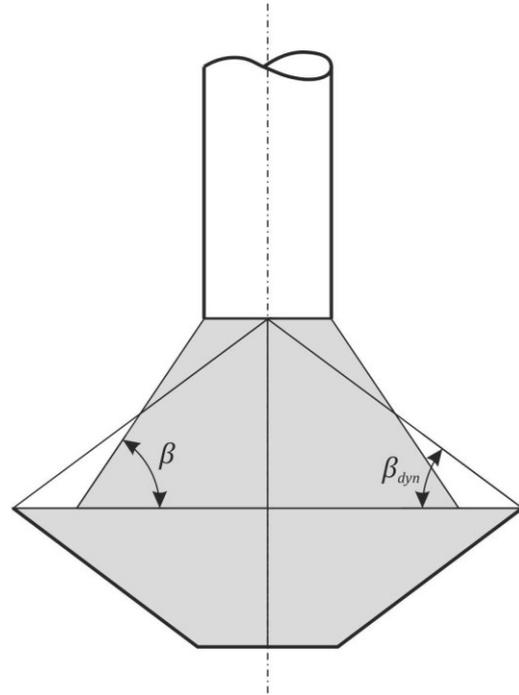


Abbildung 2-7: Auslaufversuch

h) Temperatur / Luftfeuchtigkeit [SCH70]

Temperaturabhängige Merkmale von Schüttgütern treten vor allem bei Temperaturänderung auf, was vor allem bei der Lagerung dieser Güter vorkommt. Bei pulverförmigem, heißem Schüttgut kann es bei Abkühlung zu einer Schlamm bildung kommen, was geänderte Förder- und Lagereigenschaften zur Folge hat. Eingelagertes Wasser in Schüttgut reagiert bei Abkühlung unter den Gefrierpunkt mit Erstarren und einer Volumensvergrößerung.

Die Wasseraufnahme von hygroskopischen Stoffen ist vor allem in Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit zu beachten. Diese verschlechtert vor allem bei feinkörnigen Schüttgütern die Fließeigenschaften.

i) Sonstige

Weitere Eigenschaften von Schüttgütern, sowie Einflussfaktoren für deren Zustand und die Art und Weise der Verwendbarkeit sind unter anderem:

- schießend
- zerbrechlich
- klebrig
- explosiv

Diese werden an dieser Stelle aber nicht weiter behandelt, da das vorliegende Brennmaterial diese Eigenschaften nicht aufweist.

Der Faktor Zeit spielt vor allem bei der Lagerung eine nicht zu unterschätzende Rolle und hat Einfluss auf bereits gelistete Eigenschaften. Durch das zeitbedingte Setzen des Schüttgutes erhöht sich beispielsweise der Böschungswinkel und der Reibungswinkel. Der zeitabhängige Füllvorgang von Bunkern ergibt unterschiedliche Packungsdichten aufgrund der eingeschlossenen Luft im Gut. Bei schneller Befüllung und feinem Schüttgut erhöht sich dadurch die Neigung zum Schießen, die mitgerissene Luft verringert die Packungsdichte.

2.1.2 Stückgüter

Diese Fördergüter sind durch zählbare Einzelgüter, welche sich am Stück transportieren lassen, definiert.

Merkmale davon sind:

- große Einzelteile
- mehrere Einzelgüter zu Ladeeinheiten zusammengefasst
- kleine Mengen von Schüttgütern die in Behältern zusammengefasst werden

Diese werden klassifiziert nach Volumen, Gewicht, Form, Lastaufnahme, Werkstoff, Stützfläche und Schwerpunktlage.

2.1.3 Klassifizierung

Aus der vorangegangenen Unterteilung von Fördergut in Schütt- und Stückgüter und deren anschließende Definition zeigt sich, dass das vorliegende Brennmaterial als Schüttgut behandelt werden muss.

Laut [RR71] wird Schüttgut welches nicht mit Apparaturen wie dem Schergerät aufgrund der Korngröße getestet werden kann, das ist hier der Fall, als grobes Schüttgut klassifiziert. Übliche Schergeräte sind nur für feinkörnige und pulverförmige Materialien einsetzbar.

Aufgrund der Tatsache, dass die benötigte Menge sehr gering ist, ca. fünf Stücke auf einmal, könnte diese Einheit als Paket aufgefasst und als Stückgut betrachtet werden. Diese Möglichkeit ist aber weniger erfolgsversprechend und sollte nur im Hinterkopf behalten werden.

Da das zu fördernde Gut als Schüttgut produziert, gespeichert und auch dosiert wird, ist diese Deklaration zu verwenden.

2.2 Kernproblematik

Eine der wesentlichen Aufgaben und der Hauptanreiz für diese Arbeit ist die Verkeileigenschaft von Schüttgut. Hauptsächlich grobes Gut unter beengten Platzverhältnissen zeigt starke Neigung sich zu verkanten, verkeilen und Brücken zu bilden.

In Vorarbeit zu dieser Arbeit wurde von der Firma Simbürger eine erste Transporteinrichtung zum entwickelten Brenner gefertigt, die als kleines Förderband ausgeführt ist. In Abbildung 2-8 ist dieses Band inklusive verwendetem Schüttgut zu sehen.



Abbildung 2-8: Förderband

Bei dem gezeigten Fall liegen die Schüttgutteile aufgereiht hintereinander, was in diesem Fall kein Problem und somit einen einwandfreien Betrieb darstellt. Dies geschieht aber nur bei gezielter, händischer Beschickung des Fördermittels. Im normalen Arbeitsbetrieb verschieben sich die Schüttgüter, liegen nebeneinander und übereinander. Dies führt unweigerlich zu einem Verkeilen an Engstellen, wie in diesem Fall an der Behälterwand, und somit zum fehlerhaften Betrieb.

Da in dem vorliegenden Fall der geforderte Durchfluss auf einige wenige Stücke pro Zeiteinheit begrenzt ist, kann das Förderband nicht wesentlich verbreitert werden, da dadurch der Massenstrom zu hoch werden würde.

Diese einfache Konstruktion zeigt, dass dieses Schüttgut nicht einfach mit herkömmlichen Fördermitteln ohne entsprechende Maßnahmen befördert werden kann.

Bei diesen auftretenden Förderschwierigkeiten wird unterschieden zwischen den bereits eben erwähnten Verkeilen/Verkanten und der Brückenbildung. Das Verkeilen ist in diesem Fall eine Folge der großen Schüttgutabmaße im Verhältnis zu der geringen Fördermittelbreite. Ebenso spielt die Unregelmäßigkeit der Schüttgutteilchen und deren Geometrie eine wesentliche Rolle. Die verwendeten Holzstücke können Ansätze von Ästen und Rinde, sowie Verzweigungen aufweisen. Diese führen an vorhandenen Kanten und Engstellen des Fördermittels zu Verkeilungen und weiter zum Aufstauen und Erliegen des Schüttgutstromes.

Die erwähnten Brückenbildungen kommen vor allem beim Abzug des Schüttgutes aus einem Vorratsbehälter, Lager oder Silo zum Tragen. In diesem Fall bilden die Schüttgutteilchen eine sprichwörtliche Brücke und stützen sich an der Begrenzungswand ab.

In Abbildung 2-9 ist eine solche Brücke, nach [PKK82], zu sehen.

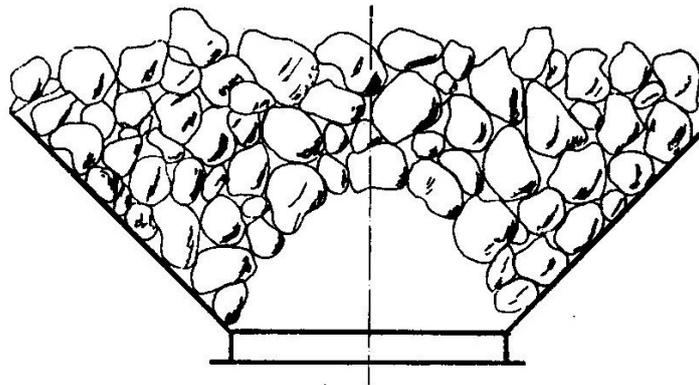


Abbildung 2-9: Brückenbildung

Das Verhältnis von kleinster Öffnungsabmessung d zur größten Gutabmessung d_T , ab dem bei grobkörnigem Gut eine Brückenbildung einsetzt, liegt bei etwa $\frac{d}{d_T} = 10$.

Das würde bei dem vorliegenden Schüttgut etwa einer Öffnung von 500mm entsprechen, was bei einem kontinuierlichen Ausfluss einen zu hohen Teilchenstrom ergeben würde und die geforderte Menge bei weitem übersteigt.

2.2.1 Verbesserung der Schüttgutbewegung

Um eine ungehinderte und reibungsfreie Schüttgutbewegung zu erhalten, kann es an einigen Stellen nötig sein entsprechende Maßnahmen zu treffen. Diese stellen spezielle Einrichtungen dar, welche an den betreffenden Bereichen innerhalb der Transportkette montiert werden.

In Abbildung 2-10 sind die drei möglichen, grundsätzlich zu unterscheidenden Arten dargestellt. [RR71] [SAL68]

- Bunkerrüttler – Vibratoren
 Diese werden eingesetzt, um das Schüttgut in Bewegung zu halten. Das kann elektrisch oder pneumatisch erfolgen.
 Unterschieden werden diese durch:
 - Vibratoren an der Außenseite der Bunker- oder Trichterwände
 - vibrierende Platten an der Innenseite der Wände
 - im Bunkerraum platzierte, aufgehängte vibrierende Einheiten
 - vibrierende Auslauftrichter

- Pneumatische Austragshilfen – Druckluft
 In diesem Fall lockert die eingeblasene Luft mit Hilfe ihrer kinetischen Energie das Schüttgut auf.
 Realisierbar durch:
 - Druckluftlanzen mit Druckdüsen
 - Luftführung über hängende Ringe
 - Luftkissen werden aufgeblasen

- Mechanische Austragshilfen
 Solche Einrichtungen sind in der Regel einfach zu realisieren, veränderbar und regelbar.
 Einige Möglichkeiten sind:
 - div. Rührgeräte oder Flügel in verschiedenen Ausführungen
 - hängende Ketten
 - exzentrische Wellen
 - Stangen, Lanzen oder Nagelbretter

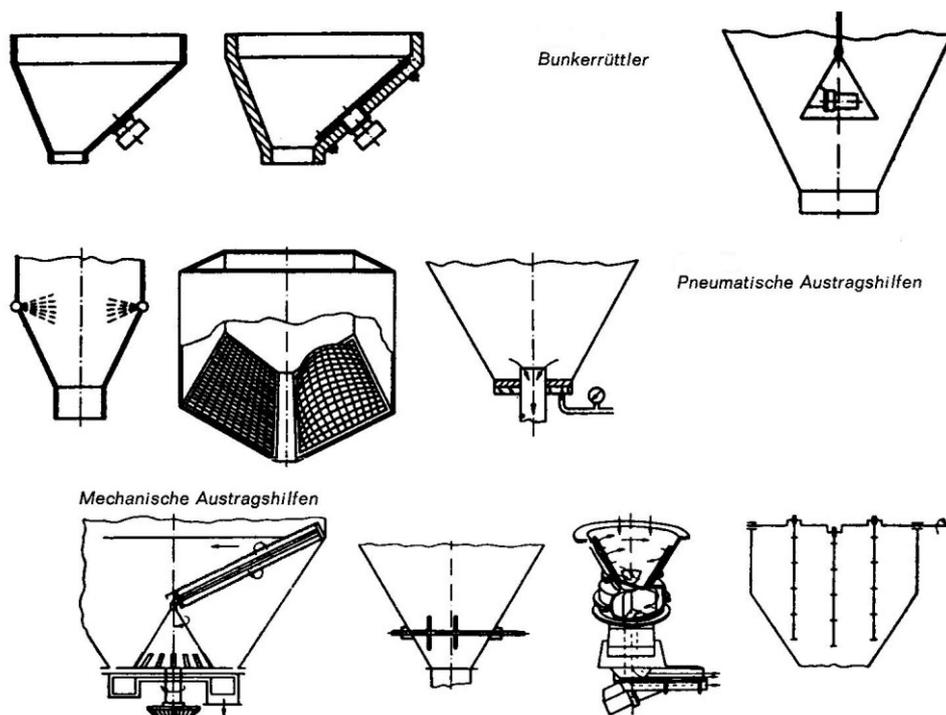


Abbildung 2-10: Austragshilfen

2.3 Dosier- und Transportsysteme

Nach der Deklaration des Brennstoffes als Schüttgut und der gegebenen Aufgabenstellung ein Dosier- Transportkonzept zu entwickeln, werden in diesem Abschnitt mögliche Methoden für die Dosierung und den Transport aufgelistet.

2.3.1 Dosiersysteme

Es gibt zwei Möglichkeiten das Schüttgut zu dosieren. Zum einen ist es möglich die Dosierung während des Transportvorganges zu realisieren, dies geschieht hauptsächlich durch ein Messverfahren, und zum anderen kann die Dosiereinrichtung unmittelbar nach dem Lagerplatz des Schüttgutes platziert sein. In diesem Fall kommen sogenannte Bunkeraustragsorgane zur Verwendung.

2.3.1.1 Dosierverfahren mit Messung

Dosierverfahren mit Messung von Dosierstrom bzw. –mengen beruhen auf einer geeigneten Messmethode für die dosierte Masse und arbeiten mit permanentem oder sequentiell Soll/Ist-Vergleich.

Automatische Dosierverfahren arbeiten diskontinuierlich mit Dosiermengensteuerung bzw. kontinuierlich mit Dosierstromregelung [VET94] .

Einige Möglichkeiten dieses Verfahrens sind nachfolgend aufgelistet und in Abbildung 2-11 dargestellt, dabei stellen die Varianten a bis e die gravimetrischen Lösungen dar.

- a) Behälterwaagen, diskontinuierlich
- b) Entnahmewaagen, diskontinuierlich
- c) d) Dosierbandwaagen
- e) Dosierdifferentialwaage
- f) radiometrische Dosierstromerfassung – Strahlenabsorption
- g) Durchlaufdosiergeräte – Schurre/Prallplatte
für Dosierströme $>0,5\text{t/h}$
- h) Durchlaufdosiergerät – Corioliskraftmessung
auf Bereiche $>0,5\text{t/h}$ beschränkt

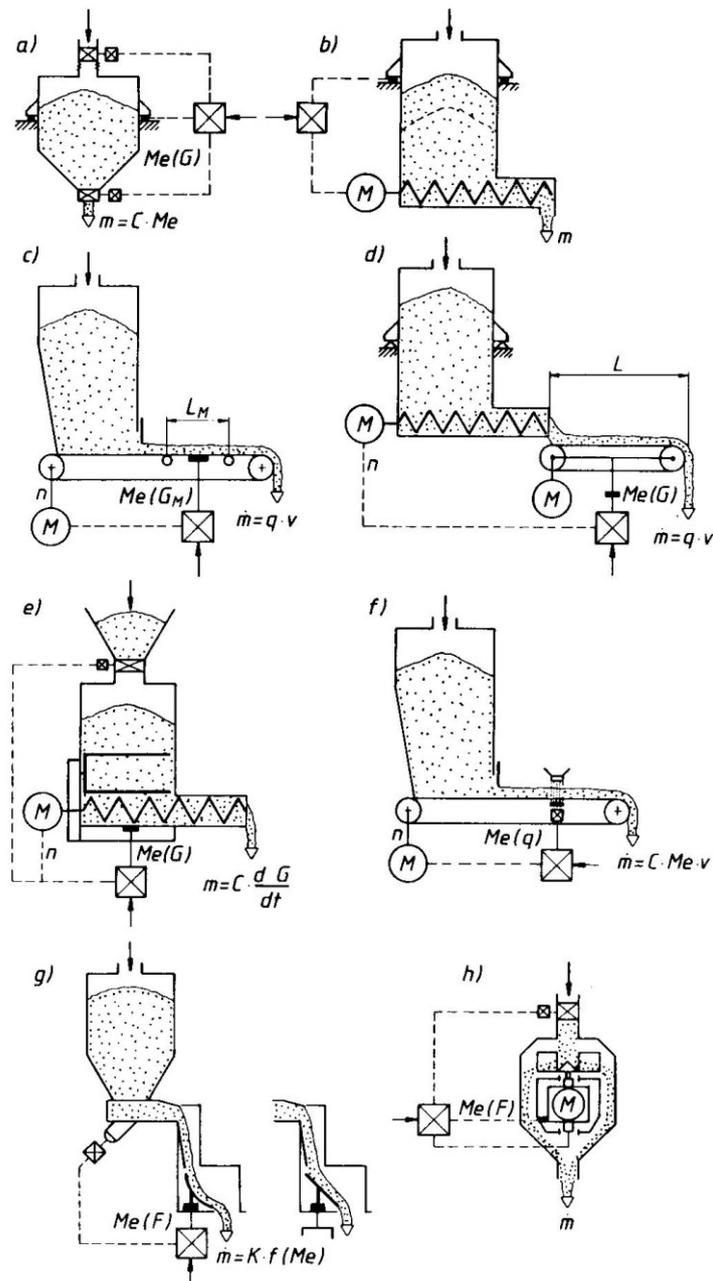


Abbildung 2-11: Dosierverfahren mit Messung

2.3.1.2 Dosierverfahren ohne Messung

Diese Verfahren beziehen die Sollwerteeinstellung aus dem kalibrierten Zusammenhang zwischen Dosierstrom bzw. -menge und Stellgröße.

Dosierverfahren ohne Messung grenzen Volumen stetig oder periodisch ab [VET94].

Varianten für diese Dosiermethode stellen Austragsorgane / Aufgeber für Schüttgüter aus entsprechenden Lagerplätzen, das könnten etwa Bunker oder Silos sein, oder auch Stetigförderer dar.

Es sind nur wenige Stetigförderer, z.B. Förderschnecken, in der Lage, Schüttgut direkt aus einem Lagerplatz abzuführen. Bei allen anderen Stetigförderern muss aus diesem Grund ein Zwischenstück in Form eines Aufgebers eingeschaltet werden.

Der Durchsatz wird bei den meisten Aufgebern durch eine Drehzahlsteuerung des Antriebes realisiert, oft wird zu diesem Zweck auch ein Schieber hinter der Bunkeröffnung eingesetzt. [PKK82]

Nachfolgend sind mögliche Dosiervarianten ohne Messung aufgelistet:

Bunkerverschlüsse

Diese Varianten stellen die einfachste Form eines Austragsorgans dar. Verwendet werden sie, um leicht fließende Stoffe wie Sand oder Kies zu dosieren. Es lässt sich damit zwar eine Dosierung realisieren, jedoch ist der Zuteileffekt gering. [RR71]

In Abbildung 2-12 sind mögliche Bunkerverschlüsse dargestellt.

- a) waagrecht Flachschieber
- b) senkrechter Flachschieber
- c) waagrecht Drehschieber
- d) Doppeldrehschieber
- e) Rutsche mit Klauenverschluss
- f) Stauverschluss mit Schwenkschurre

Es werden die ersten vier Möglichkeiten für fein- und mittelkörniges Schüttgut und die beiden letzten für grobes Schüttgut eingesetzt.

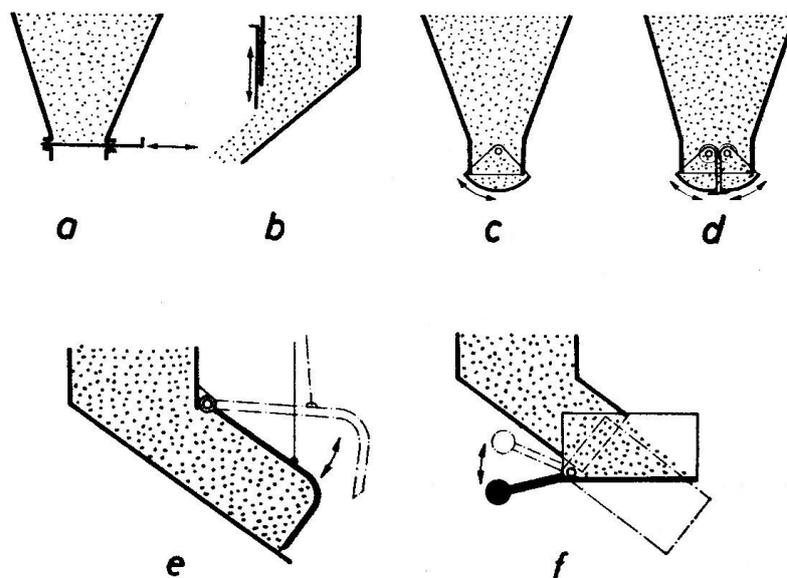


Abbildung 2-12: Bunkerverschlüsse

Eine spezielle Verschlussart stellt die Verwendung von Ketten dar. Diese werden wie eine nachgiebige Wand aufgehängt und verhindern dadurch einen plötzlichen Schüttgutaustrag. Diese Art ist nur für grobes Gut anwendbar.

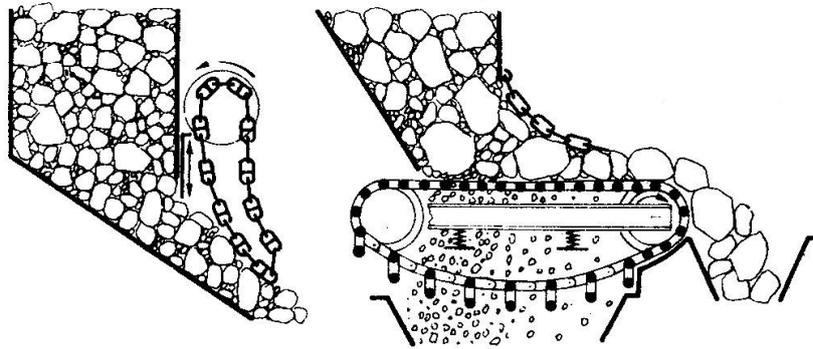


Abbildung 2-13: Ketten

Plattenbänder

Diese Möglichkeit stellt ein sehr robustes Fördermittel für besonders schwieriges Schüttgut dar. Eingesetzt wird es bei grobstückigen Erzen, Gütern die zum Kleben neigen, oder schwer fließenden Materialien. [SAL68]

Diese Plattenbänder bestehen aus überwiegend schweren Muldensegmenten, die mittels Ketten miteinander verbunden und unter einer Bunkeröffnung positioniert sind. Das Schüttgut fällt durch eine Bunkeröffnung auf das Plattenband und wird bei Bewegung des Bandes abgezogen. Die Austragsmenge wird über die Öffnung und die Geschwindigkeit geregelt. Der Haupteinsatzort sind Stellen an denen Robustheit im Vordergrund steht. Das können etwa Brecheranlagen in Steinbrüchen sein. Die Förderleistung wird mit 100 bis 2000t/h angegeben.

Der Nachteil dieses Austragsorganes ist der hohe Platzbedarf und die umfangreiche Wartungsintensität. [RR71]

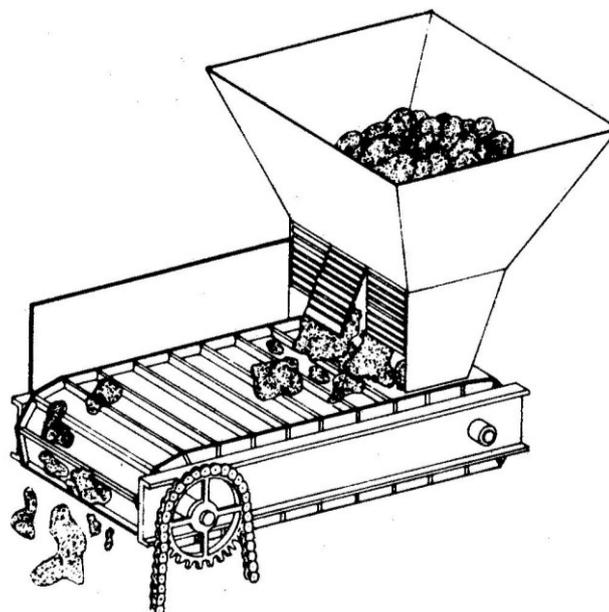


Abbildung 2-14: Plattenband

Gurtförderer

Diese Methode besteht aus einem über zwei Trommeln gespannten Gummigurt mit Gewebereinlagen, welcher an einer Siloöffnung vorbeiläuft und Schüttgut abzieht. Zur Sicherung des geförderten Gutes können seitliche Führungsleisten verwendet werden.

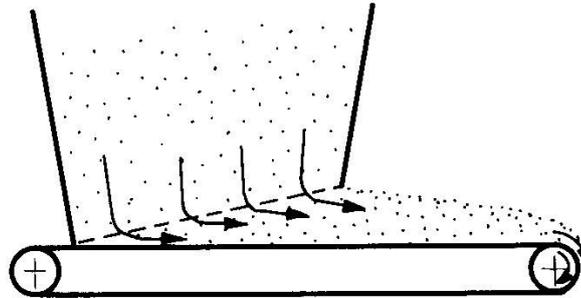


Abbildung 2-15: Gurtförderer

Gurtförderer werden üblicherweise über einem Schlitzbunker angeordnet und ziehen von diesem über die gesamte Breite das Schüttgut ab. Ganz allgemein wird der Betrieb von 5 bis 1500t/h angegeben.

Im Unterschied zu Plattenbändern werden sie für feineres Schüttgut verwendet und an Orten eingesetzt, an denen die extrem hohe Robustheit nicht erforderlich ist. Dadurch ergibt sich die einfachere Konstruktion.

Mit diesem Austragsorgan ist eine recht exakte Regulierung über Drehzahlsteuerung möglich. Der Nachteil ist ebenfalls der recht hohe Platzbedarf und der entstehende Gurtverschleiß. [RR71]

Kettenkratzerförderer

Dieser Förderer ermöglicht hohe Abzugleistungen für grobstückiges Schüttgut und kann ebenfalls für gut fließendes Gut aus Schlitzbunkern eingesetzt werden. Dabei werden Kratzstege, die über eine Kette verbunden sind, über eine Rinne gezogen. Das Schüttgut wird von diesen Stegen auf die Rinne gefördert. Eingesetzt wird diese Abzugseinrichtung hauptsächlich für große Fördergutströme bis zu 10000t/h im Untertage-Bergbau sowie Aufbereitungsanlagen. Bei fließenden Schüttgütern wird die Rinne durch ein Förderband ersetzt. [RR71]

In Abbildung 2-16 ist ein Kratzförderer dargestellt.

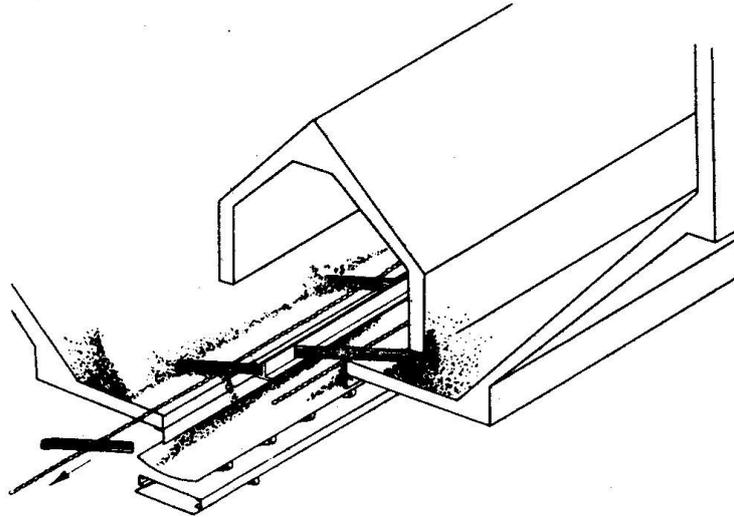


Abbildung 2-16: Kettenkratzerförderer

Trogkettenförderer

Dieser besteht aus einem geschlossenen Kasten, welcher an einen Auslauf einer Speicherstelle angeschlossen ist. Das Gut fällt durch den oberen Kettenzug und wird von auf Ketten montierten Kratzern bis zur Auslaufstelle befördert. Die Konstruktion ist sehr robust und auch für empfindliche Güter zu verwenden. [SCH70]

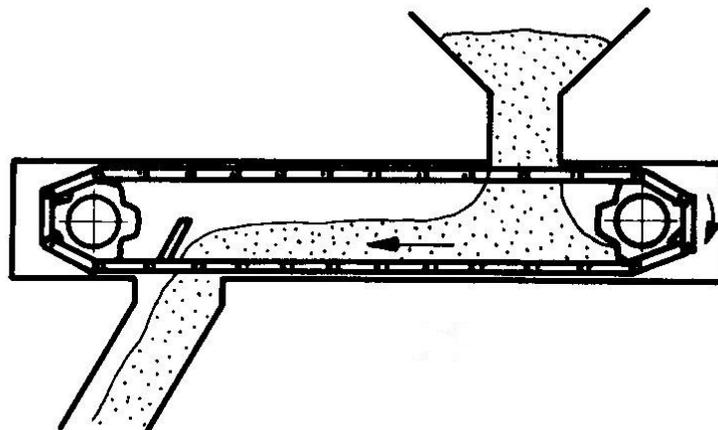


Abbildung 2-17: Trogkettenförderer

Schneckenförderer

Diese Austragorgane bestehen aus einem Trog, in dem sich eine Schnecke dreht. Sie werden gerne für staubförmige Güter eingesetzt und besitzen bei kurzen Förderstrecken und geringer Fördermenge Vorteile. Der benötigte Platzbedarf ist relativ gering, jedoch ist das Fördergut in seinen Abmaßen begrenzt. Der Schneckendurchmesser beträgt wenigstens 10-mal die max. Kantenlänge des geförderten Kornes und wird für sehr feinkörnige und pulverförmige Güter eingesetzt.

Mittels abnehmendem Kern- oder zunehmendem Außendurchmesser lässt sich eine steigende Kapazität längs der Gutaufnahme realisieren. Eine zu- oder abnehmende Steigung erlaubt ein Auflockern oder Verdichten und ist für eine gleichmäßige Befüllung notwendig. Die Vorteile von Schnecken sind unter anderem die staubfreie Ausführung sowie die Möglichkeit heiße Güter zu transportieren. Dagegen spricht der Verschleiß der Schnecke und der Auskleidung und die Möglichkeit grobes, anbackbares, fasriges, empfindliches und stark schleifendes Material nicht fördern zu können. [SAL68] [RR71]

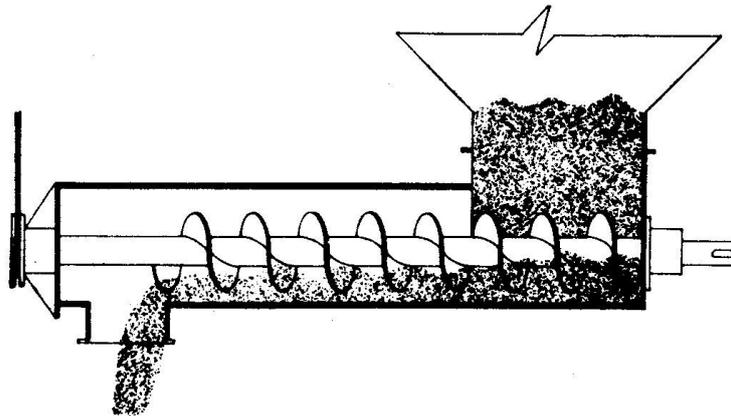


Abbildung 2-18: Schneckenförderer

Drehwalzen / Trommelausträge

Dieser Austrag kann in seiner Funktion mit der eines Förderbandes verglichen werden. Die Walze bildet dabei ein zusammengelegtes Förderband und verhindert das selbstständige Auslaufen des Schüttgutes. Erst bei Rotation der Walze wird Gut austragen. Die Konstruktion und Wartung ist kostengünstig, aber die Funktion ist auf gut fließende Schüttgüter beschränkt. [RR71]

Abbildung 2-19 zeigt eine solche Drehwalze.

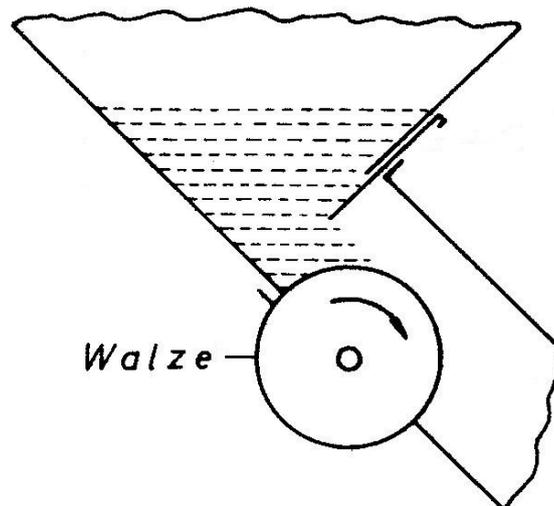


Abbildung 2-19: Drehwalze

Drehflügel / Zellenräder

Diese Austragsorgane sind ähnlich den Drehwalzen zusammengelegte Plattenbänder mit Nullabstand. Dabei besitzt die rotierende Einheit speziell ausgebildete Flügel, die einen gleichmäßigen und kontrollierten Austrag ermöglichen sollen. Die ausgetragene Fördergutmenge ist von der Größe der Zellen abhängig. [RR71]

Abbildung 2-21 zeigt einige mögliche Varianten dieser Dosierzellen.

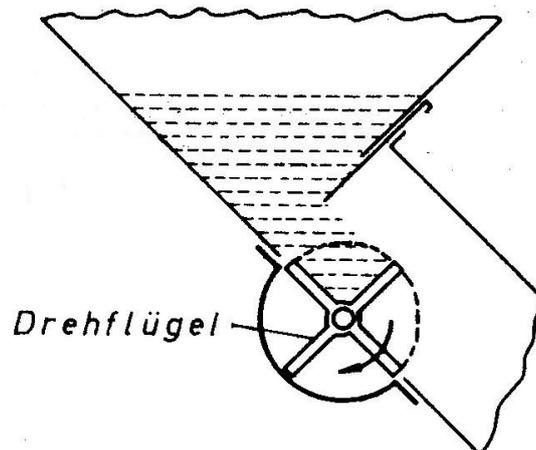


Abbildung 2-20: Drehflügel

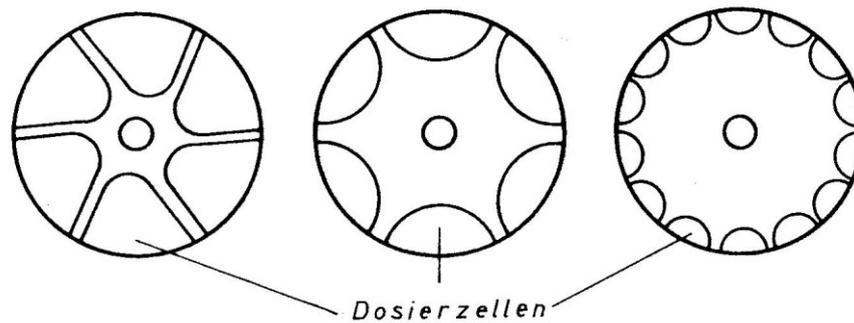


Abbildung 2-21: Dosierzellen

Zellenschleusen

Diese Austragsvorrichtungen sind ummantelt, damit pulverförmiges oder feinkörniges Schüttgut nicht unkontrolliert ausfließt. Das Gut rinnt in die Zelle und wird durch Drehung ausgetragen. Die Menge je Fördervorgang entspricht dabei dem Volumen der Zellen. [RR71] [SAL68]

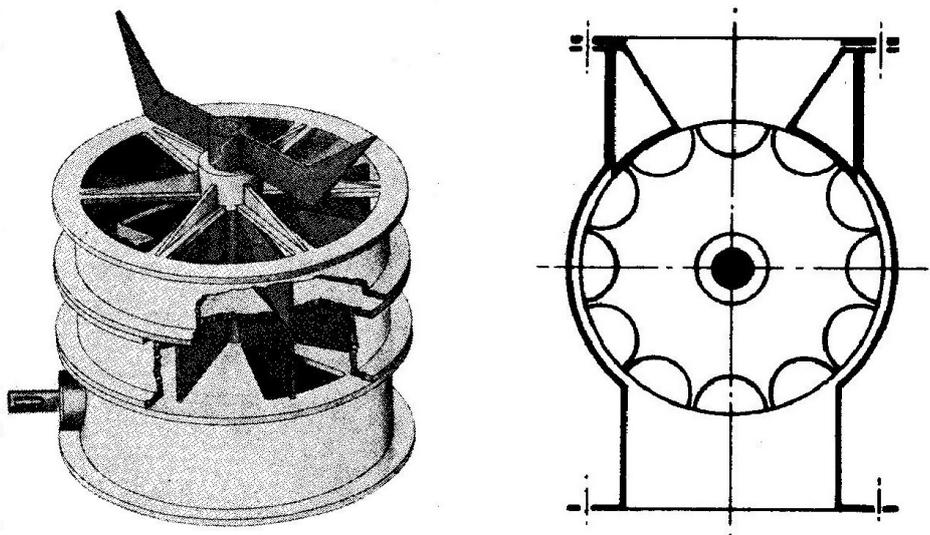


Abbildung 2-22: Zellenschleuse

Schwingförderer

Diese Variante ist sehr vielseitig einsetzbar und der Durchsatz kann von wenigen kg/h bis zu einigen t/h geregelt werden, dadurch ergeben sich zahlreiche Einsatzmöglichkeiten. Er wird in erster Linie dort eingesetzt, wo eine konstante Austragsrate erforderlich ist. Auch die Antriebsvarianten sind vielfältig, diese können elektromagnetisch, mit Unwucht, hydraulisch oder pneumatisch realisiert werden.

Es ist konstruktionsbedingt allerdings nur eine grobe Austragsregulierung möglich.

Prinzipiell arbeitet dieses System nach dem Wurfprinzip, bei rieselfähigem Gut kommt aber auch das Gleitprinzip zum Einsatz, bei dem Längsschwingungen das Gut schon bei kleinen Neigungen zum Fließen bringen. [SAL68] ; [RR71]

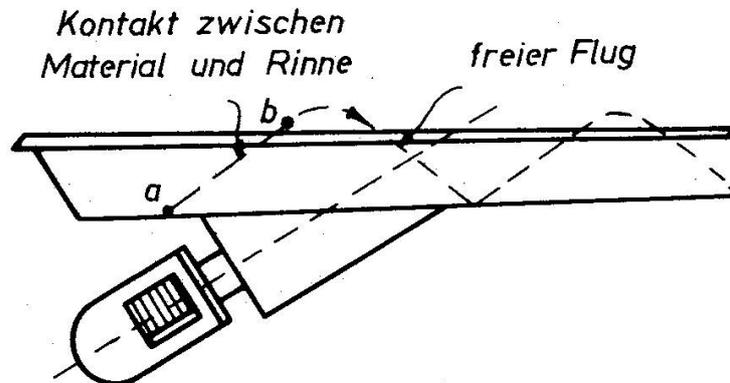


Abbildung 2-23: Schwingförderer

Stoßaufgeber – Rütteltische

Bei diesen Austragsorganen wandelt ein Exzenter die rotatorische Antriebsbewegung in eine translatorische Bewegung des Austragsorganes um. Dabei wird eine Platte hin und her bewegt, welche bei der Vorwärtsbewegung das Fördergut mitnimmt. Bei der Rückwärtsbewegung rutscht das Gut aufgrund der Stauwirkung auf der Platte. Die ausgetragene Menge ist dem Exzenterhub und der Drehzahl proportional.

Gefördert werden damit hauptsächlich fein- und mittelkörnige Schüttgüter. [RR71] [SAL68]

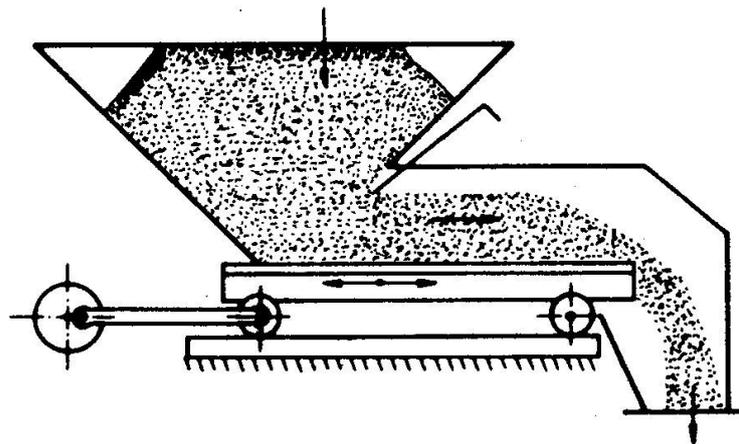


Abbildung 2-24: Rütteltisch

Drehteller

Drehteller sind unter einem Bunker installiert und besteht aus einer rotierenden Platte, auf die das Fördergut unter Bildung eines freien Schüttkegels fällt. Auf dieser Platte sind Abstreifer angebracht, welche in den Schüttkegel hineinragen und bei Drehung das Gut in eine Auslaufrutsche fördern.

Mittels dieser Konstruktion können feine und auch feuchte Schüttgüter gefördert werden. Die Austragsmenge wird über Form und Anzahl der Abstreifer sowie des Auslaufrichters beeinflusst. [SAL68] ; [RR71]

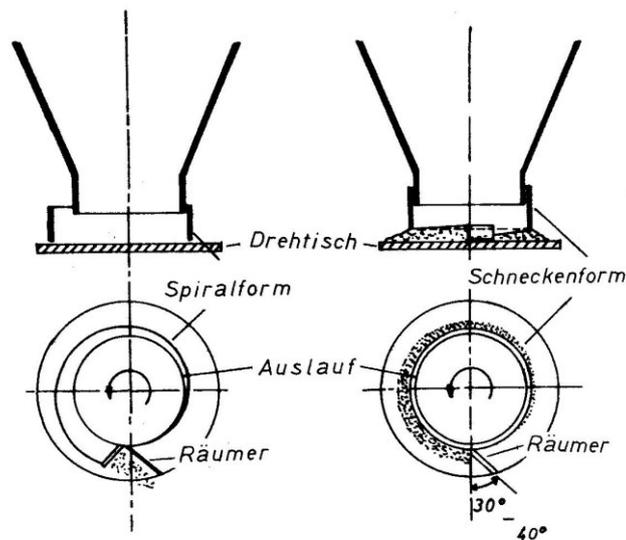


Abbildung 2-25: Drehteller

Drehkratzer

Das System besteht im Gegensatz zum Drehteller aus einem Flügelrad, das in den Bunker hineingreift und das Material herauskratzt. Somit kann es auch bei schwer austragbaren und klebenden Materialien eingesetzt werden.

Mit diesem Austragsorgan lassen sich pulverförmige bis mittelkörnige Schüttgüter austragen. Die Austragsmenge lässt sich bei den meisten Gütern über die Drehzahl und den Durchmesser genau regeln.

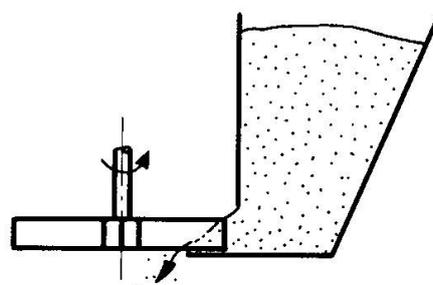


Abbildung 2-26: Drehkratzer I

In einer abgewandelten Form erfolgt der Austrag über einen rotierenden Arm am Bunkerboden. Darüber ist ein Kegel angebracht, der das Schüttgut auf dem Bunkertisch verteilt und eventuelle Verkeilungen oder Brückenbildungen verhindert. Die Menge lässt sich wieder mittels Drehzahl und Form des Armes sowie der Auslauföffnung regulieren. Mit dieser Variante lassen sich auch schlecht fließende Schüttgüter austragen, sowie auch größere Stücke bis etwa 200mm. [RR71] ; [SAL68]

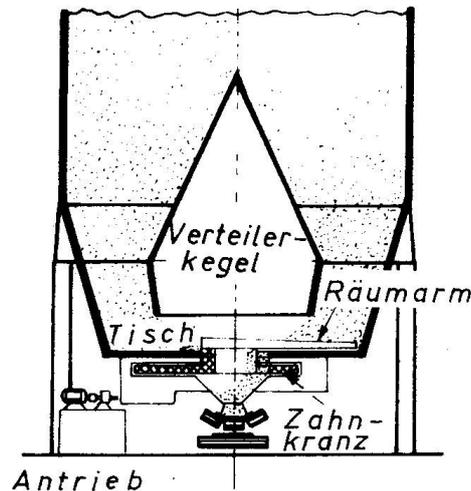


Abbildung 2-27: Drehkratzer II

2.3.2 Messverfahren

Wie in Abschnitt 2.3.1 gezeigt, benötigen einige Dosierverfahren eigene Messeinrichtungen um das Fördergut entsprechend dosieren zu können.

Die Messung oder Regelung des Schüttgutstromes, speziell der Austragsmenge aus einem Schüttgutspeicher, kann nach folgenden Methoden geschehen: [RR71]

- volumetrisch
- gravimetrisch
- besondere Methoden

2.3.2.1 Volumetrische Messverfahren

Diese Einrichtungen tragen pro Zeiteinheit ein bestimmtes Schüttgutvolumen aus, deren Menge sich aus dem Produkt des ausgetragenen Volumens und der Schüttdichte des Schüttgutes errechnet.

Die möglichen Typen und Varianten dieser Messmethode entsprechen den Dosierverfahren ohne Messung aus Kapitel 2.3.1.2.

Möglichkeiten für deren Regulierung:

- Frequenz und Amplitude bei Vibrationsrinnen
- Durchmesser und Drehzahl bei Räumrädern, Drehtellern und Schneckenförderern
- Geschwindigkeit bei Band-, Kratz- und Plattenbandförderern
- Drehzahl und Zellengröße bei Zellenradausträgen

2.3.2.2 Gravimetrische Messverfahren

Bei dieser Messmethode wird der Schüttgutstrom innerhalb eines bestimmten Bereichs der Transportstrecke gewogen. Eingesetzt wird dieses Verfahren bei Dosiervorgängen mit Messung welche in Kapitel 2.3.1.1 dargestellt sind.

Das kann mechanisch über Wiegebalken oder auf elektronischer Basis mittels Druckmessdosen erfolgen.

Die geforderte Schüttgutmenge wird über eine regulierbare Austragvorrichtung, wie auch schon zuvor bei den volumetrischen Messverfahren in Kapitel 2.3.2.1, von der Messeinrichtung geregelt.

2.3.2.3 Besondere Methoden

- Optische Methode
Dieses volumetrisch arbeitende Verfahren kann nur bei Schüttgütern mit großem Reflexionsvermögen angewandt werden. Dabei fällt ein Lichtbündel auf den Fördergutstrom und ein Bild wird dadurch auf eine Photozelle projiziert.
- Kerntechnische Methode
Das Verfahren beruht auf der Menge der absorbierten Gammastrahlen des Schüttgutes im Strahlenbereich
- Drehflügel-Gerät
Diese Verfahren wird in Rohre eingebaut, in denen sich das Schüttgut unter Schwerkraft frei bewegt. Das Schüttgut setzt eine mit Schaufeln besetzte Antriebswelle in Bewegung, wodurch es zur Erzeugung eines messbaren Drehmomentes kommt. Dieses ist dem Fördergutstrom proportional.
- Spiralflügel-Gerät
Ähnlich dem Drehflügel-Gerät wird eine Spirale in Bewegung versetzt und die Drehzahl gemessen.
- Platten-Methode
Das Schüttgut fällt auf eine Platte, wodurch das Lastmoment gemessen werden kann.

2.3.3 Transportsysteme

Neben der Hauptaufgabe, dem Dosieren von Schüttgut, ist auch der Transport des Brennmaterials ein entscheidender Punkt dieser Arbeit. Ähnlich dem Kapitel 2.3.1, Dosiersysteme, werden in diesem Abschnitt mögliche Transportsysteme für Schüttgüter behandelt. In diesem Fall wird es zu einigen Überschneidungen mit der Auflistung der Dosiersysteme kommen, da diese modifizierte Transportsysteme darstellen.

Transportsysteme können nach [SAL68] eingeteilt werden in:

- Stetigförderer mit Zugmittel
- Stetigförderer ohne Zugmittel

2.3.3.1 Förderer mit Zugmittel

Bandförderer – Gurtförderer

Bei diesem Förderer fungiert das Zugmittel gleichzeitig als Trägerorgan für das Schüttgut. Ein endloses Band wird über Rollen geführt und transportiert das Gut.

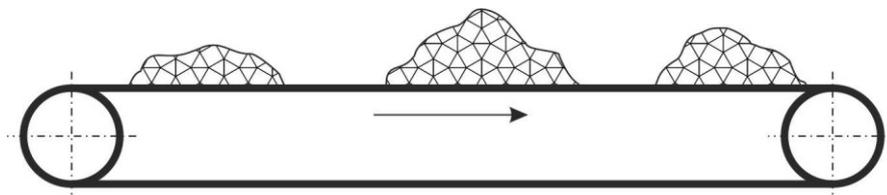


Abbildung 2-28: Gurtförderer

Die Konstruktion eines Gurtförderers ist relativ einfach und für verschiedenste Güter einsetzbar. Konstruktionsbedingt ist die Linienführung dem Gelände anpassbar, jedoch ist die Förderneigung begrenzt. Das Betriebsgeräusch ist aufgrund der Bauweise niedrig.

Kettenförderer

Bei diesen Förderern transportiert das Zugmittel nicht mehr direkt das Schüttgut, sondern entsprechende Transport- Mitnahmeeinrichtungen werden von einem Zugorgan, einer Kette oder einem Seil, bewegt.

Kettenförderer sind gegenüber dem Bandförderer weniger empfindlich, jedoch komplizierter in der Linienführung.

Unterteilt werden Kettenförderer in:

- Gliederbandförderer
Darunter fallen:
 - Stabbandförderer
 - Plattenbandförderer
 - Trogbandförderer
 - Kastenbandförderer
 - Becherbandförderer

In Abbildung 2-29 ist nach [DIN15201] ein allgemeiner Gliederbandförderer dargestellt.

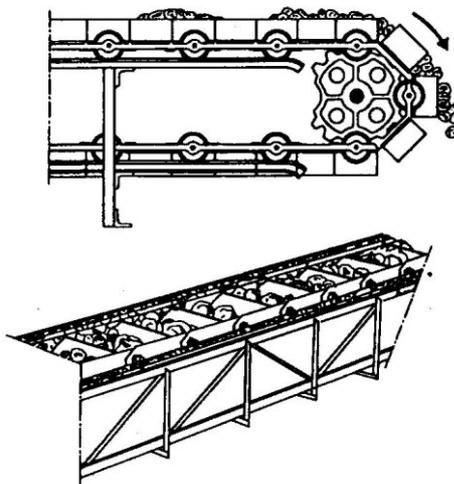


Abbildung 2-29: Gliederbandförderer

- Becher- und Taschenförderer
Eignen sich zur Steilförderung von klein- bis mittelkörnigem Schüttgut.
Dargestellt in Abbildung 2-30 laut [SAL68]

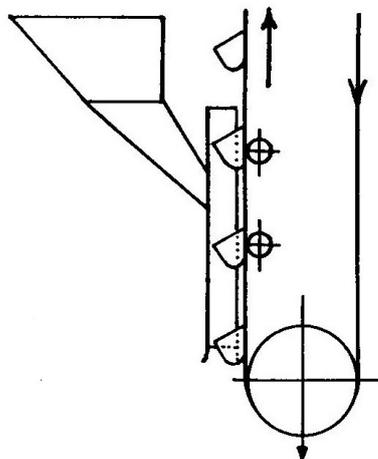


Abbildung 2-30: Becherwerk

- Weitere Kettenförderer für Stückgut:
 - Wandertische (Montagebänder)
 - Tragkettenförderer
 - Schleppkettenförderer und Wagenumläufe
- Kratzerförderer
 Dabei sind an Ketten oder Seilen in gewissen Abständen Mitnahmeeinrichtungen montiert, wodurch das Schüttgut mitgezogen wird. Das können Haken, Rechen, Schaufeln oder auch Querstege sein.
 In Abbildung 2-31 ist nach [VDI2335] ein Kratzerförderer zu sehen.

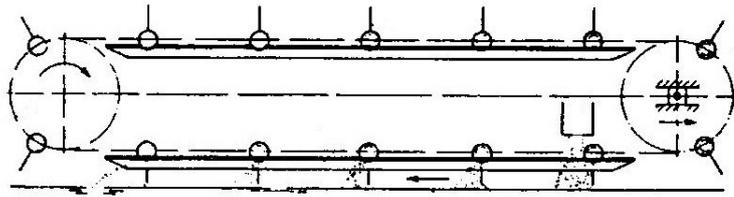


Abbildung 2-31: Kratzerförderer

Formen:

- Stegkettenförderer
- Stegkettenförderer für Naßentaschungsanlagen
- Entspeicherungskratzer
- Schwenkkratzer
- Fahrkratzer
- Trogkettenförderer
 Diese stellen eine Weiterentwicklung der Stegkettenförderer dar, um dadurch nicht nur eine horizontale sondern auch eine vertikale Förderung realisieren zu können. Es werden nicht einzelne Querlamellen bewegt, sondern Tröge, welche an den Zugketten befestigt sind und das Schüttgut fördern.

2.3.3.2 Förderer ohne Zugmittel

Bei diesen Fördermitteln wird das Schüttgut nicht wie in den vorangegangenen Varianten mittels zentralen Zugmittels befördert, sondern auf andere Arten transportiert.

Schneckenförderer

Das Schüttgut stellt in dieser Variante eine Teilmutter dar und wird durch die drehende Schnecke verschoben.

In Kapitel 2.3.1.2 „Dosierverfahren ohne Messung“ unter „Schneckenförderer“ erklärt und in Abbildung 2-32, nach [VDI2330] , dargestellt.

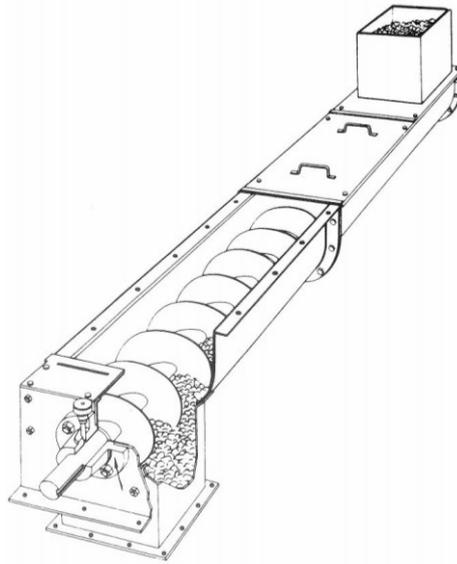


Abbildung 2-32: Schneckenförderer

Schwingförderer

Diese Fördermittel funktioniert nach dem Gleit- oder Wurfprinzip. Das Fördergut bewegt sich gleichförmig, wogegen der Förderboden eine periodische Bewegung vollführt.

Dadurch sind verfahrenstechnische Zusatzaufgaben günstig durchführbar und ein Sieb- oder Trennprozess realisierbar. Des Weiteren ist die Bauweise recht einfach, jedoch der Durchsatz begrenzt und eine mögliche Lärmbelastung gegeben.

In Abbildung 2-23 ist diese Fördervariante dargestellt.

Rutschen

Diese Art der Förderung benötigt keinen Antrieb, sondern nur eine gewisse Höhendifferenz, da das Schüttgut durch Schwerkraftwirkung über eine entsprechend geneigte Ebene heruntergleitet.

Es sind auch geschlossene Ausführungen für staubentwickelnde Güter möglich.

2.4 Vorgehensweise zur Lösungsfindung

Das Vorgehen, um das in Kapiteln 1.2 erläuterte und geforderte Konzept zu erarbeiten, basiert auf der Richtlinie „VDI 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer System und Produkte“.

Diese Richtlinie beinhaltet und behandelt die Grundlagen und Arbeitsschritte des methodischen Entwickeln und Konstruierens.

2.4.1 VDI 2221

Aufbauend auf dem Prozess des Problemlösens ist der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess recht zentral in den einzelnen Lebensphasen eines Produktes angesiedelt und hat dadurch eine entscheidende Bedeutung, wenn es darum geht ein neues und erfolgreiches Produkt zu entwickeln. Der Problemlösungsprozess, dargestellt in Abbildung 2-33, zeigt schematisch die Grundlage der Methodik und beinhaltet eine Problemlösungsstrategie, welche prinzipiell in jeder Lebensphase anwendbar ist. Diese unterteilt sich in die Punkte Problemanalyse, Problemformulierung, Systemsynthese, Systemanalyse, Beurteilung und Entscheidung.

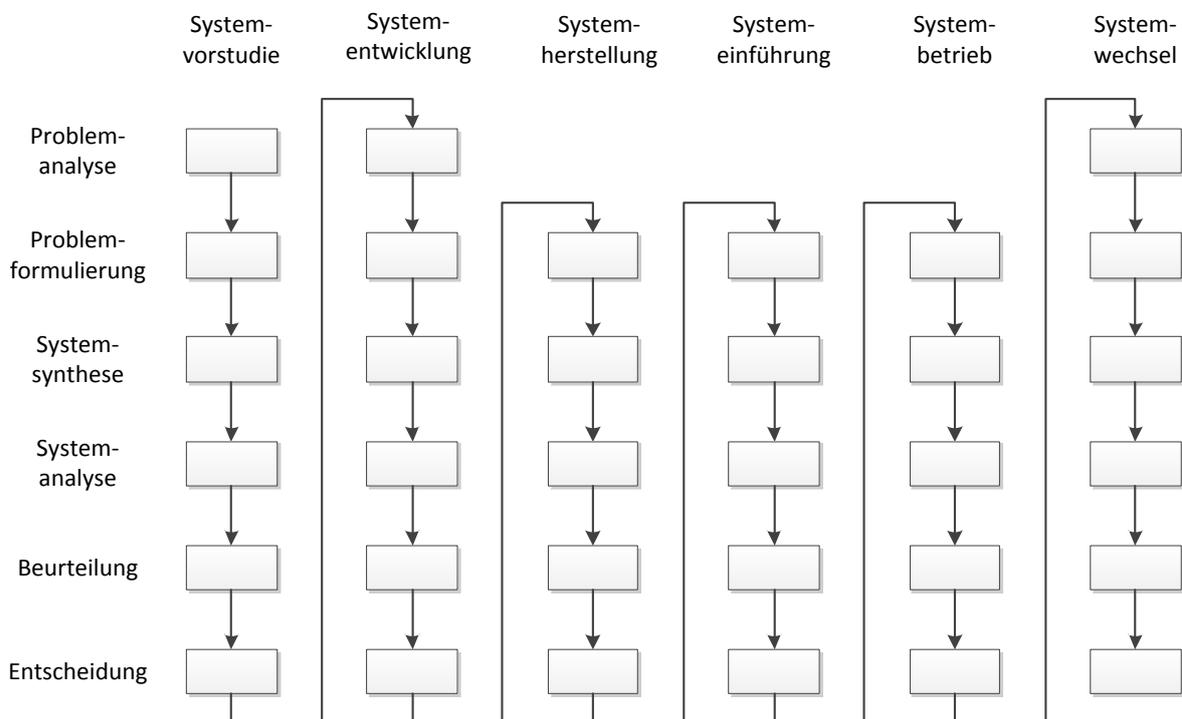


Abbildung 2-33: Problemlösungsprozess

Die einzelnen Lebensphasen könne nun auch dem Produktkreislauf zugeordnet werden, welcher in Abbildung 2-34 zu sehen ist. In diesem liegt die Phase „Entwicklung/Konstruktion“, in welcher die Produktkonkretisierung erfolgt, eingebettet zwischen „Produktplanung/Aufgabenstellung“ und „Fertigung/Montage/Prüfung“.

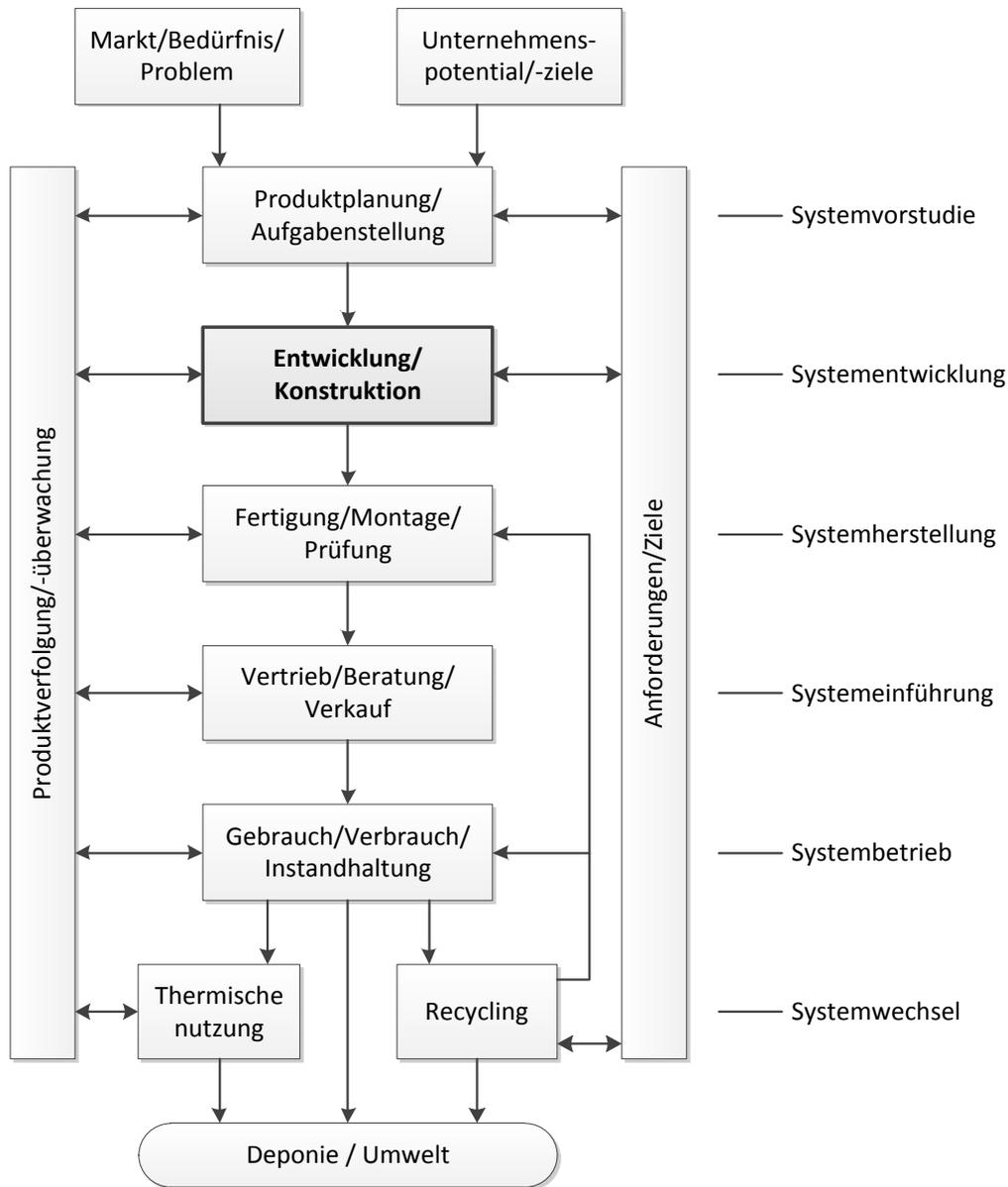


Abbildung 2-34: Produktkreislauf

Dieser Entwicklungs- und Konstruktionsprozess ist in sieben Arbeitsabschnitte gegliedert, welche beim Durchlaufen dieser Schritte jeweils ein entsprechendes Arbeitsergebnis liefern. In Abbildung 2-35 ist dieses generelle Vorgehen nach VDI 2221 dargestellt.

Die einzelnen Arbeitsschritte werden zu Entwicklungs- und Konstruktionsphasen zusammengefasst, diese richten sich nach der jeweiligen Aufgabe bzw. nach dem unternehmenstypischen Vorgehen und können daher nicht verallgemeinert werden.

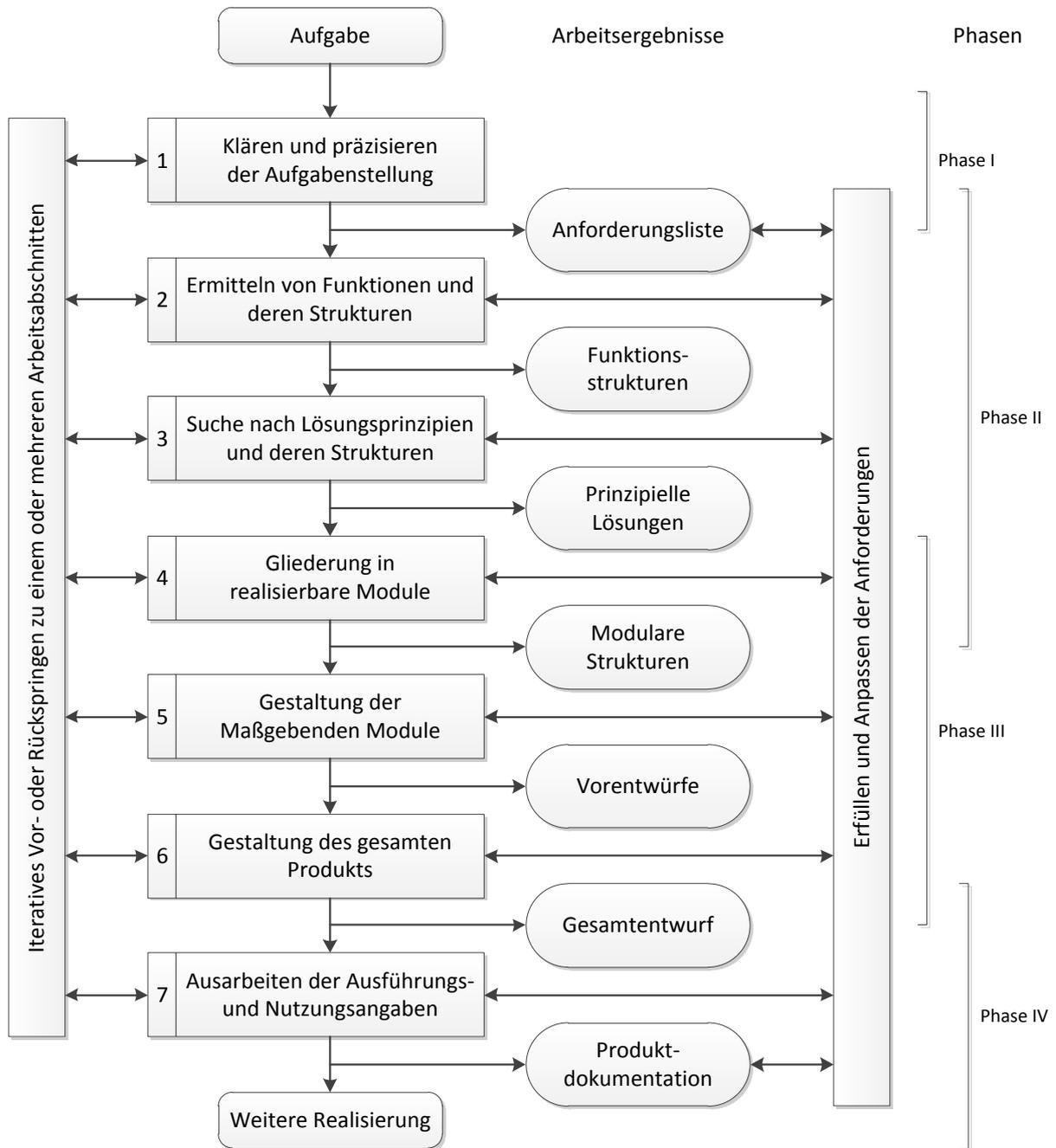


Abbildung 2-35: Vorgehen

2.4.1.1 Arbeitsabschnitte

- Arbeitsabschnitt 1 – Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung**
 In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an die gestellte Aufgabe geklärt und präzisiert.
 Als Arbeitsergebnis geht die sogenannte Anforderungsliste hervor, welche auch in den folgenden Arbeitsschritten auf dem aktuellen Stand zu halten ist.

- **Arbeitsabschnitt 2 – Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen**
An dieser Stelle werden Funktionen ermittelt, welche vom Produkt erfüllt werden müssen. Diese lassen sich unterteilen in die Gesamtfunktion und wesentliche Hauptfunktionen (Teilfunktionen). Bei umfangreichen und komplexen Aufgabestellungen können solche Funktionen zu Funktionsstrukturen gegliedert werden und dadurch die Suche nach Lösungen besser strukturiert werden.
- **Arbeitsabschnitt 3 – Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen**
In diesem Abschnitt werden für die im vorigen Abschnitt ermittelten Funktionen Lösungsprinzipien gesucht. Bei festgelegten Funktionsstrukturen werden die gefundenen Lösungsprinzipien zu Wirkstrukturen verknüpft. Bei diesem Schritt können sogenannte Nebenfunktionen erkennbar werden, die zur Realisierung bestimmter Lösungsprinzipien notwendig sind.
Daraus gehen nach Auswahl eine oder mehrere prinzipielle Lösungen hervor, die zur Erfüllung der Funktionen des Produktes geeignet sind.
- **Arbeitsabschnitt 4 – Gliederung in realisierbare Module**
Die zuvor ermittelten prinzipiellen Lösungen werden an dieser Stelle in realisierbare Module gegliedert, wodurch sich modulare Strukturen ergeben. Diese lassen bereits die Gliederung der Lösung in die für die Realisierung wesentlichen realen Gruppen erkennen.
- **Arbeitsabschnitt 5 – Gestaltung der maßgebenden Module**
Dies ist ein wichtiger Konkretisierungsabschnitt, in dem, für das Produkt maßgebende Module generiert werden. Durch dieses Grobgestalten entstehen Vorentwürfe, welche für die maßgebenden Module von Bedeutung sind.
- **Arbeitsabschnitt 6 – Gestaltung des gesamten Produkts**
In diesem Abschnitt geschieht das Endgestalten oder auch Feingestalten. Es werden die zuvor vorentworfenen Module endgültig festgelegt. Daraus ergibt sich ein Gesamtentwurf, der die erarbeiteten Produktdefinitionen enthält.
- **Arbeitsabschnitt 7 – Ausarbeitung der Ausführungs- und Nutzungsangaben**
Dieser Abschnitt hat die Produktdokumentation zum Ziel, dabei werden Ausführungs- und Nutzungsangaben erarbeitet.

Jeder dieser Arbeitsabschnitte bringt als Ergebnis eine spezielle Lösung oder sogar diverse Lösungsvarianten. Diese müssen nach Bedarf untersucht und beurteilt werden, um passende den Vorgaben entsprechende Lösungen zu erhalten. Dabei kann es zu Prototypenbau, iteratives Vorgehen, sowie einer weiteren Unterteilung einzelner Abschnitte kommen.

Laut VDI-Richtlinien werden diese 7 Arbeitsschritte der VDI 2221 weiter unterteilt in die „VDI 2222 Blatt 1“, welche die Abschnitte 1 – 3 behandelt, und die „VDI 2223“, welcher die Abschnitte 4 – 7 zugeordnet sind.

Da es sich bei der in dieser Arbeit geforderten Aufgabenstellung um ein Konzept handelt, das erarbeitet werden soll, werden nur die Arbeitsabschnitte 1 „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“ bis 3 „Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen“ benötigt. Somit richtet sich die Vorgehensweise zur Lösungssuche in Kapitel 3 nach der VDI-Richtlinie „VDI 2222 Blatt 1“ [VDI2222] .

2.5 Lösungssuche

Bei der Findung geeigneter Lösungsansätze für die nach Kap. 2.4.1.1 Arbeitsabschnitt 3 ermittelten Prinzipien gibt es eine Vielzahl von Methoden, die die Ideenfindung unterstützen.

| | Nischen für Produkte | Nischen für Dienstleistungen | Produktverbesserung | Neue Produkte | Verfahrenstechnik | Technische Konstruktion | Werbung, Verkaufsförderung | Namensfindung | Führungsprobleme | Organisatorische Probleme |
|-------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| Brainstorming | + | + | +++ | ++++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Imaginäres Brainstorming | +++ | +++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | XXXXXX XXXXXX | +++ | + |
| Destr., Konstr.-Brainstorming | XXXXXX XXXXXX | XXXXXX XXXXXX | +++++ | XXXXXX XXXXXX | + | + | ++ | XXXXXX XXXXXX | +++ | +++ |
| Methode 635 | + | + | +++ | ++ | + | ++ | +++ | + | ++ | ++ |
| Brainwriting-Pool | + | + | +++ | ++ | + | ++ | +++ | + | ++ | ++ |
| Kärtchenbefragung | + | + | ++ | ++ | + | 0 | ++ | + | ++ | ++ |
| Semantische Intuition | ++ | ++ | +++ | +++++ | + | + | + | + | XXXXXX XXXXXX | XXXXXX XXXXXX |
| Morphologischer Kasten | ++++ | ++++ | +++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++ | XXXXXX XXXXXX | ++ | ++++ |
| Morphologische Matrix | +++++ | +++++ | +++ | ++++ | wenig geeignet | wenig geeignet | + | XXXXXX XXXXXX | ++ | ++ |

Abbildung 2-36: Kreativitätstechniken

Abbildung 2-36 zeigt eine Eignungsempfehlung einiger dieser Kreativitätstechniken nach Schlicksupp [SCH93]. In dieser Tabelle sind die Methoden konkreten Problemtypen zugeordnet und folgend bewertet:

xxxx = nicht geeignet
0 = keine besondere Eignung
+ = kann angewendet werden
++++ = hervorragend geeignet

Der in dieser Arbeit auftretende Problemtyp entspricht einer Kombination aus „Neue Produkte“ und „Produktverbesserung“. Daraus ergeben sich folgende geeignete Methoden der Ideenfindung:

- Brainstorming
Entspricht einer freien Lösungssuche. Dabei werden Ideen und Gedanken gesammelt.
- Semantische Intuition
Dieses Verfahren beruht auf dem Prinzip der Zufallsanregung bei Konfrontation von Reizwörtern und deren Kombination
- Morphologischer Kasten
Dabei wird eine Gesamtlösung anhand erarbeiteter Einzellösungen formuliert. Für jedes Teilproblem werden Varianten in Form einer Tabelle aufgelistet und zu einer geeignetsten Gesamtlösung kombiniert.
- Morphologische Matrix
Stellt eine Erweiterung des Morphologischen Kastens in Form einer Matrix dar.

Die ersten beiden Techniken werden den sogenannten „Intuitiv-kreativen Methoden“ und die letzten beiden den „Systematisch-analytischen Methoden“ zugeordnet. [SCH89]

Diese Techniken zur Lösungsfindung werden erweitert um einige Methoden nach der Literatur „Konstruktionslehre“ [PBF06]:

- Kollektionsverfahren
Darunter fällt das Verfahren der Literaturrecherche. Information aus Büchern, dem Internet und Katalogen sind die Grundlage hierfür.
- Analyse bekannter technischer Systeme
Diese Methode baut auf die gewonnenen Information des Kollektionsverfahrens auf. Mögliche und erfolgsversprechende Lösungsverfahren werden dabei analysiert, um in eventueller abgewandelter Form die erforderliche Aufgabenstellung zu erfüllen.
- Messung, Modellversuche
Experimentelle Untersuchungen sind das vermutlich wichtigste Verfahren dieser Arbeit. Darunter fällt zum großen Teil der Prototypenbau, aber auch div. Messungen und Versuche.

Diese Methoden können im Laufe dieser Arbeit nicht strikt voneinander getrennt betrachtet und angewandt werden. Sie ergänzen sich und führen in Kombination mit der in Abschnitt 2.4.1 erläuterten VDI 2221 zu einer geeigneten Lösung.

2.6 Bewertungsmethoden

Bei der Auswahl geeigneter Lösungsvarianten kommt das Verfahren des

- Ausscheidens und Bevorzugens

zum Tragen. [PBF06]

Dabei werden ungeeignete Varianten, die grundlegende Anforderungen nicht erfüllen, verworfen. Bei zahlreichen Lösungsvorschlägen kann eine entsprechende Auswahlliste zweckmäßig sein. Dabei werden Lösungseigenschaften entsprechende Anforderungskriterien gegenübergestellt und auf mögliche Lösungserfüllung beurteilt. Ergeben sich auf diese Weise mehrere kompatible Varianten, so werden diese einer weiteren Betrachtung unterzogen.

Diese Bewertung soll den „Wert“ bzw. den „Nutzen“ oder die „Stärke“ einer Lösung bezüglich der zuvor aufgestellten Bewertungskriterien (Anforderungsliste) ermitteln.

Die wichtigsten Methoden für diese Bewertung sind folgende:

- Nutzwertanalyse der Systemtechnik
Bei dieser Methode werden zu erfüllende Gesamt- und Teilziele definiert und entsprechend einer Zielhierarchie sortiert. Die möglichen Lösungsvarianten werden entsprechend der Erfüllung dieser formulierten Ziele bewertet und mit der Hierarchiehöhe multipliziert. Aus der Summe der bewerteten Teillösungen ergibt sich eine Gesamtlösung, welche die gestellten Anforderungen am besten erfüllt.
- Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach der Richtlinie VDI 2225
Anders als bei der Nutzwertanalyse wird versucht ohne Gewichtung auszukommen, indem annähernd gleich bedeutende Bewertungskriterien aufgestellt werden.

Aus der Gesamtheit dieser Lösung- und Bewertungsmethoden geht eine mögliche Variante, welche die zu Beginn formulierte Aufgabenstellung am besten erfüllt, hervor.

2.7 Kostenvergleich

Das favorisierte in Kapitel 3 erarbeitete Konzept soll, wie in Kapitel 1.2 erläutert, mit einem existierenden Prototyp einfach kostenbezogen verglichen werden.

Für diese Aufgabe kommen Methoden in Frage, welche unter dem Begriff der Kurzkalkulation zusammengefasst sind [EKL05]. Darunter versteht man vereinfachte Verfahren zur Kostenermittlung, welche im jeweiligen Bearbeitungsstadium eines Projektes eingesetzt werden können und keine vollständige Produktdokumentation benötigen.

- Suchkalkulation – Ähnlichkeitskalkulation
- Gewichtskalkulation
- Materialkostenmethode

Suchkalkulation – Ähnlichkeitskalkulation

Ähnliche Teile zweier sich nicht zu sehr voneinander unterscheidenden Objekte werden miteinander verglichen. Die Kosten des neuen Produktes werden dabei von den Teilkosten des bestehenden Produktes abgeleitet. [EKL05]

Gewichtskostenkalkulation

Die Grundüberlegung ist der proportionale Zusammenhang zwischen Kosten und Gewicht. Die Herstellkosten eines neuen Produktes werden durch Multiplikation des Gewichtes mit dem bekannten Gewichtkostensatz eines bestehenden Produktes errechnet. [EKL05]

Materialkostenmethode

Diese Variante geht von dem gleichbleibenden Verhältnis zwischen Material- und Fertigungskosten, für eine bestimmte Produktart aus. Die Materialkosten können aus einer vorhandenen Stückliste und die Herstellkosten aus einem bestehenden Produkt abgeleitet werden. [VDI2225]

3 Entwicklung von Maßnahmen – Methodisches Vorgehen nach VDI 2222

3.1 Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung

In diesem ersten Abschnitt werden die geforderten und gestellten Anforderungen an das zu erarbeitende Konzept formuliert.

Wie schon in Kapitel 1 und 2 erläutert, soll ein Konzept zum sicheren und zuverlässigen Fördern und Dosieren von Brennmaterial gefunden werden. Der Brennstoff besteht aus in Scheiben geschnittenem Knüppelholz und weist eine Stückgröße von 20mm x 20mm x 20mm bis 50mm x 50mm x 50mm auf. Die geometrische Form der einzelnen Teilchen kann stark variieren und ist an keine Vorgaben gebunden. Zur Verwendung kommen die unterschiedlichsten Arten von Holzabfällen bis hin zu qualitativ hochwertigem Brenn- sowie Bauholz. Dabei können Formen von Rundholz mit Verzweigungen, kleine Stämme und Äste, welche bei der Forstwirtschaft anfallen, bis zu kantigem, gespaltenem Holz oder hochwertig aufbereitetes Brennholz auftreten. Der Feuchtigkeitsgehalt des Brennmaterials wird mit max. 20% festgelegt.

Der geforderte und zu realisierende Durchsatz des Dosiersystems soll sich im Bereich von etwa 2-3kg pro Stunde bewegen und eine gut funktionierende Dosierbarkeit ermöglichen. Dieser Massenstrom soll sich auf einzelne Portionen von etwa 0,3kg Einheiten, das einer Menge von 4-5 größeren Stücken alle 15min entspricht, aufspalten. Die genaue Dosiermenge soll an die jeweiligen Anforderungen anpassbar sein.

Der Aufstellungsort des Systems richtet sich nach dem gefundenen Konzept und ist primär von dessen Abmaßen und der Geräusentwicklung abhängig. Nach Möglichkeit ist ein Einsatz innerhalb eines Wohnbereiches erwünscht.

Die Transporteinrichtung bis zum Brenner wird mit einem max. Förderweg von 10m und einer max. Neigung von $\pm 10^\circ$ vorgegeben.

Die angepeilten Herstellungskosten sollen nach Möglichkeit 1500€ nicht überschreiten.

| Anforderungsliste Förderung - Stückholz | |
|---|--|
| Eigenschaft | Anforderung |
| Dosier- Transporteinrichtung: | |
| Durchsatz | 1-3 kg/h |
| Abmaße (Förderanlage) | so klein wie möglich |
| Dosierung | ~0,5 kg Portionen (4-5 #/15min) |
| Herstellungskosten | 1500 Euro |
| Lautstärke | leise (Wohnzimmertauglich) <40dB |
| Förderlänge | max. 10m |
| Förderneigung | +·10° |
| Schüttgut: | |
| Material | Holz (div. Arten) |
| Abmaße | von 20mm x 20mm x 20mm bis 50mm x 50mm x 50mm |
| Form | unregelmäßig |
| Feuchtigkeit | max. 20% |

Tabelle 3-1: Anforderungsliste

Die Tabelle 3-1 zeigt diese Anforderungsliste, welche die gestellten Anforderungen an die grundlegenden Funktionen, Dosieren und Transportieren, beinhaltet. Die Lagerung des Schüttgutes ist in dieser Arbeit kein Hauptkriterium, wird aber in weiterer Folge am Rande behandelt, um einige geeignete Möglichkeiten zu zeigen.

Die Einschleusung des Brennmaterials in den Brenner und der Brenner selbst ist vereinbarungsmäßig kein Bestandteil dieser Arbeit.

3.2 Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen

In diesem zweiten Abschnitt nach VDI 2222 werden nun die Funktionen und deren Struktur der geforderten Aufgabenstellung ermittelt. Diese werden zunächst in eine Gesamtfunktion und wesentliche zur Erfüllung notwendige Hauptfunktionen (Teilfunktionen) unterteilt.

Die Aufgabe der Gesamtfunktion ist es das Schüttgut in definierten Einheiten von einer Lagerstelle bis zu einem Brenner zu befördern. Es handelt sich also um einen kontrollierten Stofftransport und ist in Abbildung 3-1 dargestellt.



Abbildung 3-1: Gesamtfunktion

Diese Gesamtfunktion wird nun in Hauptfunktionen weitergegliedert. Wesentlich ist es das Schüttgut so einzuteilen, dass die geforderten Dosiereinheiten erreicht werden. Des Weiteren sind der Transport und die Lagerung des Brennmaterials wichtig.

Folgende Hauptfunktionen ergeben sich für die gegebene Aufgabenstellung:

- Lagerung
- Dosierung
- Transport

Die Funktion „Transport“ ist eventuell gegliedert in einen Transport von der Lagerstelle zur Dosiereinrichtung und einen Transport von der Dosiereinrichtung weiter zum Brenner. Ob ein solcher Transport zwingend notwendig ist, weil der Standort der Dosiereinrichtung an dieser Stelle noch nicht bekannt ist, geht aus der bisherigen Gliederung nicht hervor und ist auch von der gewählten und gefundenen Lösungsvariante abhängig.

Aus diesen Hauptfunktionen wird nun eine entsprechende Funktionsstruktur ermittelt.

In Abbildung 3-2 ist diese Struktur zu sehen.

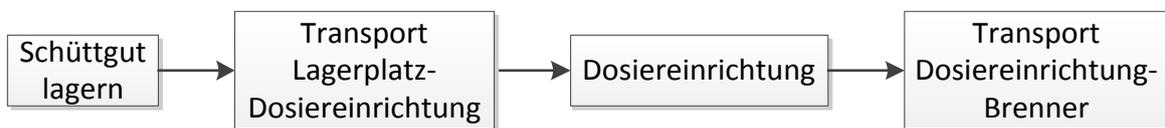


Abbildung 3-2: Funktionsstruktur

3.3 Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

In diesem dritten Abschnitt nach VDI 2222 wird für die im vorangegangenen Abschnitt gefundene Struktur und deren Funktionen Lösungsprinzipien gesucht, welche nach den gestellten Anforderungen bewertet und ausgewählt werden. Dies führt zu einer oder mehreren prinzipiellen Lösungen. Das Vorgehen zur Suche und Bewertung richtet sich nach den Kapiteln 2.5 und 2.6.

3.3.1 Schüttguteigenschaften - Laborversuche

Um mögliche Lösungsprinzipien theoretisch bewerten zu können, ist es notwendig das vorliegende Schüttgut genauer zu betrachten und kennenzulernen.

3.3.1.1 Schüttdichte

Abbildung 3-3 zeigt den Versuchsaufbau, bei dem mit zwei festgelegten Behältern und einer geeichten, digitalen Waage die Schüttdichte ermittelt wird.



Abbildung 3-3: Messen der Schüttdichte

Die Formel, nach der diese Schüttdichte ermittelt wird, ist aus Abschnitt 2.1.1 bekannt. Die gemessenen Daten und die daraus ermittelte Schüttdichte ist in Tabelle 3-2 ersichtlich.

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} = \left[\frac{t}{m^3} \right] = \left[\frac{kg}{dm^3} \right]$$

| | Behälterabmaße | | | Behälter Volumen V |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|------------------------|
| | Länge l | Breite b | Höhe h | |
| Behälter I | 563mm | 365mm | 260mm | 53,43dm ³ |
| Behälter II | 566mm | 365mm | 175mm | 36,15dm ³ |
| | Gewicht des Behälters | gemessenes Gesamtgewicht | Schüttgewicht | Schüttdichte |
| Behälter I | 2,3kg | 20,15kg | 17,85kg | 0,33kg/dm ³ |
| Behälter II | 2kg | 14kg | 12kg | 0,33kg/dm ³ |

Tabelle 3-2: Schüttdichte

3.3.1.2 Benötigte Menge

Abbildung 3-4 zeigt die geringe, benötigte Menge des Schüttgutes. Die Abmaße der zu sehenden Schüttgutteilchen beträgt max. 50mm. Die abgebildete Menge entspricht einer Masse von 1kg, was in etwa 2 geforderten Dosiereinheiten entspricht.



Abbildung 3-4: benötigte Schüttgutmenge

3.3.1.3 Auslaufversuch

Bei diesem Versuch wird der Ausfluss aus einem senkrechten Trichter mit quadratischer Austrittsöffnung untersucht.

Um die notwendigen Abmaße der Öffnung ermitteln zu können, werden diese kontinuierlich vergrößert bis ein ungehinderter Auslauf gegeben ist.

Beginnend mit 100mm x 100mm, wird erst ab einer Austrittsöffnung von 250mm x 250mm ein ungehinderter Ausfluss ohne Verkeilungen realisiert.

Der Trichter hat eine Höhe von 600mm und die Einfüllöffnung eine Breite von 500mm. Die Tiefe variiert mit der getesteten Austrittsbreite. Das maximale getestete Volumen beträgt somit 56dm³ und das Schüttgutgewicht 18,5kg.



Abbildung 3-5: Auslaufversuch I

Grobes Schüttgut bildet unter Vorverdichtung keine Eigenfestigkeit aus [RR71], wodurch die Höhe der Schüttgutsäule bei diesem Versuch keine entscheidende Rolle spielt. Um einen eventuellen Einfluss jedoch zu berücksichtigen, wird das Schüttgut für weitere Versuche mit einem zusätzlichen Gewicht, wie in Abbildung 3-5, belastet. Das Ergebnis entspricht dem des unbelasteten Aufbaues. Abbildung 3-6 zeigt die Verkeilung im Bereich des Trichterauslaufes bei einer Öffnung von 170mm x 170mm.



Abbildung 3-6: Auslaufversuch II

3.3.1.4 Abrutschversuch

In diesem Versuch wird nach Kapitel 2.1.1 Absatz f) experimentell der Wandreibungswinkel φ_W ermittelt. Dafür wird ein Teil des Schüttgutes auf eine schräge Unterlage gelegt und der Winkel zwischen Unterlage und horizontalem Untergrund solange vergrößert bis das Schüttgut zu rutschen beginnt. Dieser Grenzneigungswinkel δ_{grenz} entspricht dann dem Wandreibungswinkel. Abbildung 3-7 zeigt den Aufbau dieses Versuches.



Abbildung 3-7: Abrutschversuch

Für dieses Experiment wurden unterschiedliche Oberflächen der schrägen Unterlage getestet. Tabelle 3-3 zeigt diese Materialien, die damit ermittelten Grenzneigungswinkel und die daraus resultierenden Wandreibungszahlen μ_W . Die Reibungszahlen lassen sich wie folgt errechnen:

$$m * g * \sin\delta_{grenz} = m * g * \cos\delta_{grenz} * \mu_W = m * g * \cos\delta_{grenz} * \tan\varphi_W$$

$$\mu_W = \tan\varphi_W$$

| Material | δ_{grenz} | μ_W |
|---------------------------|------------------|---------|
| Aluminium | 30° | 0,58 |
| Stahl | 30° | 0,58 |
| Holzpressspan | 50° | 1,19 |
| Holzpressspan beschichtet | 25° | 0,47 |

Tabelle 3-3: Wandreibungswinkel

3.3.1.5 Schüttwinkel

Ausgehend aus den vorangegangenen Auslauf- und Abrutschversuchen wurde ein Bunker mit seitlichem Ausfluss aufgebaut, welcher eine vertikale Öffnung von 250mm und eine Neigung des Trichterbodens von 30° besitzt.

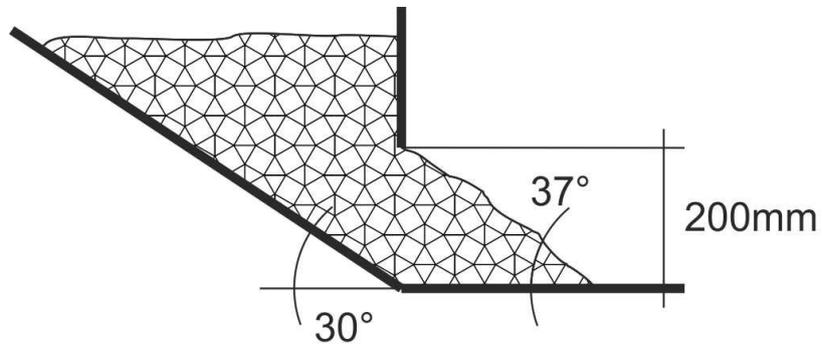


Abbildung 3-8: Auslauföffnung

Ein Auslaufversuch des vorgegebenen Schüttgutes ergab einen Schüttwinkel von 37°.



Abbildung 3-9: Schüttwinkel

3.3.2 Nebenfunktionen

Ausgehend von den gesammelten Informationen aus diesen ersten praktischen Arbeiten in Kapitel 3.3.1 ergeben sich weitere Anforderungen an das Dosier- und Transportsystem. Das vorliegende Schüttgut benötigt aufgrund der Korngröße und Kornform einen entsprechend großen Raum um frei fließen zu können. An Stellen, an denen dieser Platzbedarf nicht gegeben ist, bedarf es einer Auflockerung des Schüttgutes, um ein Verkeilen oder Brückenbildung zu verhindern. Solche Maßnahmen können an Bunkeraustrittsöffnungen, Lagerabzügen, der Dosiereinrichtung oder innerhalb der Förderkette von Nöten sein.

Außerdem ist es unter Umständen notwendig, den Durchfluss in irgendeiner Art zu messen um eine korrekte Dosierung zu realisieren. Das kann die Austragsmenge aus einem Vorratsbehälter oder die Dosiereinheit vor dem Brenner sein.

Daraus ergeben sich folgende Nebenfunktionen, die abhängig von den erarbeiteten Hauptfunktionen funktionsentscheidend sein können.

- Auflockern / Aufrütteln
- Messen der Austrags- / Dosiermenge

3.3.3 Nebenfunktion Messen

Die Nebenfunktion Messen wird vor der Hauptfunktion Dosieren behandelt, weil diese unter Umständen voneinander abhängig sind und zusammen betrachtet und entwickelt werden müssen.

Aus Kapitel 2.3.2 sind folgende in Frage kommenden Messmethoden bekannt:

- **Volumetrisches Messverfahren**
Diese Möglichkeit stellt dabei die Variante Schüttgut ohne zusätzliches Messverfahren dosieren zu können aus Kapitel 2.3.1.2 dar. Dabei wird ein bestimmtes Volumen von der Austrageeinrichtung abgegrenzt.
- **Gravimetrisches Messverfahren**
Bei dieser Messtechnik ist eine zusätzliche Wiegeeinrichtung, daraus ergeben sich zusätzliche Einrichtungen, Kosten und Aufwand, notwendig.
- **besondere Methoden**
Diese stellen ganz spezielle Ansprüche an das Schüttgut, welche in dem vorliegenden Fall nicht vorhanden sind.

3.3.3.1 Gewähltes Messverfahren

Nach der Methode des Ausscheidens und Bevorzugens wird aus diesen Messverfahren nun die geeignetste ausgewählt.

| | Besondere Schüttgutanforderungen | zusätzliche Einheit / Steuerung |
|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| volumetrisch | O | O |
| gravimetrisch | O | X |
| besondere Methoden | X | X |

Tabelle 3-4: Messen

- X – trifft sicher zu
- O – kann auftreten (je nach Realisierung)

Als geeignetste Methoden erweisen sich volumetrische Messmethoden, da die gravimetrischen Methoden zusätzliche Einrichtungen und die besonderen Methoden spezielle Schüttgutanforderungen verlangen.

Ist mit einer dieser Methoden keine zufriedenstellend genaue Dosierung realisierbar, muss zwangsläufig eine gravimetrische Methode verwendet werden.

3.3.4 Hauptfunktion Dosieren

Aus Abschnitt 2.3.1 sind folgende zwei Dosiervarianten bekannt:

- Dosierverfahren mit Messung
Dazu ist eine zusätzliche Messeinrichtung, gravimetrisch oder einer anderen (besonderen) Art, notwendig.
- Dosierverfahren ohne Messung
Für diese Variante ist keine zusätzliche, besondere Messeinrichtung notwendig. Gemessen wird der Schüttgutstrom über das ausgetragene Volumen der Schüttgutabzugseinrichtungen und entspricht daher, nach dem vorangegangenen Kapitel, dem volumetrischen Messverfahren.

Im vorangegangenen Kapitel 3.3.3 ist die Verwendung eines volumetrischen Messverfahrens entschieden worden, wodurch sich in diesem Abschnitt ein Dosierverfahren ohne Messeinrichtung ergibt.

Die in Kapitel 2.3.1.2 nach dem Kollektionsverfahren gefunden Dosiervarianten werden nun einzeln einer Beurteilung unterzogen. Dabei kommt die Variante des Ausscheidens und Bevorzugens zum Einsatz, um untaugliche Möglichkeiten schnell auszufiltern.

Bunkerverschlüsse

Die Dosiergenauigkeit mittels Bunkerverschlüssen ist für die gestellte Anforderung in dieser Arbeit unzureichend, da die benötigte Austrittsöffnung um Verkeilungen zu vermeiden einen zu hohen Schüttgutstrom erzeugen würde. Es müsste eine zusätzliche, gravimetrische Messeinrichtung verwendet werden.

Plattenbänder

Für die gestellte Anforderung ist das Plattenband in seiner ursprünglichen Konstruktion nicht ohne Modifikationen einsetzbar. Die Dosierung über eine genügend große Öffnung um eine Verkeilungen zu vermeiden ist nicht hinreichend genau, wodurch eine zusätzliche Messeinrichtung benötigt wird. Die robuste Ausführung ist für das vorgegebene Schüttgut nicht erforderlich.

Gurtförderer

Dieser zeigt dieselben Nachteile wie das Plattenband, jedoch ist der Aufbau einfacher.

Kettenkratzerförderer

Diese Möglichkeit ist für hohe Fördergutströme und grobes Schüttgut konzipiert. Das Schüttgut fließt von der Speicherstelle aber nicht von selbst zum Austragsorgan, sondern wird von diesem ausgekratzt.

Trogkettenförderer

Diese Einrichtung erbringt keine hinreichend genaue Dosierung, da das Gut über eine Bunkeröffnung in den Förderer gelangt, welche schüttgutbedingt entsprechend groß sein muss. Es ist eine weitere Dosiereinrichtung am Bunkeraustritt oder eine Messeinrichtung während des Transportvorganges erforderlich.

Schneckenförderer

Für den vorliegenden Einsatzzweck wird die Schnecke aufgrund von Dimensionsgründen nicht weiter in Betracht gezogen. Es wäre ein Durchmesser von etwa 500mm nötig, was zu großem Platzbedarf und hohen Investitionskosten führen würde.

Drehwalzen / Trommelausträge

Da es sich bei der Drehwalze um einen zusammengelegten Gurtförderer handelt, sind dieselben Vor- und Nachteile gegeben.

Diese Austragsvariante ist nur mittels Modifikationen an der Walze, oder nachfolgender Messeinrichtung einsetzbar.

Drehflügel / Zellenräder

Diese Variante ist eine recht einfache und leicht zu realisierende Möglichkeit Schüttgut zu dosieren. Für die gestellte Aufgabenstellung könnte mit Größe und Form der Dosierzellen, sowie der Drehzahl die geforderte Menge an Brennmateriale gefördert werden.

Zellenschleusen

Hier handelt es sich um eine Abwandlung der Drehflügel und wird daher für die Lösung des gegebenen Problems in Betracht gezogen.

Schwingförderer

Die Dosiergenauigkeit ist prinzipbedingt gering und die Lautstärkenentwicklung hoch.

Stoßaufgeber / Rütteltische

Vom Austragsprinzip ist diese Variante ähnlich dem Plattenband. In diesem Fall bewegt sich das Austragsmittel aber nicht mit konstanter Richtung am Bunkeraustritt vorbei. Die Ausflussöffnung muss entsprechend groß sein, um ohne zusätzliche Einrichtungen einen störungsfreien Betrieb realisieren zu können.

Drehteller

Für den vorliegenden Anwendungsfall ist diese Austrageeinrichtung nicht geeignet, da aufgrund des groben Schüttgutes dieses System sehr groß konstruiert werden müsste, um ein Verkeilen beim Austrag zu vermeiden .

Drehkratzer

Im Gegensatz zum Drehteller ist dieses System auch für gröbere Schüttgüter anwendbar und daher für den vorliegenden Anwendungsfall interessant.

Kaugummiautomatenprinzip

Anders als bei den vorangegangenen Austragsmöglichkeiten, die nach dem Kollektionsverfahren erarbeitet wurden, ist das Kaugummiprinzip das Produkt von Brainstorming und Analyse bekannter Systeme.

Das System funktioniert ähnlich dem Drehkratzer. Ein Dosierbehälter, welcher ein für die Anforderung entsprechendes Volumen besitzt, greift in einen Schüttguthaufen ein und fördert die gewünschte Menge an Material.

In einem Kaugummiautomaten entspricht die Dosierkammer genau einem Kaugummi. In dem hier behandelten Fall würde das Dosiervolumen etwa 0,5kg Brennmaterial entsprechen.

Es ist natürlich auch möglich, diese Einheit kleiner zu wählen und den Dosiervorgang öfter zu wiederholen, um die gewünschte Gesamtmenge zu erreichen.

Für diese Variante der Förderung und Dosierung muss das Schüttgut lose aufgeschüttet werden, um ein Eingreifen und Austragen der Dosiermenge mittels des Dosierbehälters zu ermöglichen.

3.3.4.1 Gewähltes Dosierverfahren

In der vorangegangenen Aufzählung befinden sich einige Dosiervarianten, die für den vorliegenden Fall, grobes Schüttgut und geringe benötigte Dosiermenge, keine hinreichend genaue Dosierung ermöglichen. Das sind jene Varianten, bei denen das Schüttgut durch eine entsprechend große Öffnung aus einem Speicher von selbst austreten muss. In Abschnitt 3.3.1.3 wurde eine notwendige Öffnung von mindestens 250mm x 250mm festgestellt. Diese Abmessung würde aber einen zu großen Schüttgutstrom ergeben und nur mit einer zusätzlichen Messeinrichtung einsetzbar sein.

Dosiersysteme, die Vorgaben nicht erfüllen, sind:

- Bunkerverschlüsse
- Plattenbänder
- Gurtförderer
- Trogkettenförderer
- Drehwalzen / Trommelausträge
- Stoßaufgeber / Rütteltische
- Drehteller

Zwei weitere Systeme kommen aufgrund der erforderlichen Dimensionierung oder der entstehenden Lärmentwicklung nicht in Betracht:

- Schneckenförderer
- Schwingförderer

Die verbleibenden fünf Austragsorgane funktionieren alle nach einem ähnlichen Prinzip. Das zu dosierende Gut fließt bei diesen Varianten nicht von selbst aus einer entsprechend großen Öffnung aus, sondern eine Einrichtung sorgt dafür, dass ein definiertes Volumen aus einer Schüttgutansammlung gefördert wird. Entweder greift eine Vorrichtung in den Schüttguthaufen ein und entnimmt die benötigte Menge, oder das Gut fließt in eine Dosierkammer, welche anschließend ausgetragen wird.

- Kratzer – Drehkratzer / Kettenkratzer
- Drehflügel / Zellenräder
- Zellenschleusen
- Kaugummiautomatenprinzip

3.3.5 Dosiereinrichtung - Versuchsaufbau

Die im vorangegangenen Abschnitt erarbeiteten möglichen Dosiervarianten werden in diesem Kapitel anhand praktischer Arbeiten getestet und modifiziert. Aufgrund der Einfachheit und Ähnlichkeit ihrer Funktionsweise wird für die ersten Versuche eine Kombination aus Zellenrad und Zellenschleuse aufgegriffen.

3.3.5.1 Zellenrad / Zellenschleuse

Der Aufbau besteht aus einer senkrecht stehenden Scheibe, welche mit einer Ausnehmung versehen ist. Das Schüttgut wird zellenradtypisch über einen Trichter von oben zugeführt.

Ein Teil des Gutes fällt in die Ausnehmung, in die Dosierkammer, wird bei Drehung der Schiebe weitergefördert und anschließend aufgrund der Schwerkraft ausgeworfen. Trichterwände sorgen dafür, dass das Schüttgut nicht unkontrolliert von selbst über die Scheibe ausfließt. Abbildung 3-10 und Abbildung 3-11 zeigt den schematischen Aufbau, Abbildung 3-12 die erste Scheibe des Versuchsstandes, welche einen Durchmesser von 300mm und einer Breite von 60mm aufweist.

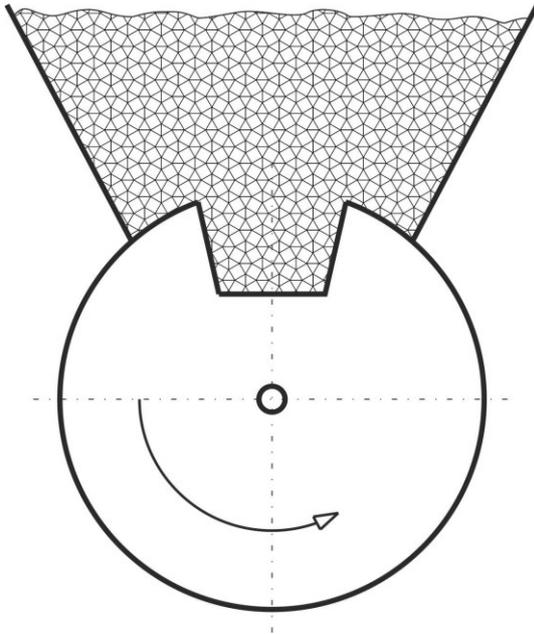


Abbildung 3-10: Aufbau_1 I



Abbildung 3-11: Aufbau_1 II



Abbildung 3-12:Aufbau_1 III

Bei dieser Variante zeigt sich allerdings, dass das Schüttgut zu grob für diese Art der Dosierung ist. Gutstücke, welche aus der Dosierkammer herausragen, verkeilen sich mit der Trichterwand. Diese Art der Förderung ist nur für feines Schüttgut anwendbar.

Der Versuch dieses Problem zu beheben besteht darin, den Winkel einer Trichterwand zu ändern, um dadurch ein Abstreifen des Schüttgutes während des Austragens zu erreichen. Im vorliegenden Fall ist das bei einer Drehung der Scheibe gegen den Uhrzeigersinn an der linken Wand realisiert.

Diese Modifikation bringt aber bei den vorliegenden Dimensionen keine Verbesserung. Es müsste die Trichterwand nachgiebig ausgeführt werden, damit sich Verkeilungen von selbst aufheben. Das führt aber zu einer unkontrollierten Dosierung.

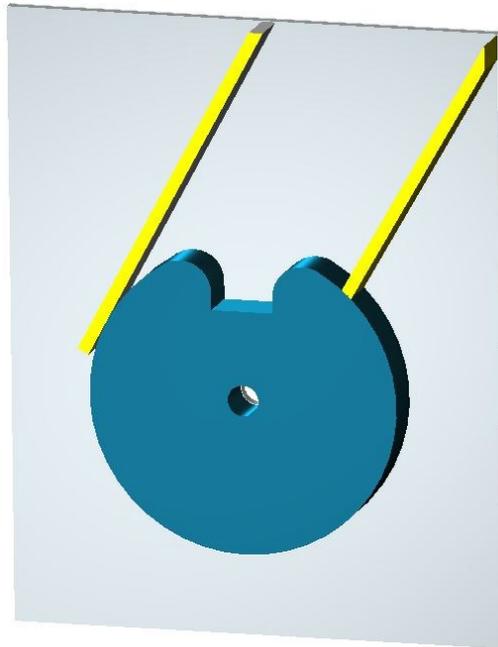


Abbildung 3-13: Aufbau_2

Die Weiterentwicklung dieses Systems besteht nun darin, das Schüttgut nicht mehr von oben zuzuführen, sondern es seitlich über eine Rutsche zur Dosierscheibe zu befördern.

Der Zuführbereich darf dabei aber nicht komplett gefüllt sein, damit das Schüttgut die Möglichkeit hat, sich während des Dosiervorganges zu ordnen. Auch hier entspricht die Drehrichtung der Scheibe einer Drehung entgegen den Uhrzeigersinn.

Für diese Variante ist eine Neukonstruktion der Dosierkammer erforderlich. Sie besteht nicht mehr aus einer reinen Ausnehmung, sondern besitzt nun die Form einer Schaufel.

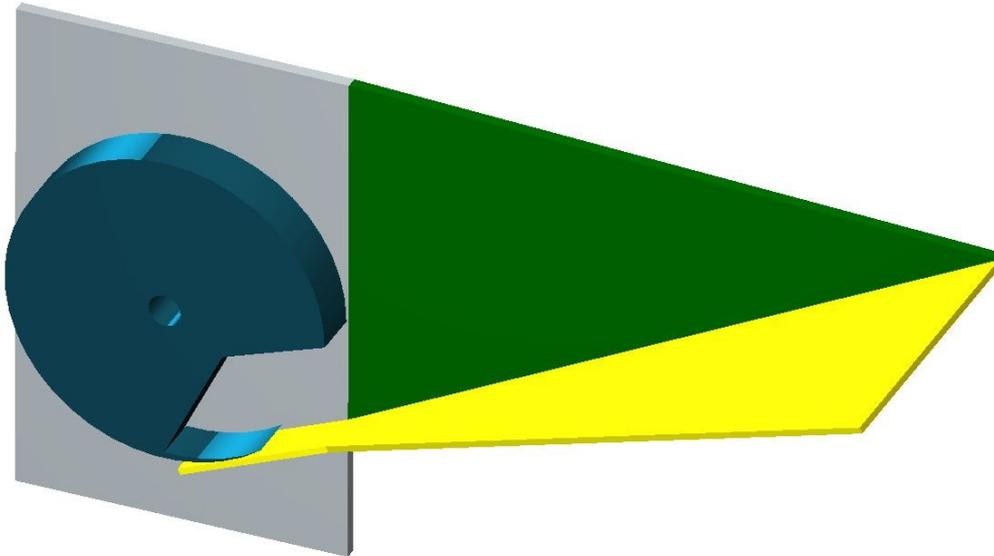


Abbildung 3-14: Aufbau_3 I

In Abbildung 3-15 ist der Versuchsaufbau zu sehen. Auf der linken Seite erkennt man den Zulauftrichter, welcher in die Begrenzungswand der Scheibe übergeht, und auf der rechten Seite die Achse, um welche sich die Schiebe dreht. Abbildung 3-16 zeigt die Darstellung mit Blick in den Zulauftrichter. Zu erkennen ist der schmale Kasten, in dem sich die Dosierscheibe dreht, und davor der Zulaufbereich inklusive einem Teil des Schüttgutes.

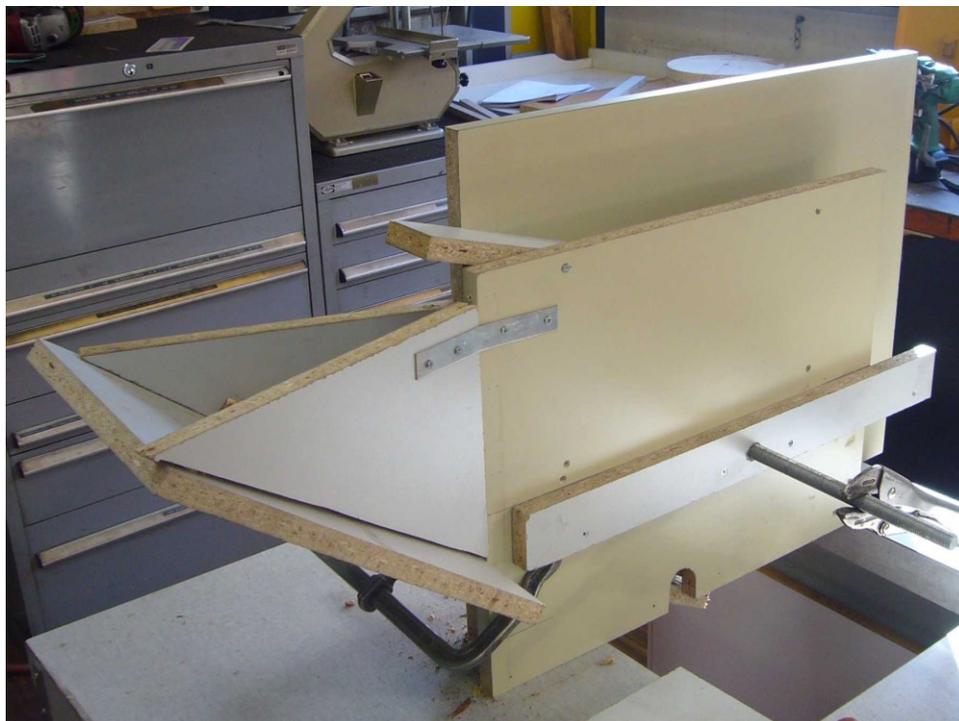


Abbildung 3-15: Aufbau_3 II



Abbildung 3-16: Aufbau_3 III

Das Problem an diesem Aufbau ist, dass der Zulauftrichter in einen sehr schmalen Kasten übergeht. Dieser entspricht der Breite der Scheibe, und es kommt dadurch an diesem Übergang zu Fließproblemen und einem Aufstauen des Schüttgutes.

Das geförderte Material muss bei dieser Variante nach wie vor von selbst in die Dosierkammer der Scheibe rutschen und das ist nur dann möglich, wenn die Schaufel der Scheibe bei Drehung auf die schräge Zulauffläche aufsetzt. Aufgrund der großen Abmessungen des Schüttgutes und der verhältnismäßig geringen Abmessung der Dosierkammer kann auf diese Weise keine zuverlässige Dosierung erreicht werden.

Es ist daher notwendig, das zu fördernde Gut vor der Dosierscheibe zu ordnen und aufzulockern.

Aus diesen Erkenntnissen und dem Wissen über entsprechende Austragshilfen aus Kapitel 2.2.1, welche in Abschnitt 3.3.6 ausgearbeitet werden, wird nun versucht eine entsprechende Dosierung zu realisieren.

Der erste Ansatz besteht aus einer hängenden Kette, welche im Zulauftrichter kurz vor der Engstelle zur Dosierscheibe angebracht ist. Diese wird während des Dosiervorganges hin und her bewegt, um dadurch eventuelle Verkeilungen zu lösen.

Diese Möglichkeit funktioniert aber in den vorherrschenden Dimensionen nicht zufriedenstellend. Erst eine entsprechende Vergrößerung der Abmessungen von Dosierscheibe, Montagekasten und Zulauftrichter würde eine Verbesserung bewirken. Diese Maßnahmen ergeben allerdings zu große Dosiereinheiten.



Abbildung 3-17: Kette

3.3.5.2 Drehkratzer / Kaugummiautomat

Der nächste Schritt besteht darin, das Prinzip des Drehkratzers und das Kaugummiautomatenprinzip in den vorhandenen Aufbau einzubinden. Beide Systeme basieren auf der Überlegung, dass ein Dosierbehälter in einen Schüttguthaufen eingreift und die benötigte Menge entnimmt.

Bisher musste das zu fördernde Gut von selbst zu einem bestimmten Zeitpunkt in einen beengten Raum und in die Dosierkammer rutschen.

Aufbauend auf dieser Überlegung wird die vorhandene Dosierscheibe weiter zum Zulauftrichter versetzt und dadurch in den Schüttguthaufen gebracht.

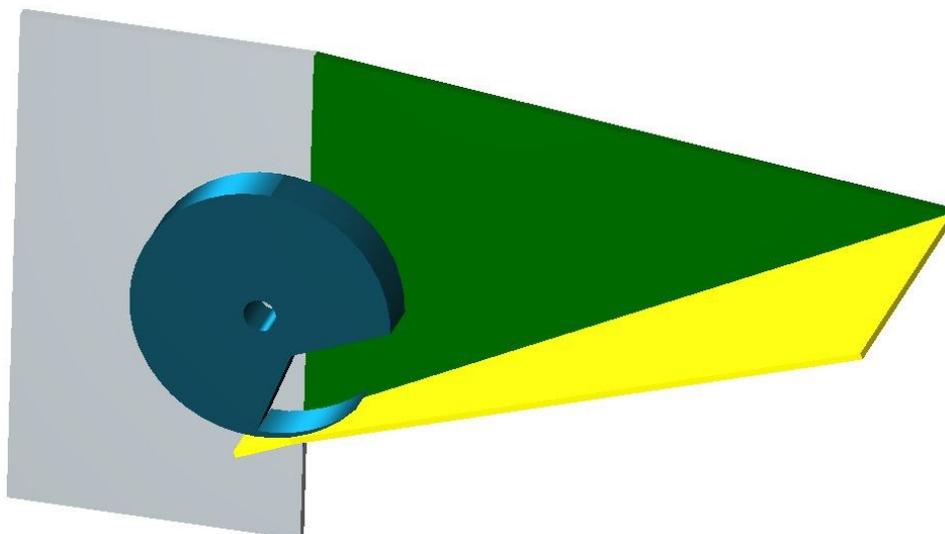


Abbildung 3-18: Aufbau_4 I

**Abbildung 3-19: Aufbau_4 II**

Versuche mit diesem Aufbau zeigen eine deutliche Verbesserung zu den vorangegangenen Methoden. Damit konnte eine einigermaßen zuverlässige Füllung der Dosierkammer erreicht werden. Da sich die Scheibe konstant in dem Schüttguthaufen dreht, wird dieser immer in Bewegung gehalten, auch wenn sich der Bereich mit der Dosierkammer nicht im Eingriff befindet. Das Gut erfährt somit eine konstante Auflockerung und Verkeilungen werden unterbunden. Das zu fördernde Material muss aber nach wie vor von selbst in die Ausnehmung rutschen.

Durch Verändern der Abmaße von Scheibenbreite und Kammergröße lässt sich die Dosiermenge auf die geforderten Werte einstellen. Es muss jedoch der Füllungsgrad des Trichters relativ hoch gehalten werden, um diese konstant Dosierung zu erreichen. Bei nur wenigen Schüttgutteilchen ist keine zuverlässige Entnahme zu beobachten.

Die letzte Modifikation besteht nun darin, die Dosierkammer nicht mehr als Ausnehmung in der Scheibe zu realisieren, sondern einen Dosierbehälter auf die Schiebe aufzusetzen. Dadurch greift dieser tatsächlich in den Schüttguthaufen ein und das Gut muss nicht mehr von selbst nachrutschen.

Die Trägerscheibe rotiert nach wie vor in dem Zulaufbereich, wodurch eine Auflockerung weiterhin gegeben ist.

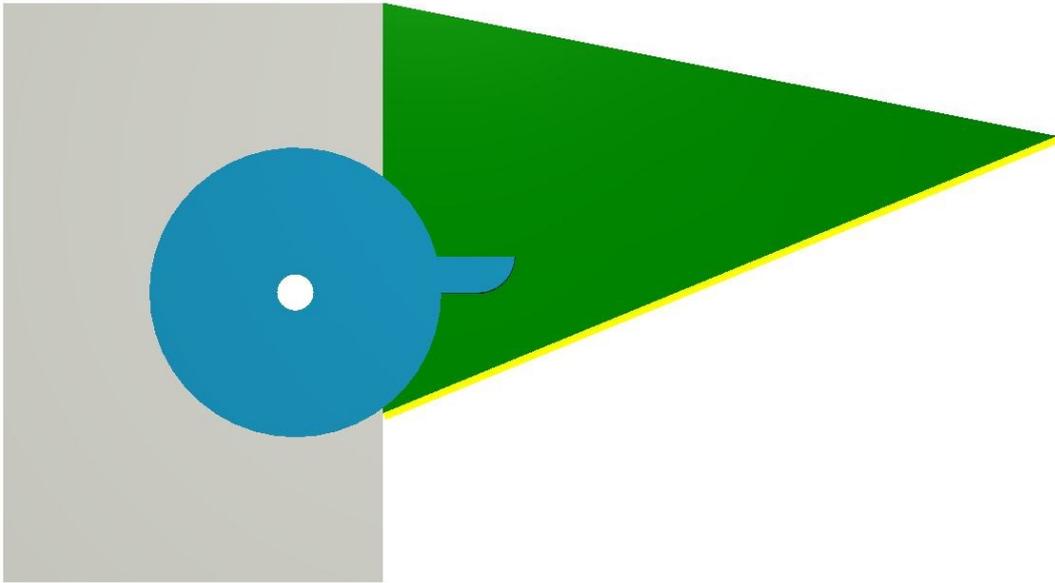


Abbildung 3-20: Aufbau_5 I

Damit sich Dosierbehälter und Trichterboden nicht blockieren und eine einwandfreie Rotation gewährleistet ist, wird die aufgesetzte Schaufel aus einzelnen Elementen realisiert. Die Form entspricht etwa der eines Rechens. Der Abstand der einzelnen Glieder wird an das verwendete Schüttgut und dessen geringsten Korngrößendurchmesser angepasst.

Der schräge Zulaufboden muss als Gegenstück entsprechende Ausnehmungen aufweisen, um ein mögliches Rotieren der Trägerscheibe inklusiv aufgesetzter Dosiereinheit zu ermöglichen. Diese werden an die Abmaße des Rechens angepasst.

Durch diese Konstruktion erfährt das Schüttgut eine ständige Aufrüttelung durch die Scheibe und kann anschließend einfach durch die Schaufel dosiert und ausgetragen werden.

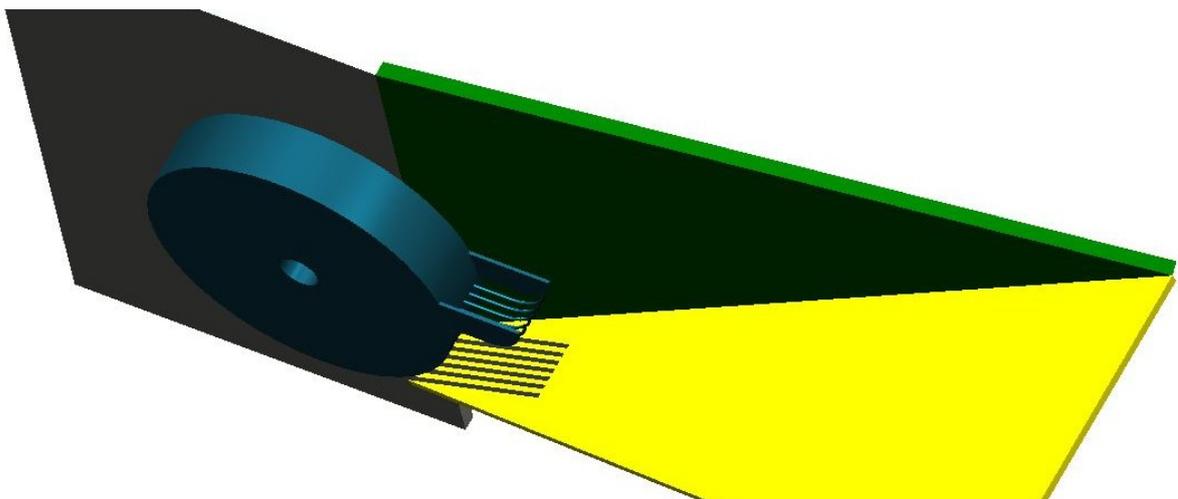


Abbildung 3-21: Aufbau_5 II

Über den Umfang können weitere Schaufeln angebracht werden, dadurch ist keine vollständige Drehung der Scheibe pro Dosiervorgang nötig. Abbildung 3-22 und Abbildung 3-23 zeigen eine Möglichkeit das Schüttgut bei Bedarf weiter in Bewegung zu halten. Am Umfang der Trägerscheibe angebrachte Auflockerungselemente (Stifte) rütteln das Gut bei Drehung auf. Dadurch wird die Möglichkeit der Verkeilung oder Brückenbildung weiter reduziert.

Des Weiteren kann über eine zweite Scheibe mit entgegengesetzter Drehrichtung ein sicherer Auswurf aus der Dosiereinheit realisiert werden. Diese besitzt ähnlich des Trichterbodens ein Gegenstück zum verwendeten Rechen. Im vorliegenden Fall dreht sich die blaue Dosierscheibe entgegen dem Uhrzeigersinn und die rote Auswurfscheibe im Uhrzeigersinn. Die Position und das Timing der Auswurfscheibe müssen an die Dosierscheibe angepasst werden, das kann etwa über eine Kette mittels gemeinsamen Antriebs erfolgen.

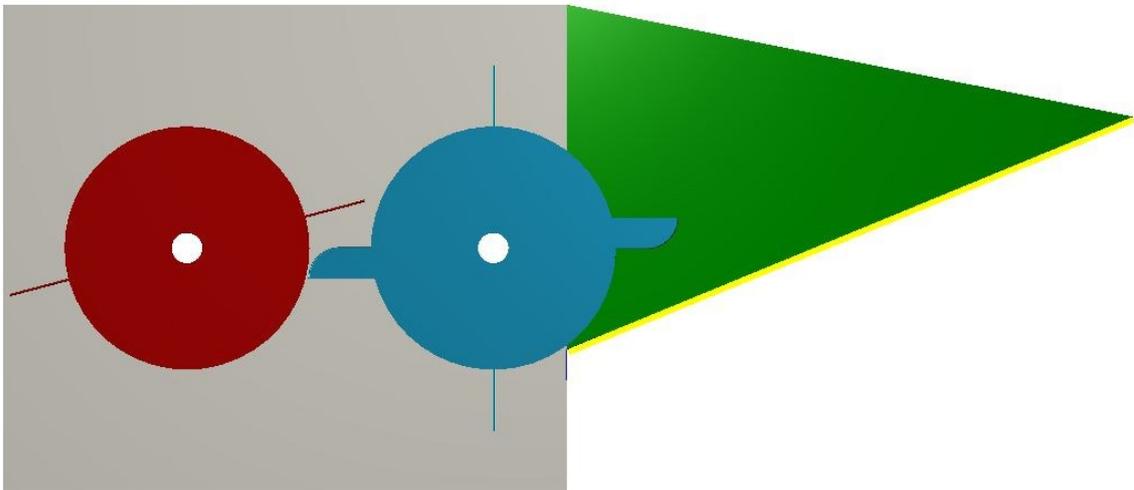


Abbildung 3-22: Aufbau_6 I

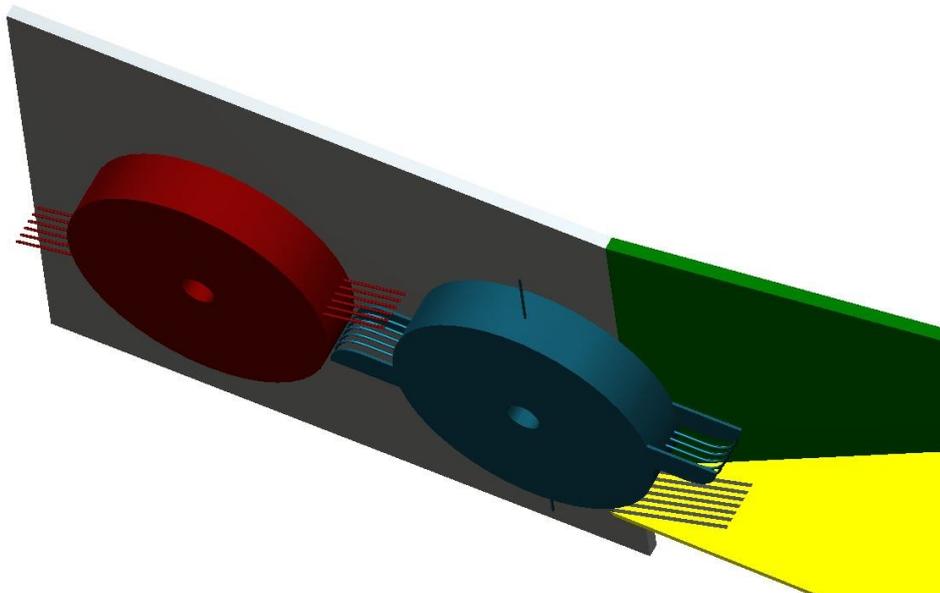


Abbildung 3-23: Aufbau_6 II

3.3.6 Nebenfunktion Auflockern

Das vorangegangene Kapitel zeigt, dass das vorliegende Schüttgut in der benötigten Menge an gewissen Stellen der Dosier- oder Transportkette einer Auflockerung benötigt. Besonders an Engstellen ergeben sich ohne spezielle Einrichtungen Verkeilungen oder Brückenbildungen. Dieses Aufstauen behindert das freie Fließen des Schüttgutes und führt dadurch zu einem Versiegen des Dosierstromes.

Diese sogenannten Austragshilfen sollen im Zusammenwirken mit Austragsorganen den Materialfluss in Gang halten und wurden in Kapitel 2.2.1 bereits aufgelistet. Durch entsprechendes Ausscheiden und Bevorzugen wird eine passende Methode gewählt.

- Bunkerrüttler
Der Nachteil dieser Variante ist die relativ hohe Geräusentwicklung.
- Pneumatische Austragshilfen – Druckluft
Bei dieser Art der Austragshilfe wird eine zusätzliche pneumatische Einheit benötigt. Dadurch ist eine zusätzliche Steuerung erforderlich, was zu erhöhten Kosten und durch den Einsatz eines notwendigen Kompressors auch zu erhöhter Geräusentwicklung führt.
- Mechanische Austragshilfen
Es ist kein zusätzliches System oder eine spezielle Steuerung notwendig und die Geräusentwicklung ist gegenüber den restlichen Varianten je nach Art der Realisierung geringer.

3.3.6.1 Gewählte Auflockerungseinrichtung

| | hohe Geräusentwicklung | zusätzliche Einheit/Steuerung |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Bunkerrüttler | X | O |
| Pneumatische Hilfen | O | X |
| Mechanisch Hilfen | O | O |

Tabelle 3-5: Austragshilfen

- X – trifft sicher zu
- O – kann auftreten (je nach Realisierung)

Daraus ergibt sich die Verwendung einer mechanischen Austrag- Fließhilfe. In modifizierter Form können diese natürlich nicht nur direkt an einem Lagerplatzaustritt, sondern auch während der Transportkette eingesetzt werden. In dem vorliegenden Fall werden solche Maßnahmen eventuell in den folgenden Bereichen benötigt:

- Siloaustritt
- unmittelbar vor dem Dosierer
- vor dem Eintritt in den Brenner

Durch Analyse der mechanischen Austragshilfen und den Erfahrungen aus dem praktischen Arbeitsabschnitt ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- **Auflockerungselemente an der Dosierscheibe**
Diese Möglichkeit stellt Stifte, welche entlang des Umfanges der Dosierscheibe angebracht sind, dar und ist in Kapitel 3.3.5.2 dargestellt. Dabei wird das Schüttgut durch diese Dornen während der Rotationsbewegung aufgerüttelt.
- **Zusätzliche Auflockerungseinheit**
Einrichtungen, welche entlang der Transportstrecke angebracht sind, verhindern das Verkeilen und Stauen des Schüttgutes. Die Grundidee sind Dornen oder Lanzen, welche in das Fördergut eingestoßen werden und dadurch den Fördergutstrom in Bewegung halten. In Abbildung 3-24 ist eine Variante mittels Nagelbrett zu sehen.

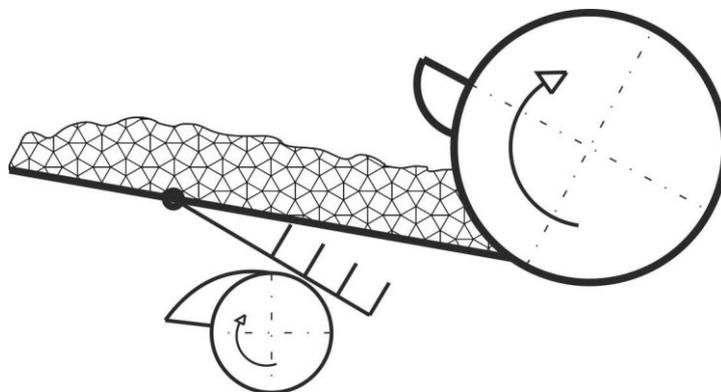


Abbildung 3-24: Nagelbrett

Diese Variante ist sowohl vor der Dosiereinheit als auch direkt vor dem Eintritt in den Brenner anwendbar.

- **Bewegte Wände**
Die Hauptüberlegung ist die Brückenbildung an Lageraustrittsplätzen zu verhindern. Ein Teil der Bunkerwand wird beweglich ausgeführt und über einen entsprechenden Mechanismus angetrieben. Am einfachsten geschieht das mittels eines Exzenterantriebes und ist in Abbildung 3-25 dargestellt .

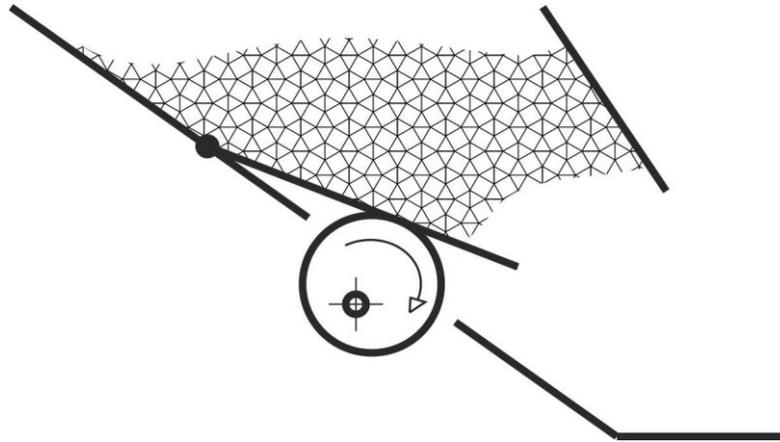


Abbildung 3-25: bewegte Wand

Eine Ausflusshilfe im Bereich des Lagerplatzes ist beim vorliegenden Schüttgut bis zu einer Austrittsöffnung von 250mm x 250mm notwendig, siehe 3.3.1.3.

3.3.7 Hauptfunktion Transport

Der Transport des Schüttguts kann nach Bedarf in zwei Bereiche unterteilt werden:

- Transport I
- Transport II

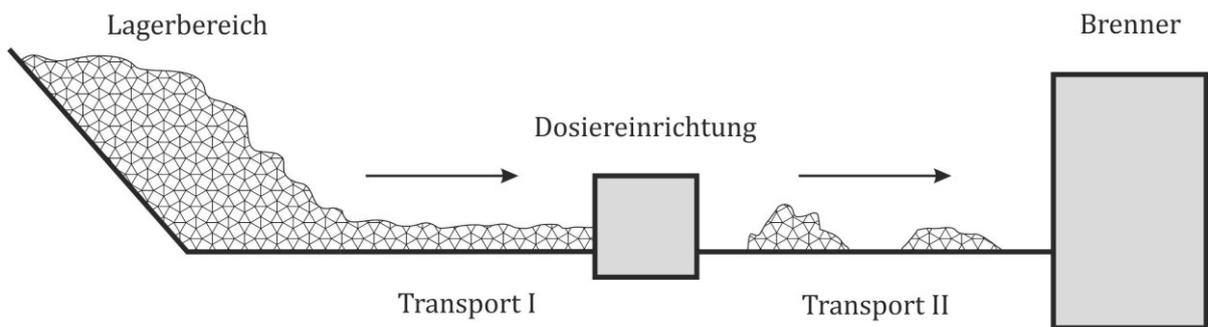


Abbildung 3-26: Transportschema

In Abbildung 3-26 stellt der Transportabschnitt I die Zulieferung vom Lagerplatz zu der Dosiereinheit und der Transportabschnitt II den Weitertransport vom Dosierer zum Brenner dar.

In Abschnitt 2.3.3 wurden diverse Transportmittel für das Fördern von Schüttgut aufgelistet.

- **Bandförderer**
Diese stellen die einfachste Form der Schüttgutförderung dar, solange keine großen Neigungen überwunden werden müssen.
- **Kettenförderer**
Die robuste Ausführung der Bandförderer ist in dem vorliegenden Fall nicht notwendig. In den unterschiedlichsten Ausführungen ist aber eine Senkrechtförderung realisierbar.
- **Schneckenförderer**
Diese Variante fällt aus Dimensionsgründen außer Betracht. Es würde eine Schnecke mit 500mm Durchmesser benötigt werden.
- **Schwingförderer**
Die Lautstärkenentwicklung des Schwingförderers ist für die gestellte Aufgabe zu hoch.
- **Rutschen**
Ist es konstruktionsbedingt möglich, so stellen Rutschen den einfachsten Weg dar, das Schüttgut über kurze Strecken zu transportieren.

3.3.7.1 Gewählte Transportmittel

| | hohe Geräuscentwicklung | Robuste Ausführung | Dimension |
|--------------------------|-------------------------|--------------------|-----------|
| Bandförderer | O | O | O |
| Kettenförderer | O | X | O |
| Schneckenförderer | O | O | X |
| Schwingförderer | X | O | O |
| Rutschen | O | O | O |

Tabelle 3-6: Stetigförderer

- X – trifft sicher zu
- O – kann auftreten (je nach Realisierung)

Aus den anfänglich aufgelisteten Fördereinrichtungen ergeben sich die Bandförderer und Rutschen als mögliche Varianten.

Der Bandförderer stellt dabei die Transportrealisierung als Stetigförderer dar. Bei Verwendung der Rutsche fließt das Schüttgut von selbst.

3.3.7.2 Transport I: Lagerplatz – Dosiereinheit

Den Transport des Schüttgutes vom Lagerplatz zur Dosiereinrichtung kann nun mit den beiden gewählten Transportmitteln realisiert werden. Abhängig ist die Auswahl von der Konstruktion des Lagerplatzes und dessen Positionierung. Ist die Dosiereinrichtung unmittelbar an die Lagerstelle angebaut, so kann der Transport mittels kurzer Rutsche erfolgen. Muss eine entsprechende Distanz zwischen den beiden überwunden werden, so ist ein Förderband notwendig.

Transport ohne Stetigförderer

Das Schüttgut fließt vom Lagerplatz selbstständig zum Dosierer und staut sich vor diesem auf. Diese Variante ist in Abbildung 3-27 dargestellt. Die benötigte Schüttguthöhe vor der Dosiereinrichtung kann, um eine zuverlässige Funktion zu gewährleisten, unter Bildung des Schüttwinkels und den folgenden Parametern gesteuert werden:

- Abstand von Lager und Dosierer
- Neigungswinkel der Rutsche
- Austrittsöffnung

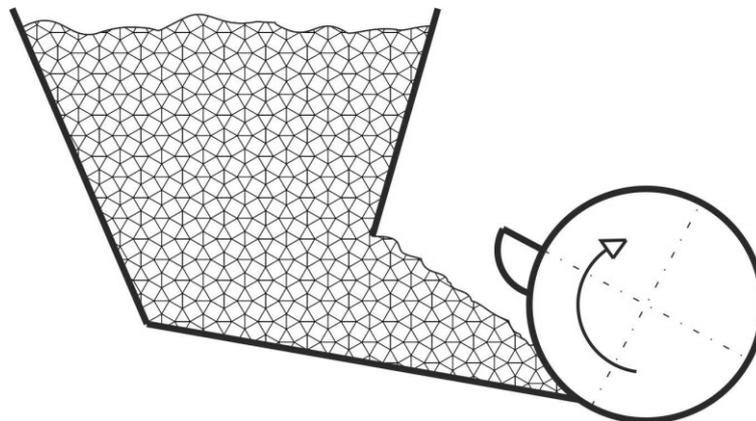


Abbildung 3-27: Zuführung - Rutsche

Transport mittels Stetigförderer

Ist der Lagerplatz jedoch in einiger Entfernung vom Dosierer positioniert oder muss eine eventuelle Höhendifferenz überwunden werden, so ist der Einsatz eines Bandförderers erforderlich.

Dieser kann das Schüttgut direkt zur Dosiereinheit fördern, oder einen entsprechenden Dosierbereich befüllen.

- Direkte Zuführung

Bei dieser Variante häuft der Stetigförderer das Schüttgut direkt vor dem Dosierer auf. Um eine konstante und optimale Fördergutmenge vor dem Dosierer zu erhalten, ist eine Messeinrichtung notwendig. Ohne eine solche Überwachung würde sich der Schüttgutstrom vor der Dosiereinrichtung irgendwann aufstauen oder verebben.

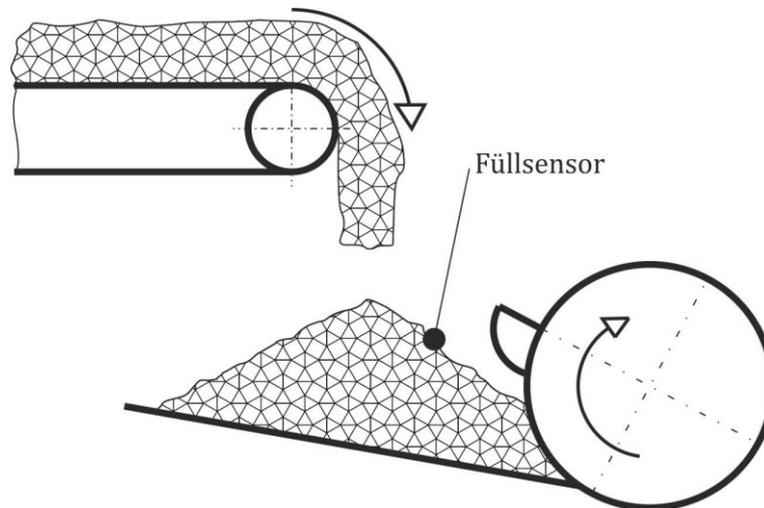


Abbildung 3-28: Direkte Zuführung

Der Nachteil ist die zusätzliche Steuerung, der dadurch entstehende Aufwand und die Kosten. Ohne Überwachung muss die Zuführung sehr exakt funktionieren um die Füllung konstant zu halten.

- Indirekte Zuführung

Der Stetigförderer transportiert das Schüttgut nicht direkt zur Dosiereinrichtung, sondern befüllt einen entsprechenden Vorraum. Dieser ist von seinen Abmessungen so gewählt, dass sich am Dosierer die benötigte Schüttguthöhe aufgrund des Schüttwinkels einstellt, ähnlich dem zuvor behandeltem Transport ohne Stetigförderer.

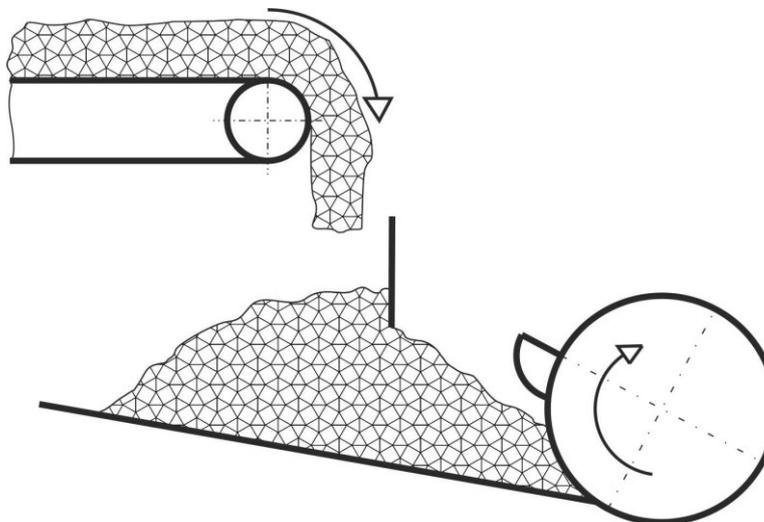


Abbildung 3-29: Indirekte Zuführung

Der zugeführte Massenstrom muss in diesem Fall mindestens der Ausstragsmenge durch den Dosierer entsprechen, um die benötigte Fördergutmenge aufrecht zu erhalten. Eine exakte Regelung des Zulaufes ist aber nur sehr schwer realisierbar, daher wird die zugeführte Menge größer als die abgeführte Menge sein. Auf diese Weise häuft sich Schüttgut vor dem Dosierraum auf und muss überwacht oder entsprechend abgeführt werden.

Auch in dieser Variante des Transportes mittels Stetigförderer ist daher eine zusätzliche Steuerung notwendig.

3.3.7.3 Transport II: Dosiereinheit – Brenner

Der Weitertransport von der Dosiereinrichtung zum Brenner ist von der gegebenen Aufgabenstellung zu wählen. Nach Möglichkeit ist eine Rutsche von der Dosierstelle bis zum Brenner einzusetzen, das stellt die einfachste Variante dar. Falls jedoch eine gewisse Wegstrecke überwunden werden muss, ist der Einsatz eines Bandförderers notwendig. Abbildung 3-30 zeigt diese beiden Varianten.

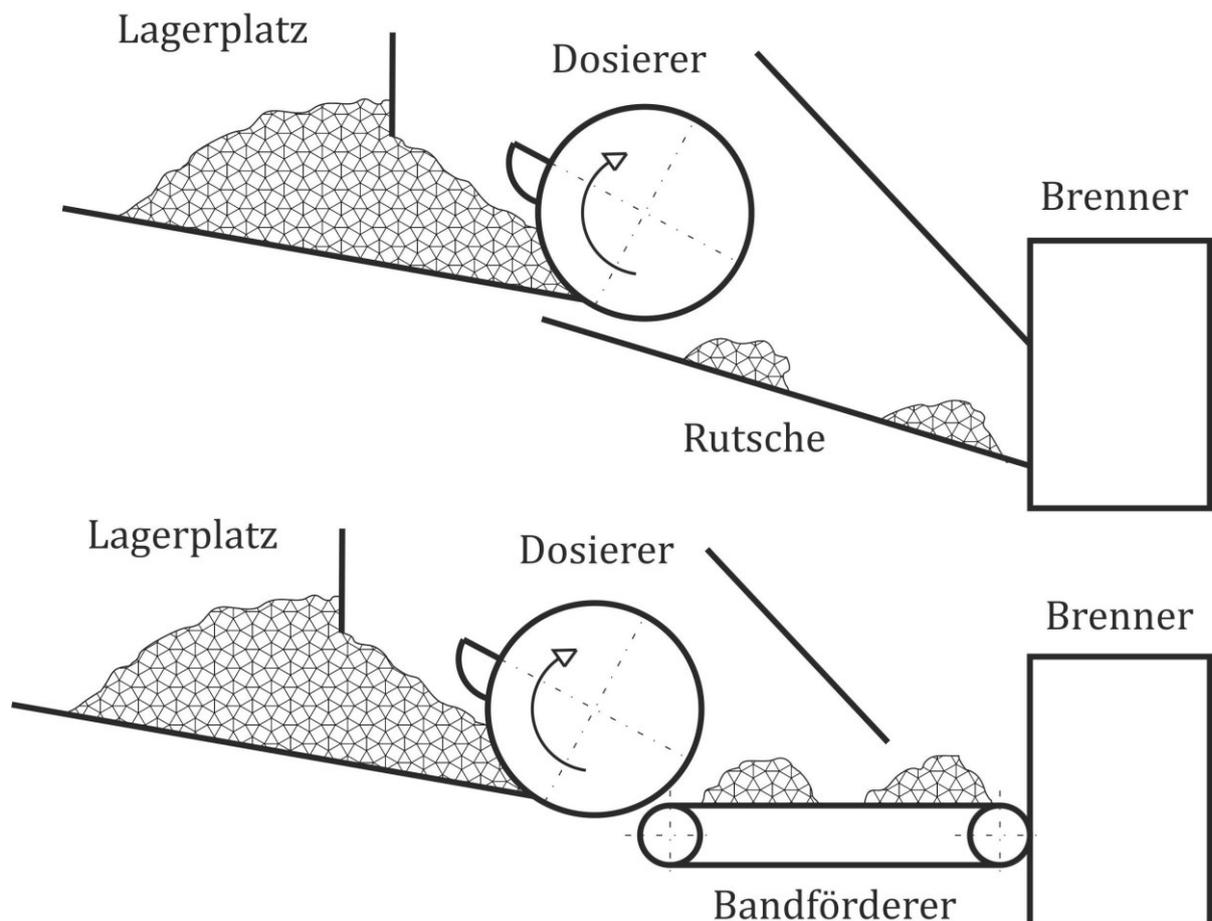


Abbildung 3-30: Transport Dosiereinheit – Brenner

3.3.8 Hauptfunktion Lagern

Die Größe und Form der Lagereinrichtung, Silo oder Bunker richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten und Anforderungen.

Die Ausflussöffnung muss so gewählt werden, dass Verkeilungen und eine Brückenbildungen des Schüttgutes vermieden werden. Zusätzlich kann ein Auflockern des Gutes an kritischen Bereichen wie dem Bunkeraustritt durch geeignete Einrichtungen realisiert werden.

Die untere, meist rechteckige, waagrechte oder senkrechte Entleerungsöffnung muss entsprechende Abmessungen (Kantenlänge a) haben, dass auch die größten Gutstücke sie nicht verstopfen können. Laut [RR71] und auch durch den Auslaufversuch in Kapitel 3.3.1.3 bestätigt, muss die Auslauföffnung etwa vier bis fünfmal dem Korndurchmesser entsprechen.

$$a = 5 * d_k$$

Eine zuverlässige Entleerung entlang des Bunkerbodens wird durch eine entsprechend große Neigung erreicht. In Kapitel 3.3.1.4 wurde dieser Winkel für verschieden Materialien ermittelt.

4 Ergebnisse – Konzeptlösungen

In Kapitel 3 wurden für die anfänglich formulierte Aufgabenstellung Lösungen erarbeitet. Dabei ist die Gesamtfunktion in entsprechende Hauptfunktionen unterteilt worden und diese wurden anschließend jeweils getrennt voneinander betrachtet.

Durch Kombination dieser Teillösungen kann unter Berücksichtigung der jeweilig vorherrschenden Randbedingungen nun eine Gesamtlösung gefunden werden.

Folgende erarbeitete Hauptfunktionen können dabei verknüpft werden:

- Position der Dosiereinrichtung
- eingesetztes Dosierverfahren
- entsprechendes Messverfahren
- Realisierung der Dosiervariante
- benötigte Auflockerung an der Speicherstelle
- benötigte Auflockerung an der Dosiereinrichtung
- benötigte Auflockerung vor dem Brenner
- Transportmittel von Lager zu Dosierer
- Transportmittel von Dosierer zu Brenner

In der nachfolgenden Abbildung 4-1 sind diese Hauptfunktionen anhand der systematisch-analytischen Methode zur Ideenfindung, dem „Morphologischen Kasten“, miteinander kombiniert worden.

Es sind zwei mögliche Gesamtkonzepte aufgezeigt, die jeweils einen Extremfall darstellen.

| | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Fördergut | Schüttgut | Stückgut | |
| Dosierposition | unmittelbar nach dem Lagerplatz | während des Transportvorganges | |
| Dosierverfahren | Dosierverfahren mit Messung | Dosierverfahren ohne Messung | |
| Messverfahren | gravimetrisch | andere Methoden | volumetrisch |
| realisierte Dosiervariante | Zellenrad / Zellschleuse | Kratzer / Kaugummiautomat | |
| Auflockerung Speicher | Rüttler | pneumatische Hilfen | nicht notwendig |
| Auflockervariante | | | |
| Auflockerung Dosierer | Rüttler | pneumatische Hilfen | nicht notwendig |
| Auflockervariante | | | |
| Auflockerung Brenner | Rüttler | pneumatische Hilfen | nicht notwendig |
| Auflockervariante | | | |
| Transportmittel I Lager - Dosierer | Bandförderer | Rutsche | nicht notwendig |
| Zuführung direkt - indirekt | direkt | indirekt | |
| Transportmittel II Dosierer - Brenner | Bandförderer | Rutsche | nicht notwendig |

Abbildung 4-1: Morphologischer Kasten

- Die blaue Variante stellt den zu favorisierenden Idealfall dar. Dabei wird das Schüttgut direkt nach der Lagerstelle ohne zusätzliche Messeinrichtung mittels des Kratzersystems dosiert. Aufgrund großzügiger Platzverhältnisse ist es dem Fördergut möglich, sich selbst zu ordnen und es wird keine entsprechende Auflockerungseinheit benötigt. Der Transport vom Dosierer zum Brenner geschieht einfach über eine Rutsche. In Abbildung 4-2 ist dieses Konzept dargestellt.

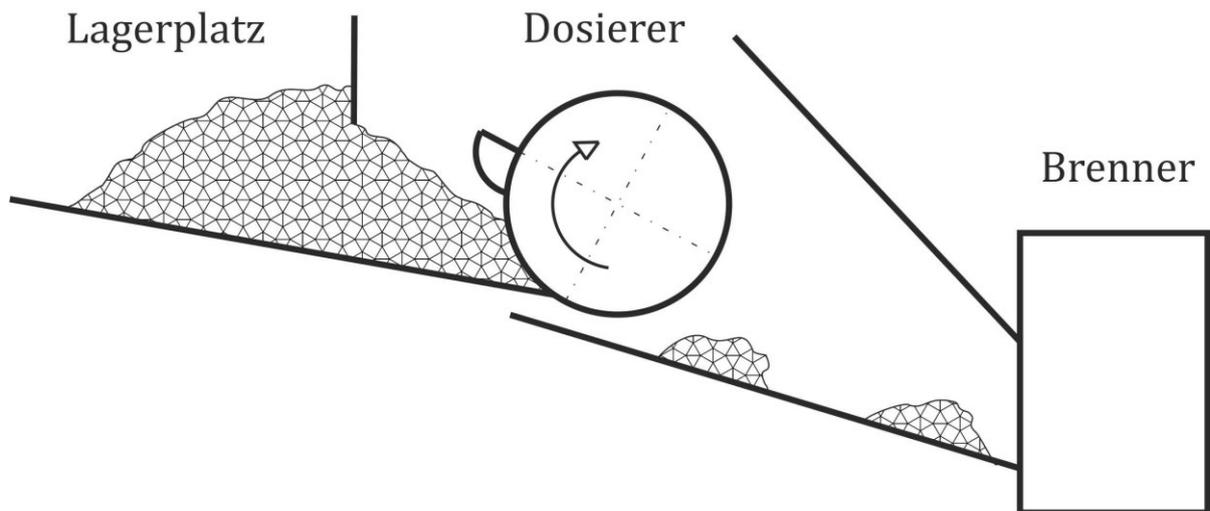


Abbildung 4-2: Konzept I

- Die rote Variante zeigt eine aufwändige Lösung. Das Schüttgut fließt aus der Lageraustrittsöffnung und wird mittels Stetigförderer zur Dosiereinrichtung befördert. Eine Messeinrichtung überwacht die zugeführte Menge vor dem Dosierer. Aufgrund der geringen vorhandenen Platzverhältnisse ist die Bunkeröffnung und der Dosierbereich zu eng für das vorliegende Schüttgut, um frei fließen zu können. Entsprechende Auflockerungseinheiten, wie bewegte Wand und Stifte, verhindern Verkeilungen und Brückenbildungen. Der Weitertransport zum Brenner erfolgt ebenfalls mittels eines Bandförderers. Vor dem Brenner ist zusätzliche eine Auflockerungseinheit, Nagelbrett, notwendig. Abbildung 4-3 zeigt dieses Konzept.

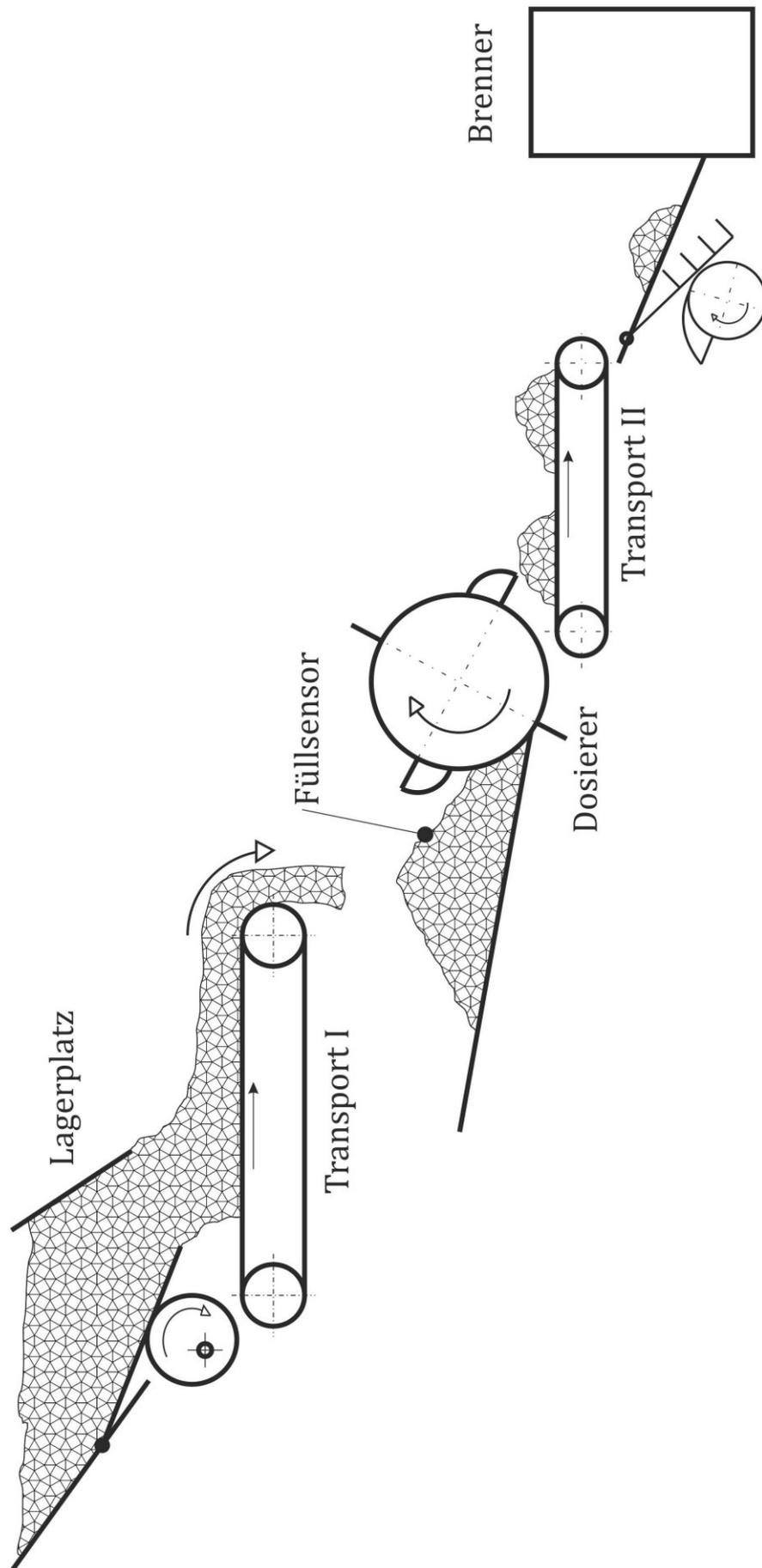


Abbildung 4-3: Konzept II

5 Kostenvergleich

Parallel zu dieser Arbeit ist, wie in Abschnitt 1.2 erwähnt, ein Prototyp für die gestellte Aufgabe konstruiert worden.

Dieser wird nun mit dem erarbeiteten Konzept bezüglich Herstellkosten verglichen.

In Abschnitt 2.7 sind mögliche Kostenmethoden aufgezeigt.

- Suchkalkulation – Ähnlichkeitskalkulation
- Gewichtskalkulation
- Materialkostenmethode

In dem vorliegenden Fall sind von dem existierenden Prototyp keine Material-, Herstellkosten oder Gewichtskostensätze bekannt. Dadurch ist die Ähnlichkeitskalkulation, in ihrer ursprünglichen Form, sowie die Materialkostenmethode und Gewichtskostenkalkulation nicht anwendbar.

Es werden bei dem durchgeführten Kostenvergleich keine Material-, Herstell- oder Gesamtkosten verglichen, sondern wichtige für die Grundfunktion notwendige Bauteile.

Diese Vorgehensweise entspricht einer abgewandelten, vereinfachten Version der Ähnlichkeitskalkulation. Entscheidend ist dabei die Anzahl der für die Funktion notwendigen Bauteile.

Im nachfolgenden Teil wird nur die Kernproblematik, die Realisierung des Dosierproblems, behandelt.

Eine Schüttgutzuf- oder Weiterführung wäre bei beiden Varianten, abhängig vom Aufstellungsort, unter Umständen notwendig und würde das Ergebnis des Kostenvergleiches nicht beeinflussen. Genauso wie eventuell notwendige Auflockerungseinheiten im Laufe der Transportstrecke.

5.1 Prototyp der Firma Simbürger

Der von der Firma Simbürger konstruierte Prototyp basiert auf dem Prinzip des Stoßaufgebers – Rütteltisches.

Das Schüttgut lagert direkt auf einer horizontal beweglichen Platte. Bei Vorwärtsbewegung dieser Platte wird das Schüttgut mitgenommen und bei der anschließenden Rückwärtsbewegung rutscht das Brenngut auf der Platte. In Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 sind Funktionszeichnungen für Aufriss und Schnitt dargestellt.

Das Schüttgut wird in dem Behälter (9) gelagert und liegt direkt auf dem beweglichen Schlitten (4) auf, welcher über den Hebelarm (2) mit dem Antrieb (1) verbunden ist. Der Schlitten kann aufgrund der schrägen Wand (5) nicht nur eine horizontale Bewegung vollführen, sondern bewegt sich auch vertikal. Dazu sind Rollen (6) notwendig. Der bewegliche Abgrenzungskeil (7) hält das Schüttgut zurück, erst bei einer Bewegung des Schlittens gibt dieser nach und ermöglicht

so einen Austrag des Schüttgutes. Somit muss dieser Keil beweglich in einer Führung (8) ausgeführt sein.

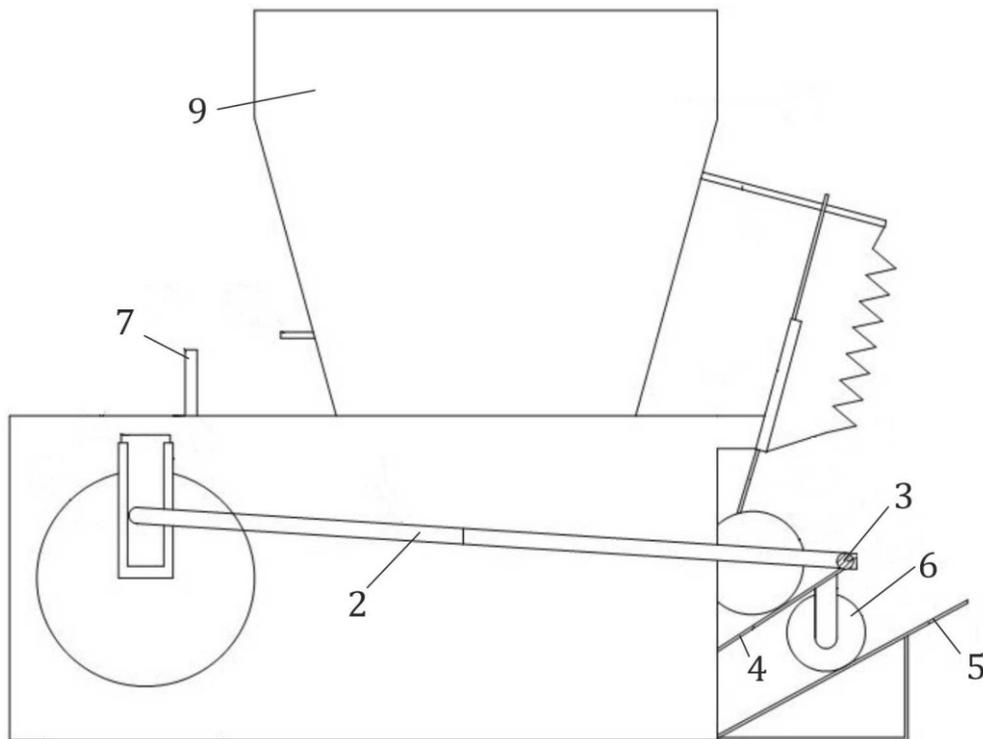


Abbildung 5-1: Prototyp Aufriss

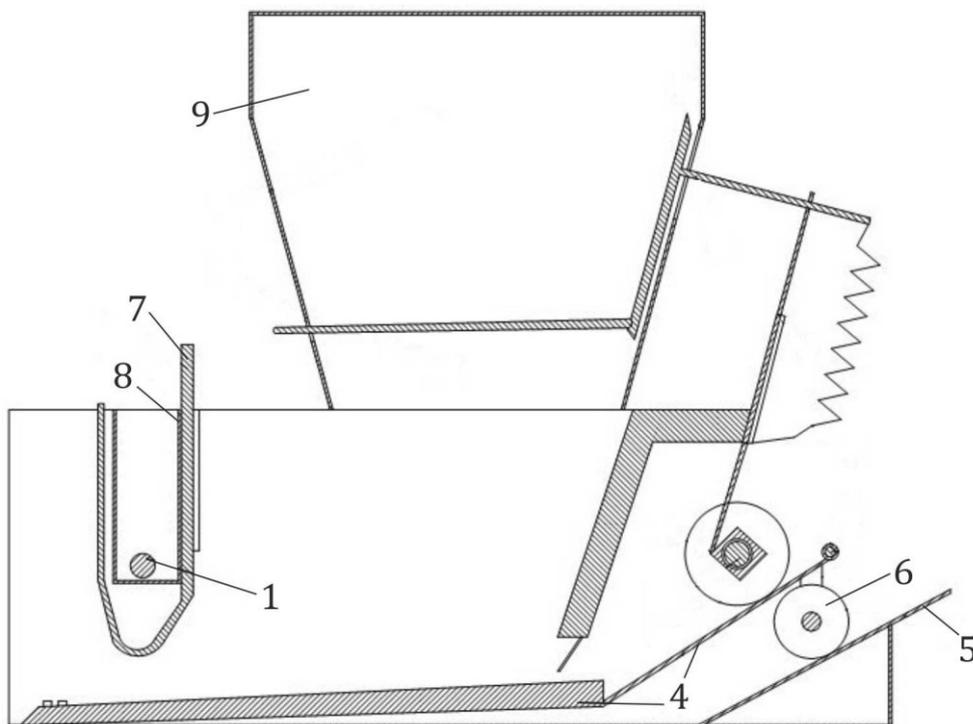


Abbildung 5-2: Prototyp Schnitt

Die horizontale Bewegung des Schlittens ist Teil des Grundkonzeptes dieser Prototypen und wird daher bei dem Kostenvergleich berücksichtigt. Ohne diese Einrichtung wäre keine sichere und zuverlässige Funktion gewährleistet. Diese Auflockerung entspricht der Variante einer bewegten Wand nach Kapitel 3.3.6.1.

Der zusätzliche vertikal bewegliche Stab im Behälter und dessen Antrieb zur Vermeidung von Brückenbildung wird nicht bewertet. Diese Auflockerung kann bei jedem Schüttgutspeicher abhängig von den vorherrschenden Platzverhältnissen notwendig sein.

5.2 Erarbeitetes Idealkonzept nach Kapitel 4

Das ideale erarbeitete Dosierkonzept besteht aus einer Trägerscheibe (2) mittels Antrieb (1), auf welcher die Dosierkammer (3) angebracht ist. Das Schüttgut wird von Behälter (4) über eine kurze Rutsche (5) zur Dosiereinrichtung befördert.

Wird der Lagerplatzaustritt genügend groß dimensioniert, so ist keine zusätzliche Auflockerung notwendig.

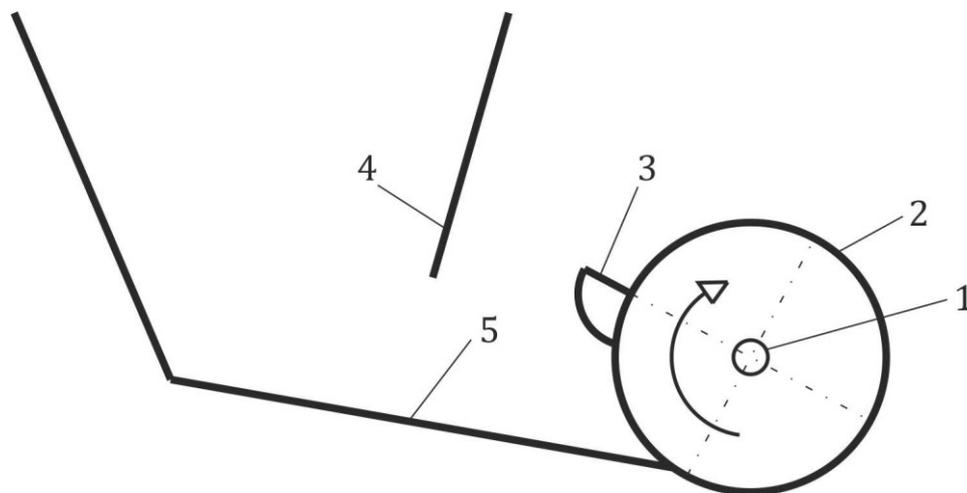


Abbildung 5-3: ideales Dosierkonzept

5.3 Ergebnis

In der nachfolgenden Tabelle sind die funktionsentscheidenden Bauteile für den Prototyp und das Konzept aufgelistet.

| Prototyp | Konzept |
|-------------------------|-----------------|
| Antrieb 1 | Antrieb 1 |
| Hebelarm 2 | Trägerscheibe 2 |
| Lagerung 3 | Dosierkammer 3 |
| Beweglicher Schlitten 4 | Behälter 4 |
| Schräge Wand 5 | Rutsche 5 |
| Rollen 6 | |
| Abgrenzungskeil 7 | |
| Führung 8 | |
| Behälter 9 | |

Tabelle 5-1: benötigte Bauteile

Aus Tabelle 5-1 ist ersichtlich, dass für den Prototypen mehr Bauteile benötigt werden. Vor allem die Anzahl der bewegten Teile ist höher als die des Konzeptes.

Bei dem Prototyp müssen der Hebelarm, der bewegliche Schlitten, die Rollen und der Abgrenzungskeil für eine Funktionserfüllung beweglich ausgeführt sein.

Im Gegensatz dazu dreht sich bei dem Konzept lediglich die Trägerscheibe.

Die Anzahl und Größenordnung der übrigen Bauteile ist sehr ähnlich. Das Konzept benötigt eine Rutsche, wogegen der Prototyp eine schräge Wand beinhaltet. Der Speicherbehälter für das Schüttgut ist bei beiden ident.

Die vorhandene Auflockerung im Behälter des Prototyps wird nicht zum Kostenvergleich herangezogen, da eine solche Einrichtung auch beim erarbeiteten Konzept notwendig sein kann und daher das Ergebnis dieses Vergleiches nicht verändert.

6 Zusammenfassung

Der zentrale Fokus und das Kernproblem dieser Arbeit liegen in dem vorgegebenen Brennmaterial. Als Haupterkennnis geht hervor, dass auf dieses Schüttgut nicht ohne weiteres die herkömmlichen Förder- und Transportmittel angewandt werden können. Vor allem die vorgenommenen Versuche in Kapitel 3 führen zu dieser Schlussfolgerung.

Die Ursache dafür ist das Verhältnis von vorhandener Korngröße zu benötigter Dosiermenge. Vor allem in Bereichen, bei denen geringe Abmaße der Einrichtungen benötigt werden, kommt es zu Schwierigkeiten das Schüttgut störungsfrei zu transportieren.

Nicht nur die Schüttgutabmaße sondern auch die unterschiedlichen Formen der einzelnen Körner tragen zu diesen Problemen bei.

Aus diesen Gründen sind viele herkömmliche Dosierverfahren und Transportmittel nicht oder nur mit entsprechenden Modifikationen einsetzbar.

Reine Abwandlungen bekannter Systeme sind aber nicht in jedem Fall ausreichend. Es ist teilweise notwendig, zusätzliche Einrichtungen zu verwenden, um das Brennmaterial entsprechend handhaben zu können. Diese sind spezielle Messverfahren und Auflockerungseinrichtungen.

Abhängig ist der Einsatz solcher Applikationen jeweils von den gegebenen Anforderungen und Aufstellmöglichkeiten. Da das Dosier- und Transportsystem auch für den eventuellen Betrieb in Wohnräumen gedacht ist, wo der vorhandene Aufstellungsraum begrenzt ist, sind vor allem die erarbeiteten Auflockerungsverfahren in das Gesamtsystem miteinzubinden.

Wird das Dosiersystem jedoch an einem großen Lagerplatz installiert, etwa dem Brenngutspeicher einer Zentralheizung eines Hauses, so ist bei genügend großer Dimensionierung des Zulaufbereiches keine Auflockerungseinheit notwendig.

Der theoretische Vergleich mit einem existierenden Prototypen, welcher jedoch auf einem anderen Prinzip basiert, zeigt, dass dieses Konzept eine einfache und effektive Methode darstellt, das vorgegebene Schüttgut entsprechend dosieren zu können.

Für weitere Ergebnisse sind eine praktische Umsetzung des erarbeiteten Gesamtkonzeptes und entsprechende Versuchsaufbauten notwendig. An diesen könnte dann auch die schlussendliche Form und Größe der Dosierkammer, auch für eventuell verschiedene Schüttgüter und Austragsmengen, ermittelt werden.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

[EKL05] Ehrlenspiel, Klaus, Kiewert, Alfons und Lindemann, Udo. 2005. *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren*. München : Springer-Verlag, 2005.

[DIN15201] Norm, Deutsche. 1981. *Din 15201 Stetigförderer*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1981.

[PBF06] Pahl, Gerhard, et al. 2006. *Konstruktionslehre*. Aachen und Magdeburg : Springer Verlag, 2006.

[PKK82] Pajer, G., Kuhnt, H. und Kurth, F. 1982. *Stetigförderer*. berlin : VEB Verlag Technik Berlin, 1982.

[RR71] Reisner, Wolfgang und Rothe, Eisenhart. 1971. *Silos und Bunker für die Schüttgutspeicherung*. Clausthal : s.n., 1971.

[SAL68] Salzer, Gert. 1968. *Schüttgutförderer*. Mainz : KG Krausskopf-Verlag für Wirtschaft GmbH & Co., 1968.

[SCH89] Schlicksupp, Helmut. 1989. *Innovation, Kreativität und Ideenfindung*. Würzburg : Vogel, 1989.

[SCH93] —. 1993. *Kreativ-Workshop*. Würzburg : Vogel, 1993.

[SCH70] Schwedes, Jörg. 1970. *Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern*. Karlsruhe : Verlag Chemie, 1970.

[VDI2221] VDI-Richtlinien. 1993. *VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 1993.

[VDI2222] —. 1997. *VDI 2222 Blatt 1 Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 1997.

[VDI2225] —. 1984. *VDI 2225 Technisch-wirtschaftliches Konstruieren*. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 1984.

[VDI2330] —. 1993. *VDI 2330 Schneckenförderer*. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 1993.

[VDI2335] —. 1966. *VDI 2335 Kratzerförderer*. Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH, 1966.

[VDI2393] —. 1973. *VDI 2393 Materialklassifizierung für Schüttgut*. Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH, 1973.

[VET94] Vetter, Gerhard. 1994. *Handbuch Dosieren*. Essen: Vulkan-Verlag, 1994.

7.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1-1: Schema | 8 |
| Abbildung 2-1: Brennmaterial..... | 10 |
| Abbildung 2-2: τ - σ -Diagramm | 13 |
| Abbildung 2-3: Scherversuch | 14 |
| Abbildung 2-4: Wandreibung 1..... | 14 |
| Abbildung 2-5: Wandreibung 2..... | 15 |
| Abbildung 2-6: Böschungswinkel | 15 |
| Abbildung 2-7: Auslaufversuch | 17 |
| Abbildung 2-8: Förderband..... | 19 |
| Abbildung 2-9: Brückenbildung..... | 20 |
| Abbildung 2-10: Austragshilfen..... | 21 |
| Abbildung 2-11: Dosierverfahren mit Messung..... | 23 |
| Abbildung 2-12: Bunkerverschlüsse..... | 24 |
| Abbildung 2-13: Ketten..... | 25 |
| Abbildung 2-14: Plattenband..... | 25 |
| Abbildung 2-15: Gurtförderer | 26 |
| Abbildung 2-16: Kettenkratzerförderer | 27 |
| Abbildung 2-17: Trogkettenförderer..... | 27 |
| Abbildung 2-18: Schneckenförderer | 28 |
| Abbildung 2-19: Drehwalze | 29 |
| Abbildung 2-20: Drehflügel..... | 29 |
| Abbildung 2-21: Dosierzellen..... | 30 |
| Abbildung 2-22: Zellenschleuse | 30 |
| Abbildung 2-23: Schwingförderer..... | 31 |
| Abbildung 2-24: Rütteltisch..... | 31 |
| Abbildung 2-25: Drehteller | 32 |
| Abbildung 2-26: Drehkratzer I | 32 |
| Abbildung 2-27: Drehkratzer II..... | 33 |
| Abbildung 2-28: Gurtförderer | 35 |
| Abbildung 2-29: Gliederbandförderer | 36 |
| Abbildung 2-30: Becherwerk | 36 |
| Abbildung 2-31: Kratzerförderer | 37 |
| Abbildung 2-32: Schneckenförderer | 38 |
| Abbildung 2-33: Problemlösungsprozess..... | 39 |
| Abbildung 2-34: Produktkreislauf..... | 40 |
| Abbildung 2-35: Vorgehen | 41 |
| Abbildung 2-36: Kreativitätstechniken..... | 43 |
| Abbildung 3-1: Gesamtfunktion | 49 |
| Abbildung 3-2: Funktionsstruktur | 49 |
| Abbildung 3-3: Messen der Schüttdichte | 50 |
| Abbildung 3-4: benötigte Schüttgutmenge..... | 51 |
| Abbildung 3-5: Auslaufversuch I..... | 52 |
| Abbildung 3-6: Auslaufversuch II..... | 52 |
| Abbildung 3-7: Abrutschversuch | 53 |
| Abbildung 3-8: Auslauföffnung..... | 54 |
| Abbildung 3-9: Schüttwinkel | 54 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 3-10: Aufbau_1 I..... | 61 |
| Abbildung 3-11: Aufbau_1 II | 61 |
| Abbildung 3-12:Aufbau_1 III | 61 |
| Abbildung 3-13: Aufbau_2 | 62 |
| Abbildung 3-14: Aufbau_3 I..... | 63 |
| Abbildung 3-15: Aufbau_3 II | 63 |
| Abbildung 3-16: Aufbau_3 III..... | 64 |
| Abbildung 3-17: Kette | 65 |
| Abbildung 3-18: Aufbau_4 I..... | 65 |
| Abbildung 3-19: Aufbau_4 II | 66 |
| Abbildung 3-20: Aufbau_5 I..... | 67 |
| Abbildung 3-21: Aufbau_5 II | 67 |
| Abbildung 3-22: Aufbau_6 I..... | 68 |
| Abbildung 3-23: Aufbau_6 II | 68 |
| Abbildung 3-24: Nagelbrett | 70 |
| Abbildung 3-25: bewegte Wand | 71 |
| Abbildung 3-26: Transportschema | 71 |
| Abbildung 3-27: Zuführung - Rutsche..... | 73 |
| Abbildung 3-28: Direkte Zuführung..... | 74 |
| Abbildung 3-29: Indirekte Zuführung..... | 74 |
| Abbildung 3-30: Transport Dosiereinheit – Brenner..... | 75 |
| Abbildung 4-1: Morphologischer Kasten | 78 |
| Abbildung 4-2: Konzept I | 79 |
| Abbildung 4-3: Konzept II..... | 80 |
| Abbildung 5-1: Prototyp Aufriss | 82 |
| Abbildung 5-2: Prototyp Schnitt..... | 82 |
| Abbildung 5-3: ideales Dosierkonzept..... | 83 |

7.3 Tabellenverzeichnis

| | |
|--------------------------------------|----|
| Tabelle 2-1: Korngröße..... | 11 |
| Tabelle 2-2: Kornform | 11 |
| Tabelle 3-1: Anforderungsliste | 48 |
| Tabelle 3-2: Schüttdichte | 51 |
| Tabelle 3-3: Wandreibungswinkel..... | 53 |
| Tabelle 3-4: Messen..... | 56 |
| Tabelle 3-5: Austragshilfen..... | 69 |
| Tabelle 3-6: Stetigförderer | 72 |
| Tabelle 5-1: benötigte Bauteile..... | 84 |