

BACHELORTHESIS



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Förderprozesstechniken der Zementindustrie

Name:	Lars Ruge
Matr. Nr.:	1950501
Email:	lars.ruge@gmx.de
Tel.Nr.:	040 / 181 531 52
Handy Nr.:	0177 / 642 04 81

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1 Thema und Ziel der Bachelorthesis	4
1.2 Aufbau und Grundlagen der Bachelorthesis	4
2. Geschichte des Zements und der deutschen Zementindustrie	6
2.1 Geschichte des Zements.....	6
2.2 Geschichte der deutschen Zementindustrie	6
3. Erläuterung der Begriffe „Fördermittel, Fördertechnik und Förderprozess“	9
4. Förderprozesstechniken in der Zementindustrie	12
4.1 Förderprozesstechniken von IBAU Hamburg	12
4.1.1 Rinnenförderung	12
4.1.2 Airlift	16
4.1.3 Schneckenpumpe	18
4.1.4 Düsenförderer	22
4.1.5 Niederdruckförderung.....	26
4.1.6 Druckgefäßförderer.....	29
4.1.7 F-Pipe.....	32
4.2 Vergleich der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozesstechniken	36
4.2.1 Tabelle zu „Vergleich der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozesstechniken“	37
5. Recherche zu weiteren Förderprozesstechniken der Förderindustrie	38
6. Recherche zu weiteren Förderprozesstechniken der Zementindustrie	41
6.1 Förderprozesstechniken anderer Unternehmen	41
6.1.1 Trogkettenförderung.....	41
6.1.2 Becherwerk.....	45
6.1.3 Rohrgurtförderer	49
6.1.4 Rohrkettenförderer	53
6.2 Paarweiser Vergleich von Förderprozessen mit ähnlichen Eigenschaften	57
6.2.1 Tabelle zu „Paarweiser Vergleich von Förderprozessen mit ähnlichen Eigenschaften“	58
7. Beurteilung, Erweiterung und Optimierung der Förderprozesstechniken	59
7.1 Beurteilung der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozesstechniken.....	59
7.2 Möglichkeiten und Auswirkungen einer Erweiterung der Förderprozesstechnikauswahl	60
7.3 Möglichkeiten der Optimierung von Förderprozessen	64
8. Fazit	68

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Luftförderrinne von IBAU Hamburg	12
Abb. 2: Luftförderrinnensystem von IBAU Hamburg	15
Abb. 3: Airlift von IBAU Hamburg	16
Abb. 4: Schneckenpumpe von IBAU Hamburg	19
Abb. 5: Schneckenpumpe von IBAU Hamburg	22
Abb. 6: Düsenförderer von IBAU Hamburg	23
Abb. 7: Düsenförderer von IBAU Hamburg	25
Abb. 8: Niederdruckförderung von IBAU Hamburg	26
Abb. 9: Druckgefäßförderung von IBAU Hamburg	29
Abb. 10: Druckgefäßförderung von IBAU Hamburg	31
Abb. 11: F-Pipe-System von IBAU Hamburg	33
Abb. 12: Trogkettenförderer der Firma Hess Fördertechnik	41
Abb. 13: Trogkettenförderer der Firma EMDE Industrie-Technik GmbH	43
Abb. 14: Becherwerk-Prinzipzeichnung der Firma Göritzhainer Maschinenfabrik	45
Abb. 15: Becherwerksfüße in unterschiedlichen Ausführungsgrößen der Firma EMDE Industrie-Technik GmbH.....	47
Abb. 16: Becherwerk mit Wartungsbühne der Firma EMDE Industrie-Technik GmbH.....	48
Abb. 17: Rohrgurtförderer-Prinzipschema der Firma FMW Industrieanlagenbau GmbH	49
Abb. 18: Tragrollenstationen einer Rohrgurtförderanlage der Firma FMW Industrieanlagenbau GmbH.....	50
Abb. 19: Rohrgurtförderanlage der Firma FMW Industrieanlagenbau GmbH.....	51
Abb. 20: Rohrgurtförderanlage der Firma FMW Industrieanlagenbau GmbH.....	52
Abb. 21: Rohrkettenförderer der Firma Schrage Rohrkettensystem GmbH.....	53
Abb. 22: Rohrkettenfördersystem der Firma Schrage Rohrkettensystem GmbH.....	54
Abb. 23: Rohrkettenfördersystem der Firma Schrage Rohrkettensystem GmbH.....	56

1. Einleitung

1.1 Thema und Ziel der Bachelorthesis

Das mittelständische, weltweit tätige Unternehmen IBAU Hamburg, welches im Jahre 1975 gegründet wurde und seit 1997 als größte Tochterfirma zum Unternehmen Haver & Boecker gehört, ist in der Steine- und Erdenindustrie tätig und produziert in allererster Linie Anlagen zum Lagern, Befördern und Weiterverarbeiten von feinkörnigen Materialien.

Diese Bachelorthesis soll zum einen die von IBAU Hamburg in der Zementindustrie verwendeten Förderprozesstechniken sowohl erläutern als auch untereinander vergleichen und zum anderen die Möglichkeiten untersuchen, in der Gesamtheit der Industriezweige verwendete Förderprozesse bei IBAU Hamburg ebenfalls in der Zementindustrie anzuwenden.

Abschließend soll dann eine Beurteilung der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozesstechniken vorgenommen und des Weiteren die Perspektiven einer Erweiterung des Förderprozesssortiments sowie die Möglichkeiten von Förderprozessoptimierungen dargestellt und analysiert werden.

1.2 Aufbau und Grundlagen der Bachelorthesis

Der Inhalt der Bachelorthesis kann grundsätzlich in drei Bereiche geteilt werden. Im ersten Bereich (Kapitel 2 und 3) wird eine Einleitung in das Thema gegeben, indem in Kapitel 2 die Geschichte des Zements und der deutschen Zementindustrie und in Kapitel 3 die Begriffe Fördermittel, Fördertechnik und Förderprozess in einem geschlossenen Text kurz erläutert werden.

Diese Einleitung bildet den Übergang, um im zweiten Bereich sowohl die von IBAU Hamburg in der Zementindustrie verwendeten Förderprozesstechniken näher darzustellen und tabellarisch miteinander zu vergleichen als auch einen Einblick in die Gesamtheit der Förderprozesse verschiedenster Industriezweige zu verschaffen. Dabei

sollen einzelne Förderprozesse, die in der Zementindustrie verwendet werden können bzw. bereits verwendet werden, ausführlicher erläutert und einem tabellarischen Vergleich mit den von IBAU Hamburg angebotenen Förderprozessen unterzogen werden.

Im abschließenden dritten Bereich findet eine Beurteilung der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozesstechniken statt und die Möglichkeiten eines Ausbaus der Förderprozessauswahl sowie die Chancen verschiedener Optimierungsmethoden werden dargestellt und analysiert.

Die Grundlagen für den Inhalt der Bachelorthesis liegen in themenspezifischer Literatur, Internetseiten und fragebezogenen Auskünften von Herrn Schulze, Professor Dr.-Ing. Sankol und verschiedenen Herstellern, die mich während des Verfassens der Bachelorthesis betreut bzw. unterstützt haben.

2. Geschichte des Zements und der deutschen Zementindustrie

2.1 Geschichte des Zements

Der Begriff „Zement“ kommt vom lateinischen Ausdruck „opus caementitium“ (übersetzt: zementierte(s) Arbeit/Werk), der die frühe Betonbauweise der Römer seit dem dritten Jahrhundert v. Chr. beschreibt. Dieser erste bekannte Zement, der für römische Bauwerke verwendet wurde, besteht aus einer Verbindung von Bruchstein, Ziegel- und Puzzolanmehl sowie gebranntem Kalk.

Der Ursprung des heute üblichen Zements, der im Wesentlichen eine Verbindung von Calciumoxid (CaO), Siliciumdioxid (SiO₂), Aluminiumoxid (Al₂O₃) und Eisenoxid (Fe₂O₃) ist und als hydraulisches Bindemittel dient, führt zurück in die Zeit um 1000 v. Chr., als phönizische Baumeister ein Gemisch aus gebranntem Kalk sowie zermahlene Ziegeln oder vulkanischen Aschen (Puzzolanen) herstellten und auf diese Weise die ersten hydraulisch erhärtenden Mörtel produziert wurden.

Diese Bindemittel, bei denen die hydraulische Charakteristik durch die Zugabe von Puzzolanen erzeugt wurde, fanden bis ins 19. Jahrhundert ihre Verwendung und dienten, trotz ihrer geringen Festigkeit zusammen mit exakt gefertigten Steinen, der Errichtung schon beachtlicher Bauwerke.

Mit der Entwicklung des heute bekannten Betons gewann ebenfalls die Weiterentwicklung hydraulischer Bindemittel hinsichtlich Wasserbeständigkeit, Erhärtungsverlauf und Endfestigkeit weiter an Bedeutung, damit die Bauwerke nicht im zu großen Maße durch die hydraulischen Bindemittel, welche das Fugenkonstrukt eines Bauwerks bilden, begrenzt wurden.¹

2.2 Geschichte der deutschen Zementindustrie

Grundsätzlich kann eine Zusammenfassung der Geschichte der deutschen Zementindustrie in drei größere zeitlich getrennte Bereiche unterteilt werden: die

¹ : vergleiche <http://www.bdzement.de/228.html>

Anfänge, die Zeit vor dem Jahr 1945 und die Zeit nach dem Jahr 1945.

Wenn über die Anfänge der deutschen Zementindustrie geschrieben wird, so fällt der Name „Brunkhorst und Westfalen“, ein Unternehmen, das im Jahre 1850 das erste Zementwerk Deutschlands in Buxtehude/Hamburg errichtete. Die anfänglich noch sehr geringen Herstellungsmengen von einigen tausend Tonnen Zement erfuhren mit der immer stärker werdenden Verbreitung und Bedeutung der Betonbauweise einen raschen Anstieg. Die größte Herausforderung – damals wie heute – war es, die prozessgetrennten Verfahrensschritte der Gewinnung und Aufbereitung des Rohstoffs, das Brennen sowie das Mahlen des Zements an einem gemeinsamen Standort zu zentralisieren, um Transportwege und damit verbundene Kosten, die den Zementpreis steigen lassen würden, vermeiden zu können.

Zu Beginn der Zeitspanne, die nach den Anfängen der deutschen Zementindustrie einsetzt und sich bis zum Jahre 1945 zieht, nahm die deutsche Zementindustrie bis zum ersten Weltkrieg einen kontinuierlichen wirtschaftlichen Aufschwung. Mit dem Beginn des Weltkrieges stellte sich ein rückläufiger Verlauf der Produktionsmenge ein, da Engpässe der Brenn- und Rohstoffversorgung eine kontrollierte Herstellung unmöglich machten und die Zementpreise folglich stark stiegen. Noch vor dem Ende des ersten Weltkrieges wurden im Jahre 1917 die Produktion und Distribution des Zements in staatliche Kontrolle übergeben, bis die Zementindustrie ab dem Jahre 1933 nach unruhigen Entwicklungen während der Nachkriegszeit in den 1920er Jahren in einem Zwangskartell zusammengefasst wurde. Im Jahre 1938 – nicht zuletzt wegen der Kriegsvorbereitungen – wurde ein neuer Höchststand der Produktion von 16 Mio. Tonnen Zement erreicht, welcher in den folgenden Jahren während des zweiten Weltkrieges durch erneut auftretende Versorgungsengpässe wieder deutlich zurück ging.

In der dritten Phase, die mit dem Ende des zweiten Weltkrieges und dem gleichzeitigen Wiederaufbau der Bundesrepublik im Jahre 1945 beginnt, avancierte die Bauwirtschaft und damit verbunden die Zementindustrie zum Antrieb des wirtschaftlichen Aufschwungs in Deutschland. Mit dem enormen Anstieg der Zementnachfrage musste die Zementproduktion in Deutschland gesteigert werden, so dass bereits bestehende Zementwerke modernisiert und zum Ende der 1950er Jahre neue Werke mit

Produktionsvolumina von 500 Tsd. bis hin zu 1 Mio. Tonnen Zement pro Jahr errichtet wurden. Nachdem es im Jahr 1967 zu einem Rückgang der wirtschaftlichen Entwicklung kam, welcher mit der Stagnation der Wirtschaft nach den Jahren des Wirtschaftswunders verbunden war, führte die so entstandene Überproduktion zu starken Preisunterbietungen. Diese resultierten darin, dass ein gezwungener Konzentrationsprozess initialisiert wurde, in dem sich einzelne Zementhersteller zu großen Unternehmen zusammenschlossen. Als sich auch diese Lage wieder entspannt hatte und die Zementnachfrage im Jahre 1972 auf ein bisher nie erreichtes Hoch von 42 Mio. Tonnen angestiegen war, begann im selben Jahr mit der Ölkrise aufgrund der gleichzeitigen Rezession ein erneuter Preiskrieg, obgleich die Produktionskosten wegen des starken Anstiegs der Brennstoffkosten und des erzwungenen kostenintensiven Wechsels von Heizöl zur Kohle als Brennstoff stark gestiegen waren. Dieser Abwärtstrend in der Zementnachfrage setzte sich nach kurzer Stabilisierung in den 1980er Jahren immer weiter fort, bis die Zementnachfrage auf einen Tiefstwert von 22,9 Mio. Tonnen im Jahre 1985 gesunken war. Erst im Zuge der Wiedervereinigung von Ost- und Westdeutschland im Jahre 1990 stellte sich ein zuvor nie da gewesener Baubedarf, gleichbedeutend mit einem großen Anstieg des Zementbedarfs, ein. Damit diese Zementproduktion auch bewerkstelligt werden konnte, mussten zuallererst die nicht mehr zeitgemäßen Zementproduktionsstätten im Osten Deutschlands modernisiert werden, so dass Anlagen mit Produktionsvolumina von bis zu 2 Mio. Tonnen Zement pro Jahr entstanden. Die modernisierten Anlagen waren nicht nur in der Lage bedeutend größere Zementmengen zu produzieren, sondern dienten mit ihren technischen Neuerungen und durch die Verwendung sekundärer Einsatzstoffe ebenfalls zum Schutz der Umwelt, zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Schaffung von Erholungsphasen für die natürlichen Ressourcen. Mit Betrachtung der Ergebnisse der Modernisierung der ostdeutschen Zementwerke wird deutlich, dass die wirtschaftlich optimale Betriebsgröße immer weiter gestiegen ist, weshalb heutzutage in Asien selbst Zementproduktionsstätten mit Volumina von mehr als 10 Mio. Tonnen pro Jahr betrieben werden.²

² : vgl. <http://www.bdzement.de/766.html>

3. Erläuterung der Begriffe „Fördermittel, Förder- technik und Förderprozess“

Mit dem Ausdruck „Fördermittel“ werden im Allgemeinen „[...] Maschinen, Geräte und Vorrichtungen zum Handhaben und Fördern von Gütern, in Ausnahmefällen auch zum Befördern von Personen [...]“³, bezeichnet. In der weiteren Ausarbeitung wird diese Definition jedoch noch erweitert, weil auch andersartige Fördermittel zum Transport von Gütern verwendet werden.

Die Fördertechnik, d.h. die Verwendung von Fördermitteln ist keine Erfindung der Neuzeit, sondern wurde schon von sehr viel älteren Kulturen der Menschheit benötigt und verwendet. Mit fortschreitendem technischen Wissen jedoch wuchs die Bedeutung der Fördertechnik und wurde ein wichtiger Bestandteil des Maschinenbaus, wobei sich die Anwendungsgebiete zunächst auf aufwendige Transportarbeiten beschränkten, die hauptsächlich aus Hubarbeiten bestanden.

Durch das starke Bevölkerungswachstum und die gleichzeitig gestiegenen Ansprüche im Lebensstandard kam es dazu, dass die Ertragsfähigkeit deutlich gesteigert werden musste, so dass in den 1950er und 1960er Jahren kein Weg an einer „[...] Mechanisierung und Rationalisierung des Bereichs der Materialbewegung [...]“⁴ vorbei führte. Zwar waren die Hauptprozesse der Produktionstechniken vor der mechanisierten und rationalisierten Materialbewegung bereits soweit entwickelt, dass innerhalb kurzer Zeit große Mengen des benötigten Produkts gefertigt werden konnten, allerdings waren die Materialbewegungsprozesse technisch noch sehr unausgereift und wegen der mangelnden Mechanisierung auch zeitaufwendig, so dass eine große Lücke zwischen der nach den Möglichkeiten produzier- und förderbaren Ware entstand.

Im Laufe der Entwicklung von Förderprozessen und verwendeten Fördermitteln, welche immer weiter vorangetrieben wird, um die zuvor erwähnte Lücke zu schließen, haben sich letztlich die drei Hauptgruppen der heutigen Förderung herauskristallisiert:

³ : Scheffler, Martin / Einführung in die Fördertechnik, S.15

⁴ : ebenda

- hydraulische Förderung
- mechanische Förderung
- pneumatische Förderung

Die Förderung des Stück- bzw. Schüttguts mittels eines der genannten Förderprozesse findet entlang eines Förderwegs statt, der abhängig von der verwendeten Förderart in seinen konstruktiven Merkmalen, sei es z.B. ein Rinnen-, Rohr- oder Gurtsystem, variiert und sich von der Aufgabe- bis zur Abgabestelle erstreckt.

Aufgrund des bei hydraulischer Förderung benötigten flüssigen Fördermittels, als welches in den meisten Anwendungsfällen Wasser verwendet wird, bleibt dieses Förderverfahren in der folgenden Ausarbeitung der Arbeit außen vor, da sich Flüssigkeit und Zement bei Berührung verbinden würden und nur mit sehr großem Aufwand wieder voneinander getrennt werden könnten, so dass dieser Förderprozess für das betrachtete Schüttgut Zement ungeeignet ist.

Bei der mechanischen Förderung hingegen werden Motoren dazu verwendet einzelne Baugruppen oder Gerätschaften, die als Fördermittel dienen, anzutreiben, welche dann im Gegenzug durch verschiedenartige Bewegungen das Stück- bzw. Schüttgut längs der Fördereinrichtung weiterbewegen und bis hin zur Abgabestelle fördern.

Währenddessen bedient sich die pneumatische Förderung der Gase als Fördermittel, wobei hierbei hauptsächlich atmosphärische Luft gewählt wird, welche je nach spezifischer pneumatischer Förderart mit mehr oder weniger Druck beaufschlagt wird. Die in das Fördersystem gezielt eingebrachte Luft vermischt sich mit dem Schüttgut, fluidisiert oder komprimiert dieses in gewünschter Form und wird anschließend durch eine Rohr- oder Rinnenleitung gefördert. Dabei kommt es zu einem Druckabfall des Luft-Schüttgutgemisches, welcher je nach Länge der Förderstrecke zunimmt und letztlich in einer Erhöhung Fördergeschwindigkeit resultiert.

Des Weiteren werden die hier betrachteten pneumatischen und mechanischen Fördersysteme nach sogenannten Stetig- und Unstetigförderern unterschieden. Ist von einem Unstetigförderer die Rede, so lässt sich dessen Arbeitsweise verhältnismäßig einfach an der eines Hubwagens oder eines Krans erläutern. Diese haben eine Aufnahmevorrichtung mit welcher der zu befördernde Gegenstand von einem Stapel

aufgenommen und an den für ihn vorgesehen Platz gefahren wird. Anschließend fährt der Hubwagen bzw. der Kran, ohne dabei weitere Förderarbeiten zu verrichten, wieder zum Stapel und nimmt den nächsten Gegenstand auf, so dass der eigentliche Fördervorgang jedes Mal unterbrochen werden muss.

Im Gegensatz dazu fördert ein Stetigförderer, z.B. ein Bandförderer oder ein Luftförderrinnensystem, einen Schüttgutmassenstrom, da dem Förderstrang kontinuierlich Schüttgut hinzugefügt und dieses gleichzeitig längs des Förderwegs transportiert wird, ohne dass der Fördervorgang unterbrochen werden muss.

Bei der Planung einer neuen Förderanlage oder dem Aus- bzw. Umbau einer bereits bestehenden Förderanlage ist es nun die Aufgabe des Planungsingenieurs einen geeigneten Förderprozess auszuwählen. Dieser Auswahlprozess findet zum einen über das Abwägen der einzelnen Vor- und Nachteile der zur Verfügung stehenden Förderprozesse statt und wird zum anderen durch seitens des auftraggebenden Unternehmens auferlegte Richtlinien in bestimmten Bereichen begrenzt, so dass unter Umständen nicht alle Förderprozesse verwendet werden können.

4. Förderprozesstechniken in der Zementindustrie

4.1 Förderprozesstechniken von IBAU Hamburg

4.1.1 Rinnenförderung

Funktionsbeschreibung:

Die Rinnenförderungssysteme bzw. Luftförderrinnen sind Schwerkraftförderer bei denen durch fluidisierende Gase und geringe Neigungswinkel der Luftförderrinnen das Schüttgut gefördert wird.

Die Luftförderrinnen bestehen aus einer Aufgabestelle, an der das zu fördernde Schüttgut eingebracht wird, einem Fördertrog, welcher das Schüttgut führt und einem

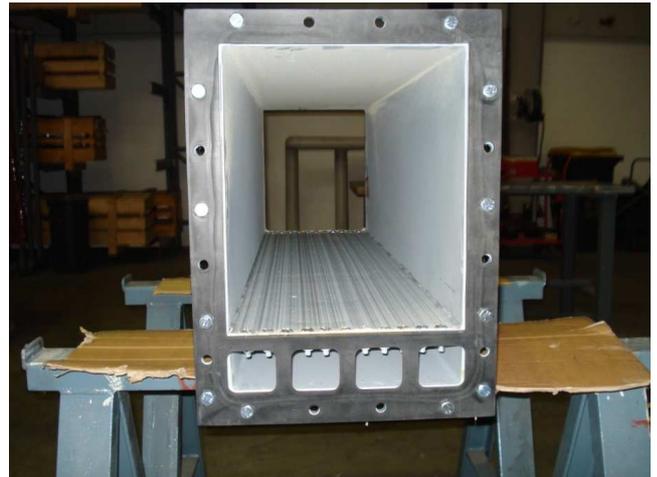


Abb. 1: Luftförderrinne von IBAU Hamburg

Luftversorgungskanal, der durch einen Fluidisierungsboden von dem Fördertrog getrennt ist und diesen belüftet. In den Luftversorgungskanal wird über Stützen, die in geregelten Abständen an der Luftförderrinne angebracht sind, Luft geleitet, welche durch die gesamte Länge des Fluidisierungsboden strömt, dabei eine Wirbelschicht erzeugt und auf diese Weise das Schüttgut fluidisiert. Das auf diese Weise fluidisierte Schüttgut fließt aufgrund der Rinnenneigung entlang des Förderwegs in Richtung der Schüttgutentnahmestelle, an der das Schüttgut die Rinne verlässt und gleichzeitig die zugeführte Fluidisierungsluft sowie entstandene Stäube über eine Luftabfuhr mit integriertem Staubfilter abgeführt werden können.⁵

⁵ : vgl. Originalbetriebsanleitung Luftförderrinne IBAU Hamburg

Anwendbarkeit:

Die Förderung mittels Rinnenförderung wird hauptsächlich dort eingesetzt wo sehr große Schüttgutmassenströme von bis zu 3400t/h über Förderstrecken von bis zu 100m kontinuierlich gefördert werden sollen.

Die Grundvoraussetzungen für eine Anwendung der Rinnenförderung ist die Fluidisierbarkeit des Schüttguts zum einen und zum anderen das Vorhandensein bzw. Schaffen eines Höhenunterschieds zwischen Schüttgutaufgabe- und -entnahmestelle, damit die Luftförderrinnen mit einem Neigungswinkel in Fließrichtung angeordnet werden können.

Damit ein kontinuierlicher Förderprozess entstehen kann, ist eine gleichmäßige Fluidisierung notwendig, welche durch die spezifische Abstimmung von der Feinheit des eingesetzten Gewebes als Fluidisierungsboden und dessen Druckverlust im Verhältnis zum Druckverlust der Wirbelschicht erreicht wird.

Handhabung:

Die Verwendung der Rinnenförderung ist beim Vorhandensein der beiden Grundvoraussetzungen Fluidisierbarkeit des Schüttguts und geodätischer Höhenunterschied eine einfache und sehr ergiebige Förderart, da außer bei der Aufgabe des Schüttguts der Förderprozess keiner größeren Steuer- und Regeltechnik bedarf.

Wartungsanfälligkeit:

Aufgrund der niedrigen Fördergeschwindigkeiten von 1m/s bis maximal 3m/s, mit der das Schüttgut gefördert wird, ist der Verschleiß der Luftförderrinne sehr gering. Zudem

reinigt sich der Fluidisierungsboden, bei dem meist ein speziell auf die jeweiligen Förderbedingungen abgestimmtes Gewebe verwendet wird, von selbst, sobald die Zufuhr der Fluidisierungsluft ein- bzw. ausgeschaltet wird. Des Weiteren sind in der Luftförderrinne keine beweglichen Teile vorhanden, wodurch Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie zusätzlicher Verschleiß von Einbauten in den meisten Anwendungsfällen ausgeschlossen werden können.

Anlagen- und Betriebskosten:

Betrachtet man die Anlagenkosten, so stellt man fest, dass sie sich auf einem geringen Niveau bewegen. Die Luftförderrinnen selbst sind aufgrund des Fehlens von hohen Kosten verursachenden beweglichen Teilen sehr günstig und können ohne großen Aufwand kostengünstig automatisiert werden, sodass allein die benötigten relativ aufwendigen Stahlkonstruktionen für die Lagerung der Luftförderrinnen den Anlagenpreis etwas nach oben treiben.

Die fehlenden beweglichen Teile führen dazu, dass Wartungs- und Reparaturarbeiten, die hohe Kosten verursachen würden, nur in einem sehr geringen Maße anfallen und auch die Stromkosten der Ventilatoren, die zum Erzeugen der Fluidisierungsluft benötigt werden, sind eher niedrig, so dass auch die Betriebskosten auf einem niedrigen Level gehalten werden können.

Vor- und Nachteile:

Das bereits erwähnte Fehlen von beweglichen Teilen oder anderen Einbauten in der Luftförderrinne in Verbindung mit der niedrigen Fördergeschwindigkeit hat den Vorteil, dass der Verschleiß der Fördereinrichtung und des Förderguts, aufgrund der geringen Reibwirkung im Fördertrog, sehr gering gehalten sowie Ausfälle von

Anlagenteilen größtenteils ausgeschlossen werden können.

Aufgrund des verhältnismäßig einfachen Fördersystems ohne komplizierte Einbauten, bei dem hauptsächlich nur die Schüttgutaufgabe geregelt werden muss, ist die Rinnenförderung sehr gut automatisierbar, kann mit geringem technischen Aufwand zentral gesteuert werden und zeichnet sich durch niedrige Anlagen- und Betriebskosten aus.

Bei Verwendung der Rinnenförderung im Anschluss an eine Zementmühle kann der heiße, gemahlene Zement durch das Zuführen von Fluidisierungsluft mit Umgebungstemperatur abgekühlt und der Zement somit für weitere Bearbeitungszwecke vorbereitet werden. Des Weiteren können auf diese Weise die Eigenschaften des Schüttguts wie z.B. der Wassergehalt, die Temperatur und die Rieselfähigkeit kontrolliert und erhalten werden.

Nachteilig hingegen wirkt sich der in jedem Fall benötigte geodätische Höhenunterschied zwischen der Schüttgutaufgabestelle und -entnahmestelle aus, welcher umso höher wird, je länger die zu fördernde Strecke und je größer die erforderliche Rinnenneigung (zwischen 4° und 10°) ist. Daraus ergibt sich der Zusammenhang, dass längere Förderstrecken große Höhenunterschiede und dementsprechend große Gerüstbauten benötigen, welche wiederum in einem höheren Kostenaufwand resultieren.

Sollen zudem größere Mengen Zement gefördert werden, besteht möglicherweise der Bedarf mehrere Ventilatoren zu verwenden, um auf diese Weise einzelnen Luftförderrinnenabschnitten einen eigenen Ventilator zuzuordnen und den größeren Mengenstrom ausreichend fluidisieren zu können. Somit entsteht sowohl durch die zusätzlichen Ventilatoren selbst als auch durch die erhöhten Betriebskosten ein entschieden größerer Kostenaufwand.



Abb. 2: Luftförderrinnensystem von IBAU Hamburg

4.1.2 Airlift

Funktionsbeschreibung:

Ein Airlift ist eine pneumatische Senkrechtförderanlage, d.h. das zu fördernde Schüttgut wird durch das Verrichten pneumatischer Arbeit auf ein höheres Niveau gefördert.

Der Fördervorgang beginnt damit, dass ein zylindrischer Behälter, der als Wirbelschichtschleuse dient und dafür mit einem Belüftungsboden ausgestattet ist, kontinuierlich mit dem zu fördernden Schüttgut, z.B. über eine Luftförderrinne, gefüllt wird. Ein Lufterzeuger produziert einen druckbeaufschlagten Luftstrom, der über eine Düse, welche in der Mitte des Belüftungsbodens installiert ist, in der Airliftbehälter geleitet wird und von dort in die senkrechte Förderrohrleitung presst. Durch diesen Vorgang wird an der unteren Öffnung der Förderrohrleitung eine Saugwirkung erzeugt, die das Schüttgut mit in eben diese Förderrohrleitung zieht, so dass es im Folgenden senkrecht nach oben gefördert wird.

Sobald das geförderte Schüttgut das gewünschte Niveau erreicht hat, gelangt es aus der Förderleitung in ein Expansionsgefäß mit Entstaubungseinrichtung bzw. in einen Zyklonabscheider, in dem das Schüttgut von dem Fördermittel Luft getrennt und letztendlich in ein Silo ausgetragen wird.⁶

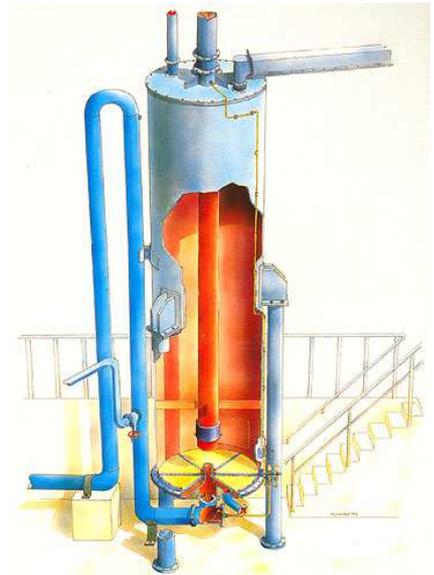


Abb. 3: Airlift von IBAU Hamburg

⁶ : vgl. Originalbetriebsanleitung Airlift IBAU Hamburg

Anwendbarkeit:

Dieses Förderverfahren findet dort Anwendung, wo der Bedarf besteht eine große Schüttgutmenge von bis zu 450t/h nur senkrecht bis in eine Höhe von 100m zu fördern, also keine waagerechte Strecke zurückgelegt werden soll. Grundsätzlich besteht die einzige technische Voraussetzung darin, dass das Schüttgut pneumatisch förderbar ist. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass das Schüttgut eine nicht zu große Feuchte aufweist, damit der Wassergehalt nicht zu größeren Partikelzusammenschlüssen oder gar zu einer Verstopfung der Förderrohrleitung führt, was in einem gleichzeitigen Zusammenbruch des Fördervorgangs resultieren könnte.

Handhabung:

Da weder komplizierte, technische Einbauten im Airliftsystem vorhanden sind noch der Fördervorgang selbst verhältnismäßig kompliziert ist, gestaltet sich der Regel- und Steueraufwand sehr benutzerfreundlich.

Wartungsanfälligkeit:

Aufgrund des simplen Förderprinzips ohne dem Vorhandensein von sich bewegenden Bauteilen können der Verschleiß und die Reibkräfte zwischen Schüttgut und Bauteilwänden sehr gering gehalten werden, wodurch Wartungs- und Reparaturarbeiten nahezu ausgeschlossen werden können.

Anlagen- und Betriebskosten:

Aufgrund der fehlenden beweglichen und technisch anspruchsvollen Teile sowie der einfachen Steuerung sind sowohl die Anlagen- als auch die Betriebskosten, verursacht durch die zur Luftherzeugung benötigten Drehkolbengebläse, als gering anzusehen.

Vor- und Nachteile:

Der wohl bemerkenswerteste Vorteil der Schüttgutförderung mittels eines Airlift-Systems ist die Möglichkeit große Mengen Schüttgut von bis zu 450t/h bei gleichzeitig relativ geringem Druckverlust über eine verhältnismäßig große vertikale Strecke von bis zu 100m zu fördern.

Die annähernde Wartungsfreiheit in Verbindung mit dem geringen Aufwand bezüglich Mess-, Regel- und Steuertechnik und den geringen Anlagen- und Betriebskosten sind weitere Vorteile dieses Förderverfahrens.

4.1.3 Schneckenpumpe

Funktionsbeschreibung:

Schneckenpumpen sind sogenannte Stetigförderer, die in der Lage sind variable Mengen eines Förderguts über große Entfernungen ohne Förderluftrückschlag in ein pneumatisches Förderrohrsystem zu transportieren.

Das System eines pneumatischen Schneckenförderers besteht im Allgemeinen aus einer Schneckenwelle, die am hinteren Ende gelagert ist und über einen Elektromotor angetrieben wird. Am anderen Ende der Schneckenwelle befindet sich ein austauschbarer Endflügel, der größerem Verschleiß ausgesetzt ist, und ein konisch

erweiterter Raum, der dazu dient einen Pfropfen aus dem zu fördernden Material zu bilden, welcher zusammen mit einer Rückschlagklappe das druckbeaufschlagte Pumpenauslaufgehäuse vom drucklosen Aufgabebereich trennt. Zusätzlich wird die spindelförmige Schneckenwelle von einer auswechselbaren und abriebfesten Schleißbuchse umgeben, die am Inneren des Pumpengehäuses angebracht ist. Des Weiteren gehören Druckluftdüsen, die im Pumpenauslaufgehäuse installiert sind und mittels beschleunigter Druckluft das Fördergut in die Förderleitung pressen, zum Aufbau einer Schneckenpumpe.

Der Förderprozess läuft zu Beginn so ab, dass das Fördergut über einen Pumpenaufsatzkasten in das Einlaufgehäuse der Schneckenpumpe gelangt. Aus dem Einlaufgehäuse wird das Fördergut im Folgenden mittels der schnell laufenden Schneckenwelle kontinuierlich in Förderrichtung weiterbewegt. Auf diese Weise entsteht durch das vorangetriebene Schüttgut ein Druck, der die gewichtsbelastete Rückschlagklappe öffnet, so dass das Schüttgut in das mit Druckluft beaufschlagte Pumpenauslaufgehäuse fällt. Dort angelangt, vermischt sich das Fördergut mit der über die Druckluftdüsen eingebrachten Druckluft und wird auf diesem Wege in die Förderleitung eingebracht.⁷



Abb. 4: Schneckenpumpe von IBAU Hamburg

Anwendbarkeit:

Die pneumatische Förderung mittels Schneckenpumpen kommt dort zum Einsatz, wo staubförmige Güter in großen Mengen bis zu 330t/h über lange Entfernungen bis zu 500m transportiert werden müssen.

⁷: vgl. Originalbetriebsanleitung Schneckenpumpe IBAU Hamburg

Besonders verschleißintensives Fördergut wie Zement kann sehr komfortabel mit der Schneckenpumpe gefördert werden, da der stark beanspruchte Endflügel ohne großen Aufwand ausgetauscht werden kann.

Handhabung:

Die Handhabung der pneumatischen Förderung mittels des Schneckenförderers ist sehr komfortabel. Aufgrund der konischen Erweiterung im Förderraum zwischen Schneckenende und gewichtsbelasteter Rückschlagklappe wird durch die sich ständig drehende Schneckenwelle eine Pfropfenbildung des Förderguts angeregt, welche dazu führt, dass selbst bei ausbleibender Schüttgutzufuhr das druckbeaufschlagte Pumpenauslaufgehäuse vom drucklosen Aufgabebereich getrennt wird und somit keine Druckluft in den Bereich hinter der Rückschlagklappe gelangen kann. Die geförderte Schüttgutmenge kann dabei über das der Schneckenpumpe z.B. mittels Zelleradschleuse zugeführte Schüttgut geregelt werden, so dass kein allzu großer technischer Aufwand betrieben werden muss.

Wartungsanfälligkeit:

Das einzige bewegliche Teil in der Schneckenpumpe ist die Schneckenwelle mit dem auswechselbaren Endflügel, welche zudem über eine Ölschmierung verfügt, so dass kein manuelles Nachschmieren der robusten Wälzlager erfolgen muss. Lediglich das Öl sollte einmal im Jahr gewechselt werden, damit ein ordnungsgerechtes Betreiben der Schneckenpumpe gewährleistet ist, so dass der Aufwand bezüglich Wartungsarbeiten als eher gering eingestuft werden kann.

Des Weiteren ist der Endflügel bei erhöhtem Abrieb, wie bereits erwähnt, ohne größeren Aufwand austauschbar und kann gegebenenfalls auch in gepanzelter oder

höher legierter Ausführung gefertigt werden, um dem verschleißintensiven Zement entgegenzuwirken und Reparaturarbeiten möglichst gering halten zu können.

Anlagen- und Betriebskosten:

Technisch vergleichsweise anspruchsvollere Bauteile wie die Schneckenwelle (Preis ist abhängig von der jeweiligen Ausführung) sowie der benötigte Elektromotor und für die Erzeugung der Druckluft erforderliche Verdichter oder Gebläse resultieren in höheren Anlagenkosten und gleichzeitig hohen Betriebskosten, da sowohl der Motor als auch die Verdichter bzw. Gebläse größere Mengen an Strom benötigen. Zudem lassen ebenfalls die bei Abrieb erforderlichen Austauschendflügel der schnelldrehenden Schneckenwelle die Betriebskosten zusätzlich ansteigen.

Vor- und Nachteile:

Betrachtet man das Gesamtsystem der Schneckenpumpe fallen zahlreiche Vorzüge dieser Art der pneumatischen Förderung auf, so dass die hohen Anlagen- und Betriebskosten zu einem gewissen Grad durch die nachfolgend genannten Vorteile ausgeglichen werden können.

Zum einen ist es aufgrund des konisch erweiterten Raumes zwischen Schneckenende und Rückschlagklappe und dem damit entstehenden, auch bei ausbleibender Fördergutaufgabe vorhandenen, Staubgutpfropfen, der ein Eindringen der Druckluft in den Bereich hinter der Rückschlagklappe verhindert, möglich, die Fördergutaufgabe je nach Bedarf frei zwischen 0% und 100% einzustellen. Auf diese Weise können optimale Fördereinstellungen gewährleistet werden, ohne zusätzliche Vorkehrungen bezüglich der Abdichtung treffen zu müssen.

Des Weiteren wird die Schnecke über eine Konusverbindung in einer robusten Buchse

befestigt, die ein mehrfach höheres Widerstandsmoment als die Welle aufweist und gleichzeitig in zwei Wälzlagern gelagert ist. So stellt sich eine große Laufruhe in jedem Betriebszustand ein und zudem kann die Schnecke bei Reparaturarbeiten ohne Veränderung der Lagersitze aus- und wieder eingebaut werden.

Letztlich führt der sehr geringe Raumbedarf und die niedrige Bauhöhe in Verbindung mit den verschiedenen Anordnungsvarianten (Standard: Gutaufgabe von oben; seitliche Beschickung: Variante für besonders niedrige Bauhöhe; Stand-by- bzw. Reihenschaltung mehrerer Pumpen: zur Ausfallabsicherung bzw. Überbrückung sehr großer Entfernungen) und der variabel ausführbaren Förderrohrleitungen dazu, dass das Fördersystem genau an die vorhandenen Gegebenheiten am Einsatzort angepasst und verwendet werden kann.



Abb. 5: Schneckenpumpe von IBAU Hamburg

4.1.4 Düsenförderer

Funktionsbeschreibung:

Ein Düsenförderer ist eine pneumatische Fördereinrichtung, bei der das Schüttgut mittels Druckluft, welche über eine Düse eingebracht wird, in eine Förderleitung gepresst und auf diese Weise gefördert wird.

Die Förderung des Schüttguts läuft dabei so ab, dass ein zusätzlich benötigtes Gebläse (meist ein Drehkolbengebläse) Druckluft erzeugt und diese zum Düsenförderer geleitet wird. Am Düsenförderer angekommen wird ein kleiner Teil der Druckluft auf den Belüftungsboden (bestehend aus einem luftdurchlässigen Polyestergewebe und einem Lochblech bzw. bei Temperaturen über 130°C einem luftdurchlässigen Drahtgewebe)

geleitet, um das zugeführte Schüttgut aufzulockern. Der größere Teil der Druckluft wird zur Düse geführt, wodurch die Luft beim Übergang vom Düsenende zum mit aufgelockertem Schüttgut gefüllten Raum Schüttgut mitreißt und in den Diffusor treibt. Im sich weitenden Diffusor kann das druckbeaufschlagte Staubgemisch expandieren, damit verbunden an Geschwindigkeit gewinnen und durch die Förderleitung transportiert werden.⁸

Anwendbarkeit:

Die Förderung von Schüttgütern unter der Verwendung eines Düsenförderers findet dort Anwendung wo nur geringe Mengen Schüttgut von bis zu 14t/h über gleichzeitig kleine Strecken von bis zu maximal 100m einfach und zuverlässig gefördert werden müssen. Zudem verhält er sich sehr vorteilhaft beim Fördern von abrasiven Schüttgütern, da keinerlei bewegliche Teile im Düsenförderer verbaut wurden, welche einem erhöhten Verschleiß unterliegen könnten.

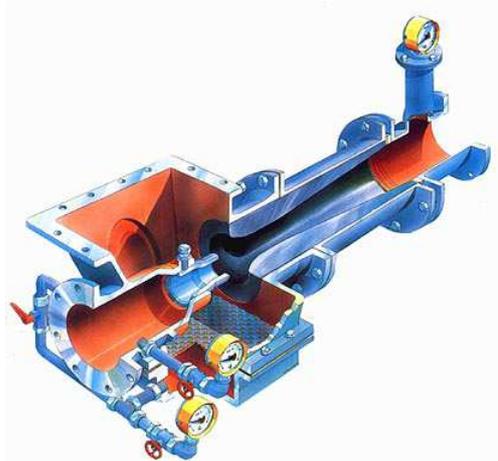


Abb. 6: Düsenförderer von IBAU Hamburg

Handhabung:

Die Handhabung gestaltet sich denkbar einfach, da keine technisch komplizierten Bauteile im Düsenförderer vorhanden sind. Beim Schüttguttransport mit Düsenförderer wird keine aufwendige Regel- und Steuertechnik und eine zusätzliche Schüttgutdosiereinheit auch nur bei horizontalem Einbau des Düsenförderers benötigt,

⁸ : vgl. Originalbetriebsanleitung Düsenförderer IBAU Hamburg

da die Druckluft durch Mitreißen des Schüttguts den Mengenstrom selbst reguliert. Die maximale Fördermenge wird durch die vorab entsprechend den Betriebsbedingungen berechneten und ausgeführten Düsen- und Rohrdurchmesser geregelt. Zudem kann mittels eines außen angebrachten Ventils zur Luftmengenregulierung, die optimale Schüttgutauflockerung über den Fluidisierungsboden eingestellt werden.

Wartungsanfälligkeit:

Da wie beschrieben keine komplizierten, technischen Einbauten im Düsenförderer vorhanden sind, die mögliche Wartungsarbeiten benötigen könnten und zudem der aus verschleißfestem Schmelzbasalt bestehende Diffusor, welcher das einzige Bauteil im Düsenförderer ist, das einem erhöhten Verschleiß ausgesetzt ist, einfach auszutauschen ist, sind Reparaturarbeiten eher gering anzusehen und Wartungsarbeiten gar gänzlich auszuschließen.

Anlagen- und Betriebskosten:

Eine einfache und zuverlässige Konstruktion des Düsenförderers führt dazu, dass die Anlagenkosten gering gehalten werden können. Ebenfalls übersteigen die Betriebskosten keinen allzu großen Rahmen, da lediglich ein Gebläse zur Erzeugung der Druckluft betrieben werden muss, wobei die geförderte Schüttgutmenge bezogen auf die anfallenden Betriebskosten jedoch sehr gering ist. Ausschließlich der verschleißfeste Diffusor kann die Betriebskosten erhöhen, wenn dieser je nach Abrasionsverhalten repariert bzw. ausgetauscht werden muss.

Vor- und Nachteile:

Betrachtet man zuerst die Vorteile, so müssen zu Beginn das einfache und zuverlässige Förderprinzip und die damit in Zusammenhang stehenden niedrigen Anlagenkosten festgehalten werden. Zudem ist die Handhabung des Düsenförderers sehr komfortabel, da dieser im Normalfall (Installation in Schräglage) selbstregelnd ist und alle benötigten Messinstrumente (Vor- und Belüftungsdruckmanometer) am Düsenförderer selbst montiert sind, so dass keine aufwendige Steuer- und Regelungstechnik notwendig ist. Des Weiteren sind keine beweglichen Teile im Düsenförderer verbaut, weshalb regelmäßige Schmierungen oder sonstige Wartungs- und Reparaturarbeiten entfallen und der Betrieb somit erheblich vereinfacht sowie kostengünstig gehalten wird.

Als Nachteil muss jedoch definitiv aufgeführt werden, dass nur Fördergutmassenströme bis zu 14t/h gefördert werden können und gleichzeitig die maximal überbrückbare Förderstrecke von 100m mit zunehmendem Fördergutmassenstrom beachtlich abnimmt. Letztlich übersteigen die Betriebskosten zwar keinen allzu großen Rahmen, jedoch sind sie, bezogen auf die sehr geringen Fördergutmassenströme, nicht zu vernachlässigen.



Abb. 7: Düsenförderer von IBAU Hamburg

4.1.5 Niederdruckförderung

Funktionsbeschreibung:

Die Niederdruckförderung ist ein sehr einfaches und kontinuierlich arbeitendes pneumatisches Fördersystem.

Das Fördersystem besteht aus einer oder mehreren Schüttgutaufgabestationen, die z.B. über ein Silo mit dem zu fördernden Schüttgut gefüllt werden, wobei sich die genaue Anzahl der Aufgabestationen aus den spezifischen Anforderungen an die Förderanlage ergeben. Unter jeder Aufgabestation befindet sich eine Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombination, welche gleichzeitig die Hauptfördereinrichtung bei diesem Förderverfahren darstellt. Hierbei hat die Zellradschleuse die Aufgabe, die zu fördernde Menge Schüttgut im korrekten Maß zu dosieren, während die Doppelpendelklappe verhindert, dass die der Förderrohrleitung zugeführte Fluidisierungs-luft in die Schüttgutbehälter gelangen kann und trennt damit den Förderdruck von dem drucklosen Aufgabebereich. Nachdem das Schüttgut die Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombination passiert hat und in die Förderrohrleitung gelangt ist, wird es durch die zusätzlich eingebrachte Luft fluidisiert und strömt zur Schüttgutaustragstelle.

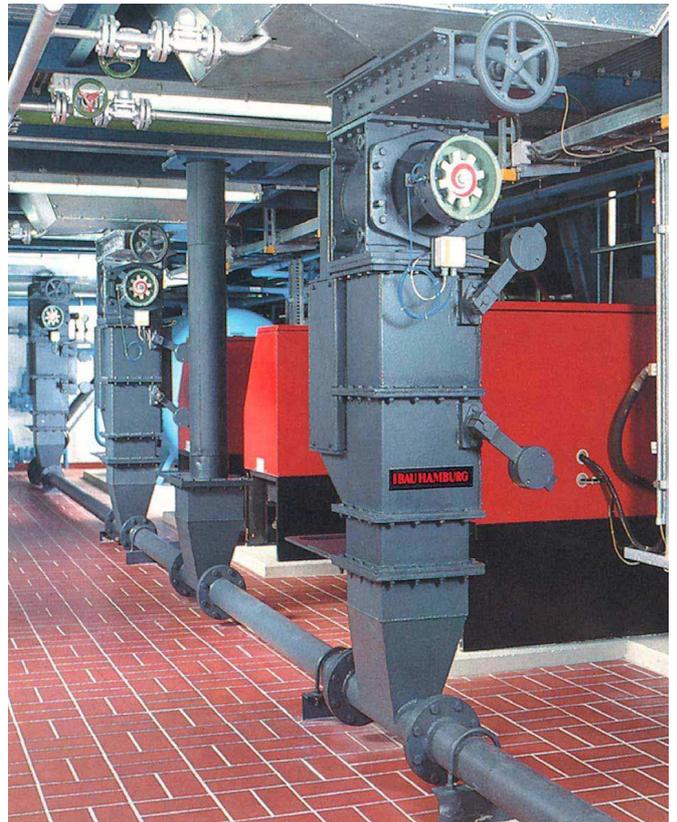


Abb. 8: Niederdruckförderung von IBAU Hamburg

Anwendbarkeit:

Die Niederdruckförderung ist dort bevorzugt einzusetzen wo kontinuierlich kleine Schüttgutmassenströme von maximal 20t/h über mittlere Förderstrecken von bis zu 150m gefördert werden müssen.

Handhabung:

Die Verwendung der Niederdruckförderung wird sowohl durch die bequeme Beladung der Schüttgutaufgabestationen als auch durch die problemlose Regelung über die Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombinationen sehr einfach gehalten, so dass aufgrund dieser Voraussetzungen ein technisch simpler und kontinuierlicher Förderprozess garantiert werden kann.

Wartungsanfälligkeit:

Aufgrund des gänzlichen Fehlens von komplizierten, technischen Einbauten und beweglichen Teilen, wenn man von der robusten Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombination absieht, ist von zeit- und kostenintensiven Wartungs- und Reparaturarbeiten nicht auszugehen. Einzig die rotierende Zellradschleuse ist einer erhöhten Belastung ausgesetzt und besitzt daher Verschleißleisten, die bei einem erhöhten Abrieb durch den geförderten Zement ausgetauscht werden müssen. Bei anfallenden Reparaturarbeiten an der Zellradschleuse muss der Förderprozess aber keineswegs unterbrochen werden, sofern mehrere Schüttgutaufgabestationen mit zugehörigen Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombinationen vorhanden sind. Um die Arbeiten durchzuführen, kann die betroffene Schüttgutaufgabestation über einen Absperrschieber kurzzeitig vom Förderprozess getrennt und die Verschleißleisten ausgetauscht werden, während der Förderprozess über die übrigen Schüttgutaufgabestationen und Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombinationen weitergeführt wird.

Anlagen- und Betriebskosten:

Obwohl die Niederdruckförderung eine vergleichsweise einfache Art der Schüttgutförderung ist, sind die anfallenden Anlagenkosten nicht vernachlässigbar, da je nach Anforderungen an die Förderanlage mehrere Schüttgutaufgabestationen mit den zugehörigen Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombinationen benötigt werden. Die Betriebskosten können in einem geringen bis mittleren Bereich gehalten werden, da außer bei der Lufterzeugung, beim sparsamen Betrieb der Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombinationen und für eventuell auszutauschende Verschleißleisten der Zellradschleusen keine weiteren Betriebskosten anfallen. Es muss jedoch beachtet werden, dass die geförderte Menge Schüttgut im selben Zug auch sehr gering und verglichen damit der Luftverbrauch relativ groß ist.

Vor- und Nachteile:

Wenn man von den nachteilig mittleren Anlagenbeschaffungskosten absieht und nur kleine Mengen Schüttgut über kurze Strecken gefördert werden müssen, stehen eine Reihe überzeugender Vorteile dieses Verfahrens zur Verfügung.

Die Niederdruckförderung ist ein sehr komfortabler Förderprozess, da aufgrund der Schüttgutaufgabestationen, welche einfach zu beladen sind, ein kontinuierlicher Förderprozess aufrechterhalten werden kann, der zudem ohne größeren Aufwand über Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombinationen geregelt werden kann.

Es müssen, abgesehen von der robusten Zellradschleusen-Doppelpendelklappen-Kombination, keine beweglichen Teile im Fördersystem installiert werden, so dass beim ordnungsgerechten Betrieb von einer Wartungsfreiheit ausgegangen werden kann und auch nötige Reparaturarbeiten führen, wie bereits beschrieben, nicht zwangsläufig zu einer Abschaltung der gesamten Anlage. Zudem besteht die Möglichkeit, dass über mehrere Aufgabestationen Schüttgut in die Förderrohrleitung gegeben wird, so dass das Fördersystem auch ohne größeren Aufwand in bereits bestehende Anlagen integriert werden kann.

4.1.6 Druckgefäßförderer

Funktionsbeschreibung:

Druckgefäßförderer fördern das Schüttgut mittels diskontinuierlichem Dichtstromprinzip, d.h. die Förderleitung ist in regelmäßigen Abständen vollständig mit Schüttgut und Druckluft als Fördermittel gefüllt.

Das Fördersystem besteht hauptsächlich aus einem Schüttgutvorratsbehälter, der z.B. über ein Silo mit dem Schüttgut gefüllt wird, einer Verschlusseinheit, welche die in Intervallen zu fördernde Schüttgutmenge regelt, einem nachgeschalteten Druckgefäß mit Druckluftleitung und einer anschließenden Förderrohrleitung.

Die Förderung des Schüttguts läuft so ab, dass vom Schüttgutbehälter geregelte Mengen Schüttgut über eine Verschlusseinheit in das Druckgefäß geleitet werden. Sobald die gewünschte Fördermenge im Druckgefäß vorhanden ist, meldet dies eine Messeinrichtung, so dass die Schüttgutzufuhrleitung mittels der Verschlusseinheit schnellstmöglich geschlossen und anschließend Druckluft über eine weitere Leitung hinzugefügt wird. Nachdem mittels eingespeister Druckluft ein genügend großer Förderdruck im Druckgefäß aufgebaut wurde, wird ein Ventil geöffnet und zugleich Druckluft in die Förderrohrleitung geleitet.

Mit dem Öffnen der Leitung vom Druckgefäß zur Förderrohrleitung wird das Schüttgut durch die Druckluft aus dem Behälter gepresst und gleichzeitig von der Druckluft in der Förderrohrleitung in Richtung der Schüttgutabgabestelle mitgerissen.

Nachdem der gesamte Schüttgutmassenstrom aus dem Druckgefäß ausgetragen wurde, wiederholt sich der Vorgang indem erneut Schüttgut in das Druckgefäß geleitet wird.

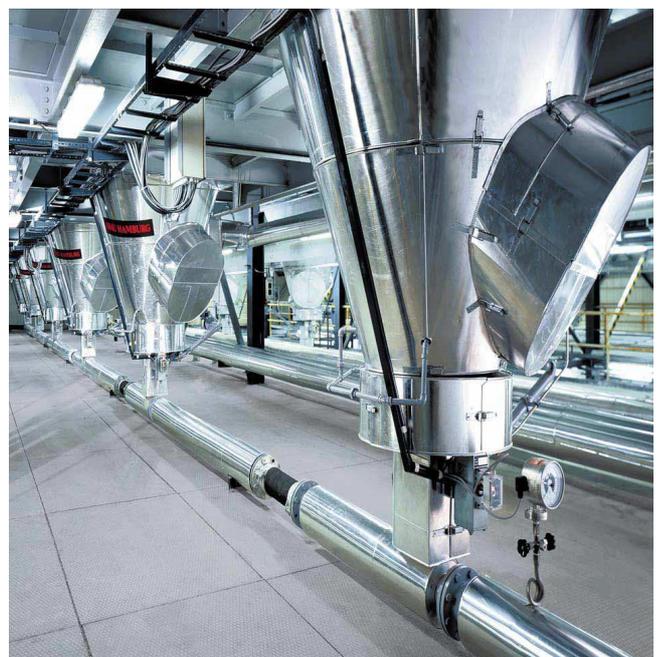


Abb. 9: Druckgefäßförderung von IBAU Hamburg

Anwendbarkeit:

Die Förderung von Schüttgut mittels Druckgefäßförderern wird besonders dort eingesetzt, wo große Mengen Schüttgut von bis zu 300t/h über sehr große Entfernungen bis zu 2000m diskontinuierlich gefördert werden sollen.

Handhabung:

Die Druckgefäßförderung ist eine technisch anspruchsvolle Fördertechnik, bei welcher die Trennung des Förderprozesses in einen Füll-, Druckbeaufschlagungs- und einen Austragsvorgang letztlich in einem erheblich gesteigerten Mess-, Regel- und Steueraufwand resultiert.

Wartungsanfälligkeit:

Wartungs- und Reparaturarbeiten sind bei der Druckgefäßförderung nicht auszuschließen, da zum einen das Druckgefäß ein technisch aufwendiges Bauteil ist und zum anderen wegen des erhöhten Automatisierungsaufwands gleichzeitig die Gefahr von Ausfällen steigt. Besonders die Ein- und Auslaufarmaturen sind aufgrund der Förderintervalle einer hohen Beanspruchung ausgesetzt und müssen daher in regelmäßigen Abständen überprüft werden.

Sollte es dazu kommen, dass Wartungs- und/oder Reparaturarbeiten durchgeführt werden müssen, so ist dies gleichbedeutend mit Anlagenausfallzeiten, weil das Fördersystem während dieser Arbeiten abgeschaltet werden muss.

Anlagen- und Betriebskosten:

Wenn Schüttgut mit einer Druckgefäßförderung transportieren werden soll, ist sowohl von hohen Anlagen- als auch hohen Betriebskosten auszugehen.

Die Anlagenkosten entstehen durch die technisch anspruchsvollen und dementsprechend kostenintensiven Anlagenteile wie Druckgefäß und Luftverdichter sowie die verhältnismäßig aufwendige Mess-, Regel- und Steuertechnik.

Die hohen Betriebskosten ergeben sich hauptsächlich aus dem großen Stromverbrauch der Luftverdichter, die zur Erzeugung der druckbeaufschlagten Luft benötigt werden, und den anfallenden Wartungs- und Reparaturarbeiten.

Vor- und Nachteile:

Können die sich nachteilig auswirkenden hohen Anlagen- und Betriebskosten, sowie der große Aufwand für Mess-, Regel- und Steuertechnik vernachlässigt werden, so steht eine Reihe von aussagekräftigen Vorteilen zu Verfügung.

Druckgefäßförderer sind in der Lage große Schüttgutmassenströme von bis zu 300t/h über sehr weite Achsabstände der Fördergutaufgabe- und -entnahmestationen von bis zu 2000m zu fördern.

Die zur Förderung verwendeten Rohrleitungen ermöglichen eine perfekte Anpassung der Förderleitung an die Gegebenheiten der Anlage und können wegen der stark druckbeaufschlagten Luft in verhältnismäßig kleinen Durchmessern ausgeführt werden, wodurch sich geringere



Abb. 10: Druckgefäßförderung von IBAU Hamburg

Kosten für das Leitungssystem ergeben.

Sollte der Bedarf einer kontinuierlichen Schüttgutförderung vorhanden sein, so können mehrere Schüttgutbehälter mit zugehörigen Druckgefäßen hintereinander geschaltet werden und parallel zueinander arbeiten, so dass sich ein quasi kontinuierlicher Schüttgutmassenstrom ergibt. Die kontinuierliche Schüttgutförderung mittels mehreren Druckgefäßförderern hat jedoch den entscheidenden Nachteil, dass sich entsprechend größere Anlagen- und Betriebskosten ergeben.

4.1.7 F-Pipe

Funktionsbeschreibung:

Die F-Pipe fördert einen Schüttgutmassenstrom mittels eines pneumatischen Dichtstromprinzips, bei dem das Schüttgut über die gesamte Förderstrecke durch gleichmäßig angeordnete Luftzufuhrleitungen zusätzlich aufgelockert wird.

Die Schüttgutzufuhr bei der Förderung mittels F-Pipe-Verfahren kann auf drei unterschiedliche Arten erfolgen:

- Schneckenpumpe
- Zellradschleuse
- mehrere in Abständen hintereinander angeordnete Zellradschleusen

Die Förderung, bei der das Schüttgut mittels Schneckenpumpe zugeführt wird, ähnelt sehr der herkömmlichen Förderung mittels Schneckenpumpe mit dem einfachen, aber effektiven Unterschied, dass über die Förderstrecke verteilte Leitungen kontinuierlich Luft in die Förderrohrleitung geben. Auf diese Weise können die Fluidisierung über die gesamte Förderstrecke verstärkt und die Reibwiderstände gesenkt werden, so dass letztlich der Verschleiß der Förderrohrleitung sowie der Energieverbrauch deutlich

geringer ausfallen.

Bei der Förderung mit einer oder mehreren Zelleradschleusen als Schüttgutaufgabestation dient eine am Beginn der Förderleitung angebrachte Düse der Beschleunigung des Schüttguts, wobei mit mehreren hintereinander angeordneten Zelleradschleusen größere Schüttgutmassenströme gefördert werden können. Wie bei der Förderung mit Schneckenpumpe dienen auch hier längs der Förderstrecke angebrachte Luftleitungen der Auflockerung und zusätzlichen Fluidisierung des Schüttguts.

Anwendbarkeit:

Die Förderung eines Schüttgutmassenstroms mittels F-Pipe-System wird bevorzugt dort verwendet, wo kontinuierlich größere Mengen Schüttgut von bis zu 300t/h über ebenfalls große Entfernungen bis zu 1200m gefördert werden sollen.

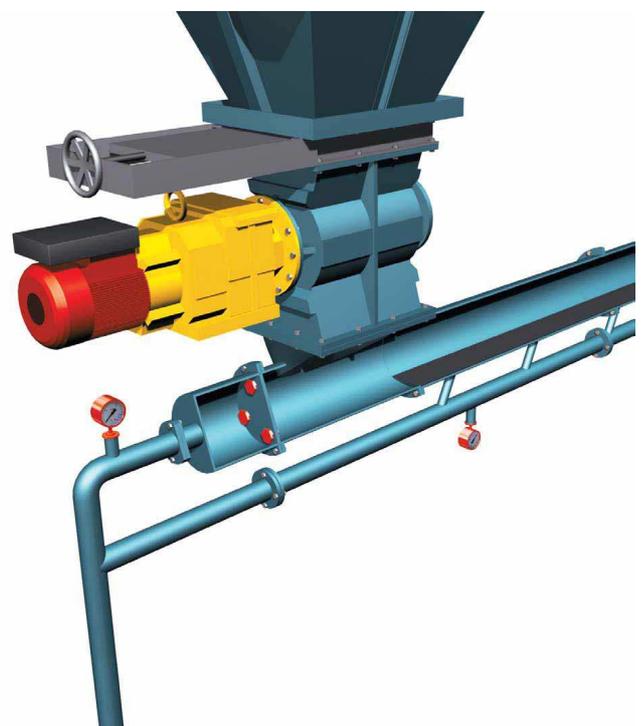


Abb. 11: F-Pipe-System von IBAU Hamburg

Handhabung:

Diese Förderart stellt keine großen Platzansprüche, da weder die Schüttgutaufgabestationen noch die variabel ausführbaren Förderrohrleitungen großer Anlagenräume bedürfen.

Der Aufwand an Mess-, Regel- und Steuertechnik übersteigt keinen zu großen Rahmen, da keine technisch aufwendigen Bauteile verwendet werden und nur die Schüttgutaufgabe mittels Schneckenpumpe oder Zelleradschleuse geregelt werden muss.

Wartungsanfälligkeit:

Wartungs- und Reparaturarbeiten können bei der Förderung mit einem F-Pipe-System annähernd ausgeschlossen werden, da die längs der Förderstrecke zugeführte Luft die Reibwiderstände zwischen dem Schüttgut und der Förderrohrwand sehr stark minimiert, wodurch ein erhöhter Abrieb und Verschleiß verhindert wird. Lediglich die Schüttgutaufgabestationen, egal ob Schneckenpumpe oder Zellradschleuse unterliegen aufgrund ihrer beweglichen Teile einer erhöhten Belastung, so dass je nach Abriebverhalten der Endflügel der Schneckenpumpe bzw. die Verschleißleisten der Zellradschleuse ausgetauscht werden müssen.

Anlagen- und Betriebskosten:

Sowohl die Anlagen- als auch die Betriebskosten bewegen sich auf einem mittleren Niveau. Dabei ergeben sich die Anlagenkosten hauptsächlich aus der Schüttgutaufgabevorrichtung, welche sowohl eine Schneckenpumpe als auch eine bzw. mehrere Zellradschleusen sein kann, dem Lufterzeuger und der Förderrohrleitung mit zugehörigen Luftzufuhrleitungen. Die mittleren Betriebskosten entstehen aus den Stromkosten für die Förderlufterzeugung, der benötigten Antriebsleistung für die jeweiligen Schüttgutaufgabevorrichtungen und eventuell bei Wartungs- und Reparaturarbeiten auszutauschenden Verschleißteilen.

Vor- und Nachteile:

Die sich geringfügig nachteilig darstellenden Anlagen- und Betriebskosten auf mittlerem Kostenniveau der Förderung mittels F-Pipe-Verfahrens stehen einer Reihe von Vorteilen dieser Förderart gegenüber.

Zum einen können aufgrund der erweiterten Luftzuführung längs der Förderstrecke, welche die Fluidisierung und Auflockerung des Schüttguts vorantreibt, die Reibwiderstände deutlich verringert werden, wodurch sowohl von einem geringeren Aufwand bezüglich Wartungs- und Reparaturarbeiten auszugehen ist und zudem größere Förderstrecken von bis zu 1200m überbrückt werden können. Zugleich werden wegen der verringerten Reibwirkung niedrigere Förderdrücke benötigt, um das Schüttgut zu transportieren, so dass sich eine Reduzierung des Energieverbrauchs einstellt. Des Weiteren kann ein beachtlicher Fördergutmassenstrom von bis zu 300t/h gefördert werden und der Verlauf der Förderstrecke dabei variabel an die geplante Anlage angepasst werden, da das Fördergut in einer Rohrleitung transportiert wird.

4.2 Vergleich der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozess- techniken

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Fördersysteme, die von IBAU Hamburg unter anderem in der Zementindustrie Anwendung finden, werden auf der nun folgenden Seite tabellarisch dargestellt. Auf diese Weise können die unterschiedlichen Fördersysteme sowohl anhand ausgewählter Parameter untereinander verglichen als auch die Vorzüge und Schwächen der einzelnen Verfahren veranschaulicht werden. Des Weiteren wird so eine abschließende Übersicht über die Bandbreite der Förderprozesse von IBAU Hamburg gegeben.

4.2.1 Tabelle zu „Vergleich der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozesstechniken“

5. Recherche zu weiteren Förderprozesstechniken der Förderindustrie

Wegen der großen Bedeutung der Fördertechnik sowohl für die Produktion als auch für den Transport von Schütt- und Stückgütern werden Förderprozesse verschiedenster Art in nahezu jedem Industriezweig angewendet. Aufgrund dieser Tatsache sollte in Folge des Sortimentausbaus und der Weiterentwicklung von Förderprozessen die Übernahme von einzelnen Verfahren aus Gesamtheit der Förderprozesse verschiedenster Industriezweige zur Verwendung des Transports von Zement in Betracht gezogen werden.

Dabei hat die durchgeführte Recherche zu Prozesstechniken aus verschiedensten Industriezweigen in Verbindung mit dem bisherigen Inhalt der Bachelorarbeit ergeben, dass es in näherer Betrachtung drei Anwendungsfälle gibt:

1. Fördertechnik aus einem anderen Industriezweig außerhalb der Zementindustrie wird bereits von IBAU Hamburg ebenfalls für die Zementindustrie verwendet.
2. Fördertechnik aus einem anderen Industriezweig außerhalb der Zementindustrie wird bereits von anderen Unternehmen, die unter anderem in der Zementindustrie tätig sind, verwendet.
3. Fördertechnik aus einem anderen Industriezweig außerhalb der Zementindustrie ist nicht dafür geeignet bei IBAU Hamburg in der Zementindustrie Anwendung zu finden.

Der erste Anwendungsfall beschreibt pneumatische Förderprozesse, wie beispielsweise Druckgefäßförderer, Airlift oder Schneckenpumpe, mit denen in unterschiedlichen Industriezweigen Schüttgüter, wie z.B. Holz- bzw. Futterpellets oder Getreide, gefördert werden. Aufgrund der vergleichbaren Fördereigenschaften im fluidisierten Zustand werden die selben Förderprozesse gleichzeitig von IBAU Hamburg verwendet, um Zement zu transportieren, so dass der Bereich pneumatischer Förderprozesse mit der breiten Angebotspalette von IBAU Hamburg sehr gut abgedeckt ist.

Die Gruppe der Förderprozesse aus dem zweiten Anwendungsfall verwenden allesamt ein mechanisches Förderprinzip. So werden z.B. Lebensmittel wie Kartoffeln oder Rüben, Hackschnitzel bei der Holzverarbeitung oder auch größere Stückgüter in der Metallindustrie mit mechanischen Förderern wie Becherwerken, Trogketten- oder Rohrgurtt Förderern längs des Förderwegs transportiert. Diese Förderprinzipien werden ebenfalls von Unternehmen, die Förderanlagen für die Zementindustrie erstellen, verwendet und daher im nachfolgenden Abschnitt genauer dargestellt und erläutert, um abschließend mit jeweils dem Fördersystem von IBAU Hamburg verglichen werden zu können, welches ähnliche Fördereigenschaften aufweist.

Der letzte Anwendungsfall beinhaltet sowohl pneumatische als auch mechanische Fördersysteme, welche in vielen Industriezweigen Verwendung finden, jedoch für die Förderung von Zement aus verschiedenen Gründen ungeeignet sind.

So verursachen beispielsweise Saugförderanlagen, die sich eines pneumatischen Förderprinzips bedienen, durch einen erhöhten technischen und konstruktiven Aufwand erhebliche Anlagenkosten und führen mit der Erzeugung eines ständigen Unterdrucks mittels großer Leistungsaufnahme ebenfalls zu sehr hohen Betriebskosten. Obwohl die aufgebrachten Investitionen, wie soeben erläutert, sehr groß sind, ist es mit einer Saugförderung nur möglich, geringe Mengen Schüttgut über ebenfalls geringe Förderstrecken zu transportieren, so dass eine Analyse des Preis/Leistungsverhältnisses eine Verwendung für die Zementförderung nicht empfiehlt; nicht zuletzt weil das Produkt Zement verhältnismäßig günstig ist und die kostenintensive Förderung der Wirtschaftlichkeit entgegenarbeiten würde. Dementsprechend wird die Saugförderung meist dort angewendet, wo nur sehr geringe Mengen eines zudem teuren Schüttguts, wie z.B. bei der Goldverarbeitung, gefördert werden müssen oder Schüttgüter besondere Anforderungen an die Förderung stellen, wie es beispielsweise bei explosionsgefährdeten oder stark umweltschädlichen Schüttgütern, die staubfrei und sicher gefördert werden müssen, der Fall ist.

Ebenso gibt es mechanische Fördersysteme wie z.B. Schwerkraft- oder angetriebene Rollenbahnen, mit denen sehr großes Stückgut oder Behälter gefüllt mit kleinerem Stückgut entlang eines Förderwegs transportiert und meist am Ende des Transportweges eingelagert werden können. Diese Fördersysteme sind, genau wie die

zuvor beschriebene Saugförderung, nicht sonderlich für den Transport von Zement geeignet, da zum einen das gezielte Be- und Entladen der benötigten Transportbehälter ohne Schüttgutverlust nur mit sehr großem technischem Aufwand annähernd zu realisieren wäre und die Rückführung der Behälter gleichzeitig großen konstruktiven sowie logistischen Aufwand benötigen würde. Zum anderen würde es durch das ständige Be- und Entladen der Transportbehälter zu einer massiven Staubentwicklung kommen, die nur mit großem Aufwand gehandhabt werden könnte

Es stellt sich also heraus, dass das Angebot an Förderprozessen, die zur Erweiterung des eigenen Sortiments verwendet werden können, aufgrund der besseren Fördereigenschaften beim Transport von Zement auf die mechanischen Verfahren beschränkt ist, so dass im nachfolgenden Abschnitt eine Auswahl an Fördertechniken aus diesem Bereich dargestellt und erläutert werden soll.

6. Recherche zu weiteren Förderprozesstechniken der Zementindustrie

6.1 Förderprozesstechniken anderer Unternehmen

6.1.1 Trogkettenförderung

Funktionsbeschreibung:

Beim Trogkettenförderer handelt es sich um einen mechanischen Stetigförderer, der das Schüttgut mittels an einer Endloskette befestigten Mitnehmern in einem Trog fördert, wobei die Breite der Mitnehmer weitaus kleiner als der Querschnitt des Trogs ist. Nachdem das Schüttgut über eine Aufgabevorrichtung in den geschlossenen Trog gegeben wurde, in welchem sich die Endloskette über ein Antriebs- und ein Umlenkzahnrad im Kreis bewegt, fällt es zunächst durch die entgegen der Förderrichtung laufende Kette und gelangt an den Boden des Trogs. Bei der Trogkettenförderung wird die Tatsache ausgenutzt, dass der innere Widerstand im Schüttgut und an den Mitnehmern größer ist als der Reibungswiderstand zwischen dem Schüttgut und den glatten Trogwänden. Aufgrund dieser Eigenschaft fördern die an der Kette befindlichen in Förderrichtung bewegten Mitnehmer, die je nach zu förderndem Schüttgut unterschiedlich ausgebildet sein können, nun eine ganze Schicht des Schüttguts, welche höher als die Mitnehmer selbst ist, in Richtung der Schüttgutaustragstelle.



Abb. 12: Trogkettenförderer der Firma Hess Fördertechnik

Anwendbarkeit:

Die Trogkettenförderung wird hauptsächlich dann verwendet, wenn große Mengen Schüttgut (z.B. 1800t/h mit Trogkettenförderern des Unternehmens EMDE) kontinuierlich und komfortabel über geringe Förderstrecken von bis zu 100m gefördert werden sollen. Das Schüttgut kann sowohl horizontal, schräg geneigt, horizontal und schräg geneigt kombiniert als auch vertikal gefördert und das Fördersystem daher genau nach dem jeweiligen Anwendungsbedarf ausgeführt werden.

Da das gesamte System in sich geschlossen ist, kann es bei mangelndem Platz in den Anlagenräumen ohne Probleme im Freien aufgestellt werden und spart somit weitere Kosten, die beim Bau von zusätzlichen Anlagenräumen anfallen würden.

Handhabung:

Die Verwendung einer Trogkettenförderung ist sehr komfortabel, da es wegen der Kreisführung der Förderkette möglich ist, die Schüttgutaufgabe- und -entnahmestelle beliebig anzulegen, so dass die Trogkettenförderung auch in einer bereits bestehenden Anlage ohne größere Umbaumaßnahmen installiert werden kann. Des Weiteren ist keine aufwendige Mess- und Regeltechnik für das Betreiben einer Trogkettenförderung notwendig, da die zu fördernde Schüttgutmenge relativ einfach über die Antriebsmotordrehzahl, demzufolge über die Kettenvortriebsgeschwindigkeit, oder die dem Trog, z.B. über eine Schurre, zugeführte Schüttgutmenge geregelt werden kann.

Wartungsanfälligkeit:

Da die Förderung des Schüttguts durch eine sich rotierend bewegende Kette mit angebrachten Mitnehmern erfolgt, ist generell von einem erhöhten Verschleiß auszugehen. Aufgrund der langsamen Fördergeschwindigkeit von 0,05m/s bis 0,3m/s sind die Reibkräfte zwischen dem Fördergut und den glatten Trogwänden verhältnismäßig gering, so dass hier kein allzu großer Verschleiß erwartet wird, jedoch sind die Reibkräfte zwischen dem Schüttgut und den Mitnehmern deutlich höher, weshalb in regelmäßigen Abständen Wartungs- und Reparaturarbeiten an der Kette und den Mitnehmern durchgeführt werden sollten, um einen einwandfreien Betrieb der Förderanlage gewährleisten zu können.



Abb. 13: Trogkettenförderer der Firma EMDE Industrie-Technik GmbH

Anlagen- und Betriebskosten:

Die Trogkettenförderung nutzt ein technisch einfaches mechanisches Förderprinzip, welches darin resultiert, dass sich geringe Anlagenbeschaffungskosten ergeben und ebenfalls die Betriebskosten, hauptsächlich durch die geringen Stromkosten und die bei Wartungs- und Reparaturarbeiten anfallenden Kosten (z.B. auszutauschende Kettenglieder oder Mitnehmer) bestimmt, relativ niedrig gehalten werden können.

Vor- und Nachteile:

Die Trogkettenförderung hat als mechanische Stetigförderung den Nachteil der verwendeten beweglichen Teile, die trotz langsamer Fördergeschwindigkeiten zu

einem teilweise erhöhten Verschleiß führen, welcher wiederum in einem erhöhten Aufwand bezüglich Wartungs- und Reparaturarbeiten resultiert. Die anfallenden Wartungs- und Reparaturarbeiten haben eine Abschaltung der Förderanlage und ein damit einhergehendes kurzzeitiges Aussetzen der Schüttgutförderung zur Folge, sofern keine zwei parallel arbeitenden Trogkettenförderstränge zur Verfügung stehen. Bei der Vertikalförderung entstehen die zusätzlichen Probleme, dass diese nur mit einem größeren konstruktiven Aufwand sowie geeigneten Mitnehmern realisiert und keine vollständige Restentleerung erreicht werden kann, wobei dies nur dann unvorteilhaft ist, wenn die Anlage nicht im Dauerbetrieb läuft. Des Weiteren ist es mit einem Trogkettenförderer ohne zusätzlichen Querförderer nicht möglich eine kurvengängige Förderstrecke zu überbrücken, so dass die Integration in bereits bestehende Anlagen ihre Grenzen hat.

Sollte sich abschließend die verhältnismäßig geringe maximale Förderstrecke nicht nachteilig auswirken, so steht eine Reihe von Vorteilen dieses Verfahrens zur Verfügung. Die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten, ob als Horizontal-, Steig- oder Vertikalförderer bzw. einer Kombination dieser Förderarten, ermöglicht die exakte Anpassung des Fördersystems an die geplanten oder bereits vorhandenen Gegebenheiten der Anlage, sofern die Förderstrecke ohne Kurvengänge auskommt. Zudem stellt die Kreisführung der Förderkette dem Planungsingenieur viele konstruktive Anordnungsmöglichkeiten der Schüttgutaufgabe- und -entnahmestelle zur Verfügung, so dass auch diese Eigenschaft die Integration in eine bereits bestehende Anlage ohne größere Umbaumaßnahmen erleichtert. Dabei kann der Trogkettenförderer sowohl als Beschickungs- als auch als Abzugsvorrichtung für ein Silo verwendet werden.

Aufgrund des einfachen mechanischen Förderprinzips ist die Trogkettenförderung sehr gut automatisier- und regelbar und kann dabei gleichzeitig sehr große Mengen Schüttgut fördern. Des Weiteren sorgen die niedrigen Anlagenkosten einer Trogkettenförderung in Verbindung mit den ebenfalls geringen Betriebskosten dafür, dass sich die Anlage sehr schnell amortisiert und somit ein wirtschaftliches Betreiben der Anlage garantiert ist.

6.1.2 Becherwerk

Funktionsbeschreibung:

Bei einem Becherwerk, auch Elevator genannt, handelt es sich um einen mechanischen Stetigförderer, der hauptsächlich für die vertikale Förderung von Schüttgut verwendet wird. Generell ist die Verwendung eines Gurts oder einer Kette als Fördermittel möglich, jedoch wird der Einfachheit halber die Beschreibung im Folgenden auf ein Gurtbecherwerk beschränkt und nur kurz auf den Vorteil einer Kettenverwendung eingegangen.

Demnach besteht das Fördersystem aus einem Gurt, der über einen am oberen Ende des Becherwerks befindlichen Antrieb und eine unten angeordnete Umlenkstation vertikal im Kreis geführt wird sowie den am Gurt befestigten Bechern bzw. Trögen. Die in Förderrichtung geöffneten Becher werden nun kontinuierlich über eine im unteren Bereich des Becherwerks befindliche Beladeschurre mit dem Schüttgut gefüllt und fahren am Gurt nach oben. Nach unten durchgefallenes Schüttgutmaterial wird bei der unteren Umlenkung der Becher aufgenommen und ebenfalls nach oben gefördert. Nachdem die mit Schüttgut gefüllten Becher am höchsten Punkt angekommen sind, werden sie nach dem Umlenken an der Antriebsstation über eine Vorrichtung in eine Entladeschurre entleert und fahren wieder nach unten.

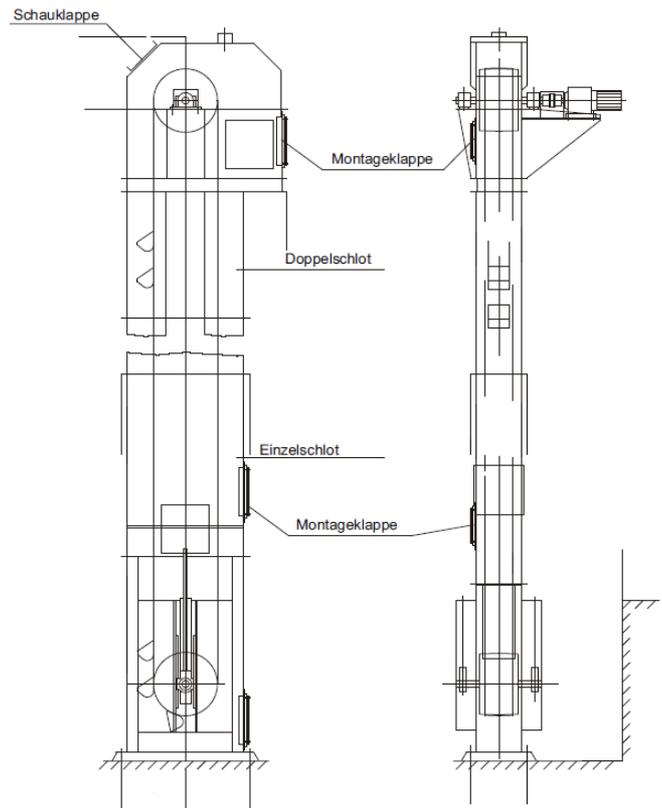


Abb. 14: Becherwerk-Prinzipzeichnung der Firma Göritz hainer Maschinenfabrik

Anwendbarkeit:

Becherwerke finden dort Anwendung, wo große Mengen Schüttgut (z.B. bis zu 2800t/h mit Hochleistungsgurtbecherwerken des Unternehmens BEUMER) über vertikale Strecken von bis zu über 150m gefördert werden sollen. In besonderen Fällen, wo anstelle eines Gurts eine Kette verwendet wird und die Becher beweglich gelagert werden, können auch schräg geneigte Förderstrecken überbrückt werden. Weil die Fördereinrichtung, d.h. der Gurt mit den zugehörigen Bechern, in einem geschlossenen Gehäuse geführt wird, kann die Aufstellung sowohl in einem Anlagenraum als auch im Freien erfolgen, so dass das Fördersystem an die jeweiligen Anforderungen der Anlage angepasst werden kann.

Handhabung:

Ein Becherwerk zur Förderung von Schüttgut zu verwenden gestaltet sich denkbar einfach. Die Schüttgutaufgabe kann z.B. komfortabel über ein Silo mit Zellradschleuse erfolgen, von der aus das Schüttgut über die Beladeschurre in die Becher geleitet wird. Die Einstellung des zu fördernden Schüttgutmassenstroms bedarf zudem keiner aufwendigen Regel- und Steuertechnik, weil das Schüttgut einfach über die Antriebsmotordrehzahl und die damit zusammenhängende Gurtvortriebsgeschwindigkeit oder mittels der über die Beladeschurre zugeführten Schüttgutmenge geregelt werden kann.

Wartungsanfälligkeit:

Aufgrund des im Becherwerk verwendeten rotierenden Fördermittels ist von einem erhöhten Abriebverhalten auszugehen. Sowohl die beim Fördervorgang verwendeten

Becher, welche durch das kontinuierliche Be- und Entladen mit Schüttgut einem Materialverschleiß ausgesetzt sind, als auch die verwendeten Gurte bzw. Ketten, die wegen des Gewichts von Bechern und Schüttgut einer beständig großen Belastung ausgesetzt sind, müssen in regelmäßigen Intervallen gewartet und je nach Bedarf repariert bzw. ausgetauscht werden. Da während Wartungs- und Reparaturarbeiten in den Förderprozess eingegriffen wird, kann dieser nicht parallel weiterlaufen und muss folglich für die Zeit dieser Arbeiten aussetzen, so dass die Förderung des Schüttguts unterbrochen wird.

Anlagen- und Betriebskosten:

Die Konstruktion des mechanischen Förderprinzips eines Becherwerks kann sehr einfach gehalten werden, wodurch sich entsprechend geringe Kosten für die Anlagenbeschaffung ergeben. Allein der bei großen Fördermassenströmen benötigte leistungsstarke und damit kostspielige Antriebsmotor kann in Zusammenhang mit den entstehenden höheren Stromkosten dafür sorgen, dass die Gesamtkosten steigen.

Hinzu kommen eher geringe Betriebskosten, die sich sowohl aus den Stromkosten als auch den Kosten für Wartungs- und Reparaturarbeiten, wenn unter Umständen Antriebsräder, Becher oder gar der gesamte Gurt bzw. die Kette aufgrund des erhöhten Verschleißes repariert bzw. ausgetauscht werden müssen, zusammensetzen.



Abb. 15: Becherwerksfüße in unterschiedlichen Ausführungsgrößen der Firma EMDE Industrie-Technik GmbH

Vor- und Nachteile:

Die herausragende Eigenschaft eines Becherwerks ist es, mit einem einfachen aber durchaus effektiven Förderprinzip sehr große Massenströme über gleichzeitig große vertikal verlaufende Förderstrecken zu transportieren.

Sollte die maximal mögliche Förderstrecke eines Becherwerkförderstrangs, welche durch die entstehenden Belastungen aus dem Gesamtgewicht von Bechern, Gurt und Schüttgut begrenzt ist, nicht ausreichend sein, so besteht die Möglichkeit mehrere Becherwerke mit Zwischenstücken, z.B. einer Luftförderrinne, zu verbinden und in Reihe arbeiten zu lassen, so dass auch größere Höhenunterschiede überwunden werden können. Zwar werden auf diese Weise sehr große geodätische Höhen bewältigt, jedoch bringen die zusätzlichen Becherwerke, Zwischenstücke und Gerüste erhebliche Anlagenmehrkosten mit sich, so dass die bei einem einzelnen Becherwerk noch geringen Anlagenkosten schnell einen beachtlichen Umfang erreichen können. Weitere Kosten ergeben sich in jedem Fall durch den Stromverbrauch während des Betriebs, welcher sich durch die Leistungsaufnahme des Motors zum Bewegen der großen Gesamtmasse ergibt, und anfallenden Wartungs- sowie Reparaturarbeiten, die jedoch keinen größeren Rahmen übersteigen. Aufgrund des geringen Flächenbedarfs ist eine einfache Anlagenplanung bzw. eine einfache Integration in eine bereits bestehende Anlage gegeben und die geschlossene Bauweise des Fördersystems gewährleistet einen staubfreien Betrieb.

Nachteilig wirkt sich aus, dass mit Ausfallzeiten der Anlage zu rechnen ist, da beim Durchführen von notwendigen Wartungs- und Reparaturarbeiten das Fördersystem abgeschaltet werden muss und der Förderprozess zum Stillstand kommt. Abschließend lässt sich noch festhalten, dass eine Restentleerung der Anlage nur dann annähernd erreicht werden kann, wenn ein konstruktiver Mehraufwand betrieben wird, so dass heruntergefallenes Schüttgut größtenteils durch nachlaufende Becher aufgenommen wird.



Abb. 16: Becherwerk mit Wartungsbühne der Firma EMDE Industrie-Technik GmbH

6.1.3 Rohrgurtförderer

Funktionsbeschreibung:

Rohrgurtförderer gehören zu den mechanischen Stetigförderern und verwenden einen im Kreis geführten Gurt zum befördern des Schüttguts.

Hierbei wird das zu fördernde Schüttgut über eine Aufgabevorrichtung kontinuierlich auf den Gurt geleitet, welcher sich in Förderrichtung weiterbewegt. Der auf beweglichen Rollen gelagerte und von einer Antriebsstation angetriebene flexible Gurt wird nach kurzer Zeit hinter der Schüttgutaufgabevorrichtung durch geschickt angebrachte Rollen zu einem geschlossenen Rohr geformt und in dieser Anordnung über spezielle Tragrollenstationen die gesamte Förderstrecke gehalten. Sobald das Schüttgut am Ende der Förderanlage angekommen ist, öffnet sich das geschlossene Gurtrohr beim Durchlaufen der letzten Rollenstation selbstständig, übergibt das Schüttgut an die Abgabevorrichtung und der Gurt wird über die Umlenkrolle wieder zurückgeführt.

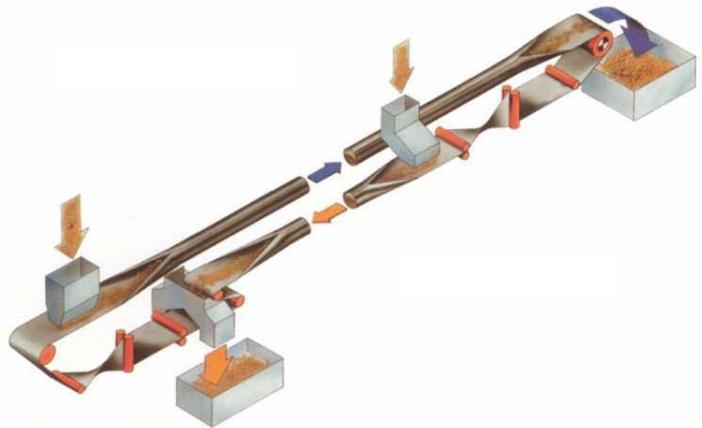


Abb. 17: Rohrgurtförderer-Prinzipschema der Firma FMW Industrieanlagenbau GmbH

Anwendbarkeit:

Die Schüttgutförderung mittels Rohrgurtförderern findet dort Anwendung wo sehr große Mengen Schüttgut (z.B. bis zu 6000t/h mit Rohrgurtförderern des Unternehmens BEUMER) zwischen weit entfernten Aufgabe- und Entnahmestationen, welche bis zu 10.000m voneinander entfernt liegen, gefördert werden müssen und eventuelle topographische Gegebenheiten eine Schüttgutförderung mit anderen Techniken nur bedingt zulassen würden.

Aufgrund der geschlossenen Bauweise, wodurch das Schüttgut vor äußeren Einflüssen geschützt wird und den sehr großen Entfernungen zwischen Schüttgutaufgabe- und -entnahmestation wird die Aufstellung der Fördereinrichtung immer im Freien stattfinden.

Handhabung:

Die Handhabung einer Förderanlage, welche sich dem Förderprinzip des Rohrgurtförderers bedient ist sehr simpel und komfortabel.

Die kontinuierliche Schüttgutaufgabe auf den ausgebreiteten Gurt kann z.B. über ein Silo mit Dosierschieber oder Zellradschleuse erfolgen und wegen der anschließenden Förderung in einem geschlossenen Rohr stellen sowohl horizontale und vertikale Kurven als auch größere Neigungen bis zu 30° kein Problem dar.

Zudem kann der Fördermengenstrom mit wenig technischem Aufwand über die Schüttgutaufgabevorrichtung, welche die Menge des abgegebenen Schüttguts z.B. über eine Zellradschleuse regelt, und die Vortriebgeschwindigkeit des Gurts gesteuert werden.



Abb. 18: Tragrollenstationen einer Rohrgurtförderanlage der Firma FMW Industrieanlagenbau GmbH

Wartungsanfälligkeit:

Da man sich beim Rohrgurtförderer eines sehr einfachen, jedoch höchst effizienten Förderfahrens bedient und weder technisch aufwendige noch bewegliche Einbauten, sieht man von den robusten und wenig beanspruchten Rollen ab, vorhanden sind, kann der Wartungs- und Reparaturaufwand bei gleichzeitig hoher Betriebssicherheit sehr niedrig gehalten werden.

Sollten wider Erwarten doch Wartungs- und/oder Reparaturarbeiten z.B. an dem elastischen und abriebfesten Gurt anfallen, sind diese gleichbedeutend mit Anlagenausfallzeiten, da der gesamte Förderstrang während der Arbeiten stillgelegt werden muss und somit kein Fördergut transportiert werden kann.

Anlagen- und Betriebskosten:

Anfangs lässt sich allgemein festhalten, dass sich die Anlagenkosten auf einem mittleren Niveau bewegen, während die Betriebskosten als sehr gering angesehen werden können.

Die Anlagenkosten fallen je nach Länge des Förderwegs entsprechend kleiner oder größer aus, weil sich anhand der Förderstrecke die Länge und Höhe der benötigten Gerüste ergibt und zusätzlich Tragrollenstationen und ein entsprechend der Förderstrecke langer Gurt benötigt werden.

Die geringen Betriebskosten ergeben sich aus den Stromkosten des ausschließlich zum Antreiben des Fördergurts benötigten Motors und der bereits beschriebene geringe Wartungs- und Reparaturaufwand verursacht demnach auch keine größeren Kosten.



**Abb. 19: Rohrgurtförderanlage der Firma FMW
Industrieanlagenbau GmbH**

Vor- und Nachteile:

Rohrgurtförderer bedienen sich eines sehr einfachen Förderprinzips, vergleichbar mit dem eines Fließbandes, und vermögen es mit diesem Prinzip riesige Schüttgutmassenströme über maximale Förderstrecken zu transportieren.

Die elastischen und abriebfesten Eigenschaften des Gurts erlauben es, dass der ebene Gurt mittels geschickter Anordnung von Tragrollenstationen zu einem Rohrgurt umgeformt wird. Auf diese Weise kann das Schüttgut staubfrei sowie vor äußeren Einflüssen geschützt über sehr weite Entfernungen transportiert und zudem die Umweltverschmutzung durch austretendes Schüttgut vermieden werden. Des Weiteren können wegen der dreidimensionalen Kurvengängigkeit des Rohrgurts für die Verhältnisse mechanischer Schüttgutförderer selbst enge Kurvenradien, steile Steigungen bis zu 30° und Abwärtspassagen gemeistert werden. Wegen dieser Eigenschaften kann das Fördersystem perfekt an topographisch schwierige Gegebenheiten, wie z.B. Berge oder Täler, angepasst und auch in bereits bestehende Anlagen ohne aufwändige Baumaßnahmen integriert werden.

Aufgrund des nahezu perfekten Anpassungsvermögens an die topographischen Gegebenheiten können beim Bau des Fördersystems die Erdbewegungsarbeiten minimiert und zusätzliche Übergabestellen vermieden werden, wodurch eine enorme Kostenersparnis erreicht wird.

Da in der gesamten Förderanlage keine technisch anspruchsvollen Komponenten verbaut werden, die wartungs-, reparatur- und verschleißanfällig wären, können die Belastungen innerhalb der Anlage gering gehalten werden, wodurch sich eine lange Lebensdauer ergibt. Wegen des einfachen mechanischen Förderprinzips ist keine aufwendige und kostenintensive Mess-, Regel- und Steuertechnik notwendig und Rohrgurtförderer benötigen zudem keine große Antriebsleistung,

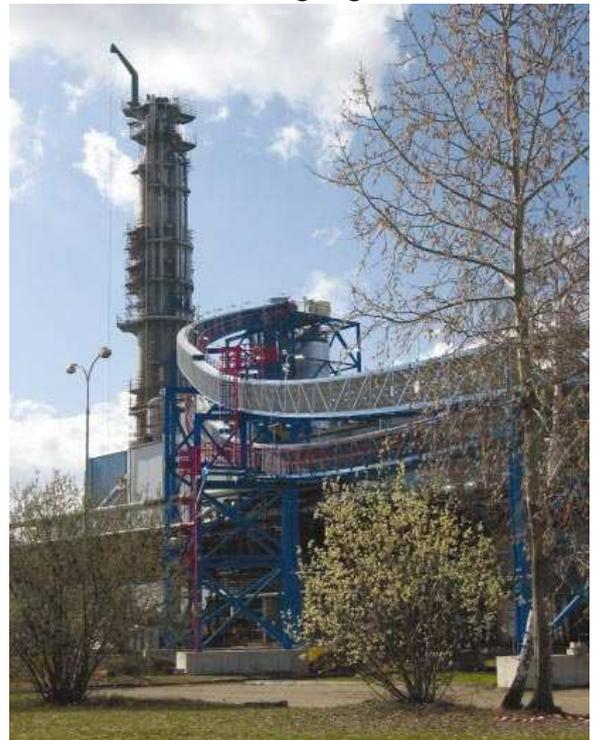


Abb. 20: Rohrgurtförderanlage der Firma FMW Industrieanlagenbau GmbH

wodurch sich geringe Betriebskosten ergeben. Im Gegensatz dazu entstehen jedoch entsprechend der Förderstreckenlänge mittlere bis größere Anlagenkosten, da sich die Gerüstbauten und die zahlreichen Tragrollenstationen kostenintensiv darstellen.

Sobald unter bestimmten Umständen doch Wartungs- oder Reparaturarbeiten nötig werden, müssen Ausfallzeiten in Kauf genommen werden, weil die Arbeiten nur bei Stillstand des Fördersystems durchgeführt werden können.

6.1.4 Rohrkettenförderer

Funktionsbeschreibung:

Rohrkettenförderer gehören innerhalb der mechanischen Fördersysteme zu den Stetigförderern, verwenden ein umlaufendes Zugmittel zur Förderung des Schüttguts und bestehen grundsätzlich aus einer Antriebs- sowie einer Spannstation, der Rohrförderleitung und einer umlaufenden Förderkette mit Transportscheiben.

Die Förderung mittels Rohrkettenförderer läuft so ab, dass zu Beginn das zu fördernde Schüttgut an einem Einlauf in die Förderrohrleitung gebracht wird. Im Folgenden wird das Schüttgut durch die an der angetriebenen Kette befestigten Transportscheiben in Förderrichtung mitbewegt und letztlich am Ende der Förderstrecke unterhalb der Antriebsstation am Auslauf wieder abgegeben.



Abb. 21: Rohrkettenförderer der Firma Schrage Rohrketten-system GmbH

Anwendbarkeit:

Die Schüttgutförderung unter der Verwendung eines Rohrkettenförderers findet dort Anwendung wo mittlere Mengen Schüttgut (z.B. bis zu 96t/h mit Rohrkettenförderern des Unternehmens SCHRAGE) über Förderstrecken von bis zu 60m horizontal bzw. 40m vertikal gefördert werden müssen.

Handhabung:

Eine Förderanlage, die sich eines Rohrkettenförderers als Fördermittel bedient, lässt sich sehr komfortabel handhaben. Die einfache Handhabung ergibt sich zum einen aus der variablen Bauform des Rohrkettenförderers, die sowohl horizontale als auch vertikale und selbst eine Kombination aus horizontaler und vertikaler Förderung erlaubt. Zum anderen ergibt sie sich aus dem technisch einfach realisierbaren und geringen Regel- und Steuer- aufwand, da zum Einstellen des Schüttgutmassenstroms lediglich die Kettenantriebsgeschwindigkeit bzw. Schüttgutzufuhr geregelt werden muss.



**Abb. 22: Rohrkettenfördersystem der Firma Schrage
Rohrkettensystem GmbH**

Wartungsanfälligkeit:

Aufgrund des einfachen Förderprozesses, welcher ohne technisch aufwendige Einbauten auskommt und nur geringen Regel- und Steueraufwand benötigt, sind größere Wartungs- und Reparaturarbeiten nicht zu erwarten. Lediglich die ausreichende Kettenspannung und eventuellem Verschleiß ausgesetzte Teile wie z.B.

die Transportscheiben sollten in geregelten Abständen über die angeordneten Wartungsöffnungen kontrolliert und bei Bedarf repariert oder ausgetauscht werden.

Anlagen- und Betriebskosten:

Bei dieser Fördertechnik ergeben sich aufgrund der verwendeten technisch einfachen Bauteile in Verbindung mit dem komfortablen Förderprinzip, welches mit wenig Aufwand einfach automatisiert werden kann, sehr geringe Anlagenkosten und auch die Betriebskosten, die sich ausschließlich aus der Leistungsaufnahme der Kettenantriebsstation und eventuell auszutauschenden Transportscheiben zusammensetzen, sind äußerst gering.

Vor- und Nachteile:

Zu Beginn müssen die sich nachteilig auswirkenden Eigenschaften des Rohrkettenförderers genannt werden, die sich zu mittleren förderbaren Schüttgutmassenströmen sowie geringen überbrückbaren Förderstrecken in horizontaler bzw. vertikaler Richtung ergeben. Sollte es ferner dazu kommen, dass sich während der Förderung gröbere Partikelzusammenschlüsse bilden, so behindern diese den weiteren Fördervorgang. Die Behinderung entsteht dadurch, dass die Transportscheiben sehr instabil auf der Kette befestigt sind, damit enge Radien durchlaufen werden können, so dass die Transportscheiben beim Auftreten eines größeren Widerstandes einfach nachgeben und kein Schüttgut gefördert wird. Neben diesen Nachteilen stehen jedoch auch einige Vorteile bei der Verwendung dieses Verfahrens zur Verfügung.

Mit einem Rohrkettenförderer ist es möglich, jegliche Art von Förderstrecke zu überwinden, unabhängig davon, ob diese dabei horizontal, vertikal oder in einer Kombination dieser Richtungen verläuft. Auf diese Weise kann das Fördersystem daher in beinahe alle Anlageräume integriert werden, so dass sich die dreidimensionale Ausrichtung der Förderstrecke in Verbindung mit den verschiedenen je nach Bedarf auswählbaren Durchmessern der Förderrohrleitung ausgezeichnet an alle Gegebenheiten der Förderanlage anpassen lässt. Aufgrund der verwendeten Rohre als Förderleitung findet die Schüttgutförderung staubfrei statt, so dass die Umwelt und Anlageräume von Verschmutzungen verschont bleiben und kein Schüttgut verloren geht. Des Weiteren ist das gesamte Fördersystem eines Rohrkettenförderers sehr platzsparend und kostengünstig, was sowohl durch die geringen Anlagenkosten wegen der einfachen Anlagenteile als auch die Betriebskosten aufgrund des niedrigen Energiebedarfs begründet werden kann.

Letztlich führen das Fehlen von technisch aufwendigen Einbauten, die sehr niedrige Fördergeschwindigkeit in Verbindung mit den hohen Standzeiten und der geringe notwendige Aufwand für Regel- und Steuertechnik zu minimalen Wartungs- und Reparaturarbeiten, so dass der Fördervorgang voraussichtlich keinen größeren Unterbrechungen unterworfen wird.



Abb. 23: Rohrkettenfördersystem der Firma Schrage Rohrketten-system GmbH

6.2 Paarweiser Vergleich von Förderprozessen mit ähnlichen Eigenschaften

Im nun folgenden Abschnitt werden die zuvor beschriebenen Fördersysteme anderer Unternehmen jeweils ähnlichen Fördersystemen des Unternehmens IBAU Hamburg tabellarisch gegenübergestellt und mit diesen verglichen. Diese Betrachtung und Bewertung der Förderprozesse dient der Schaffung einer größeren Transparenz bezüglich der bei IBAU Hamburg verwendeten Fördertechniken. Auf diese Weise können letztlich eine Beurteilung der Konkurrenzfähigkeit durchgeführt und des Weiteren ein Ausbau des Förderprozesstechniksortiments sowie mögliche Optimierungsmethoden der Förderprozesstechniken bewertet werden.

6.2.1 Tabelle zu „Paarweiser Vergleich von Förderprozessen mit ähnlichen Eigenschaften“

7. Beurteilung, Erweiterung und Optimierung der Förderprozesstechniken

7.1 Beurteilung der bei IBAU Hamburg verwendeten Förderprozesstechniken

Das Unternehmen IBAU Hamburg hat sich im Laufe des Bestehens seit 1975 auf die Förderung von Schüttgütern der Steine- und Erdenindustrie mittels pneumatischen Fördersystemen spezialisiert.

Die Spezialisierung auf pneumatische Fördersysteme stellt sich so dar, dass Schüttgüter unter Verwendung unterschiedlicher Fördersysteme längs verschiedenster Förderwege, seien sie horizontal, vertikal oder auch schräg geneigt angeordnet, transportiert werden können und für die geförderten Schüttgutmengen, seien sie verhältnismäßig klein oder groß, jeweils das geeignete Fördersystem vorhanden ist und ausgewählt werden kann.

Anfangen mit einfachen Fördersystemen ohne großen technischen sowie Mess-, Steuer- und Regelaufwand wie z.B. einem Düsenförderer, mit dem kleine Mengen Schüttgut über variabel gestaltbare, kurze Strecken in Förderrohrleitungen transportiert werden können, reicht die Auswahl an Fördersystemen mit ansteigender förderbarer Schüttgutmenge bzw. überbrückbarer Förderstrecke über Niederdruckförderung, Schneckenpumpe, Airlift, F-Pipe, Rinnenförderung bis hin zur Druckgefäßförderung, die eines größeren Einsatzes an technisch aufwendigen Bauteilen und ebenfalls eines höheren Mess-, Steuer- und Regelaufwandes bedarf, um die Förderung der größeren Schüttgutmengen über sehr große Abstände von Schüttgutaufgabe- und Schüttgutentnahmestation gewährleisten zu können.

Die Gesamtheit der auswählbaren Förderprozesse wurde ausnahmslos so geplant und konstruiert, dass größtmögliche Leistung und Förderkomfort bei gleichzeitig größtmöglichem Verzicht auf technischen Aufwand erreicht werden, so dass sich dieses Prinzip auch im Betreiben und Verhalten der Förderanlagen widerspiegelt, gleichwohl eine pneumatische Förderanlage z.B. im Vergleich zu einer mechanischen Förderanlage einen durchaus komplizierteren Fördervorgang aufweist.

Durch das Vermeiden einer Vielzahl technischer Bauteile innerhalb der einzelnen

Fördersysteme werden die Förderprozesse so einfach wie möglich gehalten, wodurch sich wiederum die vorteilhaften Eigenschaften eines relativ geringen Verschleißes in Verbindung mit einer minimierten Wartungs- und Reparaturanfälligkeit sowie Ausfallwahrscheinlichkeit ergeben und zugleich stabile Förderprozesse gewährleistet werden.

Abschließend lässt sich somit festhalten, dass das Unternehmen IBAU Hamburg mit der großen Bandbreite unterschiedlicher Fördersysteme im Bereich der pneumatischen Förderanlagen sehr gut aufgestellt ist und sowohl national als auch international stark konkurrenzfähig ist, was nicht zuletzt durch die bereits erbrachten Leistungen und die aktuellen Auftragsbestände belegt werden kann.

7.2 Möglichkeiten und Auswirkungen einer Erweiterung der Förderprozesstechnikauswahl

Wie im Abschnitt 5 „Recherche zu weiteren Förderprozesstechniken der Förderindustrie“ erläutert wurde, gestaltet sich die Übernahme weiterer Förderprozesse, die noch keine Anwendung zum Transport von Zement gefunden haben, schwierig, da viele Verfahren entweder von IBAU Hamburg selbst bzw. bereits von einem anderen Unternehmen in der Zementindustrie eingesetzt werden oder nicht für die Verwendung in eben diesem Industriezweig geeignet sind. Infolgedessen wurde eine Auswahl von mechanischen Förderprozessen dargestellt und vergleichbaren pneumatischen Fördersystemen von IBAU Hamburg gegenübergestellt, so dass abschließende Möglichkeiten und Auswirkungen einer Erweiterung der Förderprozesstechnikauswahl sowie die Vorzüge von unterschiedlichen Optimierungsansätzen aufgezeigt werden sollen.

An erster Stelle sollte festgehalten werden, dass auch wenn bei IBAU Hamburg mit den verwendeten Förderprozessen eine durchgängig solide Balance zwischen Aufwand und Leistung geschaffen wird die Förderprozesse im Bezug auf Anlagen- und Betriebskosten sowie Leistungsgrenzen den mechanischen Fördersystemen meist

deutlich unterlegen sind.

Mittels mechanischer Fördersysteme, bei denen meist das Fördermittel angetrieben und durch dessen Bewegung das Schüttgut gefördert wird, können unter der Verwendung einfachster Förderprinzipien sehr große Schüttgutmassenströme über ebenfalls sehr große Achsabstände von Schüttgutaufgabe- und Schüttgutentnahmestation gefördert werden.

Die bei der Förderung mit mechanischen Fördersystemen entstehenden Anlagenkosten sind sehr viel geringer als bei vergleichbaren pneumatischen Förderanlagen, weil die Fördersysteme in ihrer konstruktiven Gestaltung und der daraus hervorgehenden Handhabung sehr viel einfacher aufgestellt sind. Gleichzeitig ergeben sich auch deutlich geringere Betriebskosten, sofern die anfallenden Kosten für Wartungs- und Reparaturarbeiten, welche bei mechanischen Fördersystemen aufgrund der erhöhten Reibung und des größeren Verschleißes vermehrt auftreten können, keinen allzu großen Rahmen übersteigen, weil der bei pneumatischer Förderung anfallende Stromverbrauch, welcher heutzutage durchschnittlich die Hälfte der Gesamtbetriebskosten darstellt, deutlich höher als bei den mechanischen Förderprozessen ist.

Zwar verfügen auch die pneumatischen Fördersysteme über zahlreiche vorteilhafte Eigenschaften, die sich zusammengefasst als raumsparend und anpassungsfähig, wartungsarm, einfach automatisierbar, umweltschonend und leistungsstark charakterisieren lassen, jedoch kommt aufgrund der annähernd durchweg stärkeren Ausprägung dieser und zusätzlicher Vorteile bei den mechanischen Fördersystemen, wie im Abschnitt 6.2.1 Tabelle zu „Paarweiser Vergleich von Förderprozessen mit ähnlichen Eigenschaften“ dargestellt, der Gedanke auf, sich ebenfalls in diesem Bereich der Schüttgutförderung aufzustellen und Förderanlagen, die dieses Förderprinzip verwenden, anzubieten.

Folglich muss eine Analyse durchgeführt werden, um abschätzen zu können, ob eine Erweiterung der Förderprozessauswahl in einer wirtschaftlichen Verbesserung resultieren würde oder es sich im Gegenteil kontraproduktiv auswirken könnte, wenn eine zu breite Produktpalette angeboten wird.

Durch die Beschränkung auf pneumatische Fördersysteme wurde seit Bestehen des Unternehmens eine Spezialisierung in diesem Sektor vorangetrieben, indem alle zur Verfügung stehenden Ressourcen auf diesen Bereich hin ausgerichtet wurden und somit innerbetrieblich keinerlei Ablenkung durch andere Bereiche, wie z.B. der mechanischen Fördersysteme, erfolgen konnte. Bedingt durch diese Spezialisierung konnte die Arbeitsteilung optimal organisiert werden und einzelnen Abteilungen bestimmte Aufgabenbereiche zugewiesen werden, die letztendlich in ihrer Gesamtheit zur Planung und Fertigung einer pneumatischen Förderanlage führen, so dass eine Steigerung der Produktivität erreicht wurde. Hätte man sich seit Bestehen des Unternehmens ebenfalls noch im Bereich der mechanischen Fördersysteme aufgestellt, wären die vorhandenen Ressourcen nicht mehr gebündelt für die Entwicklung und Ausführung pneumatischer Förderanlagen verwendet worden, welche letzten Endes zu der heutigen Positionierung von IBAU Hamburg im Markt für Anlagen der Steine- und Erdenindustrie geführt haben.

Im Hinblick auf die gegenwärtige Etablierung und Stabilität des Unternehmens könnte nun jedoch eine Erweiterung der Förderprozessauswahl durch eine der beiden folgenden Möglichkeiten in Betracht gezogen werden:

1. Selbstständige Erweiterung der Förderprozessauswahl durch Hinzuziehen von eigenen mechanischen Fördersystemen.
2. Erweiterung der Förderprozessauswahl durch eine feste Kooperation mit einem klein- bis mittelständigen Unternehmen, welches auf die Konstruktion und Erstellung von mechanischen Fördersystemen spezialisiert ist.

Die erste Variante eines Ausbaus der Förderprozessauswahl, bei der die Angebotspalette der Fördertechniken um mechanische Fördersysteme erweitert wird, ohne dass andere Unternehmen hinzugezogen werden, muss unumgänglich zu einem gleichzeitigen Ausbau der zur Verfügung stehenden Ressourcen, d.h. zu einer Mehranstellung von Mitarbeitern, führen, damit die bereits bestehenden Unternehmensbereiche und deren Abteilungen keiner Schwächung ihrer

Spezialisierungen unterliegen. Durch diese Erweiterung können nahezu alle Anforderungen seitens des Auftraggebers im Bezug auf die Ausführung der Förderanlage erfüllt werden, egal ob pneumatische, mechanische oder auch eine Kombination dieser Förderprinzipien zur optimalen Auslegung der Förderanlage verwendet werden. Dieser zusätzliche Aufwand von Ressourcen und damit verbundene Mehrkosten führen dann im Idealfall zu einer erhöhten Auftragsgewinnung und somit zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens.

Eine zweite Variante die Förderprozessauswahl zu erweitern kann durch eine feste Kooperation mit einem klein- bis mittelständigen Unternehmen, welches auf die Konstruktion und Aufstellung von mechanischen Fördersystemen spezialisiert ist, erreicht werden. Auf diese Weise kann die Angebotspalette indirekt vergrößert und das Unternehmen IBAU Hamburg somit breiter auf dem Markt aufgestellt werden, ohne dass die eigenen Ressourcen überlastet bzw. durch Mehranstellungen vergrößert werden müssen und dennoch können nahezu alle Ansprüche des Auftraggebers bezüglich der Anlagengestaltung erfüllt werden. Ein solches Modell der Förderprozessenerweiterung ist auf der einen Seite zwar sicherer, da keine innerbetrieblichen Strukturen verändert bzw. ausgebaut werden müssen, jedoch ist auch eine enge Zusammenarbeit mit einem anderen Unternehmen nicht ohne jedes Risiko und das wirtschaftliche Wachstum fällt bei weitem geringer aus als bei der zuvor dargestellten Erweiterungsmethode.

7.3 Möglichkeiten der Optimierung von Förderprozessen

Unabhängig von der Entscheidung für oder gegen eine Erweiterung der eigenen Förderprozessauswahl stellt die immer weiterführende Optimierung von bestehenden Förderprozessen eine ausgezeichnete Methode dar, um die Effizienz und damit verbunden die Attraktivität der Förderprozesse zu steigern. Folgende Optimierungsmethoden sollen daher im nachstehenden Abschnitt erläutert und bewertet werden:

- technologische Bauteiloptimierung
- energieeffizienterer Anlagenbetrieb
- Einbeziehen erneuerbarer Energien

Neben der konstruktiven Weiterentwicklung von Anlagenbauteilen, welche bereits sehr ausgereift ist und zusätzlich an Kundenwünsche sowie die spezifischen Anforderungen der Anlage angepasst wird, sollte im besonderen Maße auch die technologische Optimierung von verwendeten Bauteilen Beachtung finden. So führen die Kombination von optimierter konstruktiver Gestaltung der Förderanlagen und die Nutzung neuer technologischer Entwicklungen bei metallischen Bauteilen zu einer erleichterten Förderung, die letztlich in einem deutlich wirtschaftlicheren Betrieb des Förderprozesses resultiert.

Eine Möglichkeit, technologische Neuentwicklungen zur Förderprozessoptimierung anzuwenden, stellen Oberflächenbehandlungen von metallischen Bauteilen dar, unabhängig ob es sich dabei um eine Förderrinne, Förderrohrleitung oder andere Fördereinrichtung handelt. Beispielsweise können mittels Oberflächenbehandlung strukturierte Hartchromschichten geschaffen werden, welche durch ihre optimierten Werkstoffeigenschaften die Reibwirkung zwischen Schüttgut und Förderleitungswand deutlich verringern und zugleich die Temperaturbeständigkeit sowie den Widerstand gegen Verschleiß erhöhen. Zwar verursacht die Oberflächenbehandlung einen größeren Kostenaufwand im Verlauf der Fertigung, jedoch werden die Betriebskosten aufgrund der geschaffenen neuen Materialeigenschaften deutlich verringert und gleichzeitig

verkürzt sich dadurch die Amortisationszeit der Anlage um ein Vielfaches. Die geringeren Betriebskosten ergeben sich dabei hauptsächlich aus der reduzierten Reibwirkung innerhalb der Förderleitung, da diese eine Senkung des benötigten Drucks zur Folge hat, so dass weniger Leistung aufgenommen werden muss. Des Weiteren führt der verringerte Verschleiß der Fördereinrichtungen dazu, dass die Wartungs- und Reparaturanfälligkeit minimiert und auf diese Weise die Betriebskosten zusätzlich herabgesetzt werden. Der benötigte geringere Druck resultiert ebenfalls in einer Reduzierung der Anlagenkosten, da die Lufterzeuger kleiner bzw. in ihrer Anzahl geringer und damit kostengünstiger dimensioniert werden können. Zusätzlich können wegen der größeren Temperaturbeständigkeit Schüttgüter mit deutlich höheren Temperaturen gefördert werden, so dass ursprünglich zwischengeschaltete Kühlvorgänge nicht mehr notwendig sind und weitere Anlagenkosten gespart werden können.

Auf diese und andere Arten der innovativen, technologischen Prozessoptimierung sollte neben der konstruktiven Entwicklung von Anlagenbauteilen vertraut werden, da sie, wie beschrieben, die Anlagen- und Betriebskosten wirksam senken können und somit zu einer kürzeren Amortisationszeit führen, so dass die Förderanlage schneller Gewinn erwirtschaften und gleichzeitig die Umwelt durch eine geringere Stromproduktion geschont werden kann.

Eine zweite Methode, die Optimierung der Förderprozesse voranzutreiben, welche aber keineswegs die gleichzeitige Verwendung der zuvor beschriebenen technologischen Bauteiloptimierung ausschließt, ist eine energieeffiziente Anlagenbetriebsführung. Hierbei werden hauptsächlich energieeffizientere Anlagenbauteile, z.B. neue Generationen von leistungsstarken Eco-Antriebsmotoren und aufwendigere Steuer- und Regeltechnik verwendet, wobei besonders die Kombination dieser beiden Anwendungen eine effektive Optimierung zur Folge hat und die Stromkosten um den Bereich zwischen 30% und 50% gesenkt werden können.

Während diese Optimierungsmethode hauptsächlich bei mechanischen Fördersystemen angewendet wird, da bei diesen das Fördermittel selbst zur Regulierung der Fördermenge verwendet werden kann, ist auch bei pneumatischen

Förderverfahren, welche mittels einer Zellradschleuse die Schüttgutregelung vollziehen, diese Art der Optimierung möglich.

Das große Einsparpotential entsteht dabei durch die Wahl eines den Leistungsanforderungen gerechten, drehzahlregulierten Antriebsmotors mit Frequenzumrichter, der über eine annähernd verlustfreie Drehzahl- und Drehmomentenregelung verfügt. Auf diese Weise kann die erbrachte Leistung des Motors und damit der Stromverbrauch der im jeweiligen Anlagenbetriebspunkt wirklich benötigten Leistung anpasst werden, so dass ein kostenintensiver Leistungsüberschuss vermieden wird. Zusätzlich kann der Antriebsmotor durch den lastbezogenen Betrieb geschont werden, weil die thermische Belastung auf ein Minimum reduziert und somit gleichzeitig die Lebensdauer des Motors verlängert wird. Im Fall der Anwendung bei einer pneumatischen Förderung mit Zellradschleuse wird zudem die bestehende Lücke bezüglich des Wirkungsgrades im Vergleich von mechanischen zu pneumatischen Fördersystemen weiter geschlossen. Diese Lücke besteht, weil der Wirkungsgrad pneumatischer Fördersysteme deutlich schlechter als der mechanischer Fördersysteme ist, da der Antriebsmotor erst einen Lufterzeuger antreiben muss, um das Fördermittel zu erzeugen, anstatt das Fördermittel wie bei den mechanischen Fördersystemen direkt anzutreiben. Des Weiteren ist es mit besonderen Umrichtern gar möglich, beim Bremsvorgang entstehende Energie wieder ins Netz zurückzuführen, wodurch elektrische Energie eingespart wird und außerdem kein zusätzlicher Kühlaufwand betrieben werden muss.

Ein gleichzeitig erhöhter Steuer- und Regeltechnikaufwand steigert ebenfalls die Stromkosteneinsparung, da die Leistungsaufnahme zum Antreiben des Fördermittels an den jeweiligen Materialfluss angepasst und entstehende Kosten minimiert werden.

Zwar entstehen durch diese Optimierungsmethoden anfänglich höhere Anlagenbeschaffungskosten, jedoch können diese hingenommen werden, weil die erheblichen Stromkosteneinsparungen zu verringerten Betriebskosten führen, so dass sich die Förderanlage in deutlich verkürzter Zeit amortisiert.

Zum Schluss soll noch auf die Möglichkeiten und Vorteile einer Einbeziehung erneuerbarer Energien in die Förderprozesskette hingewiesen werden. Dies lässt sich

z.B. durch eine Kooperation mit einem kleinen bis mittelständigen Unternehmen aus der Solar- und/oder Windenergiebranche realisieren, so dass bei Angebotserstellung die Möglichkeiten der zusätzlichen Installation von eben diesen Systemen aufgezeigt und optional angeboten werden.

Die Integration von Technologien erneuerbarer Energien, z.B. mittels Solar- oder Windkraftanlagen, hat beim Betreiben von Anlagen wie z.B. Zementherstellungsanlagen sehr große Vorteile, welche nicht alle rein wirtschaftlicher Natur sind. Betrachtet man die Gesamtbetriebskosten, an denen, wie bereits beschrieben, der Stromverbrauch den größten Anteil hat, so können mit erwähnten Anlagen die Betriebskosten drastisch gesenkt werden, weil die leistungsintensiven Motoren, unabhängig ob zur Lufterzeugung oder zum direkten Antrieb von Ketten oder Bändern verwendet, nicht mit zugekauftem Strom betrieben werden müssen. Auf diese Weise kann die Amortisationszeit der Förderanlage trotz der größeren Anlagenkosten, verursacht durch die zusätzlich benötigten Windkraft- bzw. Solarsysteme, deutlich verringert werden.

Da eine Vielzahl von Zementwerken in küstennahen und/oder sonnenreichen Regionen errichtet wurden bzw. werden, hierbei sind besonders die intensiv Zement herstellenden Länder wie China, Indien und die USA zu nennen, sind die dort vorherrschenden Gegebenheiten sehr gut für den Einsatz von Windkraft- und/oder Solaranlagen geeignet.

Mit dem Hintergrund, dass im Bereich der gezielten Kombination von industriellen Produktionsprozessen und erneuerbarer Energiegewinnung noch keine größeren Anlagen konzipiert und gebaut wurden, würde hier Pionierarbeit geleistet und die öffentliche Wahrnehmung des Unternehmens damit im großen Maße ausgebaut werden. Dabei führt ein solches Engagement mit dem Beitrag zur Schaffung von Regenerationsphasen für primäre Energieträger und dem Schutz der Umwelt durch die Senkung der CO₂-Emissionen zu einer Stärkung der positiven Außendarstellung. Des Weiteren würde dieses Engagement nicht nur gesellschaftliche Anerkennung finden, sondern könnte mit dem heutzutage gesteigerten Umweltbewusstsein gepaart mit der wirtschaftlicheren Produktion zu größeren Auftragsbeständen und einer gesteigerten Wirtschaftlichkeit führen.

8. Fazit

Abschließend lässt sich festhalten, dass es selbst für ein Unternehmen wie IBAU Hamburg, welches mit einer breiten Palette pneumatischer Fördersysteme sehr gut auf dem Markt für Fördertechnik der Steine- und Erdenindustrie aufgestellt ist, durchaus weitere Vorteile mit sich bringen kann die bestehende Förderprozessauswahl mittels einer der beschriebenen Erweiterungsmöglichkeiten auszubauen, auch wenn sich dieser Ausbau dabei auf mechanische Fördertechniken beschränkt. Des Weiteren bieten die genannten und andere Optimierungsmethoden einen sehr guten Ansatz die eigenen Fördersysteme noch attraktiver zu gestalten und sollten daher immer in Betracht gezogen werden, um auch weiterhin im gleichen Maße konkurrenzfähig zu bleiben.

Quellenverzeichnis

Beim Verfassen der Bachelorthesis wurde darauf geachtet keine zusammenhängenden Textpassagen aus Büchern, Betriebsanleitungen, Internetseiten etc. im Original zu übernehmen, so dass die im Folgenden aufgeführten Quellenangaben zwar als inhaltliche Grundlagen der Ausarbeitungen dienten, der Inhalt der Bachelorthesis jedoch in eigenen Worten ausgeführt und nur einzelne unveränderte Zitate mit einem Vermerk in der Fußnote versehen wurden.

Literatur:

IBAU Hamburg / Originalbetriebsanleitungen pneumatischer Fördersysteme
Martin, Heinrich; Römisch, Peter; Weidlich, Andreas / Materialflusstechnik (2004)
Scheffler, Prof. Dr.-Ing. habil. Martin / Einführung in die Fördertechnik (1972)
Siegel, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang / Pneumatische Förderung (1991)
Weber, Dr.-Ing. Manfred / Strömungsfördertechnik (1974)
Zillich, Prof. Dipl.-Ing. Erich / Fördertechnik für Studium und Praxis Band 3 (1973)

Internetseiten:

www.aumund.de/aumund/german/index_aft.htm
www.bdzement.de/228.html
www.bdzement.de/766.html
www.bechtel-wuppertal.de/produkten/elevatoren/
www.beumer.de/de/produkte/foerderanlagen/
www.emde.de/schuettgut/mechanisch-foerdern/
www.fmw.co.at/Produkte/Papier-Zellstoff/Allgemeine-Foerdertechnik
www.goema.net/html/fordertechnik.html
www.hess-foerdertechnik.de/de/produkte/foerdertechnik/
www.ibauhamburg.de
www.loibl-foerdertechnik.de/index.php?lg=de&css=1&mid=303&art=4&subs=11.0000
www.romberger.de/produkte.html
www.rudnick-enners.de/de/frame/produkte/foerderer.html
www.schenckprocess.com/de/produkte/produktfinder.php?ID=469:969:0
www.schmidt-seeger.com/de/produkte/foerdertechnik.html
www.schrage.de
www.topocrom.com
www.wamgroup.com