

Vortrag Mannesmann-Dematic

Bad Lippspringe, 09. Juni 1999

„Automatisierte Prozesse in der Schüttgutförderung“

Dipl.-Ing. Johannes Fottner

Dipl.-Ing. Wolfgang Handrich

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik

Technische Universität München

Folie 1: Titel

Der folgende Beitrag steht unter der Überschrift „Automatisierte Prozesse in der Schüttgutförderung“. Wir wollen Sie darin kurz mit dem Themengebiet des Schüttguttransports mit Stetigförderern und unserer Forschungsarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik der Technischen Universität München, kurz fml, bekanntmachen. Dabei steht zunehmend der Anspruch auf einen hohen Automatisierungsgrad der Anlagen im Vordergrund.

Um einen sinnvollen automatisierten Betrieb erreichen zu können, muß man das Verhalten der Anlagen gut kennen und um Steuerungsstrategien aufstellen zu können, müssen die Einflußfaktoren auf das Betriebsverhalten der Geräte geklärt werden. Nur so ist ein zielgerichtetes Vorgehen und eine praxistaugliche Automatisierung bei Stetigförderern möglich.

Folie 2: Bereiche der Schüttgutfördertechnik

Die Bereiche der Schüttgutfördertechnik finden sich in sämtlichen Arbeitsschritten beim Umgang mit Schüttgütern wieder:

- Es gibt die Gewinnungstechnik, mit ihren Schaufelradgeräten als Beispiel,
- die Umschlagtechnik, mit Be- und Entladeanlagen,
- die Aufbereitungstechnik, mit Brechern und Mühlen,
- die Prozeßtechnik, mit Geräten zum Dosieren oder zum Mischen, um nur diese zu nennen
- und schließlich die Lagerplatz- und Haldentechnik
- Ganz übergreifend ist noch der Bereich der Fördertechnik zu nennen, wo Geräte zum reinen Fördern von Schüttgütern einzuordnen sind, z. B. Becherwerke bei der Silobefüllung.

In einigen dieser Bereiche sind komplexe Anlagen enormer geometrischer Abmessungen im Einsatz, die größte Massenströme zu fördern vermögen, in

anderen ist die Zielsetzung kleinste Mengen zu dosieren oder zu verarbeiten. Ein Teil dieser Anwendungen ist heute bereits vollautomatisiert, als Beispiel sei hier ein großer Teil der Lagerplatztechnik genannt, während in anderen Bereichen, z. B. in der Umschlagtechnik, die Steuerung noch hauptsächlich durch den Bediener manuell geschieht.

Zur Veranschaulichung möchte ich Ihnen an dieser Stelle einige Beispiele, die der eine oder andere von Ihnen vielleicht schon in seinem beruflichen Alltag betrieben oder besichtigt hat, vorführen.

Folie 3: Lager- und Haldentechnik: Vollportalkrater

In der Halden- und Lagerplatztechnik kommen außer den bekannten Greiferkränen auch häufig Vollportalkrater zum Einsatz. Diese Anlage ist ausgelegt für einen Massenstrom von bis zu 800 t Bauxit pro Stunde. Die Halde ist dabei 50 m breit und 19 m hoch und wird vom Abbaukrater vollkommen überspannt.

Folie 4: Gewinnungstechnik: Schaufelradbagger

Die zur Gewinnung von Rohstoffen im großen Stil eingesetzten Schaufelradbagger sind wohl jedem von Ihnen ein Begriff. Die größten dieser Geräte werden im Braunkohlentagebau eingesetzt und erreichen bis zu 240.000 m³ tägliche Förderleistung.

Folie 5: Innerbetriebliche Fördertechnik: Rollgurtförderer

Rollgurtförderer, wie sie das nächste Bild zeigt, werden sowohl inner- wie außerbetrieblich zum Transport von Schüttgütern eingesetzt. Sie sind kurvengängig und können in alle Raumrichtungen eingesetzt werden.

Folie 6: Umschlagtechnik: Schiffsbelader/Schiffsentlader

Ein Bereich, der in seinem Einsatz besondere Anforderungen an den Operator stellt, ist die Umschlagtechnik. Im Hafenbereich werden Jahr für Jahr unvorstellbare Mengen von Schüttgütern umgeschlagen. Dabei kann es sich um Futter- oder Düngemittel, um Kohle oder Zement, um Getreide oder Eisenerz handeln. Während das Beladen eines Schiffes noch vergleichsweise einfach geschieht, was man bei stark staubenden Schüttgütern auch wieder einschränken muß, ist das Entladen eines Schiffes, gerade bei Häfen mit schlechter Infrastruktur, teilweise sehr kompliziert.

Nimmt man den Bereich der stationären Geräte aus, so wird man meist auf Geräte stoßen, die auf Schienen verfahren. Man kann so schnell erkennen, daß alleine schon beim Aufbau deutliche Ähnlichkeiten mit Kranen bestehen. Denkt man diesen Weg noch einen Schritt weiter, so wird ersichtlich, daß die Grundstruktur, das Tragwerk, stets eine Art verfahrbares Portal, ein Kran, ist; damit wiederum wird es auch klar, inwieweit sich die Problematik des Automatisierens zwischen Kran und verfahrbaren Umschlaganlagen zum Beispiel analog verhält.

Im Verlauf dieses Vortrages werden wir näher auf den Bereich der Umschlagtechnik eingehen, da unser Untersuchungsgebiet auf diese Thematik fokussiert ist. Die dabei erzielten Erkenntnisse hinsichtlich Schüttgutverhalten, Automatisierungsmöglichkeiten und Steuerungsgrundlagen sind jedoch meist analog auf andere Gebiete und Gerätschaften übertragbar.

Um Anlagen dieser Baugröße sinnvoll zu betreiben, müssen sie in ihrem Aufbau optimiert, im Zusammenspiel ihrer Komponenten abgestimmt und in ihrer Betriebsweise auf den bestmöglichen Betriebspunkt gesteuert betrieben werden.

Um das möglich zu machen, müssen die Geräte selbst umfassend untersucht und verbessert werden.

Folie 7: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik

Grundlagenforschung dieser Art führt unser Lehrstuhl, der Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik, seit vielen Jahren durch.

Der Lehrstuhl ist gegliedert in die Arbeitsgebiete Logistik, Materialflußtechnik und Fördertechnik, wie der Name bereits aussagt.

Wir beschäftigen uns im Bereich der **Logistik** mit der Planung von gesamten Materialflußsystemen und entwickeln Werkzeuge für diese Planung, z. B. mit Hilfe dynamischer Simulation von Materialflußsystemen.

Der Bereich der **Materialflußtechnik** beschäftigt sich mit Anlagen innerhalb von Materialflußsystemen und deren Berechnung und Planung.

Unter dem Begriff **Fördertechnik** wiederum werden an unserem Lehrstuhl die gerätetechnischen Einzelkomponenten untersucht.

Quer durch die Arbeitsgebiete sind drei übergeordnete Betätigungsfelder für die Forschungsarbeit prägend:

- Erforschung neuartiger Berechnungsmethoden
- Entwicklung von Methoden und rechnergestützten Werkzeugen der Planung
- Weiterentwicklung technischer Systeme

Die einzelne Projektbearbeitung erfolgt in enger Kooperation mit Industrieunternehmen in den Arbeitsgruppen:

- Kranbau
- Materialfluß und Logistik
- Seilbahntechnik
- und Schüttgutförderung

Die für Sie sicherlich interessantesten Projekte liegen im Bereich der Schüttgutförderung und der Kranautomatisierung.

Folie 8: Kranautomatisierungen am Lehrstuhl fml

Mit dem Umzug der Maschinenbauakultät an den Standort Garching im März 1997 wurde ein Demag 10t-Standard-Laufkran – ausgestattet mit Lastpendeldämpfung und geregelten Antrieben – angeschafft. Im Zusammenhang mit unserer Forschungsarbeit rüsten wir diesen für den halbautomatischen und vollautomatischen Betrieb nach.

Innerhalb des Projektes MATVAR – Materialflußsysteme für variable Fertigungssegmente – entsteht in enger Zusammenarbeit mit der Fa. Mannesmann Dematic ein kostengünstiges, stufenweise automatisiertes Leichtfördersystem im Überflurbereich. Der Kranbaukasten, kurz KBK, wird dabei erweitert um ein modular aufgebautes Steuerungssystem, das sich für unterschiedlichste Automatisierungsstufen eignet:

Vom manuellen Betrieb, über automatisierte Leer- und Lastfahrten bis hin zur Vollautomatik in Verbindung mit Leitrechnern.

Besonderes Augenmerk muß bei Kranautomatisierungen dem Lastaufnahmemittel entgegengebracht werden. Mit entsprechend angepaßten Lastaufnahmemitteln soll ein Automatikbetrieb mit geringen Anforderungen an die Positioniergenauigkeit und damit ein besonders kostengünstiges System entstehen.

Zur Zeit wird dazu eine Pilotanlage in unserer Versuchshalle errichtet. Eine Präsentation dieser Neuentwicklungen ist für Januar 2000 geplant.

Folie 9: Arbeitsgebiet Schüttgutförderung

Auf dem Bereich der Schüttgutförderung haben wir uns, außer auf die allgemeinen Untersuchungen der Schüttgutmechanik, auf den Schneckenförderer als Schüttgutstetigförderer konzentriert. Hierzu bearbeiten wir im Augenblick zwei Forschungsthemen. Zum einen wird das Förderverhalten in beliebig geneigten Schnecken untersucht und analytisch in einem Rechenmodell abgebildet; zum anderen untersuchen wir den Bereich der horizontalen und vertikalen Hochleistungs-Schneckenförderer. Der wohlklingende Begriff „Hochleistung“ meint in diesem Zusammenhang kleinbauende, schnelldrehende Förderschnecken hoher Förderleistung.

Diese Thematik untersuchen wir seit 1996 und sind seit dieser Zeit auch in einer Forschungskoooperation mit der Firma **Krupp-Fördertechnik**.

Folie 10: Konzept der Versuchsanlage

Ziel der Forschungskoooperation ist es, die Auslegungssicherheit von großen Schneckenförderern deutlich zu erhöhen und Auslegungsgrundlagen für schnelldrehende Geräte zu entwickeln. Auch die Betriebsstrategien bis hin zu automatisierten Prozessen sind Untersuchungsziel.

Dazu sollte eine Versuchsanlage aufgebaut werden, die in ihren Abmessungen und ihrer Leistungsfähigkeit annähernd Werte erreicht, wie sie bei großen Schneckenförderern im Praxiseinsatz vorzufinden sind.

Hintergrund für das Vorhaben ist der Einsatz des Schneckenförderers in der Umschlagtechnik.

Folie 11: Vergleich Schüttgutentlader: Greifer, Becherwerk und Schneckenförderer

Um die Liegezeiten der Schiffe zu minimieren, geht man in einigen Bereichen von den Greiferentladern über zu stetig arbeitenden Geräten. Dabei sind Becherwerke genauso im Einsatz wie Schneckenförderer oder pneumatische Förderer.

Es zeigt sich, daß alle diese Geräte begrenzte Bereiche oder bestimmte Schüttgüter haben, innerhalb deren ihr Einsatz sinnvoll und wirtschaftlich ist. Sie stehen also nicht in direkter Konkurrenz, sondern haben nebeneinander ihre sinnvollen Einsatzfelder.

Im Bereich einer Förderleistung zwischen 100 t/h und 1000t/h bei der Entladung von Massengütern ist der Schneckenförderer ein gut einsetzbares Fördergerät. Er ist sehr einfach im Aufbau, günstig im Investitionsvolumen und zeichnet sich hinsichtlich der Umweltbelastung auf Grund seiner hervorragende Kapselbarkeit durch niedrige Staubemission aus.

Gegenüber den weitverbreiteten Greiferentladern ist der Schneckenförderer im Leistungsbedarf wegen seines auf Reibung beruhenden Förderverfahrens deutlich im Nachteil, erreicht aber durch seine stetige Arbeitsweise sehr hohe Förderleistungen bei kleinem Bauvolumen.

Auch die in der Anschaffung wesentlich teureren Becherwerksentlader weisen einen deutlich höheren Wirkungsgrad auf, werden aber bei Entladeleistungen unter 1000 t/h sehr schwer bezogen auf ihre Leistungsfähigkeit.

In bestimmten Einsatzfällen ist also der Schneckenschiffsentlader neben Greiferentladern und den sogenannten Kontientladern mit Becherwerken ein gut zur Entladung von Schiffen geeignetes Fördergerät.

Folie 12: Hintergründe für den Bau einer Großversuchsanlage

Allerdings ist das relativ komplizierte Förderverhalten im Schneckenförderer zwar analytisch berechenbar, der Leistungsbedarf jedoch ist auf Grund von zahlreichen Effekten nur schwer vorhersagbar. Hier soll eine empirische, schüttgutspezifische Untersuchung zu einem praxistauglichen Berechnungsmodell führen. Anhand früherer Untersuchungen war ersichtlich, daß Modellversuche an einer Versuchsanlage im Labormaßstab eine zu geringe Aussagekraft besitzen und zum Teil Effekte, die an realen Anlagen stark ins Gewicht fallen, vernachlässigen. Auch

die Art der Schüttgüter ist aufgrund der Förderbarkeit in kleinen Geräten stark eingeschränkt.

Um also praxisnahe Ergebnisse an einer Versuchsanlage erreichen zu können, muß diese bestimmte Anforderungen erfüllen:

Folie 13: Anforderungen an die Versuchsanlage

- Die Abmessungen müssen denen einer realen Anlage insofern entsprechen, daß zu untersuchende Schüttgüter auch hoher Korngrößen gefördert werden können,
- die Verwendung von Standard- oder Normbauteilen ist notwendig, um auch Effekte auf Grund von Toleranzen/Abweichungen, wie sie in der Praxis unvermeidbar sind, berücksichtigen zu können,
- die Sensorik und die Steuerung sollen den in der Industrie üblichen Gegebenheiten entsprechen,
- die Möglichkeit zur Automatisierung muß vorhanden sein,
- die Untersuchung einer horizontalen und einer vertikalen Förderschnecke im Hochleistungsbetrieb muß möglich sein,
- sämtliche Betriebsparameter der Einzelgeräte sollen variabel sein.

Diese Anforderungen haben dann zu einer Versuchsanlage geführt, die im Frühjahr des Jahres 1998 am Freigelände unseres Lehrstuhles in Garching bei München aufgebaut und inbetriebgenommen wurde. Seit dieser Zeit betreiben wir, weit entfernt von der nächsten mit Schiffen befahrbaren Wasserstraße, einen Schiffsentlader in unserem Forschungsgelände.

Folie 14: Ausführung der Versuchsanlage

Konkret ausgeführt wurde die Versuchsanlage mit einem auf Schienen verfahrbaren Portal als Traggerüst. Die Katze trägt einen Elektroseilzug und ein Hubgerüst. Der darin installierte Vertikalförderer mit 7 m Förderhöhe ist als selbsttragende Konstruktion verwirklicht. Er wird mit dem Seilzug im Hubgerüst verfahren, wodurch die Höhenkoordinate eingestellt wird.

Fest an die Katze angebaut ist der horizontale Hochleistungs-Schneckenförderer, der eine Förderlänge von zweimal 3 m hat. Dieser ist mit dem Vertikalförderer über eine Teleskopschurre verbunden.

Als Materialreservoir dient ein zweiteiliger, am Boden fest verankerter Container.

Das in einer Containerhälfte befindliche Schüttgut wird schichtweise von einer Zuführvorrichtung aufgenommen und an den Eintritt der Vertikalschnecke geführt. Die Vertikalschnecke nimmt das Gut auf und fördert es nach oben. Am Auslauf wird das Schüttgut in eine Schurre ausgeworfen und über ein Fallrohr in eine Prallplattenwaage zur Massenstrommessung geleitet. Von dort fällt es durch die Teleskopschurre in die Mitte des horizontalen Schneckenförderers. Dieser fördert

das Gut in die zweite Containerhälfte. Die Hauptvorschubbewegung erzeugt die Katze, das Hubwerk reguliert die Eintauchtiefe der Zuführvorrichtung ins Schüttgut. Durch diese beiden Bewegungen läßt sich jeder beliebige Massenstrom diskret einstellen.

Die Anlage ist ausgelegt für einen Nennmassenstrom von 100 t/h. Der horizontale Schneckenförderer kann bis zu einer Drehzahl von 350 min⁻¹ betrieben werden, dem 3,5-fachen der laut DIN-Auslegung zulässigen Maximaldrehzahl für dies Baugröße. Darin begründet sich hauptsächlich der Begriff „Hochleistungs-Schneckenförderer“! Die Vertikalschnecke kann mit Drehzahlen bis deutlich über 500 min⁻¹ betrieben werden.

Sämtliche Antriebe sind frequenzumrichtergergelte Drehstromasynchronmotoren.

Folie 15: Ziele der Forschung

Folgende Zielsetzungen sollen innerhalb dieses Forschungsprojekts untersucht und erforscht werden:

- Zum einen stehen, wie oben beschrieben, die **konstruktiven** Ergebnisse im Vordergrund. Dazu zählen Optimierung des Gesamtsystems Schnecke, Optimierung der Komponenten, wie Feedervorrichtung, Zulauf, Zwischenlager, Auslauf etc., aber auch die Optimierung der Schnittstellen zwischen diesen Komponenten hinsichtlich Konstruktion und Betriebsparametern.
- Ebenfalls bereits erwähnt sind die **theoretischen** Forschungsinhalte. Dazu gehören allgemeine Auslegungsgrundlagen, Rechenmodelle zur Bestimmung der Förderbewegung und damit des förderbaren Massenstromes, Modelle zur Berechnung des Leistungsbedarfes beliebiger Förderergeometrien, sowie schüttgutspezifische Abhängigkeiten.
- Als letzter großer Punkt der Forschungsziele sind die „**logistischen**“ Grundlagen des Gerätes zu nennen. So ist für einen optimalen Betrieb einer Anlage, außer der konstruktiven Gestaltung des Gerätes auch ein optimierter Entladevorgang von besonderer Bedeutung. Eine Bedienung der Anlagen stets am Leistungslimit ist gerade bei den komplexen Verfahrbewegungen von Schiffsentladern nur mehr schwer vorstellbar. So wird auch in diesem Bereich eine Tendenz hin zu automatisierten Anlagen stattfinden.

Hinsichtlich der Automatisierung zeigen sich auch erhebliche Vorteile von Stetigförderern gegenüber Greifergeräten. Durch die einstellbare, definierte Schichtgeometrie ist eine leicht vorhersehbare Schüttgutkontur erreichbar. Im Gegensatz zu Greifergeräten, die relativ große Mengen an einer Stelle entnehmen und damit, wegen des Nachfließens von Schüttgut in die entstandene Leerstelle, eine sehr komplizierte Oberflächenform erzeugen, kann bei geeigneter Gutaufnahme mit einem Stetigförderer eine glatte Schüttgutkontur erreicht werden. Bei einem

automatisierten Einsatz ist dadurch ein leichter Steuervorgang möglich, das Gerät kann die Kontur ohne zusätzliche Meßeinrichtungen gut „vorhersehen“.

Auch ist dadurch ein hoher Prozentsatz der Verfahrbewegungen mit Nennleistung möglich, bis hin zu einem im Vergleich sehr kleinen Restvolumen. Dieses kann bei zwar verminderter Leistung, zu großem Anteil aber ohne zusätzliche Hilfsmittel vom Gerät selbst aufgenommen werden.

Folie 16: Regel- und Steuerkreis

Dieser Untersuchungspunkt macht schnell klar: Zur Automatisierung muß der Stetigförderer optimal auf das Tragwerk/Portal der Anlage abgestimmt sein. Die Betriebsparameter des Stetigförderers, die das Förderverhalten bestimmen, müssen auf die Betriebsparameter des Portals, die den Massenstrom vorgeben, abgestimmt sein. Damit wird deutlich, daß zur optimalen Ansteuerung der Anlage, über eine Führungsgröße am Stetigförderer, z.B. dem Leistungsbedarf des Feederorgans, und einen zu ermittelnden Steueralgorithmus auf eine Stellgröße am Tragwerk, z.B. auf die Verfahrgeschwindigkeit des Portals und damit auf dessen Antriebsmotor, eingegriffen werden muß. Man erreicht dadurch einen Betrieb bei maximalem Massenstrom, ohne die abgefahrene Schüttgutkontur zu stören.

Man erkennt schnell, daß das Tragwerk nichts anderes ist, als ein Automatikkran; der Stetigförderer übernimmt dabei die Funktion eines Lastaufnahmemittels. Der größte Teil der automatisierten Steuervorgänge wird sich dabei immer auf das Tragwerk, also den Kran beziehen. Die Steuerung des Stetigförderers muß darauf abgestimmt sein, jedoch wird dieser den Kran in seiner Funktion nur wenig beeinflussen. Der Kran ist das Element, das die charakteristischen Größen Eintauchtiefe und Vorschubgeschwindigkeit, und damit Schichtgeometrie und Massenstrom festlegt.

Folie 17: Stetigförderer - Automatikkran

Damit schließt sich der Kreis zwischen Automatikkran mit Greifer oder auf Portalen montierten Stetigförderern. Der Stetigförderer erlaubt bei bestimmten Einsatzfällen ein gezielteres Vorgehen als ein Greifer; die Anforderungen an das Tragwerk bleiben in beiden Fällen gleich oder zumindest sehr ähnlich. Dies gilt nicht nur im Bereich der Umschlagtechnik, auch in der Halden- und Lagerplatztechnik kann man die Erkenntnisse analog einsetzen und für bestimmte Einsatzfälle Stetigförderer als eine Art von Lastaufnahmemittel in Verbindung mit einem Automatikkran einsetzen.