

Logistik der Schüttgüter

Dr. Ing. Karl-Heinz Wehking, Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution (ITW), Dortmund*

Im Vergleich zu anderen Arbeitsfeldern der Ingenieurwissenschaften, wie z. B. der industriellen Energieerzeugung oder der Luftfahrttechnik ist die Förderung und Lagerung von Schüttgütern tief mit den Anfängen der menschlichen Zivilisation verbunden.

Dies ließe vermuten, dass das Gebiet weit erforscht ist und speziell Grundlagenbetrachtungen umfassend vorliegen [1]. Ein weiterer Punkt, der diese Vermutung unterstützt, sind die riesigen Mengen an Schüttgut, die jährlich umgeschlagen (1985 ca. 500 Mio. to in der BRD) bzw. die Umsätze (1985 allein Hersteller ca. 2,2 Mrd. DM in der BRD), die in diesen Bereichen getätigt werden. Es lässt sich jedoch nachweisen, dass in weiten Bereichen der Schüttguttechnologie nur auf rein empirischer Basis, d.h. auf Grundlage von Versuch und Irrtum gearbeitet wird. Beispielsweise werden erst seit Beginn der fünfziger Jahre dieses Jahrhunderts die Probleme des Fließens in Silos und Bunkern vermehrt und in Teilen mit physikalisch abgesicherten Methoden (z. B. mit dem Jenike-Verfahren) bearbeitet. Erste Grundlagen zu einem auf Stoffgesetzen basierenden haufwerksmechanischen Ansatz zur physikalischen Beschreibung einer Schüttung von Material sind fast ausschließlich neueren Datums.

Systematisierung des Arbeitsfeldes unter logistischen Gesichtspunkten

Ein wesentlicher Faktor zur Betrachtung der logistischen Zusammenhänge ist die notwendige Systematisierung und Zusammenführung des Arbeitsfeldes.

Traditionell lassen sich die Arbeitsfelder der Schüttguttechnik gemäß Abb.1 aufteilen. Diese

Im Auftrag des Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft hat das Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution (ITW) in Dortmund eine umfassend angelegte Studie im Gesamtfeld der Schüttguttechnologie durchgeführt. Von Teilen dieser eigentlich Fraunhofer-internen Studie soll im Rahmen dieses Artikels berichtet werden.

aus der Sicht der Abgrenzung sicherlich sinnvolle Unterteilung zieht sich wie ein roter Faden sowohl durch die Industrie wie auch durch die Forschungsstellen.

Die sehr strenge Abgrenzung birgt unserer Meinung nach auch die Gefahr der zu geringen Durchlässigkeit für Probleme und Know-How in sich. Wir halten es daher, im Sinne einer übergreifenden systematischen Betrachtung des Gesamtfeldes, für sinnvoll und notwendig, alle traditionellen Arbeitsfelder zusätzlich neuer Gebiete gemäß Abb.2 unter dem Oberbegriff Schüttguttechnologie zusammenzuführen.

Unserer Ansicht nach ist hiermit sowohl die Erarbeitung der notwendigen Grundlagen als auch die Entwicklung der für die Praxis notwendigen Einzellösungen möglich.

Hierin werden die zur Realisierung eines Logistiksystems wichtigen Komponenten zusammengeführt, so dass es durch

- die Zusammenführung von Fachinformationen und Fachwissen
- die Erfassung aller Randparameter
- eine Abstimmung der Gesamtinformation
- und eine zielgerichtete Lenkung der Teilsysteme

in Zukunft möglich sein muss, auch für das Arbeitsfeld der Schüttguttechnologie den Gedanken des Systemansatzes, der bereits im Stückgutbereich realisiert sind, umzusetzen.

Zur Verdeutlichung gerade der erforderlichen Zusammenführung ist in Abb.3 prinzipiell ein herausgelöster T-U-L Prozeß für Schüttgut dargestellt. Hier zeigt sich, dass zur Realisierung eines funktionalen und auch automatisch ablaufenden separaten Materialflusses bis zu fünf Komponenten (z. B. Silo, Zellenrad-schleuse, Bandanlage, Schleuderband, Speicher) zzgl. einer Vielzahl von Steuer- und Überwachungsorganen ineinandergreifen müssen.

Abb.3. verdeutlicht durch Aufzeigen einiger Symbole schüttguttechnischer Anlagen, dass im Bereich der Planung, Realisierung und des Betriebes derartiger Anlagen sinnvoll nur durch die Wahl eines übergreifenden Systemansatzes gearbeitet werden kann. Nur hierdurch ist es möglich, die auftretenden Grenzgebiete miteinzu-beziehen und zu einem sinnvollen Gesamtsystem zusammenzuführen.

Der geforderte Systemansatz aus allen Segmenten der Schüttguttechnologie gemäß Abb.2 umfasst zwei Hauptgebiete, die Material- und Anlagentechnik.

Der Hauptbereich Materialtechnik gliedert sich in die beiden Kernbereiche:

- Kennwerte
- Schüttgutmechanik.

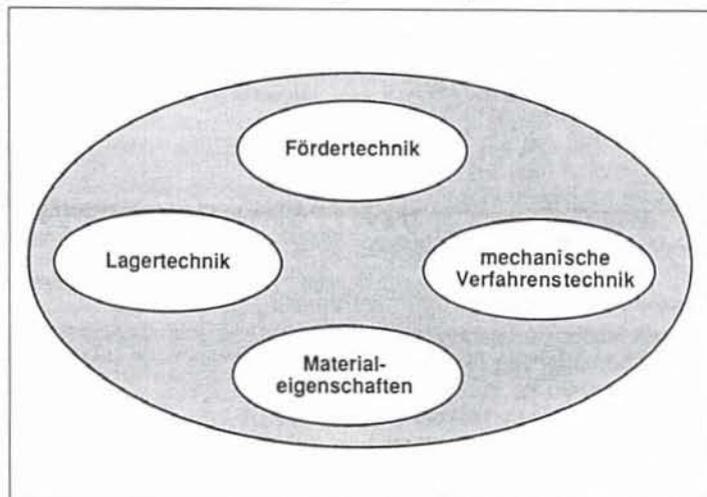
Durch diese Einteilung wird gewährleistet, dass die Probleme, die sich aus der Vielzahl der Schüttgüter sowie der Komplexität ihrer Beschreibung und Analyse ergeben, umfassend bearbeitet werden können.

Der zweite Hauptbereich Anlagentechnik betrachtet, anders als in der bisher üblichen klassischen Vorgehensweise, alle anlagentechnischen Bereiche unter einem Dach, wobei die Förder- und Lagertechnik gleichberechtigt nebeneinander auftritt und zusätzlich als eigenständiges Arbeitsfeld erstmalig die Bereiche

- Sicherheitstechnik
- Leittechnik
- Anlagenplanung und Auslegung
- Entsorgungstechnik

erscheinen. Mit dem Ansatz der Abb.2 wird auch gewährleistet, dass die Schüttgutprobleme in der Förderung und Lagerung gleichwertig behandelt werden, hiermit wird erreicht, dass weder die Fördertechnik noch die Lagertechnik die im Betrieb von Anlagen auftretenden Probleme dem jeweils anderen Fachbereich zuweisen kann, um sich somit aus der Systemverantwortung zu befreien.

Abb.1: Arbeitsfelder der Schüttguttechnologie



* Dipl. Ing. Ralf Holzhauser und Cand. Ing. Thomas Becker, Fraunhofer Institut für Transporttechnik und Warendistribution, Dortmund, sind Mitautoren dieser Veröffentlichung

Änderung der technologischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen

Wie bereits zu Beginn angesprochen, stellt die Schüttguttechnologie ein Tätigkeitsfeld mit einer langen Tradition dar. Der grösste Teil des zur Zeit bestehenden, aber nicht ausrei-

chenden Grundlagenwissens speziell für den Bereich der Fördertechnik wurde Anfang dieses Jahrhunderts geschaffen. Beispielsweise stammen die Grundlagenbetrachtungen zu den gängigsten Fördererelementen, wie Becherwerken, Schneckenförderern und Trogkettenförderern, aus den Jahren 1920 bis 1940 [3] ... [6].

Dieser Kenntnisstand basiert auf den damals vorliegenden Rahmenbedingungen und Schüttgutarten und wurde nur für wenige Systeme wie z. B. Bandanlagen fortgeschrieben. Durch den allgemein sehr schnell fortschreitenden technologischen Fortschritt speziell in den Bereichen der Verfahrenstechnik, Mikroprozessor-

technik, Umwelttechnik und der Logistik haben sich diese Rahmenbedingungen für den Einsatz der Förder-, Lager- und Handhabungselemente heute entscheidend verändert, ohne dass dies aber zu den notwendigen zusätzlichen Forschungsaktivitäten im Feld der Schüttguttechnologie geführt hat. Einen Überblick über die veränderten Rah-

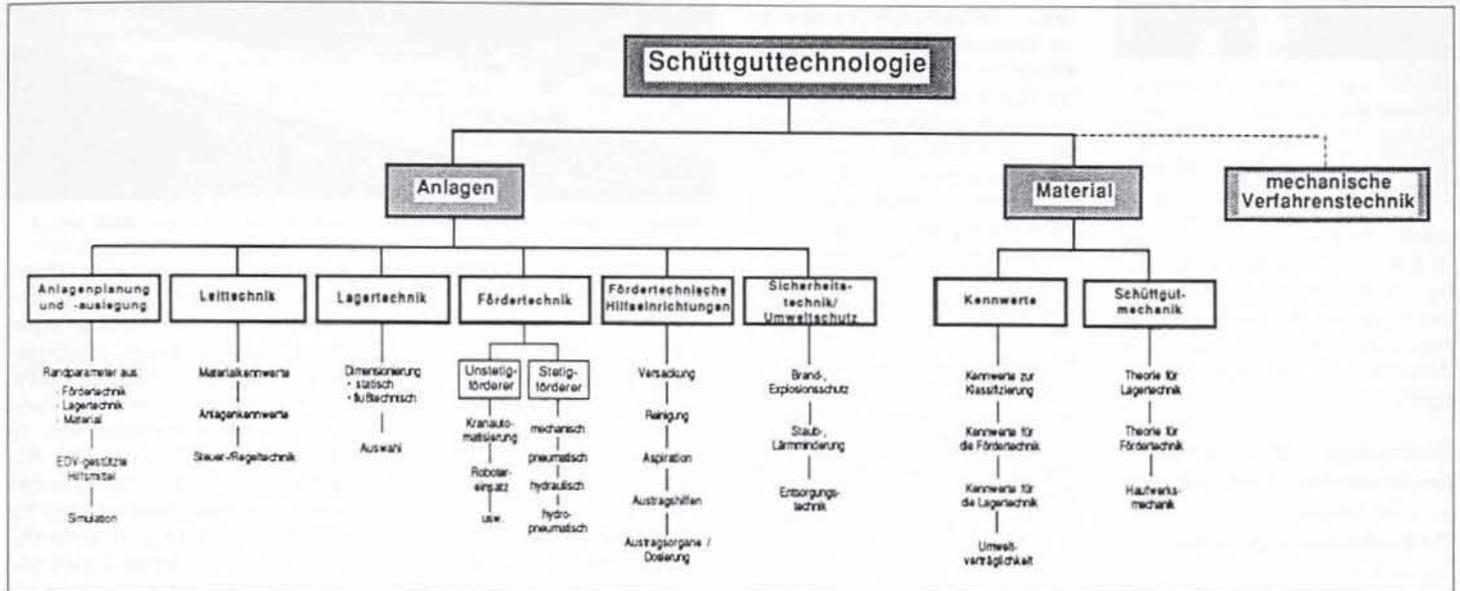
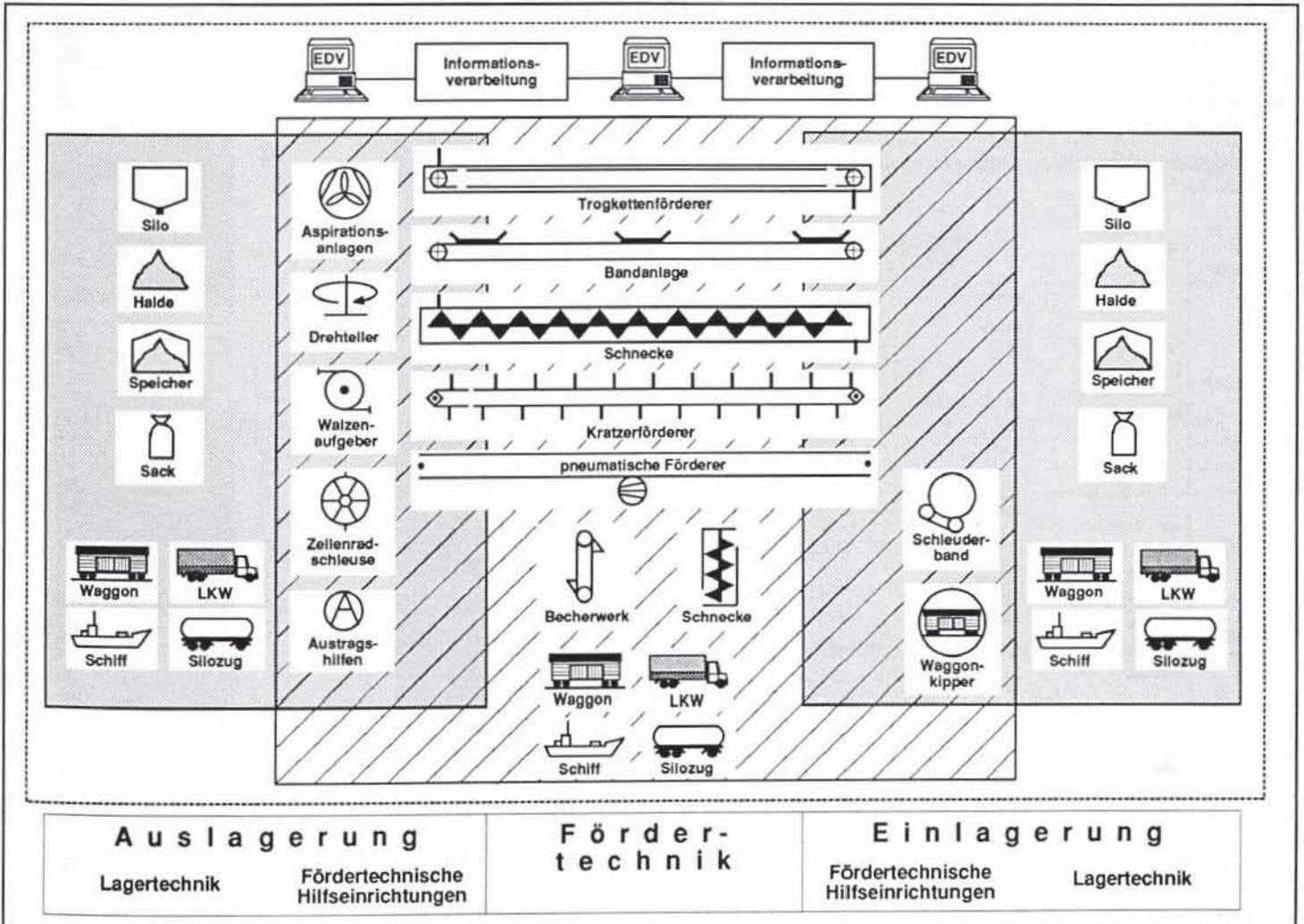


Abb. 2: Systemansatz. Zusammenführung aller Teilgebiete unter dem Oberbegriff Schüttguttechnologie

Abb. 3: Prinzipielle Darstellung eines TUL-Prozesses für Schüttgut





Dipl. Ing. Ralf Holzauer, Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution (ITW), Dortmund, ist Mitautor dieser Veröffentlichung

menbedingungen liefert die Abb. 4. Hier sind schlagwortartig die Änderung der Rahmenbedingungen für wichtige Bereiche zwischen Anfang dieses Jahrhunderts und heute dargestellt.

Bisherige Schritte zur technischen Anpassung an die neuen Rahmenbedingungen

Bevor kurz auf die in letzter Zeit durchgeführten Entwicklungen eingegangen wird, muss allgemein gesagt werden, dass Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Schüttgutfördertechnik im Vergleich zu anderen Forschungsgebieten nur selten durchgeführt werden. Dies zeigt sich beispielsweise auch daran, dass für den Schüttgutbereich in

der Bundesrepublik Deutschland unter Vernachlässigung von mehr verfahrenstechnischen Fragestellungen zur Zeit nur ein einziges spezielles Förderungsprogramm existiert (Sonderforschungsbereich 219 «Silowerke und ihre spezifische Beanspruchung» in Karlsruhe). Desweiteren findet Forschungsförderung für Schüttguttechnologie nur in Verbundprojekten bzw. Forschungsprogrammen für Energiewirtschaft, Umweltschutz, Materialforschung, Transport und Rohstoffgewinnung statt, in denen nach unseren Recherchen die Forschungsvorhaben des Schüttgutbereiches höchstens 7,3% der Fördermittel beanspruchten. Ausserdem sind die Forschungsvorhaben oft wenig oder nicht ausreichend praxisorientiert, z. B. rein theoretische Betrachtungen des Fördervorgangs bzw. Versuche mit Modellförderern, deren Ergebnisse nur in Ansätzen in die Praxis übertragbar sind. Ein weiteres Manko ist, dass oft sehr speziell auf ein Anwendungsgebiet (z. B. Bergbau oder Bandanlagentechnik) bzw. ein spezifisches Fördergut ausgerichtet gearbeitet wird. Dies dient oft zur Lösung von Einzelproblemen, die dann jedoch nicht zur Unterstützung der Probleme des Gesamtsystems herangezogen werden können. Völlige Neuentwicklungen sind für den Bereich der Fördertechnik für Schüttgüter nur selten



Abb. 5: Teilansicht des ITW-Schüttgutlabors mit Scherzelle

anzutreffen. Anzugeben wären hier:

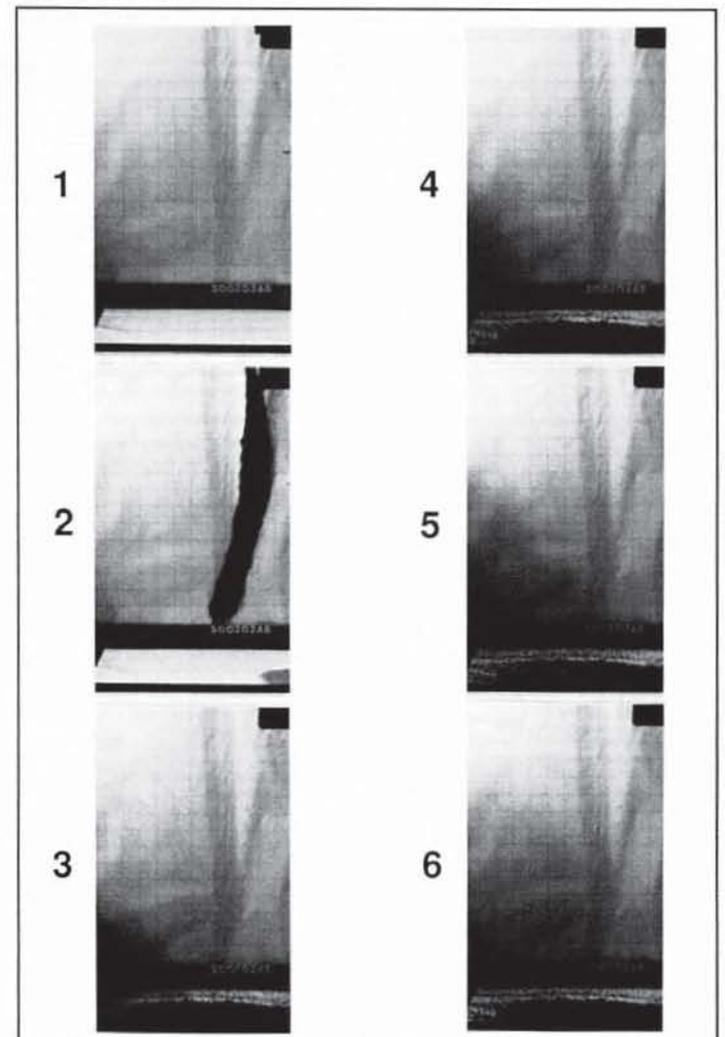
- die Rohrzugbahn
- der kurvengängige Gurtförderer
- der Rollgurt (derzeit in der Umsetzung)
- der hydraulische Feststofftransport
- das Aerobelband
- das Dichtstromförderprinzip
- senkrecht arbeitende Schnecken.

Von diesen Neuentwicklungen haben sich bisher nur die wenigsten in der notwendigen Breite in der Praxis durchgesetzt. Aus der Aufzählung kann auch entnommen werden, dass kaum oder zumindest viel zu wenig Entwicklungen vom Niveau eines «Quantensprungs» sind. Zusammenfassend kann für die Konstruktion und Entwicklung von Schüttgutanlagen gesagt werden, dass moderne ingenieurwissenschaftliche Ar-

Abb. 6: Ausbreitung der Staubwolke bei Schüttversuchen mit Braunkohlenkoks

Abb. 4: Zeitliche Entwicklung einiger Rahmenbedingungen der Schüttguttechnologie

Rahmenbedingungen	Parameter	zeitliche Entwicklung		
Anlagen	Technik Dimension Maschinenelemente Betriebsweise	manuell	→	automatisiert
		unstetig	→	stetig
		klein	→	groß kompakt
		Einzelanfertigung	→	standardisiert, Modulbauweise
		Stahl	→	Leichtmetall, Kunststoff, Verbundwerkstoffe
Schüttgut	Art Struktur Qualität	Naturstoffe	→	künstliche Stoffe
		unbehandelt	→	behandelt (Pallets, Granulate)
		heterogen	→	homogen
Prod.-Verfahren	Technik Schnittstellen Qualität	diskontinuierlich	→	kontinuierlich
		manuell	→	automatisch
		heterogen	→	homogen
Logistik	Struktur Schnittstellen Information Mengen	Subsystem	→	Gesamtsystem
		Laufzettel	→	Datenverarbeitung
		Lagerbestände	→	Just-In-Time
Umwelt	Emission Energie	ohne Relevanz	→	Umweltschutzaufgaben
		ohne Relevanz	→	wirtschaftliche Energieausnutzung



beitsweisen heute nur selten eingesetzt werden. Es fehlen z.B.:

- systemtechnische Ansätze - der Einsatz von rechnergestützten Hilfsmitteln, wie sie z.B. heute im Bereich der Stückguttechnik eingesetzt werden zur Konstruktion, Planung, Berechnung und Simulation
- die Verwendung von Laborwerten von Schüttgut zur optimalen Auswahl von Förder- und Lagersystemen
- der Rückgriff auf Messergebnisse von Realversuchen
- die Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bezogen auf die Optimierung des Gesamtsystems.

Erforderliche Anpassung der Betrachtungsweise und Systeme an die neuen Rahmenbedingungen

Aufgrund unserer Analysen hinsichtlich der notwendigen und zukunftsgerichteten Entwicklung der Schüttguttechnologie werden im folgenden beispielhaft für einige Bereiche, gemäss Abb.2, die unserer Meinung nach erforderlichen Schritte dargestellt, um erstens den Bereich der Materialtechnik deutlich zu verstärken und zweitens die Arbeitsfelder der Umwelttechnik und Entsorgungstechnik als neue Gebiete vollständig zu erschliessen.

Materialtechnik

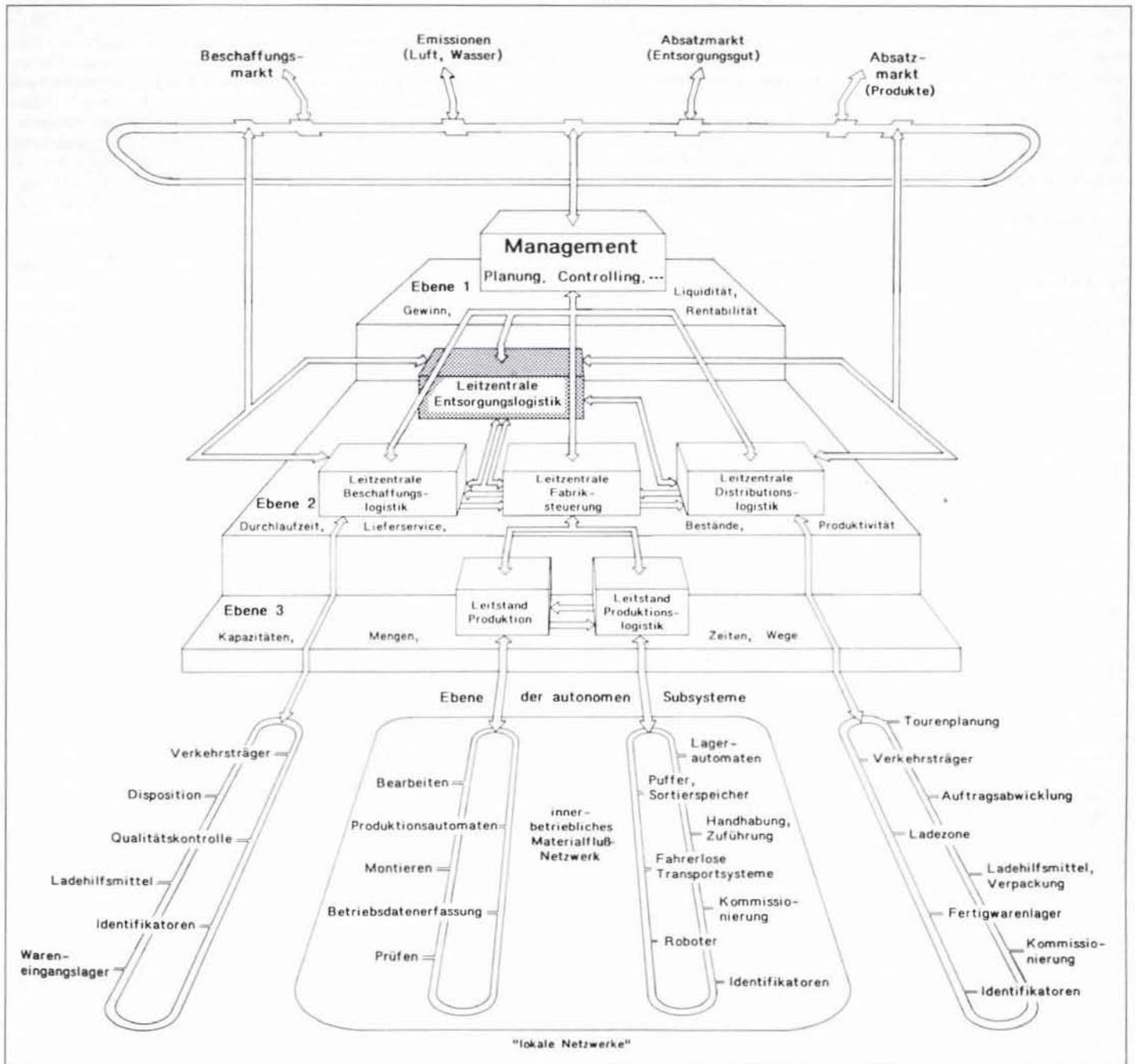
Wie aus Abb.2 zu ersehen ist, stellt die Zusammenführung von Anlagentechnik und Materialtechnik nicht nur zwangsläufig an den realen Anlagen, sondern auch vorab im Bereich der F + E-Tätigkeiten einen wichtigen Gesichtspunkt des Systemansatzes dar.

Grundsätzlich unterteilt sich die Materialtechnik in einen experimentellen und einen theoretischen Teil, die Kennwerte und die Schüttgutmechanik. Im Bereich der Kennwerte müssen in der Zukunft Verfahren entwickelt werden mit denen es gelingt, Schüttgut eindeutig zu klassifizieren sowie förder- und lagertechnische Prozesse vorab



Cand. Ing. Thomas Becker, Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution, Dortmund, ist Mitautor dieser Veröffentlichung

Abb. 7: Modell einer zukünftigen Unternehmensstruktur unter Einbindung der Entsorgungslogistik



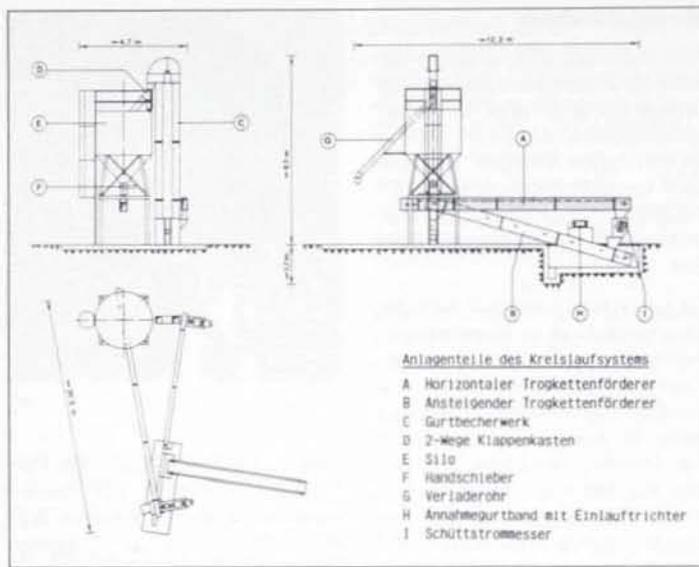


Abb. 8: ITW Schüttgutversuchsstand. Kreislaufsystem

sicherer und eindeutiger als heute labormässig zu beurteilen. Ansätze hierzu werden im schüttguttechnischen Labor des ITW erarbeitet. Hier werden sowohl Kennwerte, die mehr zur Klassifizierung des Schüttgutes dienen, wie z. B. Korngrösse, Feuchtigkeitsgrad, Schüttdichte, Porosität, wie auch schermesstechnische Kennwerte in Jenike- und Ringscherzelle ermittelt (siehe Abb. 5). Hinzu kommt, dass mit Hilfe von Laborverfahren auch Aussagen über die Umweltbelastungen gemacht werden müssen. Im Bereich der Schüttgutmechanik müssen durch weitere Entwicklungen physikalische Grundlagen zur theoretischen Beschreibung des Schüttgutverhaltens geschaffen werden.

Umwelttechnik

Bei Schüttgütern kann je nach Art des Gutes eine Umweltbelastung auftreten. Beispielhaft seien hier Probleme des Staub- und Explosionsschutzes genannt. Aufgabe muss es zukünftig in diesem Arbeitsfeld sein, neben gezielter Forschung im Grundlagenbereich, dieser überwiegend diffusen Staubquellen, speziell die Optimierung von Realanlagen wie Verladegassen in Angriff zu nehmen. Hier werden derzeit Ansätze zur optischen (subjektiv) (siehe Abb. 6) und messtechnischen auf β -Strahlungsabsorptionsbasis (objektiv) Bewertung von Schüttgutumschlaganlagen erarbeitet. Erste positive Ergebnisse in Bezug auf Reproduzierbarkeit der Messungen liegen hier vor und werden derzeit durch Versuche an bestehenden Anlagen ergänzt. Eines der Hauptziele dieser Arbeiten ist es, dem Konstrukteur von Schüttgutumschlaganlagen ein Meßsystem (Gerät + Verfahren) in die Hand zu geben, mit dem eine

quantitative Beurteilung der Wirksamkeit von Staubminderungsmaßnahmen und hieraus folgernd eine Optimierung dieser Anlagen möglich wird.

Entsorgungstechnik

Die Entsorgung, d. h. Sammlung, Transport und Aufbereitung von Abfällen stellt eine wichtige Zukunftsaufgabe dar. Aufgrund der Analyse der in diesem Bereich heute verwendeten Technik (z. B. normale Müllfahrzeuge mit rein manueller Bedienung) muss festgestellt werden, dass es gilt, den hohen Grad der Automatisierung, der im Bereich der Versorgung bereits realisiert wurde, auf die Entsorgung von Abfällen zu übertragen. Weiterhin sind, bedingt durch ein verändertes Umweltbewusstsein und den Zwang zur Verminderung und Verwertung von Abfällen (Abfallgesetz), hier neue Verfahren und Techniken zu entwickeln. Um der Bedeutung der Sache gerecht zu werden scheint es sinnvoll, neben der Beschaffungs- und Distributionslogistik und Fabriksteuerung eine Leitzentrale für die Organisation der Entsorgungslogistik einzurichten. Sie übernimmt die Aufgabe, alle im Unternehmen anfallenden Logistikprozesse in ihren Auswirkungen auf die Entsorgung zu kontrollieren und zu steuern (siehe Abb. 7). Hohe Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang den Verfahren zur Trennung der Abfälle in sortenreine Fraktionen zu. Dies ist für nahezu alle Recyclingverfahren notwendige Voraussetzung. Da Abfall aufgrund seiner Gutstruktur eine starke Affinität zum Schüttgut hat (auch Abfall verhält sich weder exakt, wie eine reine Flüssigkeit, noch wie ein wirklicher Festkörper), ergeben sich daraus auch hinsichtlich der Lagerung, Förderung und der Handhabung

neue Aufgaben im Bereich der Schüttguttechnologie.

Anlagentechnik allgemein

Neben den allgemeinen Forderungen an die Verbesserung der Systeme muss hier speziell die verstärkte Bearbeitung der Schnittstellenprobleme angegangen werden, auch vor dem Hintergrund, dass sich die Forschungsinstitute dieser Systemverantwortung stellen müssen. Als Grundlage hierfür dient am ITW ein grosstechnischer Versuchsstand, gemäss Abb. 8. Hier sind durch die Realisierung eines Kreislaufsystems alle in der Praxis vorkommenden Förderstrecken und Komponenten (horizontal, vertikal, schräg) miteinander verbunden, so dass nicht nur Untersuchungen an den Einzelanlagen möglich sind, sondern auch Übergangsbereiche wie Bunkerauslauf oder eine Prallplatte betrachtet werden können. Ein weiteres konkretes Ziel, dass im Bereich der Fördertechnik realisiert werden muss, ist die verstärkte Kombination von Förderprozessen mit verfahrenstechnischen Vorgängen. Aufgrund der durchgeführten Schwachstellen- und Mängelanalyse ist es unserer Meinung nach in Zukunft notwendig, das Arbeitsfeld der Schüttguttechnologie wie in Abb. 9 dargestellt, zu strukturieren. Hiermit werden alle unter dem logistischen Systemgedanken notwendigen Einzelfaktoren berücksichtigt und die aus unserer Sicht bisher vernachlässigten neuen Rahmenbedingungen mit einbezogen. Dieser interdisziplinäre Ansatz stellt eine aussichtsreiche und erfolgversprechende Grundlage für die effiziente Weiterentwicklung des Gesamtfeldes dar. ■

1984–1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution in Dortmund (Institutsleiter: Prof. Jünemann). 1986 wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund (Ausübung der Funktion des Oberingenieurs). 1986 Promotion zum Dr. Ing. an der Abteilung Maschinenbau der Universität Dortmund, 1986 Ernennung zum Oberingenieur am Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund sowie Leitung des Sonderbereiches Schüttguttechnik am Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution (ITW) in Dortmund.

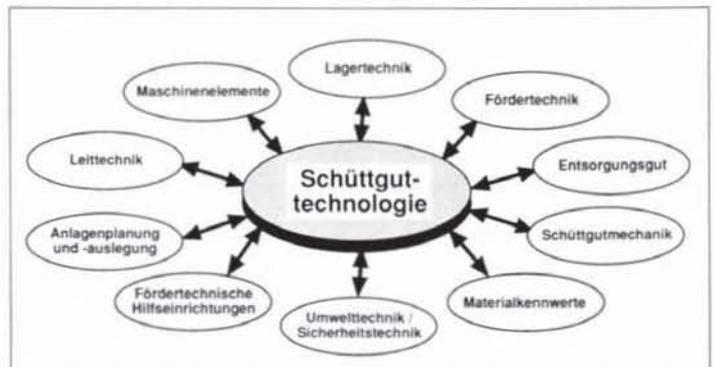
Dipl. Ing. Ralf Holzhauser (1958).

1977–1981 Studium Maschinenbau, Universität Dortmund (Abschluss Vordiplom). 1981–1984 Studium Maschinenbau, Universität Hannover, Vertiefungsrichtung Fördertechnik (Abschluss Diplom). 1984–1987 Firma Flohr-Otis, Stadthagen, Entwicklungsabteilung. Seit 1987 Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution (ITW), Dortmund.

Cand. Ing. Thomas Becker (1963).

1983–1985 Studium Maschinenbau, Universität Dortmund. 1986–1987 Vordiplom, Aufnahme der Tätigkeit als studentische Hilfskraft am Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution (ITW), Dortmund, Abteilung Schüttguttechnologie.

Abb. 9: Arbeitsgebiete der Schüttguttechnologie



Vita

Dr. Ing. Karl-Heinz Wehking (1954).

1983 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen der Universität Dortmund (Prof. Jünemann).

Literatur

[1] Molerus, O.: Schüttgutmechanik, Grundlagen und Anwendung in der Verfahrenstechnik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (1985)

- [2] Forschung in Nordrhein-Westfalen, Forschungsbericht NRW 1984 Faktenteil, Herausgegeben vom Minister für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen
- [3] Müller, C. A. E.: Beitrag zur Klärung des Entleerungsvorgangs bei schnelllaufenden Becherwerken, Mühlen- und Speicherbau. 9 (1918) H 12/13/14
- [4] Haufstengel v., G.: Kraftverbrauch von Fördermitteln, Mitteilung VDI Heft 145 (1913)
- [5] Lamm, M.: Grundlegende Untersuchungen zur Trogkettenförderung, Diss. TH Hannover 1938.
- [6] Luftt, E.: Druckverhältnisse in Silozellen, 2. Auflage Berlin, 1920.
- [7] FhG-Studie zum Stand der Schüttguttechnik 1987, hausintern