

Abschlussbericht

Empirische Entwicklung von Kenngrößen zur Auslegung von Hochleistungs- Schneckenförderern für Schüttgut

Dieses Vorhaben (Projekt-Nr. 12453 N/1) ist aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag des Forschungskuratoriums Maschinenbau e.V., Frankfurt, durchgeführt worden.

Univ. Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner (Herausgeber)
Dipl.-Ing. Oliver Rong (Projektleitung)
Dipl.-Ing. Johannes Fottner

fml · Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15
D-85748 Garching bei München



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft
München

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Herausgegeben von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Willibald A. Günthner
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss **fml**

Technische Universität München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2002

ISBN 3-8316-0167-4

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Problemstellung.....	5
1.3	Lösungsansatz.....	8
1.4	Zielsetzung.....	10
1.5	Vorgehensweise	11
2	EINSATZ UND ANWENDUNG VON HOCHLEISTUNGS- SCHNECKENFÖRDERERN	14
2.1	Einsatzfelder	14
2.2	Anforderungen	16
2.2.1	Anforderungen der Betriebsparameter.....	16
2.2.2	Steuerungstechnische Anforderungen	17
2.3	Fazit aus den Praxisanforderungen	18
3	STAND DER FORSCHUNG UND TECHNIK FÜR HOCHLEISTUNGS- SCHNECKENFÖRDERER.....	19
4	GRUNDLAGEN ZUR AUSLEGUNG VON HOCHLEISTUNGS- SCHNECKENFÖRDERERN	27
4.1	Grundlagen des Schneckenförderers	27
4.2	Kinematik der Einzelkörperförderung.....	29
4.3	Mechanik von Schüttgütern	37
4.3.1	Fließeigenschaften	39
4.3.2	Spannungszustände.....	46
4.3.3	Wandreibung	51
5	AUSLEGUNGSBERECHNUNG FÜR HOCHLEISTUNGS- SCHNECKENFÖRDERER.....	55
5.1	Berechnung der Förderbewegung in horizontalen Schneckenförderern....	56
5.2	Leistungsberechnung für horizontale und leicht geneigte Förderer	60

5.2.1	Ansatz und Rahmenbedingungen der Auslegung nach DIN 15262	60
5.2.2	Probleme und Einschränkungen der Auslegung nach DIN	62
5.3	Berechnung der Förderbewegung in vertikalen Schneckenförderern	63
5.3.1	Berechnungsmodell für axialsymmetrische Schüttgutspannungen	64
5.3.2	Spannungsmodell für den vertikalen Schneckenförderer	70
5.3.3	Anpassung zur Berechnung der Förderung auf Schneckenwendeln...	79
5.3.4	Gutverteilung und freie Gutoberfläche	81
5.3.5	Spannungsverhältnis λ im drehbewegten System	84
5.3.6	Füllungskonfiguration und Gutbeladung	87
5.3.7	Modell zur Berechnung der Förderung auf der Schneckenwendel.....	90
5.3.8	Berechnung der Kräfte am Sektorelement	93
5.3.9	Kräftereduktion auf den Massenschwerpunkt des Sektorelements.....	96
5.3.10	Bewegungsgleichung für das Sektorelement	102
5.3.11	Volumen- und Massenstrom	105
5.4	Leistungsberechnung für vertikale Schneckenförderer	106
5.4.1	Grundlegende Ansätze	107
5.4.1.1	Analytischer Ansatz	108
5.4.1.2	Semi-analytischer Ansatz	111
5.4.1.3	Semi-empirischer Ansatz	112
5.4.1.4	Empirischer Ansatz	114
5.4.2	Bisher verfolgte Ansätze	115
5.4.2.1	Einzelkörpertheorie (Böttcher)(analytisch)	116
5.4.2.2	Analogie zur DIN (Gabler) (semi-analytisch)	118
5.4.2.3	Integration von Randeffekten (Stahl) (semi-analytisch).....	121
5.4.2.4	Integration von Einbauten und FE-Berechnung (Greinwald)(analytisch)	122
5.4.3	Probleme bei den bisherigen Auslegungsverfahren	124
6	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	125
6.1	Die Versuchsanlage	125
6.1.1	Anforderungen an eine Versuchsanlage	125
6.1.2	Aufbau der Versuchsanlage	128
6.1.3	Messtechnik.....	131
6.1.3.1	Messung des Massenstromes.....	131
6.1.3.2	Messung der Drehzahlen und der auftretenden Drehmomente	132

6.1.3.3	Messung des Füllungsgrades.....	134
6.2	Analyse und Auswahl der Schüttgüter.....	134
6.3	Versuchsdurchführung.....	143
6.4	Auswertung der Messdaten.....	149
6.5	Darstellungsarten der Messgrößen.....	153
6.6	Auswertung der Messergebnisse.....	157
6.6.1	Allgemeines.....	157
6.6.2	Schüttguteigenschaften und -kenngrößen.....	157
6.6.3	Drehmomentverlauf während einer Messperiode.....	159
6.6.4	Auswertung Horizontalförderer.....	161
6.6.4.1	Betriebspunkte einer Versuchsreihe.....	161
6.6.4.2	Drehmoment über dem Füllungsgrad.....	162
6.6.4.3	Leistung über dem Füllungsgrad.....	163
6.6.4.4	Spezifischer Leistungsbedarf über dem Füllungsgrad.....	164
6.6.4.5	Verschiebewiderstandsbeiwert λ über dem Füllungsgrad.....	166
6.6.4.6	Verschiebewiderstandsbeiwert λ über der Drehzahl.....	167
6.6.5	Auswertung Vertikalförderer.....	168
6.6.5.1	Betriebspunkte einer Versuchsreihe.....	168
6.6.5.2	Drehmoment über dem Füllungsgrad.....	169
6.6.5.3	Leistungsbedarf über dem Füllungsgrad.....	170
6.6.5.4	Spezifischer Leistungsbedarf über dem Füllungsgrad.....	171
6.7	Fazit der experimentellen Untersuchungen.....	172
7	GRUNDLAGEN EINES SEMI-EMPIRISCHEN AUSLEGUNGSVERFAHRENS.....	173
7.1	Grundlagen der Berechnung.....	173
7.2	Semi-empirische Auslegungsverfahren in der Technik.....	174
7.3	Horizontaler Hochleistungs-Schneckenförderer.....	175
7.3.1	Berechnung der Förderbewegung.....	176
7.3.1.1	Berechnung der axialen Vorschubgeschwindigkeit.....	178
7.3.1.2	Berechnung des Füllungsgrades.....	179
7.3.2	Leistungsberechnung.....	179
7.3.3	Erweiterungsbereich der DIN 15262.....	181
7.3.4	Ähnlichkeitsgrößen und Einflussfaktoren.....	182

7.3.5	Spezifischer Leistungsbedarf	183
7.4	Vertikaler Hochleistungs-Schneckenförderer	185
7.4.1	Berechnung der Förderbewegung	185
7.4.2	Leistungsberechnung	187
7.4.2.1	Sensitivitätsanalyse der wichtigsten Einflussfaktoren	188
7.4.2.2	Untersuchung der geeigneten Bezugsgröße	189
7.4.2.3	Koppelbedingungen und Ähnlichkeiten	193
7.4.2.4	Rohrreibleistung	195
7.4.2.5	Berechnungsvorgang	198
7.4.2.6	Referenz-Kennfeld-Methode	200
7.4.3	Spezifischer Leistungsbedarf	200
7.5	Zusammenfassung	203
8	AUSBLICK: REIN EMPIRISCHES AUSLEGUNGSVERFAHREN	205
9	ZUSAMMENFASSUNG	208
10	FORMELZEICHEN	210
11	LITERATURVERZEICHNIS	215
ANHANG A: FUTTERKALK.....		224
A1	Futterkalk (horizontal)	225
A2	Futterkalk (vertikal)	228
ANHANG B: GERSTE.....		232
B1	Gerste (horizontal)	233
B2	Gerste (vertikal)	236
ANHANG C: HAFER		240
C1	Hafer (horizontal).....	241
C2	Hafer (vertikal)	244

ANHANG D: KOHLE	248
D1 Kohle (horizontal)	249
D2 Kohle (vertikal).....	252
ANHANG E: KUNSTDÜNGER	256
E1 Kunstdünger (horizontal)	257
E2 Kunstdünger (vertikal).....	260
ANHANG F: MAIS	264
F1 Mais (horizontal)	265
F2 Mais (vertikal).....	268
ANHANG G: PET	272
G1 PET (horizontal)	273
G2 PET (vertikal).....	276
ANHANG H: RAPS	280
H1 Raps (horizontal)	281
H2 Raps (vertikal)	284
ANHANG I: SAND	288
I1 Sand (horizontal).....	289
I2 Sand (vertikal).....	292
ANHANG J: SCHWEFEL	296
J1 Schwefel (horizontal).....	297
J2 Schwefel (vertikal)	300
ANHANG K: SOJASCHROT	304
K1 Sojaschrot (horizontal).....	305
K2 Sojaschrot (vertikal).....	308

ANHANG L: WEIZEN	312
L1 Weizen (horizontal)	313
L2 Weizen (vertikal)	316

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Schaufelradbagger aus dem Tagebau	1
Abb. 1.2:	Entladeterminale mit Portalkranen im Hafen Rotterdam	2
Abb. 1.3:	Schiffsentlader mit Hochleistungs-Schneckenförderer	3
Abb. 1.4:	Schematische Darstellung der Archimedischen Wasserschraube	4
Abb. 1.5:	Wendelförderer in der Entsorgungswirtschaft	4
Abb. 1.6:	Vorgehensweise und methodischer Aufbau der Arbeit zur Entwicklung einer Grundlage für ein semi-empirisches Auslegungsverfahren.....	13
Abb. 2.1:	Betonwerk mit geneigten Schnecken zur Bindemittelförderung und -dosierung.....	14
Abb. 2.2:	Mobiler Schiffsentlader zur Zemententladung aus Binnenschiffen.....	15
Abb. 3.1:	Die drei Bereiche der Förderung von Einzelkörpern in Schneckenförderern nach Böttcher	21
Abb. 3.2:	Mögliche Grenzkonturen in einem drehenden Topf.....	22
Abb. 3.3:	Schnitt durch die Schneckenkammer bei der Förderung eines Einzelkörpers a) und einer Schüttung b)	22
Abb. 3.4:	Die vier möglichen Füllungskonfigurationen in der Schneckenkammer.....	23
Abb. 3.5:	Zwischenlager eines vertikalen Schneckenförderers.....	24
Abb. 4.1:	Darstellung der an einem freigeschnittenen Einzelkörper in der t,b- Ebene angreifenden Kräfte mit der Reibkraft R_z zwischen Einzelkörper und Rohrwand, der Reibkraft R_s zwischen Einzelkörper und Schneckenwendel sowie G_t als Tangentialkomponente der Gewichtskraft	31
Abb. 4.2:	t,n,b-Koordinatensystem in einer um den Winkel β geneigten Förderschnecke	31
Abb. 4.3:	Darstellung der Geschwindigkeitsdreiecke in der t,b-Ebene	34

Abb. 4.4:	Darstellung des Fließkriteriums nach Mohr-Coulomb für ein kohäsives (Volllinie) und ein kohäsionsloses (Strichlinie) Schüttgut....	41
Abb. 4.5:	Fließorte und Fließkriterien.....	43
Abb. 4.6:	Geschwindigkeitsprofil $v(z)$ zwischen zwei schnell gegeneinander bewegten, rauhen, unendlich ausgedehnten Platten A und B.....	44
Abb. 4.7:	Geschwindigkeitsprofil $v_\phi(r)$ zwischen zwei gegeneinander bewegten, rauhen, unendlich ausgedehnten Zylindern A und B.....	44
Abb. 4.8:	Spannungen an einem prismatischen Schüttgutkörper und deren Darstellung im Mohrschen Spannungskreis	46
Abb. 4.9:	Aktiver bzw. passiver Rankinescher Bruchzustand, dargestellt am Beispiel eines in y-Richtung unendlich ausgedehnten Schüttgutquaders mit den Hauptspannungen $\sigma_2 = \sigma_v$ und $\sigma_1 = \sigma_h$	47
Abb. 4.10:	Aktiver und passiver Zustand, dargestellt am Mohrschen Spannungskreis; Darstellung der Bruchebenen an zwei Schüttgutprismen.....	48
Abb. 4.11:	Dreiachsiger Spannungszustand für ein kohäsionsbehaftetes Gut.....	50
Abb. 4.12:	Wandfließort (WFO), dargestellt am Mohrschen Spannungskreis; passiver Spannungszustand mit $\sigma_r > \sigma_z$	52
Abb. 4.13:	Wandfließort (WFO), dargestellt am Mohrschen Spannungskreis; aktiver Spannungszustand mit $\sigma_r < \sigma_z$	53
Abb. 5.1:	Darstellung der Vertikalspannung $\sigma_z (r,z = 0)$ und der Radialspannung $\sigma_r(z)$ in Abhängigkeit der Wandschubspannungsrichtung in einem mit Schüttgut gefüllten Rohr.....	65
Abb. 5.2:	Spannungen an einer Scheibe der Dicke dz unter Berücksichtigung der Bewegungsrichtung (Wirkrichtung der Wandschubspannung τ_w)	66
Abb. 5.3:	Spannungen an einer Scheibe der Dicke dz unter Berücksichtigung des Wandschubspannungsabbaus nach Walker [Wal-66] und der Bewegungsrichtung (Wirkrichtung der Wandschubspannung τ_w); $\bar{\sigma}_z$ bezeichnet die mittlere Vertikalspannung (Strichpunktlinie)	68

Abb. 5.4:	Schub- und Normalspannungen an einem differentiellen Volumenelement in einem Schüttgutbehälter	69
Abb. 5.5:	Wandschubspannungseinfluss unter dem Winkel α anhand der Krümmung der Gleitlinien in der Nähe einer rauen Wand	70
Abb. 5.6:	Gegenüberstellung von angenommenem (a) und beobachtetem (b) Konturverlauf in einer Schneckenkammer bei ungestörter Förderung	71
Abb. 5.7:	Darstellung eines schraubenförmigen Schüttgütörpers und eines Ringkörpers gleicher Fläche und gleicher Oberflächenkontur im Achsschnitt	72
Abb. 5.8:	Darstellung der Zonen I und II nach [Grei-94] im Schneckenförderer; $r_x(z)$ bezeichnet den Trennradius zwischen der wandschubspannungsfreien Zone I und der wandschubspannungsbehafteten Zone II	75
Abb. 5.9:	Spannungen an einer Scheibe der Dicke dz unter Berücksichtigung des Wandschubspannungsabbaus	76
Abb. 5.10:	Mögliche Grenzkonturen in einem drehenden Topf, abhängig von der Art der Konturerzeugung; der Pfeil symbolisiert hier die „Verteilungsrichtung“ des Schüttgutes im Topf	82
Abb. 5.11:	Darstellung eines Sektorelementes mit der Breite $d\varphi$, der Dicke dr und der Höhe $k(r)$ in einem drehbewegten Topf sowie der am Sektorelement angreifenden Kräfte F_r in radialer und F_z in vertikaler Richtung	83
Abb. 5.12:	Abweichungen von der geometrischen Idealform und dadurch veränderliche Kanalbreite $B(\varphi)$ a) Linearitätstoleranz des Außenrohres b) Unrundheit des Schneckenrohres c) Exzentrizität der Schneckenwelle	86
Abb. 5.13:	Füllungskonfigurationen im senkrechten Schneckenförderer	88
Abb. 5.14:	Radiale Verschiebung des äußersten Schnittufers	92
Abb. 5.15:	Reduktion der Kraft R_j von r_j auf r_m an einem Element; es gilt: $r_j > r_m$	98

Abb. 5.16:	Reduktion der Kraft R_j von r_j auf r_m an einem Element; es gilt: $r_j < r_m$	100
Abb. 5.17:	Reduktion der Kraft R_j von r_j auf r_m am äußersten Element; es gilt: $r_j > r_m$; Wirkrichtung von R_j entspricht dem Förderwinkel.....	101
Abb. 5.18:	Analytisch berechenbare Leistungsanteile	107
Abb. 5.19:	Mögliche Vorgehensweisen bei der Leistungsberechnung.....	108
Abb. 5.20:	Darstellung der Vorgänge in der Spaltzone	110
Abb. 5.21:	Semi-analytischer Ansatz nach Gabler.....	111
Abb. 5.22:	Grundkonzept des semi-empirischen Auslegungsverfahrens.....	113
Abb. 5.23:	Ansatz eines empirischen Auslegungsverfahrens	115
Abb. 5.24:	Konturverlauf der Schüttgutfüllung im Bereich vor, während und nach der Wendeltrennung [Grei-94]	123
Abb. 6.1:	Versuchsanlage für Hochleistungs-Schneckenförderer.....	129
Abb. 6.2:	Prallplattenwaage der Fa. Rembe	132
Abb. 6.3:	Drehzahl- und Drehmomentmessung der Förderer	133
Abb. 6.4:	Darstellung des Böschungswinkels α einer Schüttung	137
Abb. 6.5:	Versuchsvorrichtung zur Bestimmung des Böschungswinkels nach DIN	138
Abb. 6.6:	Gerät für die fraktionierte Korngrößenanalyse (Schwingsieb- Analyse).....	139
Abb. 6.7:	Einstellparameter am Versuchsstand	147
Abb. 6.8:	Vorgehen zur Kennfelderzeugung	148
Abb. 6.9:	Bildschirmdarstellung der Messwerterfassung	150
Abb. 6.10:	Datenfluss der Messwertverarbeitung	152
Abb. 6.11:	Betriebsparameter und Messgrößen	153
Abb. 6.12:	Abhängigkeiten der Betriebsparameter und Messgrößen	154
Abb. 6.13:	Dreidimensionale Darstellung der Betriebsparameter und Messgrößen.....	154
Abb. 6.14:	Korngrößenanalyse Weizen	158

Abb. 6.15:	Drehmomentverlauf über der Zeit, Fördergut Weizen	159
Abb. 6.16:	Drehmomentverlauf über der Zeit, Fördergut Weizen	160
Abb. 6.17:	Gemessene Betriebspunkte beim Horizontalförderer, Fördergut Weizen	161
Abb. 6.18:	Drehmoment über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen	162
Abb. 6.19:	Leistung über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen.....	163
Abb. 6.20:	Spezifischer Leistungsbedarf über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen	164
Abb. 6.21:	Verschiebewiderstandsbeiwert λ über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen	166
Abb. 6.22:	Verschiebewiderstandsbeiwert λ über der Drehzahl bei konstantem Füllungsgrad, Fördergut Weizen.....	167
Abb. 6.23:	Gemessene Betriebspunkte beim Vertikalförderer, Fördergut Weizen	168
Abb. 6.24:	Drehmoment über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen	169
Abb. 6.25:	Leistungsbedarf über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen.....	170
Abb. 6.26:	Spezifischer Leistungsbedarf über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen	171
Abb. 7.1:	Einteilung des Fördervorganges bei Schüttgut in drei charakteristische Bereiche, analog zur Einzelkörperförderung.....	177
Abb. 7.2:	Die qualitative Einteilung in die Bereiche I, II und III unterschiedlicher Förderbarkeit in Abhängigkeit von Neigungswinkel und Drehzahl nach Vollmann	178
Abb. 7.3:	Verschiebewiderstandsbeiwert λ für Weizen bei der Förderung mit einem horizontalen Hochleistungs-Schneckenförderer	180
Abb. 7.4:	Verlauf des Verschiebewiderstandsbeiwertes λ über dem Füllungsgrad φ bei veränderlicher Drehzahl n im horizontalen Förderer, Fördergut Weizen	182
Abb. 7.5:	Verlauf des spezifischen Leistungsbedarfes über der Drehzahl n bei stets konstantem Füllungsgrad φ im horizontalen Förderer, Fördergut Weizen	184

Abb. 7.6:	Vergleich Gutwinkelgeschwindigkeit nach Einzelkörperberechnung und nach Mehrkörperberechnung, Fördergut Weizen.....	187
Abb. 7.7:	Verlustleistungsanteile (rechnerisch und experimentell) bei konstantem Füllungsgrad, Fördergut Weizen.....	191
Abb. 7.8:	Vergleich verschiedener Bezugsgrößen bei der Bildung des Förderfaktors bei konstantem Füllungsgrad, Fördergut Weizen.....	192
Abb. 7.9:	Förderfaktor über der Gutumfangsgeschwindigkeit für Fördergut Weizen im vertikalen Hochleistungs-Schneckenförderer	195
Abb. 7.10:	Rohrreibleistung nach Greinwald für das Fördergut Weizen im Versuchsförderer	196
Abb. 7.11:	Rechnerische Rohrreibleistung am Förderrohr für Fördergut Weizen aufgetragen über dem Massenstrom; Bildung einer gemeinsamen Regressionsgeraden	197
Abb. 7.12:	Rohrreibleistung reduziert um ω^3 über der Drehzahl bei konstantem Füllungsgrad, Fördergut Weizen.....	198
Abb. 7.13:	Auslesen des Förderfaktors aus dem Kennfeld für $\omega_r=1,9$ und $\varphi=44\%$, Fördergut Weizen	199
Abb. 7.14:	Spezifischer Leistungsbedarf eines vertikalen Hochleistungs-Schneckenförderers bei konstantem Füllungsgrad, Fördergut Weizen	202
Abb. 7.15:	Spezifischer Leistungsbedarf eines vertikalen Hochleistungs-Schneckenförderers über dem Füllungsgrad, Fördergut Weizen	203
Abb. 8.1:	Gemessener Leistungsbedarf mit Regressionsgeraden.....	205
Abb. 8.2:	Steigung der Regressionsgeraden	206
Abb. 8.3:	Vergleich realer zu empirisch berechnetem Leistungsbedarf	207

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1	Kraftkomponenten in Binormal- und Tangentialrichtung der reduzierten Kräfte	102
Tabelle 6.1	Technische Daten der Förderer.....	131
Tabelle 6.2	Schüttdichten in Abhängigkeit von Feuchtigkeitsgehalt und Lagerungsdichte für Sand	136
Tabelle 6.3	Schüttdichten unterschiedlicher Schüttgüter	137
Tabelle 6.4	Kornformen.....	140
Tabelle 6.5	Auswahl der Versuchsgüter.....	141
Tabelle 6.6	Kennwerte der Versuchsgüter	141
Tabelle 6.7	Formen des inneren Zusammenhalts nach DIN 3435.....	143

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

In der modernen High-Tech-Welt, wo Internet und Virtual Reality zu vielgefragten Stichworten des technischen Alltags geworden sind, erscheint die klassische Förder-technik wie ein altbekanntes Gebiet von untergeordnetem Erneuerungs- oder Forschungsbedarf. Dass es aber beispielsweise gerade der Bereich des Schüttguttransportes ist, der beinahe unabhängig von konjunkturellen und politischen Einflüssen ein stetiges Wachstum aufweist, belegt eindrucksvoll den Stellenwert dieses Marktfeldes. Gerade die Handhabung, der Transport und der Umschlag von Massengütern bedürfen einer stetigen Weiterentwicklung der eingesetzten Technik und dem Einsatz innovativer Technologien. Ob im klassischen Bergbau (Abb. 1.1), in Industrieanlagen, bei jeder Art von Rohstoffversorgung oder -transport, bei der Bekohlung von Kraftwerken und ganz besonders in der See- und Binnenschifffahrt, stets geht es darum, große Mengen von Stoffen wirtschaftlich, sorgsam und umweltverträglich zu handhaben.

Die dabei bewegten Massen werden durch die stetig ansteigenden Bedarfe von



Abb. 1.1: Schaufelradbagger aus dem Tagebau

Erzen aller Art, Mineralien und auch fossilen Energieträgern immer größer. So hat beispielsweise alleine der Rock- and Minerals Processing Bereich, als einer der größten Märkte überhaupt, derzeit einen Gesamtwert von mehr als 100 Milliarden EURO. In der Bauindustrie werden alljährlich über 15 Milliarden Tonnen von gebrochenem, aufbereitetem Steinmaterial gefördert. Umso mehr ist es notwendig, die hier eingesetzte Technik mit der Zielsetzung eines optimalen Kosten-/Nutzenverhältnisses betreiben zu können.

Die heute am häufigsten verwendeten Geräte in Bereichen großer und größter Massenströme sind neben den bereits seit langer Zeit zahlreich eingesetzten Greiferkra-

nen (Portal- oder Wippkran, Abb. 1.2), kontinuierliche Systeme wie Kratzerförderer, Becherwerke, En-Masse-Förderer, Pneumatische Förderer, Schaufelradgeräte oder Vertikalschnecken-Geräte.



Abb. 1.2: Entladeterminale mit Portalkranen im Hafen Rotterdam

Die Gründe für die Entwicklung der kontinuierlichen Techniken liegen sowohl in den gestiegenen Anforderungen des Umweltschutzes, als auch in der uneffektiven Arbeitsweise des Greiferbetriebes. Durch das prinzipbedingt diskontinuierliche Förderverfahren des Greifers muss meist zum Erreichen der geforderten Durchsatzkonstanz das Fördermittel deutlich überdimensioniert werden. Auch müssen komplizierte mobile Trimmgeräte an diesen Geräten installiert werden, um die stark schwankenden Lasten auf die Tragstruktur auszugleichen.

Besonderen Einfluss auf die Auslegung und Entwicklung neuer Großgeräte hatten in den vergangenen Jahren die ständig gestiegenen Anforderungen des Umweltschutzes. Belästigungen durch Staub- und Lärmemission sowie durch Materialverluste, wie sie bei Greifergeräten letztendlich unvermeidbar sind, werden heute im Anlagenumfeld nicht mehr akzeptiert und müssen durch geeignete Maßnahmen möglichst gering gehalten, wenn nicht gar vermieden werden. So ist beispielsweise bei der Erweiterung des Schüttgutbereiches im Hafen Rotterdam nur noch der Einsatz von emissionsarmen oder -freien Entladegeräten erlaubt. Auch wirtschaftlich betrachtet sind bereits geringe Verluste von Fördergut in Anbetracht der absolut gesehen

enormen Förderströme beachtenswerte Einbußen an Material und damit finanziellem Wert.

Diese Forderungen führten verstärkt zur Entwicklung und Verwendung von kontinuierlichen Systemen, die einfach und effektiv gekapselt werden können und bei denen der Materialfluss von der Gutaufnahme bis zur -abgabe nicht unterbrochen wird.



Abb. 1.3: Schiffsentlader mit Hochleistungs-Schneckenförderer

Unter diesen kontinuierlich arbeitenden Geräten kommt gerade im Bereich der Schiffsentladung bei geforderten Entladeleistungen zwischen 100 t/h und 1000 t/h vermehrt die Technologie des Schneckenförderers zum Einsatz (Abb. 1.3). Dies liegt zum einen an seiner prinzipbedingt voll gekapselten Bauweise, zum anderen aber auch am robusten und einfachen Aufbau. Wegen seiner Einfachheit halten sich nicht nur die Investitionskosten in Grenzen, der Schneckenförderer zeichnet sich auch bei geeigneter Auswahl und Auslegung durch seine hohe Leistungsdichte bei kleinem Bauraum und niedrigem Gewicht aus. Wegen dieser Vorteile werden Schneckenförderer in vielen Einsatzbereichen zahlreich eingesetzt. Durch die große Erfahrung, die in der Praxis beim Einsatz solcher Fördergeräte gewonnen werden konnte, ist die Sicherheit bei der Auslegung verglichen mit anderen Technologien relativ hoch. Gerade im Bereich der

horizontalen Schnecken treten damit praktisch keine weitreichenden Probleme im Betrieb auf; die Anlagen gelten als überaus zuverlässig. Erst durch die engen Kostengrenzen bei der Neuanschaffung von Anlagen kommt es heute häufig zu Schwierigkeiten, weil die Auslegungssicherheiten zu gering gewählt werden.

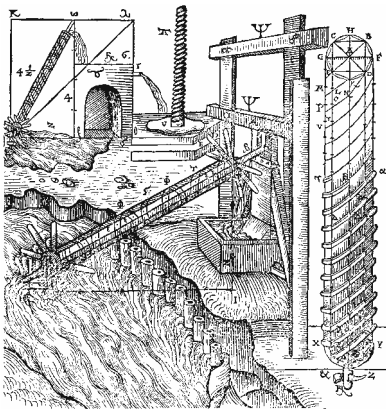


Abb. 1.4: Schematische Darstellung der Archimedischen Wasserschraube

Der Schneckenförderer zählt zu den am längsten im Einsatz befindlichen Fördergeräten. Wurde er ursprünglich als Rohrschneckenförderer zum Heben von Wasser eingesetzt (Abb. 1.4), so ist er heute für unterschiedlichste Verwendungszwecke im Einsatz.

Es werden damit niedrigste Massenströme in winzigen Dosierschnecken waagrecht zudosiert, genauso wie 1000 t/h Kohle von Hochseeschiffen vertikal entladen werden können. Schneckenförderer sorgen dafür, dass aus Silos gut fließende Güter entnommen werden und unter 45° einem Sammelbehälter zugeführt werden oder ziehen aus einem vollen Bunker

nur mäßig fließendes Gut ab. Es gibt Schnecken, die völlig ohne Gehäuse auskommen, Schnecken, die in geschlossenen Rohren laufen oder Schnecken in halbgeschlossenen Trögen.

Außer den klassischen Schneckenförderern, die aus einer auf ein Rohr geschweißten Schneckenwendel aufgebaut sind, gibt es seit Mitte der 70er Jahre auch den wellenlosen Spiral- oder Wendelförderer (Abb. 1.5). Dieser hat sich bei Schüttgütern mit stark differierenden Korngrößen als sicher gegen Verklemmung und Verstopfung herausgestellt. Gerade im Bereich der Entsorgungswirtschaft und des Recycling hat sich in den letzten Jahren damit ein weitreichender Markt eröffnet (Bru-98).



Abb. 1.5: Wendelförderer in der Entsorgungswirtschaft

Ebenso herausragend gegenüber vielen anderen Fördergeräten ist aber auch die

Möglichkeit, während des Fördervorganges verfahrenstechnische Prozesse ablaufen zu lassen. Mischen ist dabei nur eine Aufgabe, die jedoch besonders häufig mit Schnecken in einfacher oder in Doppelwellen-Bauweise vorgenommen wird. Ebenso erfolgreich werden Schnecken-Wärmetauscher eingesetzt.

1.2 Problemstellung

Die vielschichtigen Einsatzmöglichkeiten des Schneckenförderers führen aber auch dazu, dass die Auslegung dieses scheinbar so einfachen Gebildes extrem komplex werden kann. Abhängig von Drehzahl, Schneckenneigung und Gutart ergeben sich vollkommen verschiedene Bewegungszustände, die einer speziellen Berechnung bedürfen. Art der Gutaufgabe (frei oder zwangsbefüllt), der Gutabgabe und notwendige Einbauten wie Zwischenlager verändern Förderverhalten und Leistungsbedarf ebenfalls dramatisch.

Der hohe Kapitaleinsatz für den Maschinen- und Anlagenpark, den die kontinuierliche Fördertechnik erfordert, zwingt aber gleichzeitig zu einer hohen Gesamtauslastung der Systeme und zu einer engeren Dimensionierung der Anlagen an den Leistungsgrenzen. Diese beiden Anforderungen sind auch beim kontinuierlichen Verbesserungsprozess zu beachten, um im Wettbewerb mit anderen Fördertechniken bestehen zu können.

War es in früheren Zeiten üblich, Betriebssicherheit eines Gerätes mit Überdimensionierung gleichzusetzen, so ist heutzutage die Anforderung des Marktes ein optimal für den gewünschten Einsatzzweck angepasstes Fördersystem zu erhalten.

Besonders deutlich wird diese Problematik, wenn man den Bereich der wirtschaftlich eigentlich nutzbaren Betriebszustände mit denen, die über die Auslegungsnorm DIN 15262 abgedeckt sind, vergleicht. Lediglich ein kleiner Randbereich ganz spezieller Förderbedingungen wird in einer allgemein nutzbaren Richtlinie betrachtet, der größere Teil entzieht sich einer Auslegung im Rahmen einer gültigen Norm oder Richtlinie. Trotzdem ist gerade dieser Bereich von immenser Bedeutung, um konkurrenzfähige, optimierte, platzsparende und gewichtsarme Gerätschaften anbieten zu können.