

HRIFTEN DES VEB VERLAG TECHNIK

bahntechnik

issenschaftliche Zeitschrift für Bau, Betrieb
itung schienengebundener Verkehrseinrichtungen
eiten, EVP 3,50 Mark

ft für die sozialistische Elektroindustrie: Starkstromtechnik
eiten, EVP 3,00 Mark

issenschaftliche Zeitschrift für Feinmechanik,
eßtechnik
eiten, EVP 3,00 Mark

und Betrieb
r Technik, Organisation und Ökonomie des Maschinenbaus
eiten, EVP 2,00 Mark

ördermittel
r Konstruktion, Fertigung und Organisation auf den Gebieten
chnik und des innerbetrieblichen Transports
eiten, EVP 3,00 Mark

chnik
eitschrift des Kraftfahrwesens
eiten, EVP 1,00 Mark

chnik
issenschaftliche Zeitschrift für Forschung, Entwicklung
ktion auf dem Gebiet des Maschinenbaus
eiten, EVP 4,00 Mark

– regeln
gspraxis“
issenschaftliche Zeitschrift für die Automatisierungstechnik
eiten, EVP 4,00 Mark

nik
hmierung – Verschleiß – Schmierstoffe –
ysteme – Lagertechnik
eiten, EVP 5,00 M

alle Gebiete der Schweiß-, Schneid-, Löt-,
ritztechnik
eiten, EVP 2,00 M

issenschaftliche Zeitschrift für Grundsatz- und Querschnittsfragen
eiten, EVP 3,00 Mark

n Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT



Taschenbuch
Maschinenbau

Taschenbuch Maschinenbau

in 21 Bänden

3/III

Band **3/III**

VT

Arbeitsmasch

Ferit Baltacı
Konstanz
1990

	Seite
1. Plastmaschinen	11
2. Aufbereitungsmaschinen	57
3. Glasverarbeitungsmaschinen	165
4. Keramikmaschinen	206
5. Holzverarbeitungsmaschinen	245
6. Sachwörterverzeichnis	321

Autorenverzeichnis

- Dr.-Ing. I. Cerovsky, VEB Glasmaschinenbau Coswig
Abschn. 3.
- Dipl.-Ing. K.-H. Eisenhardt, VEB Thuringia Sonneberg, Kombinat Glas- und Keramikmaschinen
Abschn. 4.
- Dipl.-Ing. A. Fuchs, VEB Glasmaschinenbau Coswig
Abschn. 3.
- Dipl.-Ing. W. Gernlein, VEB Thuringia Sonneberg, Kombinat Glas- und Keramikmaschinen
Abschn. 4.
- Dr.-Ing. O. List, VEB Glasmaschinenbau Coswig
Abschn. 3.
- Ing. H. Schier, VEB Glasmaschinenbau Coswig
Abschn. 3.
- Dipl.-Ing. H. Schilling, verst.
Abschn. 4.
- Dipl.-Ing. W. Schmutzler, Leipzig
Abschn. 5.
- Ing. E. Steffens, VEB Keramikmaschinen
Abschn. 4.
- Prof. Dr.-Ing. H. Trepte, TH Karl-Marx-Stadt
Abschn. 1.
- Prof. em. Dr.-Ing. H. Weinrich, Dresden
Abschn. 2.
- Dr.-Ing. H. Wiegand, VEB Glasmaschinenbau Coswig
Abschn. 3.

Vorwort zum Band 3

Die mit der fortschreitenden Mechanisierung und Automatisierung der Produktionsprozesse einhergehende rasche Entwicklung der Arbeitsmaschinen machte die Neubearbeitung des Bandes 3 erforderlich. Der für die 1. Auflage gewählte Titel „Stoffumformung“ als Parallele zu „Energieumformung“ für Band 2 gab zu Fehldeutungen des Inhalts Anlaß. Unter dem Sammelbegriff „Arbeitsmaschinen“ werden nunmehr in Band 3 diejenigen Maschinen zusammengefaßt, die den Menschen von schwerer und monotoner körperlicher Arbeit entlasten und seine Leistung durch Nutzung gewandelter Primärenergie vervielfachen.

Im Band 3/I werden Arbeitsmaschinen behandelt, die der Gewinnungstechnik dienen sowie die zum Stofftransport erforderlichen Ausrüstungen. Außerdem sind in ihm umfassend die Werkzeugmaschinen dargestellt.

Band 3/II mit dem Untertitel „Verarbeitungsmaschinen“ enthält die Produktionsmaschinen der Konsumgüterindustrie, die nach verarbeitungstechnischen Gesichtspunkten und konstruktiven Merkmalen dargestellt, untersucht und entwickelt werden. Dem wichtigen gesellschaftlichen Anliegen, die Arbeitsproduktivität der einschlägigen Industriezweige zu erhöhen, wird Rechnung getragen, indem Band 3/II ausschließlich den Verarbeitungsmaschinen zur Verfügung steht. So wechselten die hydraulischen und pneumatischen Antriebe sinnvollerweise in den maschinentechnischen Grundlagenband 1/II über, die Glasmaschinen und Keramikmaschinen in den Band 3/III, während die Landmaschinen wegen ihrer Affinität zur Nahrungsgüterwirtschaft im Band 3/II Aufnahme fanden. Insgesamt ergab sich damit eine günstige, ausgewogene Gliederung des Arbeitsmaschinenkomplexes. Sie hilft Zusammenhänge erkennen und dient damit der Ganzheitsbetrachtung des Maschinenwesens.

Band 3/III enthält die Aufbereitungsmaschinen, Holzverarbeitungsmaschinen, Glasmaschinen, Keramikmaschinen und die Plastikmaschinen, für die wegen der wachsenden Bedeutung ihrer Produkte die Seitenzahl gegenüber der ersten Auflage wesentlich erhöht wurde.

An den Arbeitsmaschinenbau werden im Hinblick auf seine grundsätzliche volkswirtschaftliche Bedeutung bei der Erfüllung der Hauptaufgabe sehr hohe Anforderungen gestellt mit dem Ziel, die Produktion auf allen entscheidenden Gebieten zu rationalisieren. Der mit den ständig wachsenden Bedürfnissen einhergehende technische Fortschritt und die Vielgestaltigkeit der Maschinen zwangen zur sorgfältigen Auswahl des Stoffes und zur Beschränkung auf die für die Arbeit des angehenden und des in der Praxis tätigen Ingenieurs wesentlichen Informationen. Unter Berücksichtigung kritischer Bemerkungen zur 1. Auflage war der Herausgeber im Einvernehmen mit dem Verlag bemüht, einerseits das zu behandelnde Maschinenangebot zu vervollständigen, andererseits die Autoren zu veranlassen, das für den Benutzer des Werkes wichtige Faktenmaterial anschaulich und übersichtlich in unmittelbar verwendbaren Wissensspeichern darzustellen, wobei die ständige Qualifizierung des Benutzerkreises vorausgesetzt wurde.

Den Werkzeugmaschinen, die in der 1. Auflage nur fragmentarisch behandelt werden konnten, wurde in dieser Beziehung besondere Aufmerksamkeit zugewandt, indem das in der umfangreichen speziellen Literatur verstreute Wissen hinsichtlich des Verwendungszweckes sorgfältig ausgewählt, konzentriert und für den Anwender aufbereitet in Tabellenform zusammengefaßt wurde. Eine völlige Neubearbeitung machte sich für den Abschnitt Baumaschinen erforderlich.

Für die 5 Hauptabschnitte des neu konzipierten Bandes 3/III zeichnen in Wissenschaft und Praxis erfahrene Autoren verantwortlich. Sie haben sich bemüht, durch Konzentration des umfangreichen Stoffes auf das Wesentliche und Beständige den Informationsgehalt des

Werkes beträchtlich zu erhöhen, auf den neuesten Stand der Technik zu bringen und dem Ingenieur eine Grundlage für rationelles Arbeiten zu schaffen.
Für die ersprießliche Zusammenarbeit mit dem Verlag, die sorgfältige Durchsicht der Manuskripte und wertvolle Hinweise danke ich der Lektorin, Frau Dipl.-Ing. oec. Ansorge.

Gottfried Tränkner

Inhaltsübersicht

1	Plastmaschinen <i>Yogruk</i>	11
	<i>von Prof. Dr.-Ing. H. Trepte</i>	
1.1.	Physikalische Grundlagen der Plastverarbeitung	12
1.2.	Maschinen zur Aufbereitung von Plasten	13
1.3.	Urformmaschinen für Strangprodukte	16
1.4.	Urformmaschinen für Formteile	29
1.5.	Umformmaschinen	49
1.6.	Trennmaschinen	52
1.7.	Fügemaschinen und -geräte	53
1.8.	Beschichtmaschinen	54
2.	Aufbereitungsmaschinen	57
	<i>von Prof. em. Dr.-Ing. H. Weinrich</i>	
2.1.	Allgemeines zur Aufbereitungstechnik	60
2.2.	Zerkleinern	61
2.3.	Siebklassieren	107
2.4.	Stromklassieren	118
2.5.	Zerkleinerungssysteme und Mahltrocknen	129
2.6.	Stückigmachen	134
2.7.	Mischen	141
2.8.	Sortieren	145
3.	Glasverarbeitungsmaschinen	165
	<i>von Ing. H. Schier unter Mitarbeit von Dr.-Ing. I. Cerovsky, Dipl.-Ing. A. Fuchs, Dr.-Ing. O. List, Dr.-Ing. H. Wiegand</i>	
3.1.	Formgebungsverfahren	166
3.2.	Dosieren des geschmolzenen Glases	168
3.3.	Glasformen	172
3.4.	Blasmaschinen	173
3.5.	Preßmaschinen	185
3.6.	Ziehmaschinen	186
3.7.	Walzmaschinen	194
3.8.	Gießanlagen	195
3.9.	Nachbearbeitungsmaschinen	196
4.	Keramikmaschinen	206
	<i>von Dipl.-Ing. H. Schilling (verst.), Dipl.-Ing. W. Gernlein, Ing. E. Steffens, Dipl.-Ing. K. H. Eisenhardt</i>	
4.1.	Formgebungsmaschinen	207
4.2.	Glasiermaschinen	229
	Arbeitsverfahren - Anforderungen an Maschinen - Ausführungsbeispiele	
4.3.	Schleifmaschinen	233
4.4.	Transportanlagen für die Grobkeramikindustrie	234

5. Holzverarbeitungsmaschinen	245
<i>von Dipl.-Ing. W. Schmutzler</i>	
5.1. Entwicklungsrichtung	247
5.2. Energetische und kinematische Kenngrößen	247
5.3. Sägemaschinen	262
5.4. Fräsmaschinen	274
5.5. Dübellochbohrmaschinen	283
5.6. Schleifmaschinen	284
5.7. Maschinen zum Zerkleinern	290
5.8. Rotoreintrindungsmaschinen	300
5.9. Maschinen zur Herstellung von Furnieren	301
5.10. Maschinen zum spanlosen Formen	308
5.11. Maschinen zum Beschichten	315
6. Sachwörterverzeichnis	321

1. Plastmaschinen

von Prof. Dr.-Ing. H. Trepte

1.1. Physikalische Grundlagen der Plastverarbeitung	12
1.1.1. Struktur und Zustandsbereiche der Plastwerkstoffe	12
1.1.2. Rheologisches Verhalten der Thermoplaste	13
1.2. Maschinen zur Aufbereitung von Plasten	13
1.2.1. Mischer und Kneter	14
1.2.2. Zerkleinerungsmaschinen	16
1.2.3. Komprimiermaschinen	16
1.3. Urformmaschinen für Strangprodukte	16
1.3.1. Extruder	16
1.3.2. Walzenmaschinen	26
1.3.3. Stranggießmaschinen	29
1.4. Urformmaschinen für Formteile	29
1.4.1. Spritzgießmaschinen	29
1.4.2. Hohlkörpermaschinen	39
1.4.3. Pressen	41
1.4.4. Maschinen und Apparate für die Verarbeitung langfaserverstärkter Plaste	45
1.4.5. Schäummaschinen	46
1.5. Umformmaschinen	49
1.6. Trennmaschinen	52
1.7. Fügemaschinen und -geräte	53
1.7.1. Schweißen von Plasten	53
1.7.2. Kleben von Plasten	54
1.8. Beschichtmaschinen	54
Literatur	55

Formelzeichen

A	Stoffkonstante im sinh-Gesetz	a	Stützweite von Ballenende bis Lagermitte
A_h	Summe der Querschnittsflächen der Holme	B	Stoffkonstante im sinh-Gesetz
A_k	Summe der Querschnittsflächen der Kniehebel	B_w	Wulstbreite der Walzenvorlage
A_K	Projektion der Konturfläche in Schließrichtung	b	Walzenversatz (beim Schrägstellen)
A_w	mittlere Querschnittsfläche des Werkzeugs	c_M	Federzahl der Schließeinheit
$A_{1/2/3}$	Konstanten	c_R	Rückfederzahl des Spritzgießwerkzeugs
		D	Schneckendurchmesser

E	Elastizitätsmodul	p_i	(mittlerer) innerer Spritzdruck
E_h	Elastizitätsmodul des Holmwerkstoffs	V_D	Volumen des letzten Ganges der Druckzone
E_k	Elastizitätsmodul des Kniehebelwerkstoffs	V_E	Volumen des ersten Ganges der Einzugzone
E_w	Elastizitätsmodul des Werkzeugwerkstoffs	\dot{V}	Plaststrom einer Schneckenpresse
F_A	Auftreibkraft (Produkt aus Spritzdruck im Werkzeug und Konturfäche in Schließkraft-richtung)	\dot{V}_D	Druckströmung
F_S	Schließkraft	\dot{V}_K	Kompressionsströmung oder/und Wärmedehnungsströmung
F_W	Kraft auf eine Walze	\dot{V}_L	Leckströmung
F_Z	Zuhaltekraft	\dot{V}_S	Schleppströmung
f_w	Durchbiegung einer Walze	v	Geschwindigkeit
h	Schneckensteigung	v_0	Geschwindigkeit in Gang-richtung
I	Flächenträgheitsmoment	q_w	Walzkraft längs des Ballens
i	Gangzahl einer Schnecke	R	Walzenradius
K	Kompressionsverhältnis	s	Walzenspalt oder Spaltweite zwischen Schnecke und Zylinder
k	Werkzeugkonstante	t	Gangtiefe
L	wirksame Schneckenlänge	α	Verstellwinkel der Walzenachsen
L_B	Länge des Walzenballens	β	Anstellwinkel des Kniehebels bei Berührung der Werkzeughälften
L_k	Länge eines Kniehebelschenkels	η	dynamische Viskosität
L_w	Länge des Werkzeugs	τ	Schubspannung
l	Länge der Druckzone	Φ	Fließvermögen
m	Fließwert	φ	Gangsteigungswinkel
n	Drehzahl		
p	Druck		

1.1. Physikalische Grundlagen der Plastverarbeitung

1.1.1. Struktur und Zustandsbereiche der Plastwerkstoffe

Thermoplaste bestehen aus linearen oder verzweigten Makromolekülen. Erwärmung führt zum Abbau der Nebervalenzen, so daß mit steigender Temperatur zunehmende Beweglichkeit der Makromoleküle gegeneinander möglich wird.

Für Thermoplaste sind drei Zustandsbereiche charakteristisch (Bild 1.1). Übergänge (Erweichungs-, Fließtemperatur) sind nicht scharf fixiert und abhängig vom Plasttyp. Maschinelle Verarbeitung erfolgt hauptsächlich durch Urformen wegen guter Wirtschaftlichkeit bei hohen Stückzahlen. Umformen, Trennen und Fügen ist möglich; Thermoplaste sind schweißbar.

In Plaziereinheit wird durch Wärmezufuhr oder Umsatz mechanischer Energie in Wärme Plast fließfähig gemacht und danach durch Druckgefälle zu Formteilen oder Strangprodukten geformt. Wärmeentzug führt über Fließ- und Einfriertemperatur zum Plastgegenstand.

Bei Duroplasten läuft während Urformung in Preßwerkzeugen chemische Reaktion ab, die

	Temperatur		Zersetzung	
	-50	0 +50	+100 150	200 250 °C
Zustand: fest	thermoelastisch (elastisch)		thermoplastisch (fließfähig)	
Urbearbeitung z.B. Trennen	Umformen		Urformen	

Bild 1.1 Zustandsbereiche eines Polystyroltyps ET Erweichungs- oder Einfriertemperatur; FT Fließtemperatur

durch Wärmezufuhr oder/und Härter/Aktivator eingeleitet wird. Grundmoleküle verbinden sich untereinander durch Hauptvalenzen; es entsteht ein Riesenmolekül, das in bestimmten Temperaturbereichen stabil bleibt. Umformen ist nicht möglich; Trennen erfolgt mit Hand- oder Maschinenwerkzeugen und Fügen durch Maschinenelemente oder durch Kleben. Sie sind nicht schweißbar.

Elaste sind Duroplasten im chemischen Aufbau ähnlich, Grundmoleküle werden durch Schwefelbrücken zum Makromolekül verbunden. Elastizität hängt von Anzahl der S-Brücken ab.

1.1.2. Rheologisches Verhalten der Thermoplaste

Für Berechnung von Fließquerschnitten der Maschinen und Werkzeuge ist neben thermodynamischen Werten vor allem das rheologische Verhalten maßgebend. Plastwerkstoffe gehorchen im thermoplastischen Zustand in der Regel nicht dem Newtonschen Gesetz (Schergefälle $dv/dy = \tau/\eta$), sondern dem Potenzgesetz (erweitertes Newtonsches Gesetz),

$$\frac{dv}{dy} = \Phi \tau^m, \tag{1.1}$$

das den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Schergefälle und Scherspannung berücksichtigt. Für dieses Verhalten ist der Begriff Strukturviskosität eingeführt. Exponent m heißt Fließwert; Ausdruck Φ wird als verallgemeinerte Fluidität oder als Fließvermögen bezeichnet.

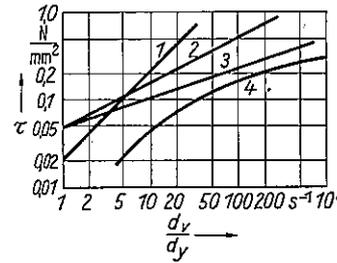


Bild 1.2 Fließkurven (in doppeltlogarithmischer Darstellung) Nach: Görmar, H., Kunststoffe und Gummi 4 (1965) S.309-315 1 Newtonsches Fließgesetz; 2 Potenzgesetz $m = 2$; 3 Potenzgesetz $m = 3$; 4 sinh-Gesetz

Fließverhalten läßt sich außerdem durch sinh-Gesetz beschreiben (Bild 1.2):

$$\frac{dv}{dy} = A \sinh \frac{\tau}{B}. \tag{1.2}$$

Stoffkonstanten m, Φ, A und B sind experimentell bestimmbar. Das sinh-Gesetz, Gl.(1.2), erlaubt Fließverhältnisse allgemeiner, ist aber mathematisch schwieriger zu handhaben. In bestimmten Grenzen kann das sinh-Gesetz durch das Potenzgesetz annähernd beschrieben werden [1.1].

Technische Plaste sind in der Regel keine homogenen Substanzen, sondern bestehen aus verschieden langen Makromolekülen. Zahlenwerte (z.B. relative Molekülmasse) stellen Mittelwerte dar und geben keinen Aufschluß über Verteilung, so daß die Stoffkennwerte für Fließen nur für einen Plasttyp und evtl. nur für bestimmte Charge gelten.

1.2. Maschinen zur Aufbereitung von Plasten

Hochpolymerer Werkstoff muß meist aufbereitet werden, bevor er in die Verarbeitungsmaschine gelangt, weil

1. Unterschiede einzelner Chargen bei Polymerherstellung durch gezieltes Mischen untereinander auszugleichen sind oder/und

- aus Polymerisationsreaktor anfallender Stoff aufgrund seiner Mikrogestalt (feinpulverig) schlecht verarbeitbar ist oder konfektioniert werden muß oder/und
- Hochpolymer durch Einarbeiten weiterer Stoffe der Verarbeitung angepaßt oder für Anwendung modifiziert werden muß, z.B. durch Gleitmittel, Stabilisatoren, Weichmacher, Farbstoffe, Füllstoffe.

Aufbereitung aus den ersten zwei Gründen findet beim Hersteller der Polymere statt (Chemie-industrie), aus dem dritten Grund ebenfalls beim Hersteller, wenn größere Mengen standardisierter Plaste benötigt werden, sonst beim Verarbeiter.

Aufbereiten ist Gegenstand der Verfahrenstechnik; Maschinen dazu sind der Plastverarbeitung angepaßt [1.2].

1.2.1. Mischer und Knetter

Für *äußeres Mischen*, bei dem die Mikrogestalt der zu mischenden Komponenten nicht verändert wird, sind alle Mischer für pulverige, körnige oder viskose Substanzen geeignet. *Rührwerke* sind für niederviskose Medien geeignet, *Freifallmischer* (Taumelbehälter) nur für trockene Medien. *Schaufelmischer* können immer eingesetzt werden, wobei Schaufel- oder Knetorgane angepaßt werden.

Wirbelmischer (sog. Fluid- oder Schnellmischer) in Kaskadenanordnung werden häufig zur Plastaufbereitung eingesetzt. Flügelartige Werkzeuge am Boden (Bild 1.3) erzeugen zentrischen Wirbel. Der Mantel des Mixers ist heizbar; außerdem erfolgt durch Energieumsatz über Mischwerkzeug eine Erwärmung des Mischguts. Durch Variation der Drehzahl oder/und der Verweilzeit kann vorbestimmte Temperatur eingehalten werden, z.B. beim Mischen und gleichzeitigem Gelatinieren von Weich-PVC. Gemischtes und gelatinisiertes Gut wird in den nachgeschalteten *Kühlmischer* übergeben und weiter bewegt, so daß es nicht zusammenbäckt, sondern als rieselfähiges Produkt der Verarbeitungsmaschine zugeführt werden kann.

Beim *inneren Mischen* wird die Mikrogestalt der Komponenten durch Zerreiben oder/und Zerschneiden der Partikel verändert.

Im *Innenmischer* oder *Stempelknetter* (Bild 1.4) werden die Komponenten durch Stempel in die Knetkammer gepreßt und durch exzentrische Elemente geknetet. Wegen hohem Energieumsatz sind starke Antriebe nötig. Die Knetkammer ist heiz- und kühlbar. Stempelknetter

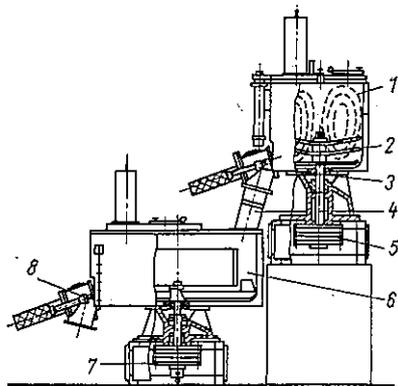


Bild 1.3. Heiz- und Kühlmischer in Kaskadenbauart
1 wirbelndes Mischgut; 2 Mischwerkzeuge (Flügel) des Heizmischer; 3 Verschlussklappe; 4 Übergabe zum Kühlmischer; 5 Antrieb des Heizmischer; 6 Kühlmischer; 7 Antrieb des Kühlmischer; 8 Entleerungsklappe

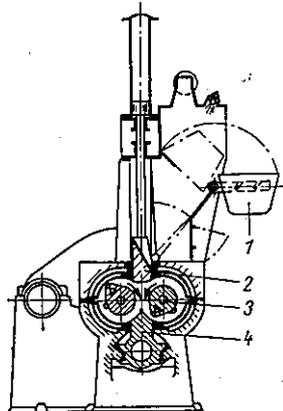


Bild 1.4. Innenmischer oder Stempelknetter
1 Behälter für Mischgut; 2 Stempel; 3 Knet-schaukel; 4 Mischkammerverschluß (Gleitsattel-ausführung)

sind nach nutzbarem Knetkammervolumen klassifiziert (Tafel 1.1). Walzwerke für Plast- und Elastverarbeitung dienen zum Plastizieren, Gelieren, Vorwärmen, Mischen, Brechen, Mahlen usw. sowie zum Abziehen von Bahnen begrenzter Länge (Bild 1.5). Walzen stehen waagrecht nebeneinander, Friktion (unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeit der Walzen) ist Merkmal bei allen Baugrößen (Tafel 1.2). Die Walzen sind heiz- und/oder kühlbar; Bruchlastsicherung an den Lagern.

Kontinuierliches Mischen und Kneten erfolgt durch den *Ko-Knetter* (Bild 1.6). Er ähnelt einer *Schneckenpresse (Extruder)*. Der Zylinder enthält innen Zähne, während im Schnecken-gang Lücken sind. Gute Misch- und Knetwirkung entsteht auch durch kämmende Doppelschnecken (s. Abschn. 1.3.1.) mit Knetzonen, die auswechselbar und dadurch an verschiedene Misch- oder Knetaufgaben anzupassen sind.

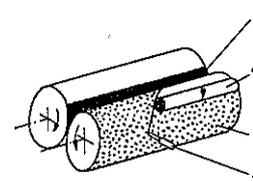


Bild 1.5. Plastizieren auf einem Walzwerk
1 Plast im Walzenspalt; 2 Wickeln einer Puppe; 3 umlaufende Walzrollen; 4 Lücke im Schnecken-gang

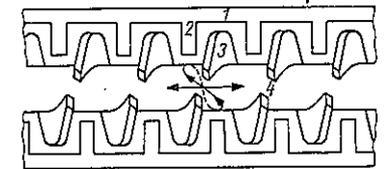


Bild 1.6. Arbeitsprinzip des Ko-Knetters
1 Zylinder; 2 Zahn; 3 Schnecke; 4 Lücke im Schnecken-gang

Tafel 1.1. Kennwerte von Stempelknettern nach TGL 15 282/01

Baugröße Nutzbares Knetkammer- volumen m ³ (für Gummi- mischung)	Richtwerte Freies Knetkammer- volumen m ³	Drehzahl des schnelllaufenden Knetwerkzeugs		Antriebsleistung max. kW	Einsatzgebiet
		max. U/min			
0,050	0,071	33	320	320 400 630	Plaste und Elaste
		44	400		
		66	630		
0,100	0,143	26	500	500 630 1000	Elaste
		35	630		
		52	1000		
0,160	0,230	20	630	630 800 1250	Elaste
		30	800		
		40	1250		

Tafel 1.2. Kennwerte von Walzwerken für Plaste oder Elaste nach TGL 8944/01

Aus- führung	Kurz- zeichen	Walzen- abmessung		Höhe bis Walzen- oberkante mm	Antriebsleistung		Bruchlast- sicherung je Lager kN	Friktion	Tempe- rierung der Walzen Küh- Hei- lung zung	
		d	l		Plast kW	Elast kW				
Labor	LWH	200	450	1250	2 x 5,5	75	150	1 : 1 bis 1 : 3,4	K	H
	LWK	300	600							
Normal	GWH	400	1000	1550	40	75	600	1 : 1,15 1 : 1,145 1 : 1,12	K	H
	GWK	550	1500		55	110, 132				
	PWH	665	2100		80	160, 200				
Brecher	GBW	550	800	1550	-	110, 132	1200	1 : 2,05 1 : 3; 1 : 4	K	-
		665	1000		-	160, 200				

1.2.2. Zerkleinerungsmaschinen

Abfälle (z.B. Angüsse) und Ausschuß von Thermoplasten werden in *Schlag-* oder *Schneidmühlen* (Bild 1.7) zerkleinert und als Regenerat dem Verarbeitungsprozeß wieder zugeführt. Aufbereiten (z.B. Einfärben) ist oft mit Zerkleinern kombiniert. Kontinuierlicher Mischer oder Knetter erzeugt Stränge, die durch Längs- und Querschneiden zu Würfelgranulat (Bandgranulator), zu Röllchengranulat (Schnurgranulator) (Bild 1.8) oder zu Linsengranulat (Kopfgranulierung) (Bild 1.9) führt. Bei letzterem wird von einem Messer der aus Fadenstrangwerkzeug austretende warme Plast abgetrennt. Durch innere Wärme verformt sich der Strangabschnitt linsenförmig. Anschließend erfolgt pneumatische Förderung und zugleich Abkühlung. Naßgranulierung ist ähnlich, aber die Kühlung geschieht entweder im Wasserbad oder das Abtrennen durch scharfen Wasserstrahl. Granulat muß danach getrocknet werden.

1.2.3. Komprimiermaschinen

Beschickung der Plastmaschine mit komprimiertem Plastwerkstoff bietet ökonomische Vorteile gegenüber Zufuhr von Pulver, Flocken u. ä. *Tablettiermaschinen* arbeiten meist als Rundläufer (Bild 1.10) vor allem für Duroplaste oder nach dem Wälzprinzip (Bild 1.11) für Plaste mit pulveriger oder anteilig pulveriger Konsistenz.

1.3. Urformmaschinen für Strangprodukte

1.3.1. Extruder

Extruder oder *Schneckenpressen* sind Maschinen, denen Plast als Granulat, Agglomerat oder Pulver zugeführt wird. Durch kontinuierliche Drehung der Schnecke (Schraubenspindel) wird Plastwerkstoff gefördert, plastiziert und notwendiger Druck für Formgebung aufgebaut. Entsprechend dem Plastzustand sind drei Bereiche abzugrenzen (Bild 1.12). In Einzug- oder Vorwärmzone I soll Plastwerkstoff gefördert, entgast und getrocknet werden. In Schmelzzone II wird plastiziert, geknetet und in Druckzone III (Austrag-, Meteringzone) homogenisiert und Druck aufgebaut für kontinuierliche Strangherstellung. Durch veränderliche Gangtiefe (Gangtiefenprogressivität) oder Steigung (Steigungsprogressivität) oder durch Kombination beider Arten wird Kompressionsverhältnis K über gesamte Schneckenlänge verwirklicht. K ist definiert als Verhältnis der Volumina von erstem Gang der Einzugszone V_E und letztem Gang der Druckzone V_D :

$$K = \frac{V_E}{V_D} = 1,1 \dots 4,0. \quad (1.3)$$

Praktisch wird die Verdichtung meist über wenige Gänge der Zone II ausgeführt. Grundgedanke für vereinfachte Berechnung der Zone III ist Modellvorstellung, wonach der Plast parallel zu den Schneckenflanken fließt (eindimensionale Strömung) [1.3]. Tatsächliche Bewegung des Plastes im Schneckengang (Bild 1.13) wird ignoriert. Es wird angenommen, daß interessierender Plaststrom \dot{V} , z.B. in m^3/min , sich vektoriell aus mehreren Teilströmungen zusammensetzt und weitere Vereinfachungen. Die folgende Ableitung, Gln. (1.4) bis (1.13), ist an die Modellvorstellung nach [1.3] gebunden. Strömungsmechanisch exakter Ansatz s.in [1.4].

$$\dot{V} = \dot{V}_S + \dot{V}_D + \dot{V}_L + \dot{V}_K \quad (1.4)$$

Schleppströmung \dot{V}_S entsteht unter Voraussetzung des Haftens der Schmelze an der Oberfläche von Schnecke und Zylinder durch deren Relativbewegung zueinander. Für Modellvorstellung wird Schneckengang in Ebene abgewickelt und Zylinder als Platte aufgefaßt (Bild 1.14), so

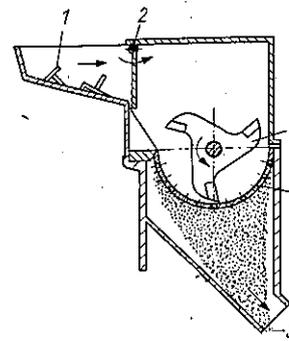


Bild 1.7. Schneidmühle für Abfälle
1 Abfallstücke; 2 Rückschlagklappe; 3 Messerwelle; 4 Lochplatte; 5 (unregelmäßiges) Granulat

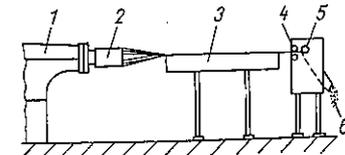


Bild 1.8. Schnurgranulierung
1 kontinuierlicher Knetter (z.B. Extruder); 2 Werkzeug zur Schnurbildung; 3 Kühlstrecke; 4 Transportwalzen; 5 rotierendes Messer; 6 (Röllchen-)Granulat

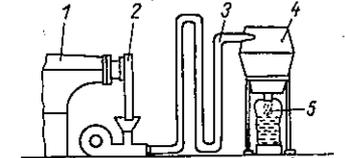


Bild 1.9. Schema der Kopfgranulierung
1 kontinuierlicher Knetter; 2 Granulator; 3 Kühlstrecke; 4 Zyklon; 5 (Linsen-)Granulat

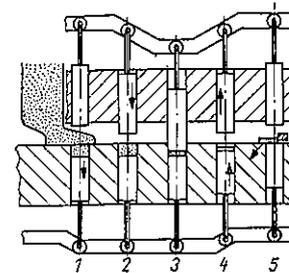


Bild 1.10. Arbeitsprinzip einer Tablettiermaschine
1 Füllen; 2 Schließen; 3 Pressen; 4 Ausdrücken; 5 Abstreifen



Bild 1.11. Arbeitsprinzip einer Komprimiermaschine

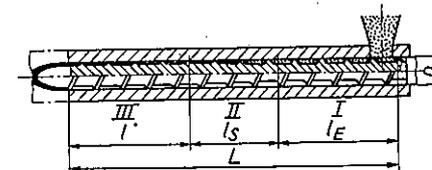


Bild 1.12. Zonen am Extruder
I Einzugszone, II Schmelzzone; III Druckzone

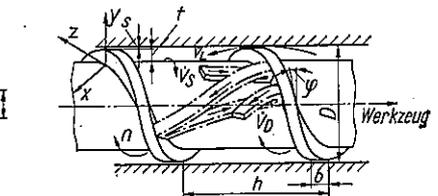


Bild 1.13. Bewegung des Plastes im Schneckengang
(Erläuterungen s. Text)

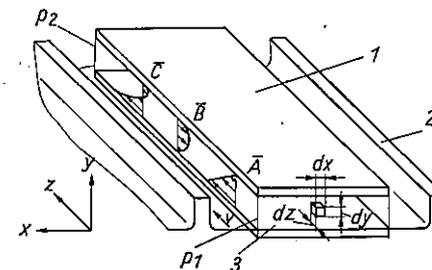


Bild 1.14. Plattenmodell für Strömung im Schneckengang
1 Zylinder (fest); 2 Schnecke (bewegt); 3 Plast (flüssig)
A reine Schleppströmung $\dot{V}_S, p_1 = p_2, v = v_0$;
B reine Druckströmung $\dot{V}_D, p_2 > p_1, v = 0$;
C überlagerte Strömung $\dot{V} = \dot{V}_S - \dot{V}_D$

daß Fläche \bar{A} der Schlepplströmung \dot{V}_S entspricht. Druckströmung \dot{V}_D entsteht als Folge des Druckgefälles vom Schneckenende zum Anfang der Zone III (Ende der Zone II) und wird im Modell als Fläche \bar{B} dargestellt. Leckströmung \dot{V}_L ist durch technisch notwendigen Spalt zwischen Schnecke und Zylinder bedingt. Strömungsanteil \dot{V}_K sind vernachlässigbare Kompressions- und Wärmedehnungseinflüsse der Schmelze.

Berechnung der Schlepplströmung ist möglich [1.3]. Man erhält aus

$$\dot{V}_S = i \int_{x=0}^{x=a} \int_{y=0}^{y=t} v \, dx \, dy \quad (1.5)$$

nach Integration und Einsetzen der Grenzwerte

$$\dot{V}_S = i a t \frac{v_0}{2}; \quad (1.6)$$

$a = (h - b) \cos \varphi$ Flankenabstand,
 t Gangtiefe,
 i Gangzahl.

Mit gegebenen Schneckenmaßen (s. Bild 1.13), Vernachlässigung der Stegbreite und mit $i = 1$ wird

$$\dot{V}_S = n \frac{1}{2} D^2 \pi^2 t \sin \varphi \cos \varphi = n A_1; \quad (1.7)$$

$A_1 \dots A_3$ Konstanten.

Druckströmung \dot{V}_D läßt sich aus dem Kräftegleichgewicht am Strömungselement (s. Bild 1.14) herleiten.

Anstelle y ist

$$dpy \, dx = \tau \, dx \, dz. \quad (1.8)$$

In Gl. (1.1) eingesetzt, ergibt es

$$\frac{dv}{dy} = \Phi y^m \left(\frac{dp}{dz} \right)^m. \quad (1.9)$$

Durch Integration erhält man v und schließlich \dot{V}_D aus Fläche mal Geschwindigkeit. Unter Beachtung der Grenzwerte und Einführung der Schneckenmaße folgt

$$-\dot{V}_D = \frac{1}{(m+2) 2^{m+1}} \pi D t^{m+2} (\sin^{m+1} \varphi) \Phi \left(\frac{dp}{dl} \right)^m = A_2 \Phi \left(\frac{dp}{dl} \right)^m. \quad (1.10)$$

Leckströmung \dot{V}_L ist Druckströmung im Spalt zwischen Schneckensteg und Schneckenzylinder [1.3]:

$$-\dot{V}_L = \frac{5}{2^{m+3} (m+2) b^m} \pi D h^m s^{m+2} (\cos^{m-1} \varphi) \Phi \left(\frac{dp}{dl} \right)^m = A_3 \Phi \left(\frac{dp}{dl} \right)^m. \quad (1.11)$$

Vernachlässigt man \dot{V}_K , erhält Gl. (1.4) die Form

$$\dot{V} = A_1 n - (A_2 + A_3) \Phi \left(\frac{dp}{dl} \right)^m; \quad (1.12)$$

l Länge der Druckzone (s. Bild 1.12).

Formgebung zum Strangprodukt erfolgt im Werkzeug. Plaststrom ergibt sich zu

$$\dot{V} = k \Phi p^m; \quad (1.13)$$

k Werkzeugkonstante.

Für einfache Werkzeuge läßt sich Werkzeugkonstante k berechnen [1.3] [1.4] [1.5]. Als Extrudercharakteristik wird Darstellung im \dot{V}, p -Diagramm bezeichnet (Bild 1.15). Schnittpunkt einer Schneckenkennlinie, Gl. (1.12), mit Werkzeugkennlinie, Gl. (1.13), ist der Arbeitspunkt im Extruderbetrieb. Extrudercharakteristik gestattet Betriebsverhalten zu deuten, besonders hinsichtlich Schneckendrehzahl und Werkzeugwiderstand.

Strenge theoretische Behandlung des Extrusionsprozesses [1.4] führt zu Gleichungssystemen, die numerisch auf Rechenmaschinen zu lösen sind.

Größerer Förderstrom als aus Theorie der Zone III ist mit sog. förderwirksamer Einzugszone zu erwarten. Durch axiale Rippen in Einzugszone, die allmählich in Zylinder übergehen, wird Schlupf des Plastes vermindert und dadurch Strom in Förderrichtung erhöht. Zone III wird „überfahren“, und Extrudercharakteristik gilt nur noch bedingt. Es besteht Gefahr, daß unaufgeschmolzener oder ungenügend homogener Plast den Extruder verläßt; dem muß durch Knet- oder Mischstrecken in Zone III entgegengewirkt werden. In der Umgebung des Einfüllschachts wird eine hochwirksame Kühlung eingebaut, weil sonst durch Reibungswärme vorzeitiges Anschmelzen sowie Zusetzen der Rippen und des Einfüllschachts möglich ist.

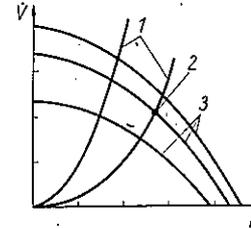


Bild 1.15
 Schneckencharakteristik
 1 Werkzeugkennlinien; 2 Arbeitspunkt; 3 Schneckenkennlinien

Energiezufuhr für Aufschmelzen (Plastizieren) bei normaler (konventioneller) Fahrweise erfolgt durch Umsatz mechanischer Energie in Wärme, z. B. Scheren, Kneten, Reibung, sowie durch Heizung des Schneckenzyklinders. Bei sehr hoher Scherarbeit (Elastverarbeitung) muß evtl. gekühlt werden.

Sog. autogene Fahrweise verzichtet während des Betriebs auf Heizung (oder Kühlung) und nutzt nur den Energieumsatz. Anpassung wird durch veränderliche Schneckendrehzahl oder dosierte Materialzufuhr geregelt.

Extruder mit mehreren Schnecken sind zwar möglich, aber nur mit Doppelschnecken eingeführt. Vier Varianten: *kämmende* (Schneckengänge greifen ineinander) und *tangierende* (nichtkämmende) Schnecken, entweder sich *gleichsinnig* oder *gegensinnig* drehend. Beide Schnecken sind meist gleich lang, selten eine länger, sog. Austragschnecke.

Gute Misch- und Kneteffekte ergeben sich mit kämmenden Doppelschnecken (Bild 1.16). Durch geschlossene Räume (je ein Gangvolumen abzüglich Zwickelvolumen) erfolgt Zwangs-transport, der gutes Einzugsverhalten auch bei feinkörnigem Plastwerkstoff ermöglicht. Gegenläufige Doppelschnecken mit Walzenspalteneffekt im Zwickelbereich und zusätzlichen Knetzonen oder gleichläufige Doppelschnecken mit Knet- und Homogenisierbereich (Bild 1.17) lassen sich rheologischen Bedingungen der Plastwerkstoffe anpassen.

Strangprodukte (Rohre, Profile, Folien) werden auf Extrusionslinien mit vorwiegend Einschneckenextrudern (Bild 1.18) erzeugt. Schnecke und Schneckenzyklinder sind nitriert, evtl. gepanzert gegen Verschleiß; Schnecke ist meist eingängig ($i = 1$) und kernprogressiv. Schneckenlänge $L = 20 \dots 30 D$; Lagerung und Aufnahme der Axialkraft geschieht durch Wälzlager. Bei Doppelschneckenlagerung ist wegen kleinem Achsabstand wenig Platz für den Einbau von Lagern. Hintereinander angeordnete Lager müssen gleichmäßig tragen, was durch hydraulische

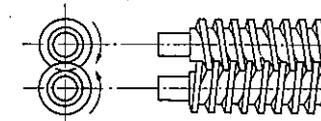


Bild 1.16. Doppelschnecken (gegenläufig)

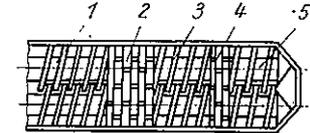


Bild 1.17. Gleichläufige Doppelschnecke mit austauschbaren Knetelementen
 1 erste Förderzone; 2 erste Knetzone; 3 zweite Förderzone; 4 zweite Knetzone; 5 Austragszone

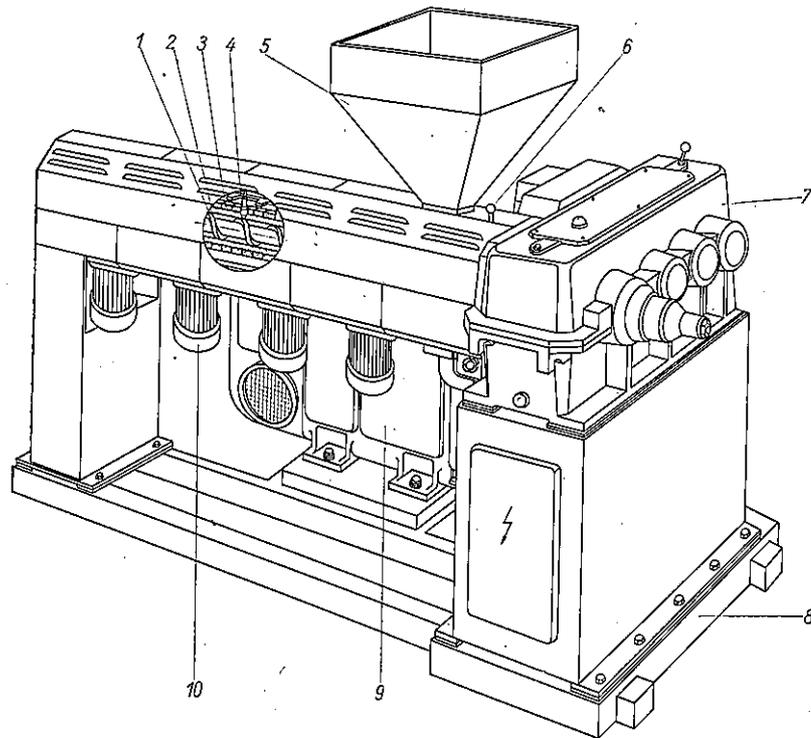


Bild 1.18. Einschneckenextruder

1 Schnecke; 2 Zylinder; 3 Heizung; 4 Temperaturmeßstelle; 5 Vorratsbehälter;
6 Absperrschieber; 7 Übersetzunggetriebe; 8 Gestell; 9 E-Motor (stufenlos verstellbar);
10 E-Motor für Kühlgebläse

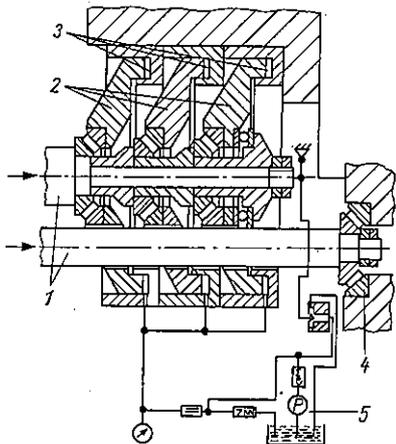


Bild 1.19
Doppelschnecken-Rückdrucklager nach WP 67846
1 Wellenenden der Schnecken; 2 Stützkolben;
3 Ringfläche der Stützkolben; 4 Rückdrucklager
einer Schnecke; 5 Hydraulik für Stützkolben

Anpassung möglich wird. Für eine Schnecke in Achsrichtung ist versetzt ein großes Lager mit hohem Tragwert möglich (Bild 1.19).

Schneckendrehzahl 5 ... 120 U/min stufenlos stellbar; niedriger Drehzahlbereich für großen Schneckendurchmesser. Übersetzunggetriebe mit Schaltstufe für zwei Drehzahlbereiche (Bild 1.20), das durch thyristorgesteuerte Gleichstromnebenschlußmotoren, Kommutatormotoren, zwischengeschaltete Hydrogetriebe oder für kleine Leistung über mechanische Drehzahlwandler, z.B. stufenlos stellbare Lamellenkettengetriebe (PIV-Getriebe), angetrieben wird.

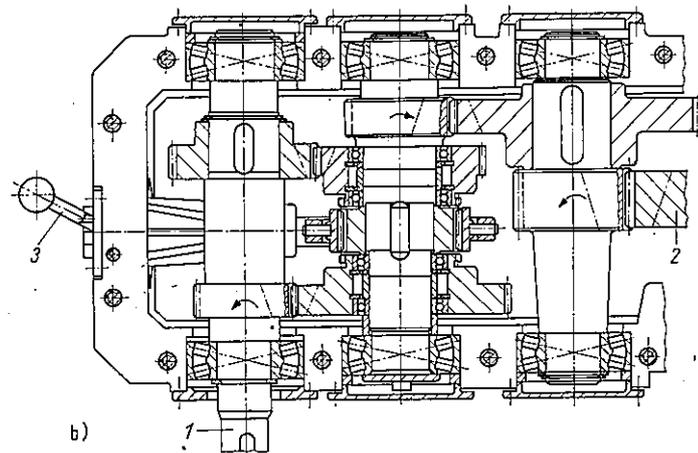
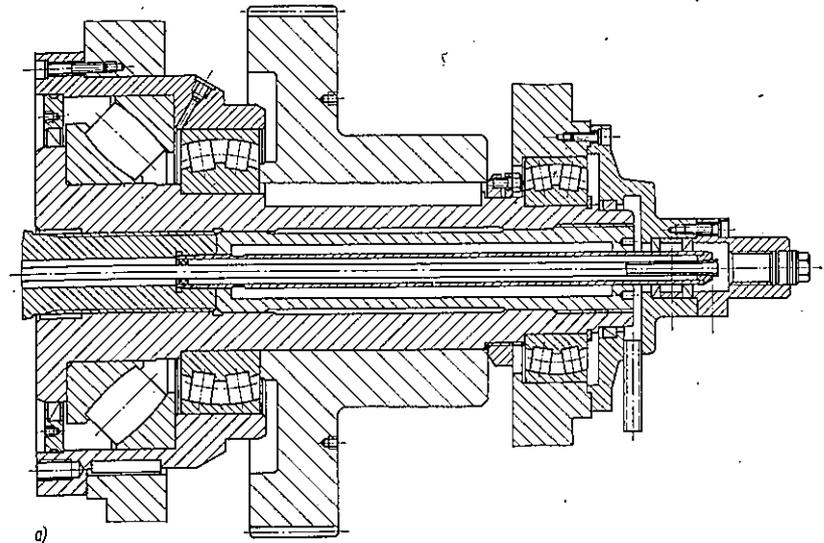


Bild 1.20. Bauteile des Antriebs eines Einschneckenextruders

a) Rückdrucklagerung; b) Schaltgetriebe mit zwei Drehzahlstufen
1 Antriebswelle; 2 letztes Zahnrad der Schneckenwelle; 3 Schalthebel für Zahnkupplung

Für gute Maßhaltigkeit wird bei gleichzeitiger Kühlung kalibriert (Bild 1.26), da Strang das Werkzeug noch plastisch verläßt. Bei Weichprofilen mit großen Maßtoleranzen entfällt Kalibrierung.

Tafel 1.3. Extruderwerkzeugaufnahme (in mm) nach TGL 24 493

Schnecken- außen- durchmesser d_1	a	b_1	b_2	d_2 H7	d_3 f7	d_4	d_5 $\pm 0,1$	e_1 $\pm 0,2$	h_2 $+0,5$ $+0,3$	h_3	l_2	l_3	r
45	210	240	17	45	68	M 24	185	135	65	110	65	54	20
60	240	280		60	92	M 30	215	145	80	140	82	66	
90	280	320	26	90	130	M 36	250	175	100	160	115	78	25
125	340	410	32	125	160	M 48 x 3	320	210	130	220	135	92	30
160	430	510	40	160	190	M 56 x 4	400	265	160	280	150	100	40
200	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-

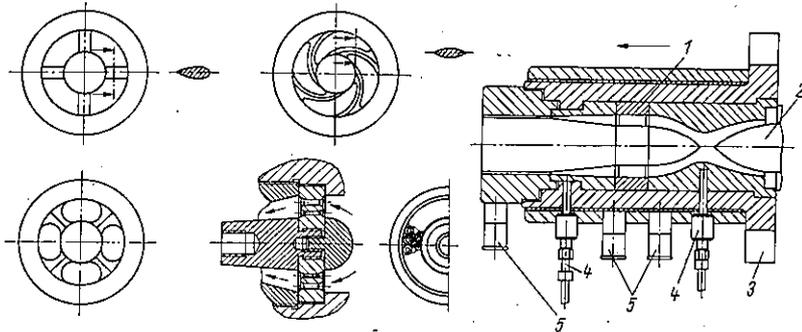
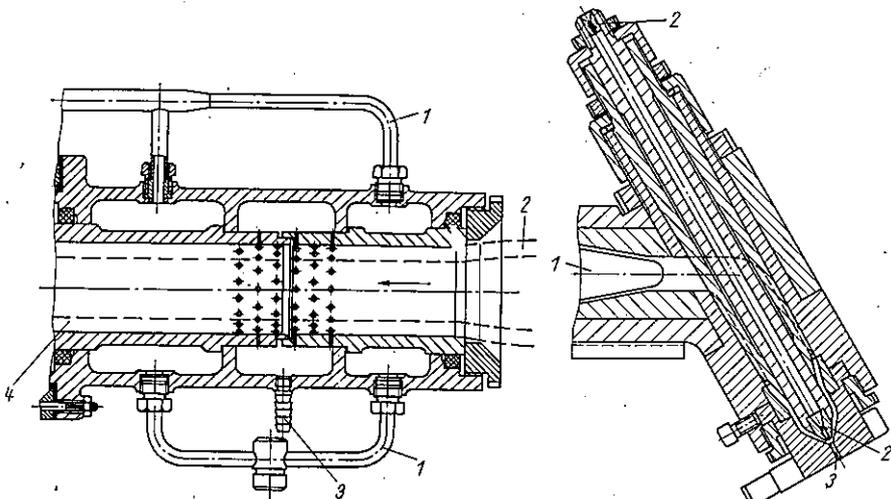


Bild 1.25. Rohrwerkzeug und Beispiele von Dornhalterungen [1.5]

1 eingebaute Dornhalterung; 2 Schneckenspitze; 3 Werkzeugbefestigung mit Klappschrauben; 4 Temperaturmeßstellen; 5 Anschlüsse für Widerstandsheizung

Bild 1.26. Unterdruck-Kalibriereinrichtung für Rohre
1 Kühlwasser; 2 Rohr vom Extruder (noch plastisch formbar); 3 Saugluft; 4 Rohr formstabilBild 1.27. Werkzeug für Drahtummantelung
1 Schnecke; 2 Drahtführung; 3 Austritt des ummantelten Drahtes

Ummanteln von Drähten und Kabeln erfolgt durch Werkzeug mit Plaststromumlenkung (Bild 1.27).
Platten (Folien) (Bild 1.28) werden mit nachgeschaltetem Glätt- und Kalibrierkalander hergestellt.

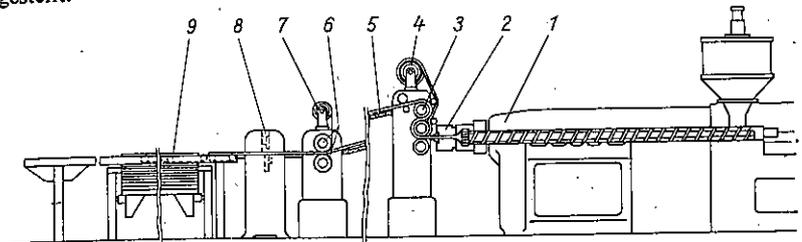


Bild 1.28. Anlage zur Plattenherstellung

1 Extruder; 2 Breitschlitzwerkzeug; 3 Glättkalander; 4 Folie (wird bei einseitig glänzender Ware aufkaschiert); 5 Kühlstrecke; 6 Abzugswalzen; 7 Papierbahn gegen Bekratzen im Stapel; 8 Schlagschere; 9 Stapel

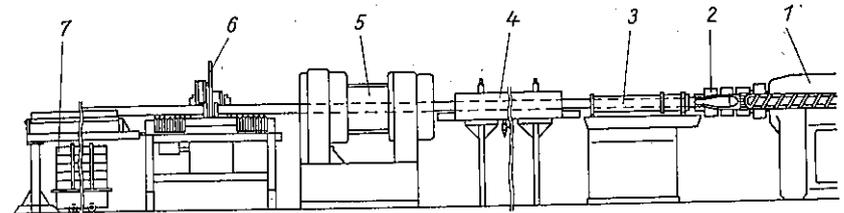


Bild 1.29. Anlage zur Rohrherstellung

1 Extruder; 2 Werkzeug; 3 Kalibrierung; 4 Kühlstrecke; 5 Abzugeinrichtung; 6 Säge; 7 Stapleinrichtung

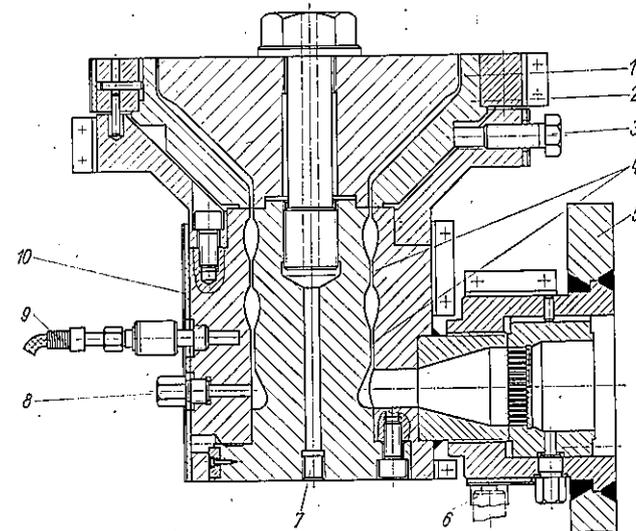


Bild 1.30. Ringschlitzwerkzeug (Schlauchwerkzeug) für Blasfolie

1 Ringschlitz; 2 verstellbares Zwischenstück, um gleich dickes Produkt zu erzeugen; 3 Verstellerschraube (mehrere am Umfang); 4 Staustellen, um gleichmäßigen Massefluß zu erreichen; 5 Flansch für Extruderanschluß; 6, 8 Anschluß für Druckmeßgerät; 7 Anschluß für Blasluft; 9 Temperaturmeßstelle; 10 elektrische Heizung

Platte wird im Breitschlitzwerkzeug (Bild 1.24) geformt. Durch feste und verstellbare Stauleisten quer zum Plaststrom erhält man annähernd gleiche Druckverteilung beim Austritt und damit konstante Dicke.

Rohrherstellung erfolgt mit Außenkalibrierung und Abzugseinrichtung (Bild 1.29), (Blas-)Folienerzeugung mit Ringschlitzwerkzeug (Bild 1.30) und biaxialer Reckung des Plastschlauchs im thermoelastischen Zustand (Bild 1.31).

Kennwerte von Extrudern (Tafel 1.4) sind standardisiert nach TGL 24493. Nenngröße ist Schneckendurchmesser in mm nach TGL 11033 (Tafel 1.4, Maß d_1).

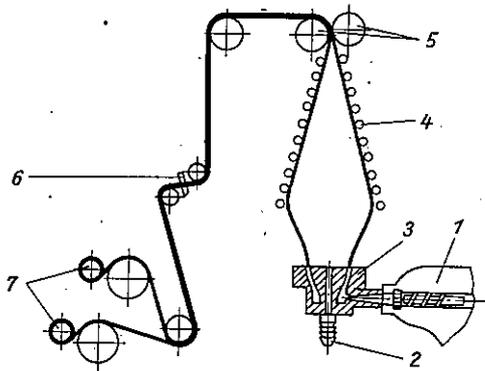


Bild 1.31 Anlage zur Blasfolienherstellung
1 Extruder; 2 Druckluftanschluß; 3 Ringschlitzwerkzeug; 4 Breitlegeeinrichtung; 5 Abzugwalzen; 6 Messer (entfällt für Beutelware); 7 Folienwickel (nur einmal für Beutelware)

Tafel 1.4. Technische Kennwerte von Einschneckenextrudern nach TGL 24493

Baugrößen Schnecken- außen- durchmesser d_1 mm	Nennlänge der Schnecke	Füllhöhe Größtmaß		Anzahl der Heizzonen	Temperatur- bereich °C
		ohne Rührwerk mm	mit Rührwerk mm		
45	25 d_1	1725	2235	4	bis 400
	30 d_1			5	
60	25 d_1	1860	2550	4	bis 400
	30 d_1			5	
90	25 d_1	2025	2720	4	bis 400
	30 d_1			5	
125	25 d_1	2085	2955	4	bis 400
	30 d_1			5	
160	25 d_1	-	-	4	bis 400
	30 d_1	-	-	5	
200	25 d_1	-	-	4	bis 400
	30 d_1	-	-	5	

1.3.2. Walzenmaschinen

Maschinen mit zwei Walzen (s. a. Bild 1.5) dienen überwiegend zur Plastaufbereitung und sind Verarbeitungsmaschinen, z. B. Kalandern, vorgeschaltet. Es ist auch möglich, vom Walzwerk direkt Plastbahnen begrenzter Länge und geringerer Qualität abzuziehen.

Kalander haben mehr als zwei Walzen und werden mit plastiziertem Material beschickt; sie liefern endlose Produkte (Folien, Bahnen).

Im Walzwerk oder am ersten Walzenpaar eines Kalanders liegt das Druckmaximum (Fließscheide) kurz vor dem engsten Spalt (Bild 1.32). Unter vereinfachenden Annahmen (Newton-

sche Flüssigkeit) läßt sich die Kraft auf eine Walze berechnen [1.6]:

$$F_w = 2\eta v R \left(\frac{1}{B_w} - \frac{1}{s} \right) L_B \quad (1.14)$$

Faßt man die Kräfte im Walzenspalt als Streckenlast q_w auf (Bild 1.33), gilt bei konstantem Flächenträgheitsmoment über Walzenbreite für Durchbiegung

$$f_w = \frac{5}{384} \frac{q_w L_B^4}{EI} \left(1 + \frac{24a}{5L_B} \right) \quad (1.15)$$

Um gleich dickes Walzgut zu erzielen, muß die Durchbiegung kompensiert werden. Das ist möglich durch

- Balligschleifen einer Walze (am Kalander der letzten oder vorletzten),
- Schrägstellen einer Walze (Walzenschränkung),
- Einleiten eines Gegenbiegemoments.

Durch Walzenschränkung vergrößert sich Spalt an den Walzenenden, so daß er unter Last über die gesamte Länge gleich groß ist (Bild 1.34). Die Verhältnisse lassen sich annähernd berechnen aus

$$\cos \alpha = \frac{R}{f_w + R} \quad \text{oder} \quad b = 2R \tan \alpha \quad (1.16)$$

wenn $s = 0$ gesetzt wird wegen $s \ll R$.

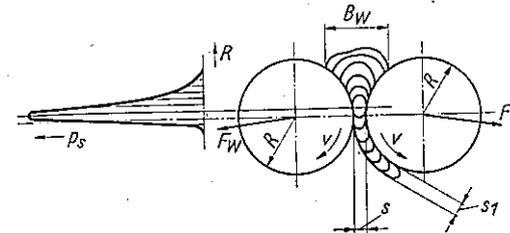


Bild 1.32. Kräfte beim Walzen

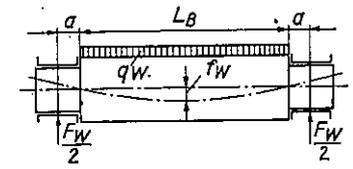


Bild 1.33. Biegung einer Walze

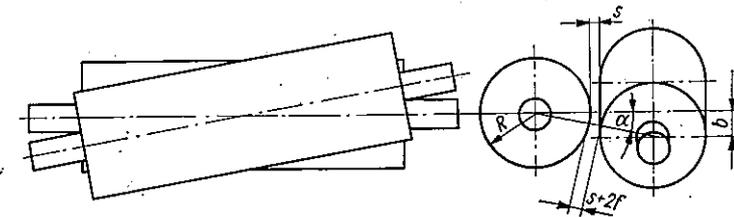


Bild 1.34. Verhältnisse bei Walzenschränkung und Bombage

Kalender werden nach Walzenanordnung (Bild 1.35) benannt. Vorherrschend ist 4-Walzen-F-Form (Bild 1.36). Walzeneinzelantrieb über Leonardsatz oder thyristorgesteuerte E-Motoren für stufenlos verstellbare Drehzahl und für Friktionseffekte im Walzenspalt ist eingeführt. Walzgeschwindigkeit ist meist < 50 m/min. Walzen haben bis etwa 800 mm Durchmesser und etwa 2100 Ballenlänge und bestehen aus Kokillenhartguß oder oberflächenhärtetem Stahl. Härte bei Guß HRC 48 bis 55, bei Stahl 59 bis 61.

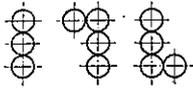


Bild 1.35
Walzenanordnung an Kalendern
1 I-Form; 2 F-Form; 3 L-Form; 4 Z-Form; 5 S-Form

Zur Beheizung dient Dampf, Heißwasser oder Öl. Kalender für Hartfolie haben max. 220°C mit Temperaturtoleranz über Walzenballenbreite im Arbeitsbereich max. $\pm 1\text{K}$ (nach TGL 8943/01). Walzenlagerung ist problematisch, weil wegen niedriger Zapfengeschwindigkeit und hoher Lagerkraft weder mit hydrodynamischer noch mit hydrostatischer Schmierung gearbeitet werden kann; es sind Verschleißlager mit Druckölschmierung üblich; Lagerwerkstoff G-CuPb22Sn5, TGL 8110.

Kalender ist Hauptaggregat einer umfangreichen Anlage, die mit Vorbereitungs- und Nachfolgeeinrichtungen dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßt ist. Beispiel s. Bild 1.36.

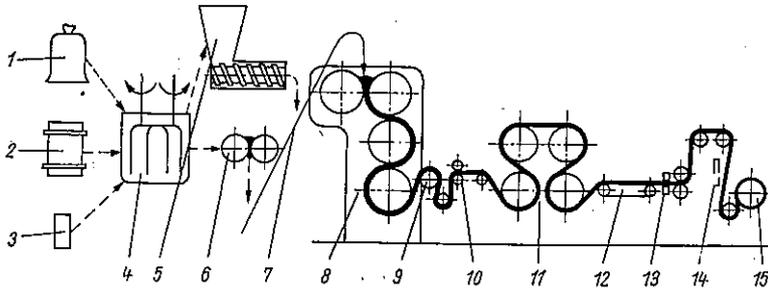


Bild 1.36. Kalender für PVC-Weichfolie
1 PVC-Pulver; 2 Weichmacher; 3 Zuschläge (Stabilisator, Farbstoff usw.); 4 Mischer; 5 Extruder zum Gelatinieren; 6 Walzwerk zum Gelatinieren (entweder 6 oder 5, auch nacheinander möglich); 7 Beschickungseinrichtung; 8 Kalender; 9 Umlenkwalzen; 10 Prägewerk; 11 Kühlwalzen und/oder 12 Kühlstrecke; 13 Dickenmeßgerät; 14 Durchleuchtungseinrichtung; 15 Aufwickelvorrichtung

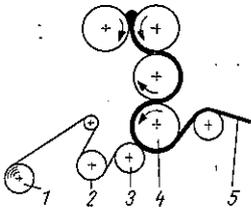


Bild 1.37
Dublieren im Kalender
1 ablaufende Warenbahn; 2 Umlenk- und Breitstreckwalzen; 3 Anpreßwalze; 4 Kalender; 5 dublierte Ware

Mit PVC-Pulver werden im vorgeschriebenen Verhältnis Weichmacher, Stabilisator usw. im Rührwerk gemischt. Mischung wird in beheiztem Mischwalzwerk, Knetter oder Extruder unter Zusatz von Farbstoffen und anderen Zuschlägen nach Bedarf längere Zeit bearbeitet, bis ausreichende Gelatinierung und Homogenisierung erreicht sind. Material wird entweder als große Schnitzel oder in gerollten Gebinden, sog. Puppen, dem Kalender zugeführt und zur Folie ausgewalzt. Hinter letztem Walzspalt (Maßspalt) läuft die noch warme Folie über Umlenk-

und Führungsrollen in das Prägewerk und anschließend meist durch die Kühlstrecke, Dickenmeßeinrichtung und Durchleuchtung zur Qualitätskontrolle. Mit Zusatzgeräten ist *Dublieren* durch *Kaschieren* thermoplastischer Folien möglich (Bild 1.37). Beim Belegen wird Folie auf Papier- oder Gewebeunterlage gewalzt.

1.3.3. Stranggießmaschinen

Folien (für Filme) z.B. aus Lösungen können nach der *Trommel- oder Bandgießmethode* (Bild 1.38) hergestellt werden. Geschäumte Blöcke werden auf Stranggießmaschinen erzeugt durch Auftragen der vorher dosierten und gemischten Schaumstoffkomponenten mittels Pendeldüsen (Bild 1.39). Strangprodukte aus GUP s. Abschn. 1.4.4.

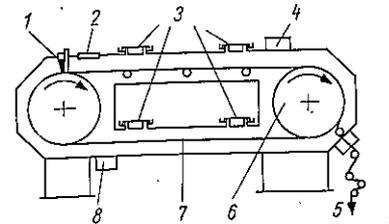


Bild 1.38. Foliegießen (Filmgießen) auf Metallband
1 Gießer; 2 Fenster; 3 Explosionsklappen;
4 Absaugung; 5 Aufwicklung; 6 Spanntrommel;
7 Metallband; 8 Warmluftzufuhr

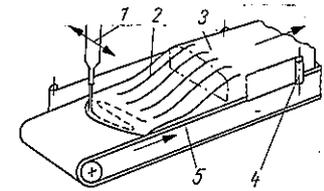


Bild 1.39
Strangschäumen
1 Pendeldüse (Auftrag der gemischten Schaumkomponenten); 2 schäumendes Produkt; 3 geschäumter Strang; 4 mitlaufende Seitenbegrenzung; 5 mitlaufende Unterlage

1.4. Urformmaschinen für Formteile

1.4.1. Spritzgießmaschinen

Spritzgießen (Bild 1.40) ist Herstellen von Formkörpern aus Plasten (auch Elasten) derart, daß der plastisch formbare Werkstoff in den Hohlraum eines geschlossenen Werkzeugs unter Druck gespritzt (gepreßt) wird und danach durch Wärmeentzug erstarrt oder durch chemische Umwandlung vernetzt [1.7].

Maschine besteht aus zwei Hauptbaugruppen und dem Gestell oder Rahmen (Bild 1.41). *Schließeinheit* öffnet und schließt Spritzgießwerkzeug und hält mit ausreichender Kraft während der Einspritz-, Nachdruck- und Kühlzeit zu. *Spritzeinheit* plastiziert und spritzt ein.

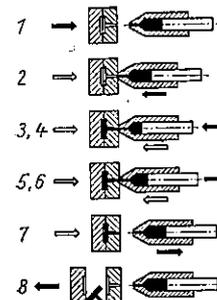


Bild 1.40
Arbeitsstufen beim Spritzgießen
1 Werkzeug schließen; 2 Einspritzöffnung am Werkzeug mit Vorratsbehälter der plastischen Masse verbinden; 3 zum Füllen Druck auf plastische Masse ausüben (einspritzen); 4 Druck aufrechterhalten (Nachdruck); 5 Druck wegnehmen (i. allg. verbunden mit Zuführung von unplastifiziertem Material, Dosieren); 6 in Kühlzeit erstarrt Plast im Werkzeug (Standzeit); 7 Verbindung Werkzeug-Heizylinder unterbrechen; 8 Werkzeughälften öffnen und Spritzling ausdrücken

Im Prinzip stellt die Schließeinheit waagrecht arbeitende Presse dar. Oft werden Kniehebelsysteme (Bild 1.42) mit hydraulischem Antrieb angewendet; Viersäulenbauart herrscht vor. Bei gleich langen Kniehebelschenkeln und unter Vernachlässigung von Biegung ist Schließkraft F_S [1.8]:

$$F_S = \frac{1 - \cos \beta}{\frac{\cos \beta}{E_h A_h} + \frac{L_w}{2L_k E_h A_h} + \frac{1}{E_k A_k} + \frac{L_w}{2L_k E_w A_w}}; \quad (1.17)$$

Indizes
 A Summe der Querschnittsflächen, h Holm,
 E Elastizitätsmodul, k Kniehebel,
 L Länge, w Werkzeug.

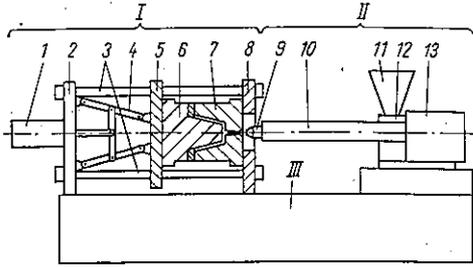


Bild 1.41
 Schema einer Spritzgießmaschine
 I Schließeinheit; II Plastizier- oder Spritzeinheit; III Gestell
 1 Antrieb für den Schließmechanismus; 2 hintere Traverse; 3 Säulen (meist vier); 4 Kniehebelsverschluß; 5 beweglicher oder hinterer Werkzeugträger; 6 hintere Werkzeughälfte; 7 vordere Werkzeughälfte; 8 vorderer Werkzeugträger; 9 Spritzdüse; 10 Plastizierzylinder; 11 Vorratsbehälter; 12 Einfüllschacht (absperbar); 13 Plastizier- und Einspritzantrieb

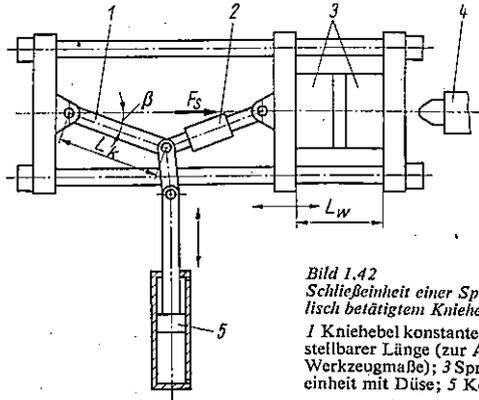


Bild 1.42
 Schließeinheit einer Spritzgießmaschine mit hydraulisch betätigtem Kniehebelsverschluß
 1 Kniehebel konstanter Länge; 2 Kniehebel mit verstellbarer Länge (zur Anpassung an verschiedene Werkzeugmaße); 3 Spritzgießwerkzeug; 4 Plastizierereinheit mit Düse; 5 Kolben für Kniehebelantrieb

Liegt im Kraftfluß ein hydraulischer Antrieb, wird die Schließkraft aus Druck und Kolbenfläche berechnet (Bild 1.43).

Durch Schließkraft F_S gestauchtes Werkzeug wird nach Einspritzen durch inneren Spritzdruck teilweise entstaucht (Bild 1.44), dadurch steigt die Kraft in der Schließeinheit auf die Zuhaltkraft F_Z an. Dabei ist für das Werkzeug die Rückfederzahl c_R zu berücksichtigen. Aus Federzahlen (Federkonstanten) c_M aller im Kraftfluß liegenden Bauteile der Schließeinheit und der Rückfederzahl c_R läßt sich die maximale Zuhaltkraft $F_{Z \max}$ berechnen [1.9]:

$$F_{Z \max} = F_S \left(1 + \frac{c_M}{c_R} \right). \quad (1.18)$$

Auftreibkraft F_A in der Werkzeugkontur in Schließrichtung ist grafisch aus dem Formänderungsdiagramm (Bild 1.45) zu entnehmen oder läßt sich berechnen nach

$$F_A = (F_Z - F_S) \left(1 + \frac{c_R}{c_M} \right) \quad (1.19)$$

bzw.

$$F_A = A_K p_i; \quad (1.20)$$

A_K projizierte Fläche der Werkzeugkontur in Richtung der Schließkraft,
 p_i (mittlerer) innerer Spritzdruck.

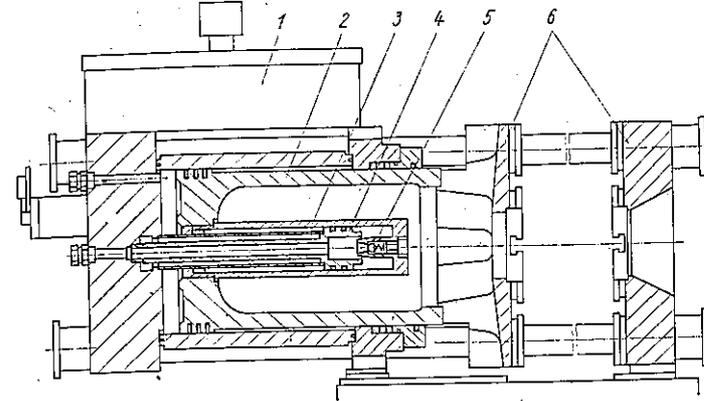


Bild 1.43. Hydraulische Schließeinheit mit Eilgangvorschub
 1 Ölbehälter; 2 Schließkolben; 3 Eilgangzylinder (fest im Schließkolben 2); 4 Eilgangkolben (feststehend); 5 Endlagendämpfer; 6 Werkzeugaufspannplatten

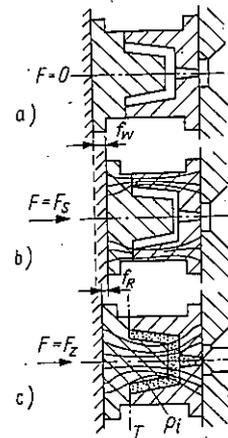


Bild 1.44. Spritzgießwerkzeug unter Betriebsbelastung
 a) ohne Kräfte; b) unter Schließkraft F_S um f_w gestauchtes Werkzeug; c) durch inneren Spritzdruck p_i um Betrag f_R gefederter Zustand, wobei sich in verriegelter Schließeinheit Zuhaltkraft F_Z einstellt

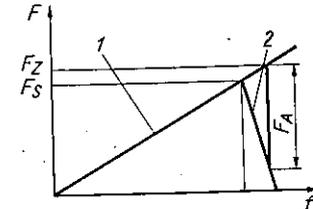


Bild 1.45. Formänderungsdiagramm einer Schließeinheit
 F_S Schließkraft; F_A Auftreibkraft in der Werkzeugkontur;
 F_Z Zuhaltkraft; 1 Federkennlinie c_M der Schließeinheit;
 2 Rückfederkennlinie c_R des Werkzeugs

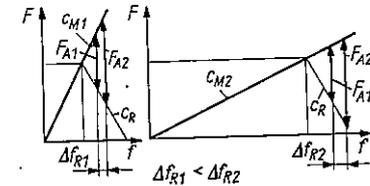


Bild 1.46. Formänderungsdiagramme verschiedener Schließeinheiten mit gleichem Spritzgießwerkzeug und gleichen technologischen Vorgaben

Schließeinheiten mit hoher Federsteife (möglichst kurzer Kraftfluß, steife Konstruktion) lassen bei gleichem innerem Spritzdruck (gleicher Auftreibkraft), gegenüber weniger steifen, geringere Teilrückfederungen zu, d. h., sie liefern Spritzgußteile mit geringeren Maßabweichungen (Bild 1.46), da die Dicke des Spritzgußteils in Schließrichtung davon beeinflusst wird. Außerdem erfordert steifere Schließeinheit weniger Formänderungsarbeit beim Schließvorgang (geringere Antriebsleistung bei gleicher Schließzeit). Nachteilig ist die höhere Belastung der Bauteile.

Bewegung der Schließeinheit erfordert schnelles Überbrücken der Leerwege (Schließen und Öffnen), sanftes Ausdrücken und Schließen; mit hydraulischem Antrieb ist das gut und variabel lösbar.

Von Plastizier- oder Spritzeinheiten wird gefordert

- schnelles und gleichmäßiges Plastizieren (Schmelzen) bei thermischer und mechanischer Schonung des Werkstoffs;
- Einspritzen zur Erzielung von Formteilen mit optimaler Qualität und unter-vorteilhaften Fertigungsbedingungen.

Vorherrschend ist *Schneckenkolbenplastizierung* (Bild 1.47). Beim *Plastizieren* weicht die rotierende Schnecke axial aus, bis eine ausreichende Menge geschmolzen ist. Für Einspritzen und Nachdrücken wird i. allg. Rotation unterbrochen und danach die Schnecke hydraulisch

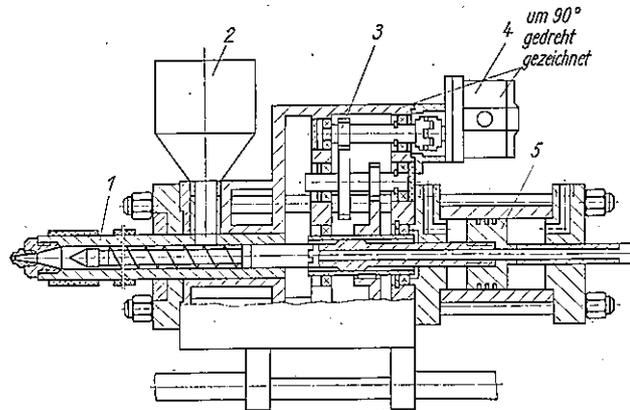


Bild 1.47. Schneckenplastizierung

1 Schneckenzyylinder; 2 Vorratsbehälter; 3 Übersetzungsgetriebe; 4 Hydromotor; 5 Antriebskolben für Einspritzen

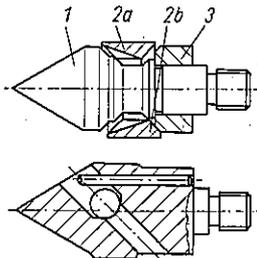


Bild 1.48. Rückstromsperren

1 Schneckenspitze; 2a Sperring in Plastizierstellung; 2b Sperring in Einspritzstellung; 3 Dichtring

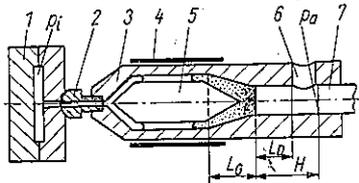


Bild 1.49. Kolbenplastizierung

1 Werkzeug; 2 Düse; 3 Heizzylinder; 4 Ringheizkörper (TGL 3088); 5 Verdrängereinsatz (Torpedo); 6 Einfüllschacht; 7 Spritzkolben

p_i innerer Spritzdruck; p_a äußerer Spritzdruck; H Kolbenhub; L_G Länge der Granulatzone; L_D Länge des Druckraums (bei Schneckenplastizierung = H)

axial verschoben. Damit Plast nicht in Schneckengängen zurückfließt, sind Rückstromsperren (Bild 1.48) vorteilhaft.

Für thermisch empfindliche und/oder in der Schmelze hochviskose Plaste, z. B. PVC-hart, werden wegen Gefahr ungleicher Verweilzeiten keine Rückstromsperren verwendet.

Es tritt geringes Rückfließen in den Schneckengängen ein; deshalb ist tatsächliches Teilevolumen kleiner als aus geometrischen Verhältnissen (Zylinderquerschnitt, Hub der Schnecke) zu erwarten.

Kolbenplastizierung (Bild 1.49) gibt es nur noch bei kleinen Maschinen wegen inhomogener Schmelze und hohem Druckverlust. Bei Kolbenplastizierung muß dosiert werden.

Intrusion oder *Fließgießen* erfolgt mit Schneckenkolbenplastizierung. Plast wird mit axial feststehender Schnecke direkt in das Werkzeug gefördert. Nach Füllung weicht die Schnecke axial etwas aus; anschließend erfolgt Nachdruck ohne Schneckenrotation.

Spritzprägen ähnelt der Preßtechnik (Bild 1.50). In unvollständig geschlossenem Werkzeug wird Plast dosiert eingespritzt und Anguß gesperrt; danach wird das Werkzeug geschlossen.

Beim Spritzgießen von Duroplasten wird das Plastiziersystem angepaßt. Schnecke erzeugt wenig oder keine Kompression, intensive Kühlung am Einzugsschacht und variable Temperierung gegen vorzeitige Vernetzung des Plastes sind erforderlich (Bild 1.51).

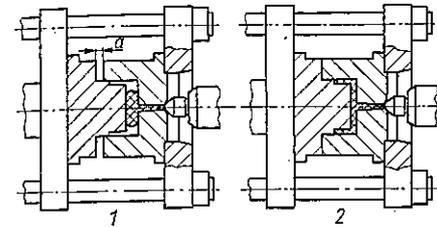


Bild 1.50
Prinzip des Spritzprägens

1 dosierte Menge einpressen und Rückfluß verhindern; 2 um Restweg a geschlossenes Werkzeug

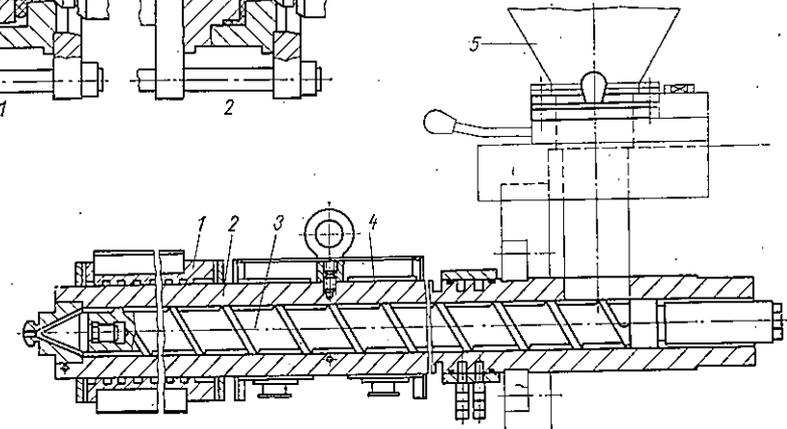


Bild 1.51. Zylinder und Schnecke für Duroplastspritzgießen

1 Flüssigkeitstemperierung; 2 Zylinder; 3 Schnecke; 4 Lufttemperierung; 5 Vorratsbehälter

Plastiziersysteme für Elaste sind denen für Duroplaste ähnlich, führen jedoch Material als Band von Rolle oder direkt vom Walzwerk zu. Schneckenstege der Einzugszone sind genutet. Intensive Kühlung geschieht am Einzugsschacht; Flüssigkeitstemperierung über gesamten Zylinder erfolgt für wahlweise Heizung oder Kühlung.

Spritzgußteile mit poröser Struktur werden hergestellt mittels *Thermoplastschaumgießtechnik* (TSG) durch Einarbeiten von Treibmitteln in das Granulat oder Bindösen in das plastizierte Material nach der Schnecke und Expandieren in Anguß und Kontur. Bessere (dichte und schlierenfreie) Oberflächen durch verzögertes Schäumen (erst im Werkzeug) oder mit Gasgegendruck [1.10]. Gekühlte Randschicht schäumt nicht, innere warme Schichten schäumen, und der Druck des Treibmittels bewirkt Zurückfließen durch Anguß ins Freie oder

in separaten Behälter. Sandwichstruktur entsteht außerdem, durch zwei Komponenten [1.11] (mit zwei Plastiziereinheiten). Zuerst Plast für Randschicht (ungeschäumt), dann treibmittelhaltiger Plast, zuletzt wieder Plast ungeschäumt. Treibmittel im Kern expandiert, und Werkzeug (Schließeinheit) weicht aus, bis die endgültige Form erreicht ist.

Bei *Vorplastizierung* (Bild 1.52) erfolgt Plastizieren getrennt vom Einspritzorgan. Schließ- und Plastiziereinheiten nach Baukastenprinzip gestatten Kombination verschiedener Baugröße, Anordnung in L-Form (Plastiziereinheit spritzt in Trennebene des Werkzeugs) oder senkrecht.

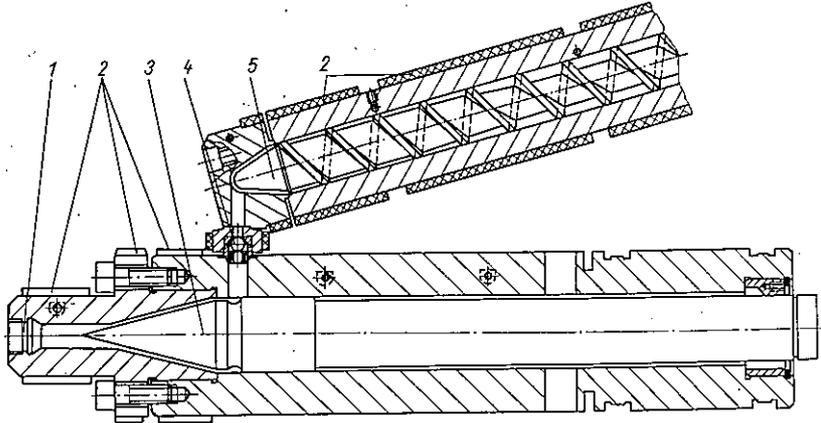


Bild 1.52. Schneckenvorplastizierung

1 Anschlaggewinde für Düse; 2 elektrische Heizung; 3 Einspritzkolben; 4 Rückstromsperre (Rückschlagventil); 5 Plastizierschnecke

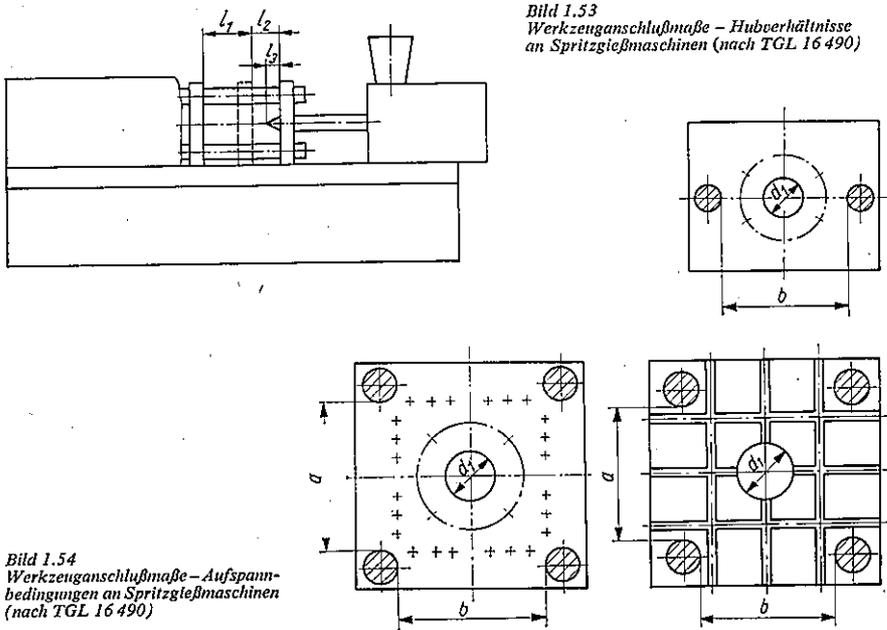


Bild 1.53
Werkzeuganschlußmaße – Hubverhältnisse
an Spritzgießmaschinen (nach TGL 16 490)

Bild 1.54
Werkzeuganschlußmaße – Aufspann-
bedingungen an Spritzgießmaschinen
(nach TGL 16 490)

Für Formteile mit langen Taktzeiten (Elaste, Duroplaste, dickwandige Thermoplastteile) bedient eine Plastiziereinheit mehrere Schließeinheiten (Rundläuferbauart).

Hubverhältnisse (Bild 1.53) und Aufspannmaße (Bild 1.54) sind nach TGL 16 490 (Tafel 1.5) standardisiert und bilden neben Spritzteilmaße Ausgangs- und Grenzbedingungen für Werkzeugkonstruktion.

Weitere Angaben zu Spritzgießmaschinen s. a. TGL 23915.

Tafel 1.5. Werkzeuganschlußmaße für Spritzgießmaschinen nach TGL 16 490

Baugröße $\hat{=}$ Werkzeug- zuhaltkraft (1 Mp = 9,81 kN)	Mp	Gewindebohrungen					T-Nuten nach TGL 3045							
		2	5	12,5	25	50	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
Zentrierbohrung	d_1^{118}	50	80	100	125	125	125	160	160	200	250	250	360	
Abstand zwischen den Säulen	a	—			280	320	360	400	500	630	800	1000	1250	1600
	b	160	220	250										
Hub der Wz-Aufspannplatte	l_1	85	110	150	220	250	320	400	500	630	950	1180	1500	1800
Kleinste Wz-Einbauhöhe	l_2	70	90	110	125	140	160	200	250	320	400	500	630	750
Größte Wz-Einbauhöhe		105	140	190	260		320	400	500	630	800	1000	1250	1500
Düsendurchfahrweg	l_3	10	10	20	20	20	20	32	32	32	63	63	63	63

Automatische Arbeitsweise mit drei charakteristischen Stufen ist eingeführt oder möglich:

1. Taktzeiten, Druck und Arbeitstemperatur von Hand einstellbar oder durch Programmträger in Maschine einzugeben (Plastizieretemperatur wird geregelt);
2. einige der eingegebenen Prozessparameter werden im Werkzeug gemessen (Drücke, Temperaturen) und Störungen ausgeregelt;
3. die geforderten Eigenschaften des Spritzgussteils werden der Maschine eingegeben, Maschine sucht Einstellwerte und vergleicht ständig Meßwerte des Teiles mit Vorgaben und regelt Abweichungen aus.

Vorherrschend ist Stufe 1; Stufe 2 ist ebenfalls verwirklicht und für hohe Ansprüche rentabel, Stufe 3 dagegen für extreme Anforderungen denkbar.

Qualitätsbeeinflussung der Formteile durch Steuerung (Stufe 1) oder Regelung (Stufe 2) möglich, z. B. gestufte Einspritzgeschwindigkeit, gestufter Nachdruck, konstante Fließfrontgeschwindigkeit (im Werkzeug) usw.

Maschinensteuerung als Folgesystem mit zeit-, weg- oder druckabhängiger Impulsweitergabe erfolgt überwiegend elektrisch oder elektronisch mit kontaktlosen Steuerelementen. Programmier-einrichtungen sichern Reproduzierbarkeit und verkürzen durch Speicherung der als optimal ermittelten Prozessparameter die Einrichtezeit.

Antrieb erfolgt hydraulisch mit Servosteuerung, Radialkolbenpumpen mit Nullhub- oder Programmeinschwenkung (s. TM 1/II, Abschn. 8.) oder durch mehrere Zahnradpumpen mit unterschiedlichen Förderströmen, die einzeln oder kombiniert zuschaltbar sind. Für Programmierung sind Hydraulikventile elektrisch ansteuerbar.

Qualität und Produktivität wird wesentlich vom Spritzgießwerkzeug (Fachbereichsstandard TGL 160-200ff.) bestimmt. Es besteht aus mindestens zwei durch Hauptteilungsebene getrennten Teilen, zwischen denen die Kontur als Negativ des Plastteils eingearbeitet ist. Beide

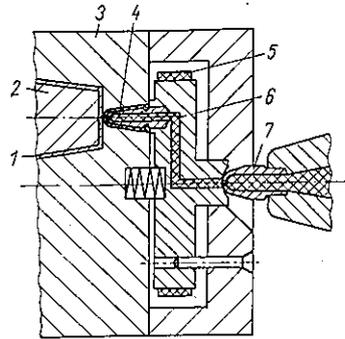


Bild 1.60. Warmer Zwischenkammerangabe (vereinfacht)
1 Spritzteil; 2 Stempel; 3 Gesenk; 4 Angußkanal; 5 Heizung; 6 Zwischenkammer; 7 Düse (der Plastiziereinheit)

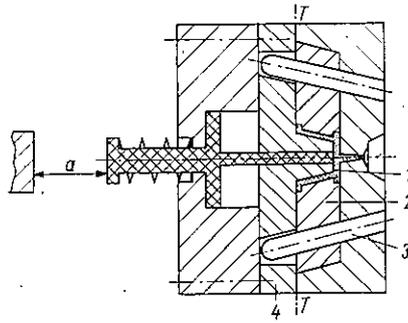


Bild 1.61. Spritzgießwerkzeug mit Seitenschieber (Schema)
1 Spritzteil; 2 Seitenschieber (in 4 geführt); 3 Bolzen zur Schieberbetätigung; 4 hintere Werkzeughälfte; T Trennebene

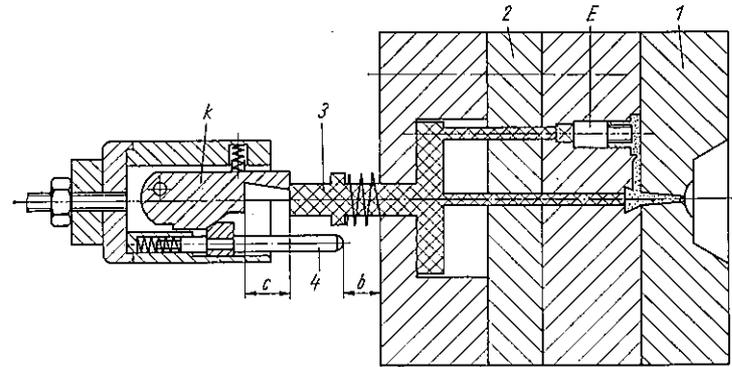


Bild 1.62. Gewindeformung durch lose Einlegeile (Schema)
1 vordere Werkzeughälfte; E Einlegeile (Gewindestift nach TGL 160-275); 2 hintere Werkzeughälfte; 3 Ausdrücker; 4 Rücksprungauslöser für Klinke K

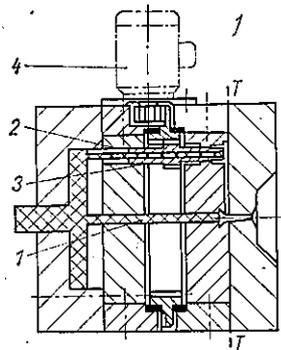


Bild 1.63 (Mehrfach-)Spritzgießwerkzeug mit maschineller Gewindeentformung
T Trennebene; 1 Angußdrückstift; 2 Drückstift für Formteil; 3 Gewindekerne; 4 Motor für Abspindelgetriebe

Plastteile mit Hinterschnitten oder seitlichen Durchbrüchen werden durch Seitenschieber (öffnungswegabhängig) (Bild 1.61) oder fremdbetätigte Mechanismen geformt. Innengewinde (Gewindebohrungen) und Außengewinde (Schrauben) lassen sich herstellen durch lose Einlegeile (Gewindestifte), die mit Spritzgußteil ausgedrückt, außerhalb des Werkzeugs herausgedreht (abgespindelt) und vor Beginn des neuen Arbeitszyklus wieder eingesetzt werden. Damit Einlegeile ohne weiteres in geöffnetes Werkzeug gelegt werden kann, ist Rücksprungvorrichtung am Ausdrücker nötig (Bild 1.62).

Automatisierte Gewindeentformung vor allem für kleine Teile in Mehrfachwerkzeugen (z. B. Tubenverschlüsse) durch Fremdantrieb (Bild 1.63) oder öffnungswegabhängig durch zentrale Steilgewindespindel (nach TGL 160-297 und 160-298), die in feststehende Mutter einfährt.

Ausdrücken des fertigen Teiles geschieht durch Drückstifte (s. a. Abschn. 1.4.3.), die Markierungen am fertigen Teil hinterlassen, oder bei tiefen geschlossenen Teilen durch Abstreifer (s. Bild 1.57) mit Druckluftunterstützung. Spritzgießwerkzeuge für Thermoplast sind temperaturerhöht (meist in Bohrungen Wasserdurchlauf zur Kühlung) und für Duroplaste und Elaste heizbar (s. Abschn. 1.4.4.).

Spritzgießen zwei- oder mehrfarbiger Teile aus gleichem oder unterschiedlichem Plast ist möglich; entweder jede Farbe für sich auf einer Maschine (temperaturbeständigster Typ zuerst), wobei die Teile nacheinander komplettiert werden (verkettet oder von Hand) oder auf einer Maschine mit mehreren Plastiziereinheiten und Stationswechsel im Werkzeug.

1.4.2. Hohlkörpermaschinen

Hohlkörper lassen sich herstellen durch

- Fügen (Kleben, Schweißen) mehrerer Einzelteile
- Sintern oder (Schleuder-)Gießen
- Thermoformen von Halbzeugen oder Rohlingen (evtl. mit Schweißen kombiniert).

Erste Methode ist immer möglich, aber nicht typisch für Plastwerkstoffe.

Sintern oder Gelatinieren geschieht bei allseitig geschlossenen Hohlkörpern in Vorrichtungen für mehrachsige kontinuierliche Drehbewegung (Bild 1.64) und gleichzeitiger Wärmezufuhr. Ähnliches Prinzip wird für Schleudergießen angewendet.

Ausgießmethode (Bild 1.65) erfolgt durch Angelatinieren im Ofen, dann Ausgießen des noch flüssigen Teiles. Ausgießöffnung kann im zweiten Arbeitsgang geschlossen werden; dazu dreht man das Werkzeug um 180° im Ofen, und mit gleichem Ansatz wird der Plastwerkstoff gelatinieren.

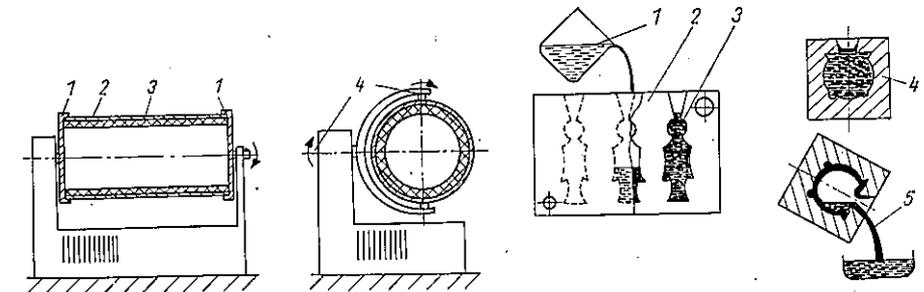


Bild 1.64. Vorrichtungen zum Schleudergießen oder Sintern

1 Endstücke (beim Schleudergießen); 2 Metallmantel; 3 Plast (durch Fliehkraft angelegt, danach gelatinieren oder vernetzt); 4 drehbar um zwei Achsen, eingefüllte Paste legt sich am Umfang allseitig an (Kugelgestalt, z. B. für Ball) und wird dabei gelatinieren

Bild 1.65. Ausgießmethode zur Hohlkörperherstellung

1 Paste oder Gießharz; 2 zweiteiliges Werkzeug; 3 Formteil; 4 einteiliges Werkzeug – Randpartie des Formteils wird angelatinieren; 5 Ausgießen der ungelatinieren Paste (Entformen durch Absaugen der Luft im Hohlkörper – nur für weiche elastische Teile geeignet)

Massenfertigung (Flaschen, Verpackungsbehälter usw.) wird auf Hohlkörperblasmaschinen durchgeführt.

Es wird Schlauch extrudiert und (noch thermoelastisch) in einem mindestens zweiteiligen Werkzeug verschweißt und aufgeblasen (Bild 1.66).

Schweißnaht am Boden des Hohlkörpers wird durch Werkzeugschließvorgang mit Hilfe von Schweißkanten und Quetschtaschen am Blaswerkzeug (Bild 1.67) erzeugt. Aufblasen erfolgt mit Druckluftstoß über Kalibrierdorn am Flaschenhals oder mit verlorenem Kopf und seitwärts eingestochener Kanüle (Bild 1.68).

Werkzeug ist kühlbar und besteht aus gut wärmeleitendem Werkstoff. Luft muß schnell entweichen können, wozu Kanäle in Trennebene (Bild 1.69) oder Entlüftungsbohrungen dienen.

Maschinen haben mehrere Stationen (Bild 1.70) oder Mehrfachwerkzeuge. Abfälle werden automatisch abgetrennt und in den Kreislauf zurückgeführt.

Zur Herstellung großer Teile fördert Extruder in den Vorratsraum, ähnlich der Vorplastizierung (Bild 1.52); Kolben extrudiert in einem Zug, dadurch hat das Schlauchstück beim Austreten annähernd gleiche Temperatur.

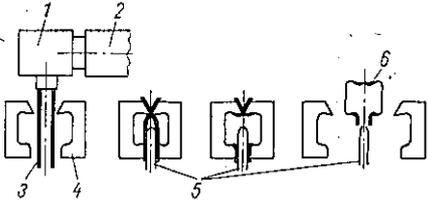


Bild 1.66. Hohlkörperblasen

1 Strangwerkzeug; 2 Extruder; 3 Schlauch (Thermoplast); 4 Werkzeug; 5 Druckluftdüse; 6 fertiger Hohlkörper

Bild 1.67

Hohlkörperblaswerkzeug

1 Kalibrier- und Blasdorn; 2 Kühlung (Wasserdurchlauf); 3 Schweißstelle; 4 verschiedene Schweiß- und Quetschkanten

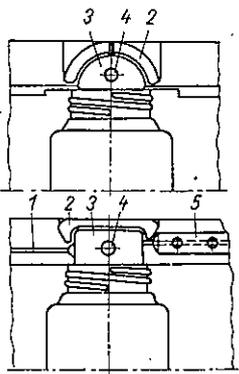
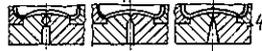
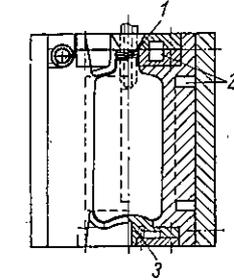


Bild 1.68. Hohlkörper mit verlorenem Kopf und Kanüleneinstich für Druckluft

1 Entlüftungskanal; 2 Schweißabfall; 3 verlornener Kopf (wird vom fertigen Hohlkörper mechanisch abgetrennt); 4 Entlüftung; 5 Kanüleneinstich

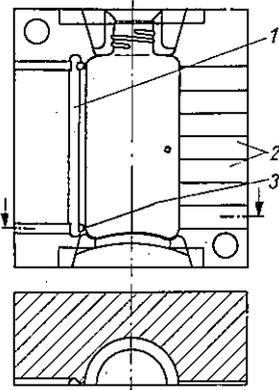


Bild 1.69. Hohlkörperblaswerkzeug (Trennebene mit verschiedenen Entlüftungskanälen)

1 Sammelkanal für Entlüftung; 2 viele kleine Entlüftungskanäle; 3 Entlüftung der Kontur (Schlitz oder Ringschlitz oder mehrere kleine Bohrungen)

Nachteile des Hohlkörperblasens aus Schlauchstücken: ungleiche Wanddicke der Hohlkörper, Schweißnaht am Boden; sie sind nur für Plaste mit großem thermoelastischem Bereich wirtschaftlich (PE, PVC-weich u.a.).

Gleichmäßige Wanddickenverteilung und Vermeiden von Schweißstellen wird durch Kernblasmethode (Bild 1.71) mit Spritzgießmaschinen erzielt. Starke Reckungen am Hohlkörper

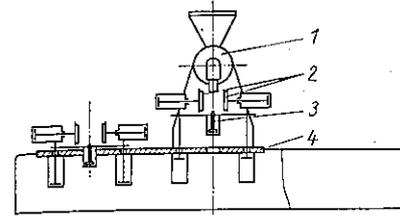


Bild 1.70

Hohlkörperblasmaschine mit zwei Werkzeugen (Schema)

1 Extruder; 2 Werkzeug; 3 Druckluftdüse; 4 verschiebbarer Werkzeugträger

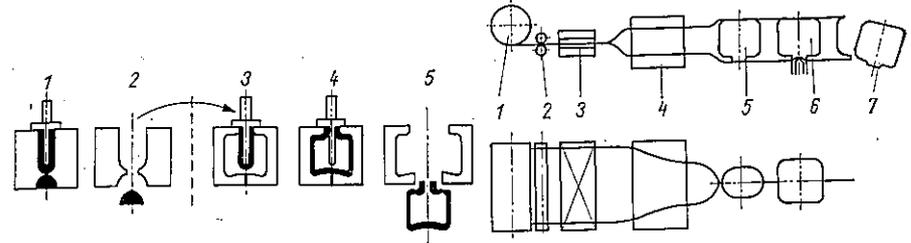


Bild 1.71. Kernblasmethode

1 spritzgegossener Rohling; 2 Entformung im thermoelastischen Zustand; 3 Übergabe in Blaskontur; 4 Thermoformen (Druckluft); 5 Fertigteil

Bild 1.72. Herstellung von Hohlkörpern aus Folie

1 Folienrolle; 2 Abzugwalzen; 3 Erwärmung; 4 Thermoformen; 5 Schweißen; 6 fertig Thermoformen mit Druckluft; 7 Hohlkörper

können durch größere Wanddicken am Rohling (Kern) beeinflusst werden. Werkzeug auf der Spritzgießmaschine hat zwei Stationen: Spritzgießen des Rohlings (Kernes) und Aufblasen zum Hohlkörper.

Dünnwandige Hohlkörper werden durch Thermoformen und Schweißen aus Folie (Bild 1.72) auf Thermoformmaschinen, als Teil einer Verpackungsstrecke, hergestellt.

1.4.3. Pressen

Duroplaste, vorzugsweise Kondensationsharze, können durch Pressen (Bild 1.73) oder Spritzpressen (Bild 1.74) [1.12] und durch Spritzgießen verarbeitet werden. Beim Pressen erfolgt Urformen der Preßmasse zwischen Gesenk und Stempel. Preßmasse wird unter Druck und Wärmeinwirkung plastisch erweicht und füllt bei zusammengefügt Stempel und Gesenk

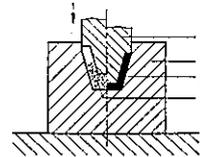


Bild 1.73. Pressen von Duroplasten

1 Stempel; 2 Gesenk; 3 fertiges Preßteil; 4 lose Preßmasse

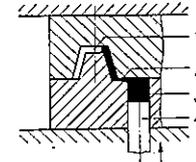


Bild 1.74. Spritzpressen von Duroplasten

1 Stempel (Spritzpreßkolben); 2 Druckkammer (Kolbenraum); 3 Düsenkanal; 4 Hohlraum des geschlossenen Spritzpreßwerkzeugs

den Hohlraum voll aus. Beim *Spritzpressen* wird die in der Druckkammer für einen Spritzpreßvorgang enthaltene Preßmasse unter Stempeldruck und Wärmeeinwirkung plastisch erweicht und durch einen oder mehrere Kanäle in den Hohlraum eines geschlossenen Werkzeugs gepreßt.

Arbeitsstufen beim *Pressen*:

1. Vorwärmen der Preßmasse außerhalb des Preßwerkzeugs,
2. Einfüllen der Preßmasse als Pulver oder in tablettierter Form und Aufsetzen des oberen Werkzeugteils (Stempel) auf Masse,
3. Erwärmen der Preßmasse im Werkzeug bis zum plastischen Erweichen,
4. Einsetzen der Schließkraft, bis Werkzeug geschlossen ist,
5. Härtezeit (Backzeit, Standzeit, Stehzeit), während der die chemische Umwandlung in ausgehärtetem Zustand vor sich geht,
6. Öffnen oder Trennen der Werkzeughälften, Ausdrücken, Ausstoßen, Auswerfen des Preßteils und Vorbereiten des Werkzeugs für nächsten Arbeitsgang.

Vorwärmen außerhalb der Presse, vorzugsweise im Hochfrequenzfeld, verkürzt Arbeitsstufen 3 und 4, vor allem 5.

Preßdruck in Werkzeugkontur beträgt $15 \dots 50 \text{ N/mm}^2$; er hängt von Harz, Füllstoff und Steighöhe (Höhe des Teiles in Preßrichtung) ab.

Arbeitsstufen beim *Spritzpressen*:

1. Vorwärmen der Preßmasse außerhalb der Presse,
2. Füllen der Preßmasse vorzugsweise in tablettierter Form in Hohlraum vor dem Spritzkolben,
3. Schließen des Werkzeugs,
4. Spritzpressen der Masse mittels Spritzkolben durch Düsen in das Werkzeug,
5. Härten (Standzeit),
6. Öffnen und Ausstoßen, Vorbereitung des Werkzeugs für nächsten Arbeitsgang.

Druck im Kolbenraum 2 beträgt bis 200 N/mm^2 . Gegenüber Pressen ist vorteilhaft, daß beim Düsendurchgang Reibungswärme entsteht, die die Härtezeit verkürzt; auch schwache Metallteile, z.B. Kontakte, können eingebettet werden.

Pressen (auch Duroplast- oder Kunststoffharzpressen) werden in vorzugsweise senkrechter Bauart produziert (Bild 1.75). Hydraulischer Antrieb gegenüber Kniehebel und Exzenter ist vorteilhaft, weil die Kraft in jeder Stellung voll wirksam wird, da gute Krafteinstellung durch Druckbegrenzungsventile gegeben ist (s. TM 1/II, Abschn. 8.).

Druckverlauf und Leistungsbedarf einer hydraulischen Presse (Bild 1.76) entsprechen einander nicht, wenn Druck durch Rückschlagventile während der Härtezeit aufrechterhalten wird. Energiespeicher in Verbindung mit Gruppenantrieb ist deshalb vor allem bei großen Pressen wirtschaftlich.

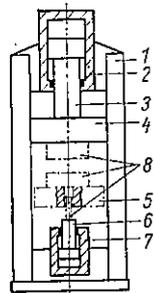


Bild 1.75
Schema einer hydraulischen (Duroplast-)Presse
1 Rahmen oder Gestell; 2, 7 Zylinder; 3, 6 Kolben; 4 oberer Pressentisch; 5 unterer Pressentisch; 8 Werkzeug mit Ausdrücker oder Spritzpreßkolben

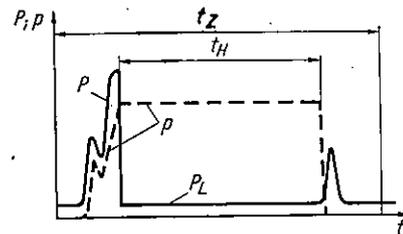


Bild 1.76. Druckverlauf und Leistungsbedarf beim Duroplastpressen
 P Antriebsleistung; P_1 Leerlaufleistung;
 p Hydraulikdruck; t_H Härtezeit; t_Z Zykluszeit

Bei Einzelantrieb werden Hochdruckpumpen zur Erzeugung der Preßkraft benutzt und Zahnradpumpen mit großem Förderstrom und niedrigem Druck für Bilgang und Rückhub. Preß- oder Spritzpreßwerkzeuge sind mindestens zweiteilig [1.13]; Heizung erfolgt in der Regel mit Widerstandsheizkörpern (Patronenheizkörper TGL 3089). Werkzeug ist mittels Spannschrauben in T-Nuten am Pressentisch befestigt (Bild 1.77).

Zum Pressen nimmt man überwiegend *Füllraumpreßwerkzeuge* (Bild 1.78). Preßmasse wird gut verdichtet; Preßteile haben stehenden Grat. Gestaltung der Quetsch- und Führungskanten nach TGL 160-317. Außer Führung zwischen Gesenk und Stempel sind noch Säulen nötig (TGL 160-292).

Seitwärtige Durchbrüche (Hinterschneidungen) erfordern zusätzliche Mechanismen, z.B. Backen (Bild 1.79), Seitenschieber (s.a. Abschn. 1.4.1.).

Entformung des Preßteils durch Ausdrückstifte (Bild 1.80), die zugleich konturbildend sind.

Beim Spritzpressen auf zweifach wirkenden Pressen kann Antrieb des Ausdrückers durch Restweg des Spritzpreßkolbens erfolgen (Bild 1.81). Spritzpressen auf einfach wirkenden Pressen

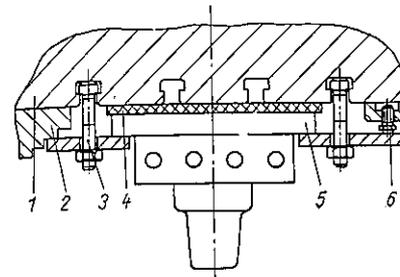


Bild 1.77
Werkzeugbefestigung an Pressen
1 Pressentisch; 2 Stütze (gestuft); 3 Spannschraube;
4 Wärmedämmplatte; 5 Werkzeug; 6 Stütze (verstellbar)

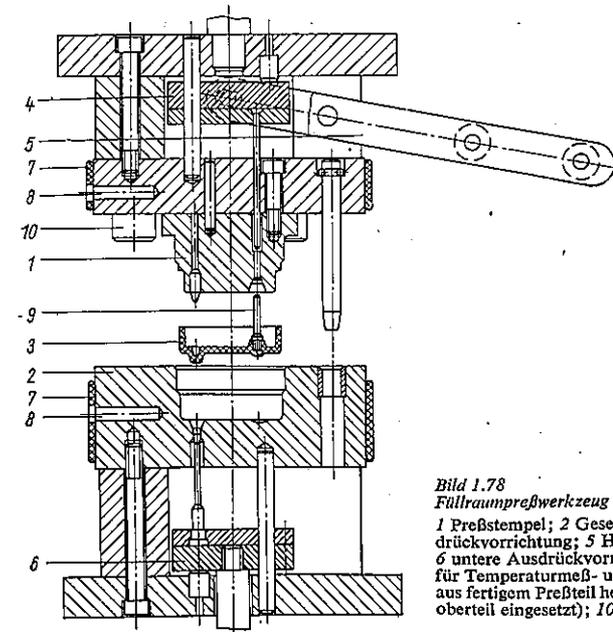


Bild 1.78
Füllraumpreßwerkzeug mit zwei Ausdrückern
1 Preßstempel; 2 Gesenk; 3 fertiges Preßteil; 4 obere Ausdrückvorrichtung; 5 Hebel zum Bewegen des Auswerfers; 6 untere Ausdrückvorrichtung; 7 Heizband; 8 Bohrung für Temperaturmess- und -regelgerät; 9 Gewindestift (wird aus fertigem Preßteil herausgedreht und wieder im Werkzeugoberteil eingesetzt); 10 Distanzstück

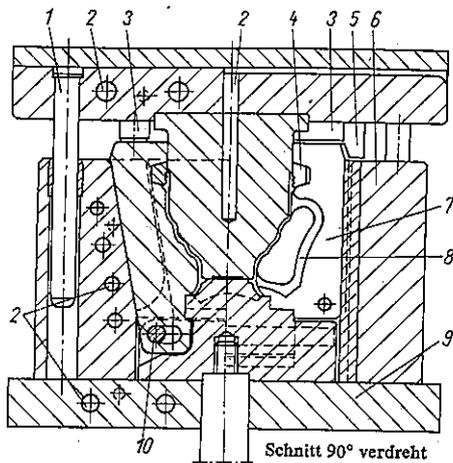


Bild 1.79. Preßwerkzeug für Kanne Oberteil

1 Führungssäule; 2 Bohrung für Patronenheizkörper; 3, 5 Druckleiste; 4 Gewinding (3fach geteilt); 6 Rahmen; 7 Backen; 8 Kontur (Henkel der Kanne); 9 Grundplatte; 10 Anlenkung der Backen

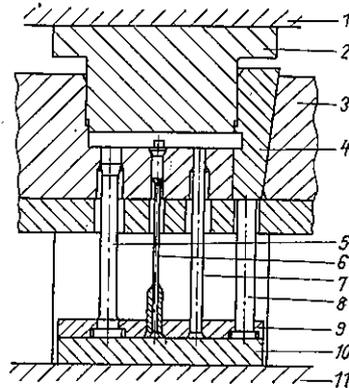
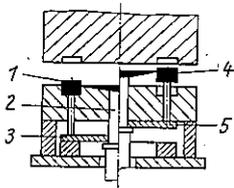
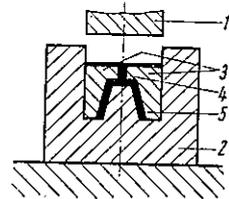
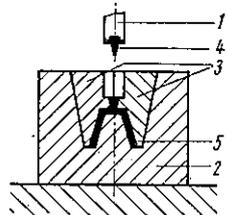
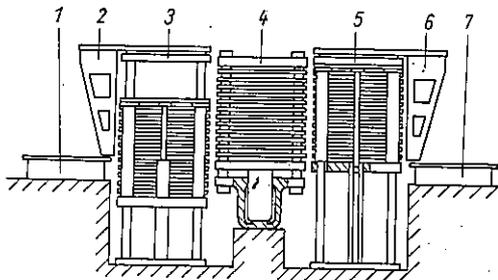


Bild 1.80. Ausdrücker (TGL 160-278 und 160-279)

1 Stempelplatte; 2 Stempel; 3 Gesenk (Rahmen); 4 Backen; 5 bis 8 verschiedene Drückstüße; 9 Stiftplatte; 10 Drückplatte; 11 Grundplatte (Werkzeug)

Bild 1.81 Ausdrücken durch Spritzpreßkolben
1 fertiges Spritzpreßteil; 2 Spritzpreßkolben; 3 Ausdrücker; 4 aus Kontur gehobenes Teil; 5 Ausdrücker in ArbeitsstellungBild 1.82 Spritzpreßwerkzeug mit Zuhaltung durch Spritzkraft
1 Spritzpreßkolben (oberer Pressentisch); 2 Werkzeugußteil (Rahmen); 3 Backen; 4 Anguß; 5 FertigteilBild 1.83 Spritzpreßwerkzeug mit Zuhaltung durch Keilwirkung
1 Spritzpreßkolben; 2 Rahmen; 3 Backen; 4 Anguß (abgerissen); 5 FertigteilBild 1.84 Etagenpresse mit Beschickungs- und Entnahmevorrichtung
1 Vorbereitungstisch; 2 Einschubvorrichtung; 3 Speicher; 4 Presse; 5 Entnahmestation; 6 Ausziehvorrückung; 7 Abnahmetisch

ohne angetriebenen Kolben im Pressenunterteil ist möglich. Spritzpreßwerkzeuge sind so konstruiert, daß Spritzpreßkolben in Wirkungsrichtung größere Fläche hat als das Plastteil (Bild 1.82) oder durch Backenkonstruktion mit Keilwirkung selbsthemmend oder von Hand verriegelt (Bild 1.83). Düsen für Angüsse, Spritzkolben und Laufbuchse sind aus verschleißfestem Stahl.

Werkzeuge für die Preß- oder Spritzpreßtechnik haben viele Gemeinsamkeiten mit den Spritzgießwerkzeugen, deshalb einheitliche Standards (TGL 160-200ff).

Etagenpressen (Bild 1.84) dienen zur Herstellung von Schichtpreßstoffen aus Duroplasten und Thermoplasten. Harzgetränkte Bahnen der Duroplaste (Hartpapier, Hartgewebe) werden auf Länge geschnitten und entsprechend der geforderten Dicke übereinandergelagert. Thermoplaste (PVC-Platten über 1 mm dick aus mehreren kalandrierten Bahnen) werden unter Wärme und Druck kaschier und noch in der Presse gekühlt. Etagenpressen haben anstatt des Werkzeugs übereinander angeordnete heiz- und kühlbare Platten. Glatte Oberflächen der Plastplatten werden durch beigelegte polierte Bleche erzielt.

Presse in **Unterkolbenbauart** wird bevorzugt; Beschickung und Entnahme mit Hilfe von Vorrichtungen ergeben bessere Ausnutzung der Presse, weil während der Preßzeit Beschickung vorbereitet und fertige Platten entnommen werden.

Preßkräfte von 50 MN und Plattenformat 3000 mm × 1500 mm sind üblich.

1.4.4. Maschinen und Apparate für die Verarbeitung langfaserverstärkter Plaste

Wichtigster Werkstoff ist glasfaserverstärktes ungesättigtes Polyesterharz (GUP) [1.14].

Kondensationsharze oder Thermoplaste mit Glasfasern vom Kurzfasertyp können durch Pressen, Spritzpressen und Spritzgießen verarbeitet werden.

Einfachste Art, Formteile aus GUP herzustellen, ist die **Handauflegemethode**. Auf ein einteiliges Werkzeug aus Metall, Holz, Gips u. ä., durch Nachbehandlung porenfrei gemacht, wird Glasmatte oder Glasgewebe aufgelegt (Bild 1.85). Harz mit Härter usw. wird aufgegossen oder aufgesprüht. Andrücken beseitigt Luft einschüsse und überflüssiges Harz. Methode ist für niedrige Stückzahlen geeignet. Formteile haben einseitig glatte Oberfläche.

Bei der **Gummisackmethode** bildet ein Gummisack die zweite Begrenzung. Anlage des elastischen Teiles wird durch Unterdruck (Vakuumsackmethode) oder durch Druckluft (Drucksackmethode) erreicht (Bild 1.86).

Auch bei der **Spritzmethode** ist nur ein einteiliges Werkzeug notwendig. Fertiges Gemisch aus Harz mit entsprechenden Zusätzen und geschnittene Glasfasern werden aus Behältern mittels Druckluft durch Mischdüse auf Werkzeug gespritzt (Bild 1.87). Das Verfahren eignet sich zur Herstellung großer Teile (Bootskörper) und zum Beschichten und Auskleiden von Behältern und Bauwerken.

Preßmethode erfordert zweiteilige Werkzeuge; Preßdrücke 1 ... 2 N/mm²; zu hohe Drücke zerscheren gekreuzt liegende Fasern. In Vorformmaschine werden geschnittene Rovings (leicht gedrehte Stränge aus mehreren tausend Elementarfäden) mit etwa 50 mm Stapellänge über siebartigem Werkzeug zum Rohling geformt, mit Harzemulsion bespritzt, getrocknet und

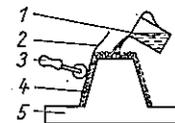


Bild 1.85 Handauflegemethode

1 Werkzeug; 2 Folie; 3 Andrückrolle; 4 Glasfasern; 5 Harz mit Zusätzen

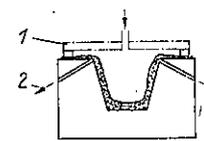


Bild 1.86 Gummisackmethode

1 Druckverfahren; 2 Saugverfahren

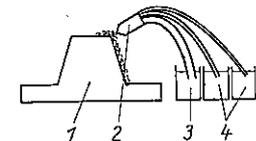


Bild 1.87 Spritzmethode

1 Werkzeug; 2 Mischdüse; 3 Glasfasern; 4 Harz mit Zusätzen

unter der Presse fertiggeformt. Presse und Werkzeug sind so gestaltet, daß gleichzeitig Beschneiden der Ränder erfolgt (Bild 1.88).

Strangmaterial, Rohre, Profile usw. werden in kontinuierlichem Verfahren auf Ziehanlagen hergestellt (Bild 1.89). Ihre Festigkeitseigenschaften sind hervorragend, weil Anteil tragender Glasfasern am Gesamtvolumen durch parallele Lage der Elementarfäden hoch ist.

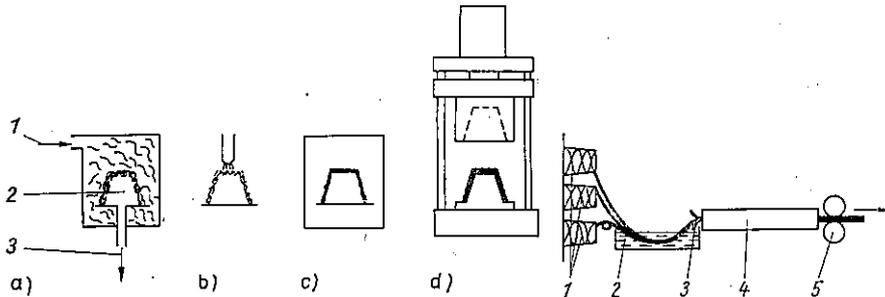


Bild 1.88. Preßmethode

a) Vorformen; b) mit Harzemulsion besprühen; c) Trocknen; d) Harz mit Zusätzen aufbringen, pressen und evtl. gleichzeitig beschneiden
1 Zuführen der Fasern; 2 Siebwerkzeug; 3 Absaugen der Luft

Bild 1.89. Ziehmethode

1 Rovings; 2 Tränkwanne; 3 Düse; 4 Härtestrecke; 5 Abzugswalzen

1.4.5. Schäummaschinen

Außer bei geschäumten Produkten aus Thermoplasten, bei denen meist auf physikalischem Wege geschäumt wird (auf angepaßten Spritzgießmaschinen, s. Abschn. 1.4.1., und Extrudern), sind bei Reaktionsschaummethode (RSG) spezielle Schäummaschinen und Schäumwerkzeuge nötig.

Aus Polyurethanschaumstoffen (PUR) lassen sich durch Variation der Ausgangskomponenten Polyol und Isozyanat alle Formteile oder Stränge in den Abstufungen weich, halbhart bis hart herstellen [1.15]. Polyol mit Treibmittel Aktivator und Zusätzen wird mit Isozyanat gemischt. Das flüssige Gemisch (PUR) muß sofort ins Werkzeug gebracht werden und reagiert nach einigen Sekunden (Start des Schäumprozesses). Danach erfolgt Ausschäumung und Verfestigung bzw. Härtung in mehreren Minuten und anschließend Entformung und Lagerung in Stunden.

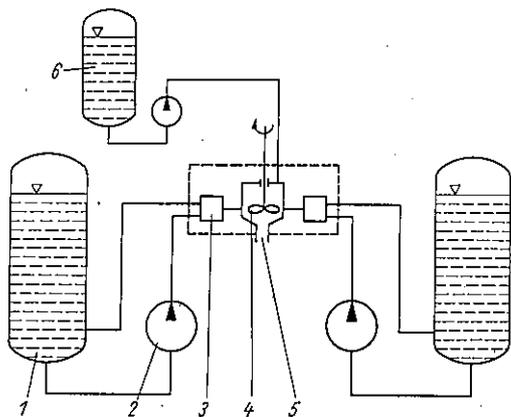


Bild 1.90

Prinzip einer PUR-Niederdruckschäummaschine

1 Behälter mit Schaumkomponenten; 2 Dosierpumpen; 3 Ventil (für Umlauf oder zur Mischkammer); 4 Rührwerk; 5 Austragdüse; 6 Spülung

In Schäummaschinen nach dem Niederdruckprinzip werden die Komponenten durch Dosierpumpen einer Mischkammer mit Rührwerk zugeführt (Bild 1.90). Austrag geschieht durch Düse an Mischkammer (Mischkopf) unmittelbar ins Werkzeug. Anschließend ist Spülen der Mischkammer und Düse mit Lösungsmittel nötig. Schäummaschinen mit von Hand betätigtem Mischkopf (Bild 1.91) eignen sich für universellen Einsatz.

Schäummaschinen arbeiten nach dem Hochdruckprinzip ohne mechanisches Rührwerk. Mischeffekt entsteht durch Injizieren unter hohem Druck ($5 \dots 15 \text{ N/mm}^2$) in der Mischkammer. Düse mit Austragschieber benötigt keine Spülung oder nur Druckluft (Bild 1.92). Werkzeug wird mit dosierter Menge beschickt und füllt sich beim Aufschäumen. Die Rand-schicht ist dicht. Im Kern ist die Zellstruktur je nach Ansatz verschieden porös.

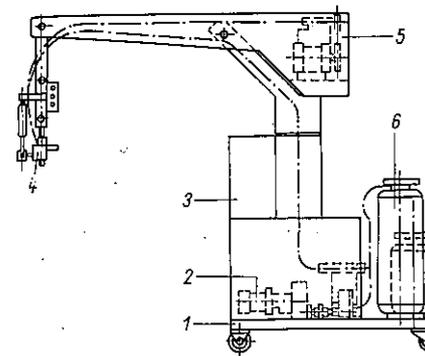


Bild 1.91

Schäummaschine für PUR

1 Gestell; 2 Dosierpumpen; 3 Schaltschrank; 4 Mischkopf (Handbetätigung); 5 Ausleger; 6 Behälter für Schaumkomponenten

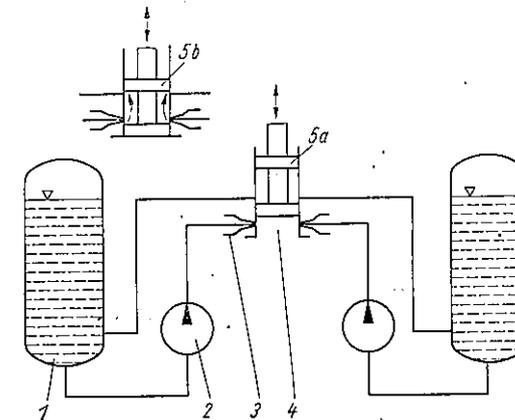


Bild 1.92

Prinzip einer PUR-Hochdruckschäummaschine

1 Behälter mit Schaumkomponenten; 2 Dosierpumpen; 3 Injektions-(Misch-)Düsen; 4 Mischkammer mit Anschluß zum Werkzeug; 5 Flachschieber (a Arbeitsstellung, b Umlauf)

Die optimale Schäumlage ist durch Schwenken um zwei Achsen erreichbar. Die Schließzeit ist ähnlich der der Spritzgießmaschine mit geringen Schließkräften. Für Serienfertigung sind mehrere Stationen (z.B. Rundläufer) zweckmäßig, weil die Füllzeit gegenüber Ausschäum- und Aushärtezeit gering ist.

Werkzeuge für Muster und Nullserien sind aus Gießharz, Blech oder Beton möglich, für Serienfertigung aus Aluminium oder Stahl; Drücke im Werkzeug bis $0,5 \text{ N/mm}^2$.

Blöcke, Platten und Formteile, z.B. für stützende Verpackung, werden aus geschäumtem Polystyrol ebenfalls auf Schäummaschinen hergestellt. Ähnlich der leichten Schließzeit einer Spritzgießmaschine ist waagerechte Arbeitsweise üblich (Bild 1.93).

Tafel 1.6. Werkzeuganschlußmaße für Schäummaschinen nach TGL 26073/01

Baugröße		320 × 400	630 × 400	800 × 630	800 × 630 E	800 × 1250	800 × 1250 E
Formteil Größtmaße	l_1	320	630	800	800	800	800
	b_1	400	400	630	630	1250	1250
	h	250	250	400	—	400	4 × 60
Werkzeugträger	l_2	—	780	950	950	950	950
	b_2	—	550	780	780	1400	1400
Lichte Weite zwischen den Säulen	e_1	—	630	840	840	1475	1475
	e_2	—	—	750	750	750	750
Lochabstand	e_3	120	120	134	134	134	134
	e_4	—	120	120	120	120	120
	e_5	—	120	130	130	120	120
Mittenabstand	e_6	—	515	755	755	1375	1375
	e_7	—	745	925	925	925	925
Anzahl der Säulen		2	2	4	4	4	4
Anzahl der Lochabstände	n_1	—	4	5	5	9	9
	n_2	—	2	3	3	3	3
Größter Hub	l_3	630	630	1000	—	1000	4 × 175
Werkzeugzuhaltekraft	kN	—	50	140	140	250	250

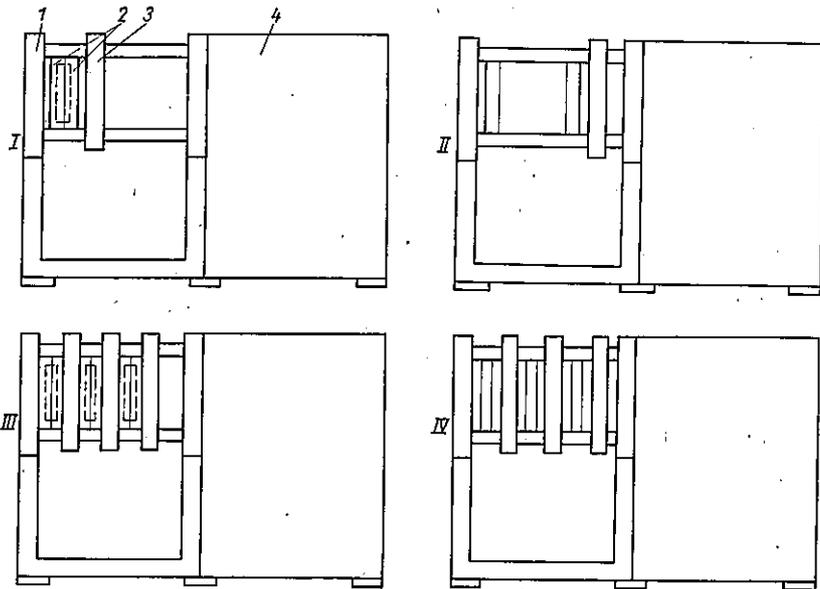


Bild 1.93. Formmaschinen für schäumfähiges Polystyrol

1 feststehender Werkzeugträger; 2 Werkzeug; 3 bewegbarer Werkzeugträger; Raum für Antrieb und Steuerelemente
I Einfachausführung geschlossen; II Einfachausführung geöffnet; III Etagenausführung geschlossen; IV Etagenausführung geöffnet

Die Aufspannlflächen der Schäummaschinen (Tafel 1.6) sind standardisiert und Schließkräften zugeordnet. Der Antrieb ist meist hydraulisch, die Arbeitstakte einschließlich Dampf- und Kühlmittelzufuhr automatisiert. Vorexpandiertes Polystyrol aus kugelförmigem Granulat (1 ... 3 mm Dmr.) wird in perforiertes Werkzeug gefüllt (Bild 1.94), durch Dampf (bis 120 °C) erwärmt, so daß es weiter expandiert und zur Formteilen zusammensintert.

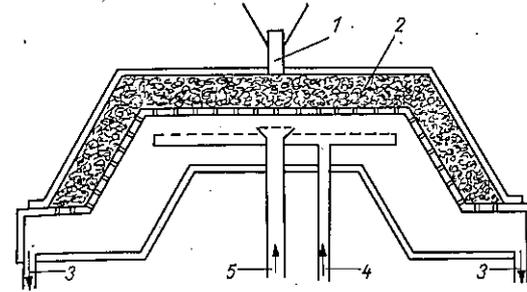


Bild 1.94. Werkzeug für Dampfaufschäumung von Polystyrol
1 Einfüllstutzen; 2 Schaumstoff; 3 Absaugung; 4 Dampf; 5 Kühlung (Wasser oder Luft)

1.5. Umformmaschinen

Urgestaltete Halbzeuge, wie Folien, Platten, Rohre und Profile aus Thermoplasten, lassen sich umformen. Im kalten Zustand begrenzt und nur dünne Folien. Für Plastwerkstoffe ist Kaltumformung nicht typisch.

Bearbeitung im thermoelastischen Bereich (s. Abschn. 1.1., Bild 1.1) ist durch Erwärmen des Halbzeugs und Einfrieren des umgeformten Zustands möglich (sog. Thermoformen).

Biegen von Platten und Folien wird in Abkantpressen oder in Vorrichtungen von Hand unter Erwärmen entlang der Biegekante durchgeführt (Bild 1.95). Große Radien oder unregelmäßige Formen werden mit Filztuch über ein Holzmodell gebogen.

Tiefziehen ist ähnlich wie bei Metallen möglich (Bild 1.96), Thermoplast muß im Ziehwerkzeug erkalten, sonst Rückstellung des Teiles.

Streckformen von Folien und Platten für Thermoplaste ist wirtschaftlich bedeutungsvoll. Fest eingespannte Platte (Folie) wird erwärmt und mechanisch oder/und pneumatisch in gewünschte Gestalt gebracht und durch Abkühlung fixiert.

Negativ-Streckformen (Vakuumformen) (Bild 1.97) ist ohne Maschinen möglich. Formungsdruck ist 0,07 ... 0,09 N/mm². Örtliche Verdünnung (Bild 1.98) und schlechte Formtreue

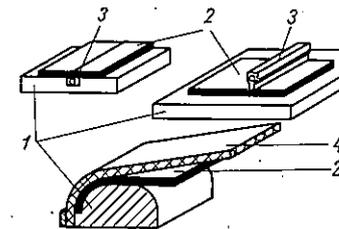


Bild 1.95. Biegen von Thermoplasten

1 Unterlage (schlecht wärmeleitend, z.B. Holz, Asbest); 2 Thermoplastplatte; 3 Heizschiene; 4 Filztuch

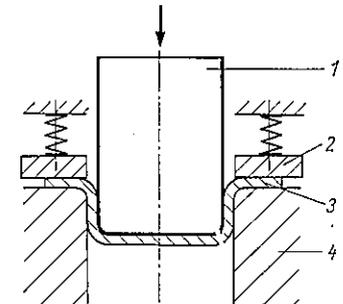


Bild 1.96. Tiefziehen von Thermoplasten

1 Stempel; 2 Niederhalter; 3 Thermoplastplatte; 4 Matrize

Der Formungsvorgang muß schnell, möglichst schlagartig erfolgen; deshalb sind auch beim Saugformen (Vakuumformen) Speicher nötig (Bild 1.101).

Universalmaschinen dienen zum Thermoformen für kleine Stückzahl mit verstellbaren Spannräumen für unterschiedliche Plattengröße. Als Wärmequellen werden Infrarot-Dunkelstrahler bevorzugt, die einzeln abschaltbar sind, um eine partielle Erwärmung des Plastes zu ermöglichen. Die Arbeitsstufen sind automatisiert, so daß nur die Platte einzulegen und das Formteil zu entnehmen ist. Thermoformautomaten für diskontinuierliche und kontinuierliche Produktion (Bild 1.102) sind vor allem in der Verpackungstechnik eingeführt (s. TM 3/II).

1.6. Trennmaschinen

Spanen und Schneiden (auch Stanzen) auf Metall- und Holzbearbeitungsmaschinen ist mit angepaßten Schnittwinkeln und Schnittgeschwindigkeiten möglich. Für massive Plastwerkstoffe sind keine speziellen Plasttrennmaschinen eingeführt.

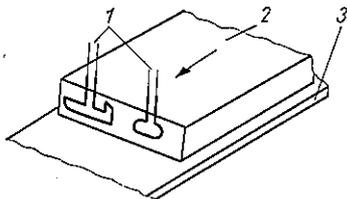


Bild 1.103
Schema des Hitzdrahttrennens
1 Hitzdrahtelemente (feststehend); 2 Schaumblock;
3 fahrbare Unterlage

Zum Schneiden von Schaumstoffplatten aus Blockmaterial dienen Trennmaschinen ähnlich Bandsägen der Holzbearbeitung mit waagerechter Schnittführung und ungezahntem Sägeblatt (scharfgeschliffenes Stahlband). Trennen von Profilen aus thermoplastischem Blockschaum erfolgt mit Hitzdraht (Bild 1.103). Trennen von profilierten Schaumstoffplatten wird durch entsprechende Gestaltung von Formwerkzeugen vorgenommen (Bild 1.104).

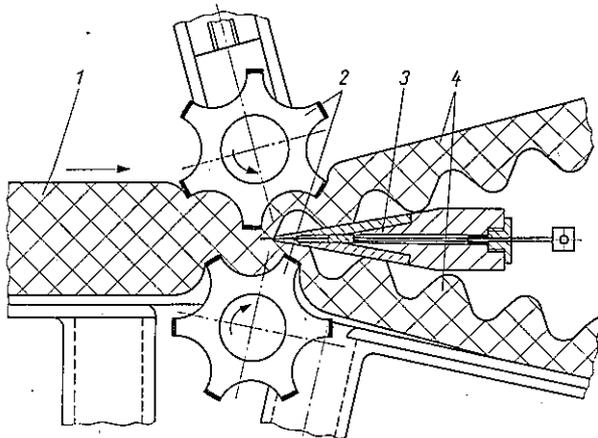


Bild 1.104. Herstellung profilierter Platten aus weichem Schaumstoff
1 ungetrennter Schaumblock; 2 Profilwalzen; 3 Trennmesser (feststehend);
4 profilierte Schaumplatten

1.7. Fügemaschinen und -geräte

1.7.1. Schweißen von Plasten

Thermoplaste sind durch Wärme und Druck mit oder ohne Zusatzwerkstoff schweißbar [1.16]. Fast alle Schweißmethoden sowohl mit handbetätigten Geräten als auch mechanisiert auf Vorrichtungen und Maschinen sind möglich.

Heißgasschweißen (Bild 1.105) geschieht durch Plastizieren der Schweißstelle im warmen Luft- oder Stickstoffstrahl. Der Zusatzwerkstoff ist überwiegend aus gleichem Plast, der bei hartem Werkstoff zugleich den Schweißdruck erzeugt. Wie beim Metallschweißen sind bestimmte Nahtformen (V- oder X-Naht mit Stumpfstoß bevorzugt) und Lagen der Schweißraupen einzuhalten. Für weichen Werkstoff, z. B. Fußbodenbelag, wird Zusatzwerkstoff mit einer Rolle geführt und angepreßt.

Heizelementschweißen wird durch Berühren der Schweißstelle mit warmen Metallteilen durchgeführt (Bild 1.106). Der Schweißdruck wird von Hand oder für harte und stabile Teile in Vorrichtungen erzeugt. Weiche Platten oder Folien werden auf kontinuierlich arbeitenden Heizelementschweißmaschinen (Heizkeilschweißmaschinen) mit Andrück- und zugleich Förderrollen gefertigt (Bild 1.107). Maschinen ähneln Nähmaschinen, haben aber anstatt des Stichmechanismus Heizkeil und Rollen; durch Führung der Folien ist automatisierter Betrieb möglich.

Für dünne Folien bis 0,1 mm (maximal 0,2 mm) erfolgt die Wärmezufuhr kurzzeitig von außen durch die Folien hindurch, sog. **Wärmeimpulsschweißen**. Elektroden, erwärmt durch Stromstöße von 0,1 ... 2 s Dauer, üben zugleich den Schweißdruck aus.

Plastwerkstoffe mit hohen dielektrischen Verlusten, z. B. PVC, lassen sich durch **Hochfrequenzschweißen** verbinden. Folien werden im Kondensatorfeld einer hochfrequenten Spannungsquelle erwärmt. Eine Elektrode ist in der Regel ein fester ebener Tisch. Die zweite Elektrode entspricht der Nahtform der Schweißstelle (Bild 1.108) und kann außerdem für Prägeeffekte, Schriftzüge usw. eingerichtet sein; sie übt den Preßdruck aus. HF-Schweißmaschinen sind Einständerpressen für niedere Kräfte bei großen Tischabmessungen. HF-Generator, im Pressengestell oder separaten Schaltschrank, bestimmt Leistungsfähigkeit der Maschine. HF-Schweißen ist nur diskontinuierlich möglich.

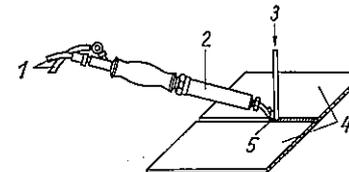


Bild 1.105. Heißgasschweißen
1 kaltes Gas (meist Luft); 2 Heizung; 3 Zusatzwerkstoff; 4 zu verschweißende Platten;
5 warmer Gasstrahl

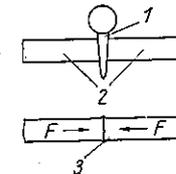


Bild 1.106. Heizelementschweißen
1 Heizelement (Heizspiegel); 2 Plastteile;
3 Schweißnaht (mit Wulst durch Anpreßkraft F)

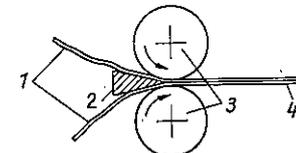


Bild 1.107. Heizkeilschweißen von Folien
1 zu schweißende Folien; 2 Heizkeil; 3 Transport- und Anpreßwalzen für Schweißdruck;
4 verschweißte Folien

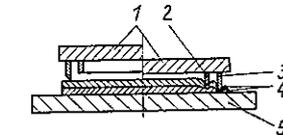


Bild 1.108. Hochfrequenzschweißen
1 oberer Elektrodenträger (bewegbar); 2 Nahtelektrode; 3 Schneidelektrode; 4 zu schweißende Folien; 5 untere Elektrode (ebene Platte, feststehend)

Beim *Ultraschallschweißen* liegen zu schweißende Teile zwischen Sonotrode und Schweißamboß. Energieeinleitung geschieht durch hochfrequente Schwingungen (bis ≈ 60 kHz), danach Schweißdruck. Ultraschallschweißmaschinen in Einständerbauart zum Schweißen massiver Formteile (Spritzgussteile) sind für Fügen in Serienfertigung geeignet.

1.7.2. Kleben von Plasten

Kleben ist Verbinden von Fügeteilen mit Hilfe eines Klebstoffs, eines Lösungsmittels oder eines Lösungsmittelgemisches (TGL 24006) [1.17]. Klebstoff ist der Oberbegriff für nicht-metallische Stoffe, durch den die Fügeteile durch Kohäsion und Adhäsion verbunden werden. Plaste lassen sich untereinander und mit anderen Stoffen verbinden.

Durch Anquellen mit einem Lösungsmittel, das anschließend verdunstet, können Plaste (ohne Klebstoff) miteinander verbunden werden.

Die Festigkeit der Klebverbindung hängt außer vom Klebstoff oder Lösungsmittel stark vom Verfahren ab, z.B. Vorbehandlung der Klebstelle, Aufbringen des Klebstoffs, Vorbereiten des Klebstoffs bei Mehrkomponentenklebern usw.

Klebmachines (-automaten) sind als Einzweckmaschinen, z.B. in der Schuhindustrie, eingeführt.

1.8. Beschichtmaschinen

Beschichten ist das Aufbringen einer Plastschicht auf einen Trägerwerkstoff, z.B. Stahl, Gewebe, Papier, im weiteren Sinne auch Plast auf Plast gleicher oder unterschiedlicher Typen [1.18].

Beschichten erfolgt auf Extrusions- oder Kalandernanlagen nach Heißsiegelverfahren mit getrocknetem oder ohne Kleber; Stoffbahnen werden unter Wärme und Druck (im Walzenspalt) miteinander verbunden.

Beim *Kaschieren* wird auf bahnförmige Unterlage Kleber aufgetragen; fertige Plastfolien werden im Naßverfahren im Kalendar aufgebracht, und Lösungsmittel des Klebers wird anschließend verdampft.

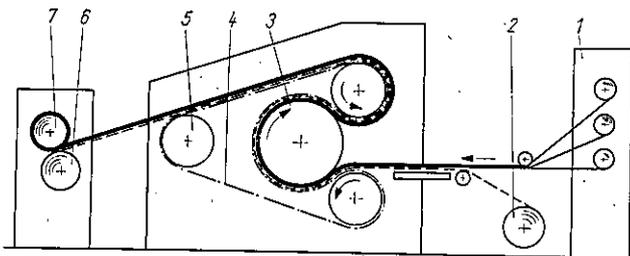


Bild 1.109. Stahlbandkaschier- oder -beschichtmaschine

1 Gestell mit Ausgangsprodukten; 2 ablaufende Zwischenlage; 3 Heizwalze;
4 Stahlband (endlos); 5 Spannwalze; 6 Aufwicklung der Zwischenlage;
7 beschichtete oder kaschierte Ware

Doublieren oder Kaschieren von Verbundfolien und Beschichten anderer Werkstoffe durch Plastfolien wird auf Stahlband-Kaschiermaschinen durchgeführt (Bild 1.109). Durch endloses Stahlband werden die zu verbindenden Bahnen kontinuierlich an eine beheizte Walze gepreßt. Mitlaufende Zwischenlage soll Haften des Plastes am Stahlband verhindern. Methode wird vorzugsweise für dicke weiche Plastbahnen (Fußbodenbelag) angewendet.

Am vielseitigsten hinsichtlich der Qualität des erzeugten Verbunds ist *Streichen* (Bild 1.110).

Plastbelag wird als Paste oder Dispersion auf Papier oder Textil aufgebracht und die gewünschte Schichtdicke durch Abstreifen überschüssiger Masse mit Rakel oder Luftstrahl aus einer Schlitzdüse erzielt. Häufig, vor allem bei der Herstellung von Kunstleder, wird mit Gummituchrakel (Bild 1.110c) gearbeitet. Anpreßkraft der Rakel und Viskosität der Plastvorlage beeinflussen Dicke des Auftrags. Seitliche, verstellbare Backen verhindern Breitleßen der Streichmasse.

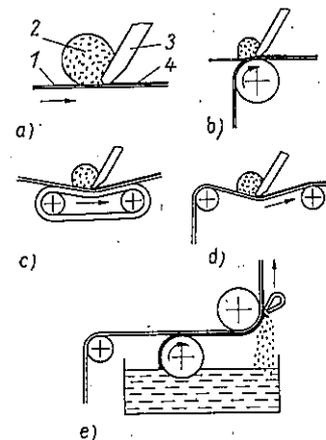


Bild 1.110
Streichen und Beschichten

a) Prinzip
1 unbeschichtete Bahn; 2 Plastaufbereitung; 3 Streichmesser,
Rakelmesser oder Schlitzdüse, Luftmesser; 4 beschichtete
Bahn
b) Walzenrakel; c) Gummituchrakel; d) Luftrakel;
e) Walzenauftrag und Rakeldüse

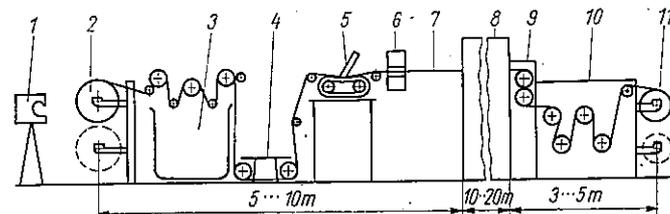


Bild 1.111. Streichmaschine

1 Nähmaschine; 2 Warenrolle; 3 Speicher; 4 Bedienbühne; 5 Streichmaschine; 6 Dickenmeßeinrichtung;
7 Einlauffeld; 8 Trocken- und Gelatinierkanal; 9 Glätt- oder Prägewerk; 10 Kühlstrecke; 11 Aufwicklung

Streichmaschine ist das Hauptaggregat einer Anlage aus mehreren Baugruppen, deren Antriebe synchronisiert sind (Bild 1.111). Kontinuität des Arbeitsprozesses ist wichtig für die Qualität des Streichens und für den Durchlauf durch den Trocken- und Gelatinierkanal. Nähmaschine dient zum Vernähen des Endes der ablaufenden Warenbahn und des Anfangs der neuen Bahn. Vorher wird der Speicher gefüllt, so daß während der Nähzeit keine Stockung an der Streichmaschine entsteht. Mehrere Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften sind bei Kunstleder üblich, z.B. weiche Grund- und harte Deckschicht. Beschichten ist auch möglich nach dem Prinzip des Foliegießens (Bild 1.38) auf Metallband, indem die Trägerbahn (Textil, Papier) auf gegossenen Film aufgelegt und angepreßt wird.

Literatur

- [1.1] *Biedenkopf, G.*: Die Messung der charakteristischen Eigenschaften eines PVC-härt-Ansatzes für seine Verarbeitung auf Schneckenpressen und Spritzgußmaschinen. Diss. TH Stuttgart 1965.
[1.2] *Giberow, Z.G.*: Механическое оборудование заводов пластических масс (Maschinenausrüstungen von Kunststoffverarbeitungsbetrieben), russisch. Moskau: Verlag „mašinostrojenie“ 1967.

- [1.3] *Jacobi, H.R.*: Grundlagen der Extrudertechnik. München: Carl Hanser Verlag 1960.
 [1.4] *Törner, R.V.*: Grundprozesse der Verarbeitung von Polymeren (Übersetzung aus dem Russischen). Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1974.
 [1.5] *Schenkel, G.*: Kunststoff-Extrudertechnik. 2. Aufl. München: Carl Hanser Verlag 1963.
 [1.6] *Ardichvili, G.*: Versuch der rationalen Bestimmung der Bombierung von Kalandervalzen. Kautschuk 14 (1938) 2.
 [1.7] *Cornely, J.*: Verfahrenstechnik beim Spritzgießen von Thermoplasten. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für die Kunststoffindustrie 1969.
 [1.8] *Beck, H.; Landmann, W.*: Formzuhaltekräfte bei mechanischen Schließeinheiten von Spritzgußmaschinen. Kunststoffe 43 (1953) S.403-409.
 [1.9] *Trepte, H.*: Zum experimentellen Nachweis elastischer Formänderungen an Maschine und Werkzeug beim Spritzgießen. Plaste und Kautschuk 11 (1965) S.158-164.
 [1.10] *Sernerdjier, St., u.a.*: Das Gasgedruckt-Gießverfahren zur Herstellung von thermoplastischen Strukturschaumteilen. Kunststoffe 64 (1974) 1, S.13-15.
 [1.11] *Schrewe, K.*: Spritzgießen von Thermoplast-Schaumstoffteilen mit glatter Oberfläche. Kunststoffe 61 (1971) 9, S.623-626.
 [1.12] *Schaaf, W.; Hahnemann, A.*: Verarbeitung von Plasten. 2. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für die Grundstoffindustrie 1970.
 [1.13] *Bucksch, W.; Briefs, H.*: Preßwerkzeuge in der Kunststofftechnik. 2. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1962.
 [1.14] *Wende, A.; Moebes, W.; Marten, H.*: Glasfaserverstärkte Plaste. 2. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969.
 [1.15] *Becker, R.*: Polyurethane. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1973.
 [1.16] *Schrader, W.*: Die Kunststoffhalbzeugverarbeitung und -schweißung. 10. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1974.
 [1.17] *Dimter, L.*: Klebstoffe für Plaste. 2. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969.
 [1.18] *Beck, G.*: Streichen und Beschichten. München: Carl Hanser Verlag 1955.

2. Aufbereitungsmaschinen

von Prof. em. Dr.-Ing. H. Weinrich

2.1. Allgemeines zur Aufbereitungstechnik	60
2.2. Zerkleinern	61
2.2.1. Grundlagen	61
2.2.1.1. Körnung	62
2.2.1.2. Spezifische Oberfläche	62
2.2.1.3. Energiebedarf	63
Zerkleinerungsarbeit - Spezifischer Arbeitsbedarf - Maschinenberechnung - Spezifische Oberflächenarbeit	
2.2.2. Maschinen der Grob- und Feinzerkleinerung (Brecher und Mühlen)	65
2.2.2.1. Backenbrecher	65
Pendelschwingerbrecher - Direktbrecher - Kurbelschwingerbrecher - Schlagbrecher	
2.2.2.2. Rundbrecher	70
Kegelbrecher - Flachkegelbrecher	
2.2.2.3. Walzenbrecher und -mühlen	75
2.2.2.4. Hammerbrecher und -mühlen	78
Hammerbrecher - Reversierbare Prallhammermühlen - Zweiwellenhammerbrecher - Feinhammermühlen	
2.2.2.5. Prallbrecher und -mühlen (Schlagprallbrecher)	81
2.2.2.6. Feinprall- und Strahlmühlen	84
Feinprallmühlen mit Schlägern - Schlägerlose Feinprallmühlen - Strahlmühlen	
2.2.2.7. Trommel- und Rohrmühlen	87
Arbeitsweise - Berechnung - Satzweise (periodisch) arbeitende Trommelmühlen - Siebtrommelmühlen - Stetig arbeitende Trommelmühlen - Ein- und Mehrkammerrohrmühlen - Rohrmühlen für Kreislauf mit Windsichter	
2.2.2.8. Schwingmühlen	96
Satzweise arbeitende Schwingmühlen - Stetig arbeitende Rohrschwingmühlen	
2.2.2.9. Wälzmühlen	100
Kegelmüllmühlen - Kugelwälzmühlen - Ringwälzmühlen - Fliehkraftwälzmühlen - Kollergänge	
2.2.2.10. Sonstige Mühlen	106
2.2.3. Selektives und differentielles Zerkleinern	106
2.2.4. Autogenes Mahlen	106
2.3. Siebklassieren	107
2.3.1. Schwingsiebmaschinen	107
2.3.1.1. Grundlagen	107
2.3.1.2. Kreisschwinger	110
Überkritisch, starrer Antrieb, Typ K-ü-st - Überkritisch, elastischer Antrieb, Typ K-ü-el	
2.3.1.3. Ellipsenschwinger	113
Unterkritisch, starrer Antrieb, Typ E-u-st - Überkritisch, elastischer Antrieb, Typ E-ü-el	
2.3.1.4. Geradschwinger	113
Unterkritisch, starrer Antrieb, Typ G-u-st - Überkritisch, elastischer Antrieb, Typ G-ü-el - Resonanz, elastischer Antrieb, Typ G-R-el	
2.3.1.5. Belagschwinger	115
2.3.1.6. Planschwinger	116
Typ P-u-st - Typ P-ü-el	

2.3.2. Gleichsinnig bewegte Siebmaschinen	116
2.3.2.1. Walzenrostsiebmaschinen	116
2.3.2.2. Trommelsiebmaschinen	117
2.3.3. Feststehende Siebe oder Roste	117
2.3.4. Sonderbauarten von Siebgeräten	117
2.4. Stromklassieren	118
2.4.1. Grundlagen	118
2.4.2. Trockenverfahren (Windsichten)	120
2.4.2.1. Umluftsichter (Streuteller- oder Schleudersichter mit innerem Luftkreislauf)	120
2.4.2.2. Streutellersichter mit äußerem Luftkreislauf und Zyklonabscheidung	122
2.4.2.3. Durchflußsichter (Stromsichter)	123
Durchflußsichter mit Schwerkraftwirkung – Durchflußsichter mit Schwerkraftwirkung – Durchflußsichter mit hoher Fliehkraftwirkung	
2.4.3. Naßverfahren (Naßklassieren)	125
2.4.3.1. Mechanische Freifallklassierer	125
Rechenklassierer – Schraubensklassierer – Kratzbandklassierer – Schlüsselklassierer – Rechenklassierer mit Schlüssel	
2.4.3.2. Gegenstromklassierer (Schlämngeräte)	127
2.4.3.3. Fliehkraftklassierer	128
Hydrozyklon	
2.5. Zerkleinerungssysteme und Mahltrocknen	129
2.5.1. Durchlaufsysteme (offene Systeme)	129
2.5.2. Inneres Klassieren (Kreislauf innerhalb Zerkleinerungsmaschine)	129
2.5.3. Äußeres Klassieren mit geschlossenem Kreislauf und Kombinationen	130
2.5.4. Mahltrocknen	131
2.5.5. Pralltrocknen	132
2.5.6. Erzeugen von Feinstkorn	134
2.6. Stückigmachen	134
2.6.1. Granulieren	134
2.6.2. Brikettieren	136
2.6.2.1. Strangpressen	136
2.6.2.2. Ringwalzenpressen	138
2.6.2.3. Walzenpressen	140
2.7. Mischen	141
2.7.1. Allgemeines	141
2.7.2. Freifallchargenmischer	142
2.7.2.1. Sturztrommelmischer (Taumelmischer)	142
2.7.2.2. Kipptrommelmischer	142
2.7.2.3. Umkehrmischer	143
2.7.2.4. Gleichlaufmischer	143
2.7.3. Freifallstetigmischer	143
2.7.4. Zwangschargenmischer	143
2.7.4.1. Tellermischer mit senkrechter Mischwelle	143
Einfache Tellermischer – Planetenmischer – Gegenstrommischer	
2.7.4.2. Chargenmischer für Schleuder- und Wirbelverfahren	144
2.7.5. Zwangsstetigmischer	145
2.7.5.1. Stetigmischer für Schleuder- und Wirbelverfahren	145
2.7.5.2. Doppelwellenmischer	145
2.7.6. Zentrale Mischanlagen	145
2.7.7. Mischmühlen	145

2.8. Sortieren	145
2.8.1. Allgemeines	145
2.8.2. Dichtesortieren	146
2.8.2.1. Schwertrübeverfahren	146
Statisches Schwertrübeverfahren – Dynamisches Schwertrübeverfahren	
2.8.2.2. Setzmaschinen	148
Stauchsetzmaschinen – Kolbensetzmaschinen – Membransetzmaschinen – Luftgesteuerte Setzmaschinen – Doppelpulsationssetzmaschine – Hebung des Gütegrads – Durchsatzsteigerung – Setzsiebe	
2.8.2.3. Herde	153
2.8.2.4. Trockenes Dichtesortieren (Luftaufbereitung)	154
Trockensinkscheider – Trockensetzmaschinen – Luftherde	
2.8.3. Flotieren (Schwimmtaufbereitung)	154
2.8.3.1. Grundlagen	154
2.8.3.2. Rührwerkflotationsmaschinen	155
2.8.3.3. Rührerlose (rein pneumatische) Flotationsmaschinen	155
Einfache Druckluftgeräte – Lufthebeanlage – Injektorflotationsmaschine – Zyklonflotation, Zyklozelle	
2.8.4. Magnetscheiden	157
2.8.4.1. Allgemeines	157
2.8.4.2. Schwachfeldmagnetscheider	158
Magnetrollen mit umlaufendem Magnet – Elektromagnet mit Austragband – Trommelmagnetscheider	
2.8.4.3. Starkfeldmagnetscheider	160
Kreuzbandscheider – Ringmagnetscheider – Walzenmagnetscheider	
2.8.5. Elektroscheiden	161
2.8.6. Sortieren durch Klassieren	161
2.8.6.1. Sortieren durch Siebklassieren	161
Bergescheider – Siebtrommelbrecher	
2.8.6.2. Läutern, Schlämmen	162
Umlaufende Läuter-(Wasch-)Trommeln – Läutergeräte mit feststehendem Trog – Schwingende Läutergeräte – Naßklassierer – Reine Schlämngeräte	
2.8.6.3. Sortieren nach Gleichfälligkeit	163
2.8.7. Sonstige Sortierverfahren	164
Literatur	164

Formelzeichen

A	Fläche; Rotorquerschnitt; Siebfläche, belastete Gummi- fläche; Menge des Rohguts (Aufgabeguts bei Sortierung)	F_t	Tangentialkraft
a	Wertstoffanteil (Sortierung); Anteilfaktor (Kreislauf- verfahren); Beschleunigung	F_L	Kraft je Lager
b	Brechermaulbreite; Exponent	f	Formfaktor; Federweg
c	Faktor für Rohrmühlen- berechnung; Federkonstante	G	Schwerkraft; Schubmodul
c_{dyn}	dynamische Federkonstante	g	Erdbeschleunigung
D	Durchmesser; Durchgang	H	Höhe; Dicke
d	Durchmesser; Korngröße	h	Hub
d'	Korngrößenkennzahl	i	Anzahl
E	Energie; Elastizitätsmodul	K	Kennziffer; Faktor
		k	Faktor
		L	Länge
		l	Fallweg
		M'	Mahlbarkeit
		m	Maschinenmasse (ohne Motor)
		m_0	bezogene Maschinenmasse

m_K	Masse der Mahlkörper	x	maximale Korngröße eines Zerkleinerungsprodukts;
m_s	Masse des schwingenden Systems		Faktor; Wertstoffanteil
m_u	Unwuchtmasse		Menge der Abgangskomponente; Wärmebedarf
n	Drehzahl;	Y	Wertstoffanteil
	Gleichmäßigkeit		Zentrifugalkraft
n_{krit}	kritische Drehzahl	y	Zentrifugalkraft der Unwucht
O_{G1}	spezifische Oberfläche bei Gleichkorn in cm^2/g	Z	Einzugwinkel; Winkel der RRS-Geraden (Körnungskennlinie); Faktor; Wurfinkel bei Siebmaschinen
O_K	spezifische Oberfläche eines Korngemenges	Z_u	Neigungswinkel des Siebbodens
P	Leistungsbedarf	α	Zerkleinerungsverhältnis (Zerkleinerungsgrad)
P_o	spezifischer Leistungsbedarf (bezogen auf grundlegende Größe der Maschine, z.B. je t Mahlkörper)	β	Granulierfaktor
Q	Durchsatz, Ausstoß, Mengenerleistung	ϵ	Gütegrad, zeitlicher Ausnutzungsfaktor; dynamische Zähigkeit
Q_o	spezifischer Durchsatz (bezogen auf grundlegende Größe der Maschine, z.B. je t Mahlkörper)	ζ	Gütegrad der Siebung
R	Rückstand; Schwerpunktradius der Unwucht	η	bzw. $r\omega^2/g$ Faktor
r	Schwingkreisradius	η_s	Schlankheitsgrad des Mühlenzylinders (innen)
$r\omega^2$	Zentrifugalbeschleunigung	$z = b/g$	Werkstoffdichte; Reibungswinkel
s	Spaltweite (am Auslauf)	$\lambda = L/D$	Schüttdichte der Mahlkörper
t	Zeit	ρ	Schüttdichte des Mahlguts
V	Volumen	ρ_K	Dichte des Mediums
\dot{V}	Gasstrom; Volumenstrom	ρ_G	Druckbeanspruchung
v	Geschwindigkeit	ρ_o	Schubbeanspruchung;
W_o	spezifischer Arbeitsbedarf	σ	Trübedichte
W'	spezifische Oberflächenarbeit (Mahlwiderstand)	τ	volumetrischer Füllungsgrad; Phasenwinkel der Unwucht
w	Brechermaulweite; Maschenweite	φ	Widerstandsfaktor (Stromklassierung)
X	Menge der Wertkomponente; zu verdampfende Wassermenge	ψ	Winkelgeschwindigkeit
		ω	

Indizes

O	spezifisch	m	Mittelwert
a	Anfangs-	s	Massensystem; Siebtangential
e	Eigen-, Eich-, Einlauf-, End-	t	Unwucht-, Umfangs-, Unterlauf-
K	Mahlkörper	u	Überlauf-
krit	kritisch	ü	

2.1. Allgemeines zur Aufbereitungstechnik

Aufbereitungsmaschinen stellen aus den gewonnenen festen, vorwiegend mineralischen Rohstoffen nach physikalischen (meist mechanischen) Verfahren Zwischenprodukte für die weitere Verarbeitung her. *Ausgangsstoffe* sind hauptsächlich Rohstoffe des Bergbaus (Steine und

Erden, Erze, feste Brennstoffe, Salze), ferner Grundstoffe der chemischen Industrie, Abfallstoffe (Schlacken, Flugasche, Müll) u. a.

Produkte der Aufbereitung sind z. B. Schotter, Splitt, Sand, Zement, künstliche Düngemittel, Briketts, Erzkonzentrate, Grundmassen für Keramik. Durch Aufbereitung werden Korngrößen und Kornverteilung der Ausgangsstoffe geändert sowie verschiedenartige stoffliche Komponenten voneinander getrennt. Hierdurch bedingte *Grundverfahren* zur Aufbereitung sind Zerkleinern, Klassieren, Stückigmachen, Mischen, Sortieren, Entstauben, Entwässern. Hinzu kommen Fördern, Bunkern, Probenehmen, Analysieren.

Aufbau industrieller Anlagen hängt von zweckmäßiger Auswahl und Kombination der Grundverfahren und Maschinen ab. Grundlage ist klarer *Verfahrensstammbaum*. Oft sind vorher Versuche erforderlich, zumal bei wenig bekanntem Rohgut.

Abgänge (Ballaststoffe) eines Verfahrens sollten Ausgangsgut für andere Verwendungszwecke werden, um Wirtschaftlichkeit zu erhöhen und Anhäufung von Abfallstoffen zu vermeiden.

Einsatzgebiete. Baustoffindustrie: Herstellung von Zementen, Mischbindern, Baukalk, Gips, Stuckgips; Schotter, Splitt, Sand, Betonzuschlägen, Kunstbausteinen;

keramische Industrie: Masseaufbereitung für Grob- und Feinkeramik, Elektrokeramik und feuerfeste Steine;

Erzindustrie: Gewinnung von Erzkonzentrat;

Kohleindustrie: Herstellung von Stückkohle, Briketts, Kohlestaub; Vorbereitung der Verkokung und Hydrierung; Veredelung von Kohleschlamm;

Bergebrechanlagen für Bergeversatz;

Aufbereitung von Kalziumkarbid, Kalkstickstoff, Kali, sonstigem Kunstdünger, Steinsalz, Elektrodenmassen (für Elektroöfen);

Asbest, Drogen; chemische Industrie;

Mechanochemie und Stoffaktivierung;

Industrie der Farben und Lacke; Schleifmittelindustrie;

Zentralaufbereitungsanlagen für einzelne Gesteine, z. B. Kalkstein, Feldspat, Magnesit, Quarzit;

Verwertung von Abfallstoffen, z. B. Müll, Schlacken, Flugasche.

Aufbereitungsmaschinen sind in diesen Industrien z. T. mit anderen Maschinen und Geräten gekoppelt, z. B. mit denen der chemisch-thermischen Verfahrenstechnik, mit Baumaschinen und fast immer mit Fördergeräten (s. auch Bd. 3/II Lebensmittelmaschinen).

2.2. Zerkleinern

2.2.1. Grundlagen

Zerkleinern ist Reduzieren der Stückgrößen fester Stoffe unter gleichzeitiger Vergrößerung der Gesamtoberfläche der Körner. Aufbereitung befaßt sich vorwiegend mit maschineller Hartzerkleinerung. Hierbei gelten *Härtegrade nach Mohs* 1 und 2 (Talk, Gips) als weich, 3 ... 5 (Kalkstein, Flußspat, Apatit) als mittelhart und ab 6 (Feldspat, Quarz, Korund usw.) als hart. Härte bestimmt jedoch nicht allein Widerstand gegen Zerkleinern und auch nicht unbedingt Verschleiß an Zerkleinerungswerkzeugen. Endgültige Werte sind durch Prüfmaschinen oder Versuchsgeräte zu ermitteln.

Druckfestigkeit von Gesteinen 100 ... 300 N/mm² (Extremwerte 25 bzw. 600 N/mm²);

Elastizitätsmodul meist (6 ... 7) · 10⁴ N/mm² (Extremwerte 3 · 10⁴ bzw. 1 · 10⁵ N/mm²).

Schüttdichte von Gesteinen:

Dichte im gebrochenen Zustand $\rho_{gebr} \approx 0,67\rho$,

Dichte im gemahlten Zustand $\rho_{gem} \approx 0,75\rho_{gebr} \approx 0,5\rho$;

ρ Dichte des vollen Gesteins.

Ordnung der Zerkleinerungsmaschinen zweckmäßig nach Zerkleinerungsprinzipien: Druck, Schlag, Prall, Feinprall, Mahlkörperarbeit, Wälzung, Scherung, Reibung. Bei kombinierter Wirkung mehrerer Prinzipien ist vorherrschendes maßgebend. Bemerkungen zu Zerkleinerungsprinzipien s. S. 63.

2.2.1.1. Körnung

Siehe auch TGL 0-4190.

Für manche Aufbereitungszwecke sind bestimmte Kornformen (kubisch, kuglig, plattig, stabähnlich usw.) erwünscht. Zwar entstehen die Formen beim Stoffzerfall z. T. naturgebunden durch innere Struktur, jedoch ist durch Arbeitsweise der Maschine begrenzte Beeinflussung möglich.

Korngröße ist wegen wechselnder Kornformen schwierig zu definieren; praktisch wird sie bei einigermaßen kubischer oder kugelähnlicher Form nach Siebmaschenweite angegeben. Bei sehr kleinen, nicht mehr siebfähigen Körnern werden andere (indirekte) Analysen durchgeführt. Brauchbarkeit eines Brech- oder Mahlprodukts hinsichtlich Korngrößen hängt von Kornzusammensetzung des Gemisches ab. Hieraus folgen *Körnungskennlinien*: Rückstands- oder Durchgangskennlinie (% Rückstand R oder Durchgang D über Maschenweite w bzw. Kornzerkleinerungsprodukte sind abhängig von Art der Maschine, deren Einstellung, Kombination mit Klassiergeräten, Art des Aufgabeguts, Zerkleinerungsverhältnis und anderen Parametern. Beispiele zu Körnungskennlinien s. Bilder 2.16, 2.28, 2.29, 2.48. Einige Zerkleinerungsmaschinen, namentlich für Feinzerkleinerung (Trommel- und Rohrmühlen, Schwingmühlen, auch Hammer- und Prallmühlen), liefern bei periodischem oder kontinuierlichem Zerkleinern (ohne Zwischenklassieren) ein Produkt, das dem Exponentialgesetz von *Rosin-Rammle-Sperling (RRS)-Bennet* entspricht. Hiernach gilt für Rückstand:

$$R = 100 e^{-(d/d')^n} \quad \frac{R}{\%} \left| \frac{d; d'}{\mu\text{m oder mm}} \right| \frac{n}{-}; \quad (2.1)$$

d Korngröße,

d' Korngrößenkennzahl = Korngröße, für die Rückstand 36,8% wird,

n Gleichmäßigkeitszahl = Tangens des Winkels α der Kennlinie gegen Horizontale.

Dementsprechend werden R - oder D -Kennlinien im RRS-Formblatt (TGL 0-4190) zu Geraden. Liegt Gerade vor, so kann gesamte Kornzusammensetzung durch d' und n (oder α) gekennzeichnet werden: d'/n oder d'/α , z. B. $50 \mu\text{m}/1,0$ oder $50 \mu\text{m}/45^\circ$. Theoretisch sind dann nur zwei Analysenwerte erforderlich. Produkte von Sichter mühlen oder beliebiges Gekörn er geben dagegen im RRS-Netz keine Geraden, wobei mehr Analysenarbeit entsteht.

Kornfraktionen eines Korngemisches werden für Aufstellung der Kennlinien mit folgenden *Analysengeräten* bestimmt: schwingende Prüfsiebmaschinen für gröbere Körnungen sowie für feinere i. allg. bis $60 \mu\text{m}$ (standardisiert $63 \mu\text{m}$) Maschenweite. Je kleiner Maschenweite, desto schwieriger ist Siebung, so daß außer Vibration weitere Maßnahmen zur Förderung des Durchgangs erforderlich werden. Siebschwieriges Gut (vgl. S. 108) muß nötigenfalls naß gesiebt werden. Nach neuen Verfahren werden Feinstkornprüfsiebe bis $5 \mu\text{m}$ Maschenweite hergestellt (VEB Feinoptik, Bad Blankenburg), vorwiegend für Naßsiebung, aber auch für Trockensiebung bei Einbau in Luftstrahl-Laborsiebgerät (vgl. S. 117). Für indirekte Korngrößenbestimmung $< 60 \mu\text{m}$ eignen sich Sedimentationsanalyse, Zentrifugalsedimentation (Ultrazentrifuge), Schwerkraftgassichtung, Schlammung, Zentrifugalsichtung. Medien sind Luft oder Wasser, sofern diese nicht mit dem zu untersuchenden Stoff chemisch reagieren. Auch *mikroskopisch* werden feine Korngrößen bestimmt (mit Lichtmikroskop bis herab zu $\approx 1 \mu\text{m}$, mit Elektronenmikroskop $5 \dots 0,01 \mu\text{m}$) sowie Kornformen feiner Teilchen untersucht und Analysengeräte überprüft oder geeicht.

2.2.1.2. Spezifische Oberfläche

Außer Körnungskennlinie ist spezifische Oberfläche in cm^2/cm^3 oder cm^2/g wichtiges Kriterium für Feinheit der Körnung, namentlich in Feinzerkleinerung. Mehrere Stäube mit

gleichem Rückstandswert auf Prüfsieb, z. B. von 90 oder $63 \mu\text{m}$, können sehr verschiedene Oberflächenwerte aufweisen, je nach Verlauf der Körnungslinien im Feinstgebiet und je nach Formfaktor. Unter Annahme von Gleichkorn und Würfelform ist spezifische Oberfläche

$$O_{G1} = \frac{60000}{d_{G1}} \quad \frac{O}{\text{cm}^2/\text{cm}^3} \left| \frac{d}{\mu\text{m}} \right|; \quad (2.2a)$$

d_{G1} Kantenlänge.

Für 1 g eines Stoffs der Dichte ρ und unter Berücksichtigung eines Formfaktors f wird

$$O_{G1} = \frac{60000f}{d_{G1}\rho} \quad \frac{O}{\text{cm}^2/\text{g}} \left| \frac{f}{-} \right| \frac{d}{\mu\text{m}} \left| \frac{\rho}{\text{g}/\text{cm}^3} \right|. \quad (2.2b)$$

Spezifische Oberfläche O_K eines Korngemenges bestimmt man

rechnerisch, wenn RRS-Gerade vorliegt; Verfahren wurde durch grafische Hilfsmittel vereinfacht (TGL 0-4190);

rechnerisch-grafisch für Körnungen beliebiger Kennlinie; man geht von Rückstandslinie im linearen Netz aus und berechnet portionsweise unter Schätzung mittlerer Gleichkorngrößen;

experimentell nach verschiedenen Methoden. Viel benutzt wird Blainegerät, das nach Luftdurchlässigkeitsverfahren arbeitet. Vorausgesetzt, daß Porosität der Probe und Viskosität der Luft mit Eichversuch übereinstimmen, gilt

$$O_K = \frac{O_e \sqrt{t} \rho_e}{\sqrt{t_e} \rho} = \frac{K \sqrt{t}}{\rho} \quad \frac{O}{\text{cm}^2/\text{g}} \left| \frac{t}{\text{s}} \right| \frac{\rho}{\text{g}/\text{cm}^3}; \quad (2.3)$$

Index e für Eichsubstanz,

t Durchsaugzeit für bestimmte Luftmenge,

K Kennziffer.

2.2.1.3. Energiebedarf

Zerkleinerungsarbeit ist

$$W_{\text{ges}} = W_1 + W_z + W_m; \quad (2.4)$$

W_1 ideale Nutzarbeit zum Auseinanderbringen der Moleküle,

W_z zerkleinerungstechnische Verlustarbeit,

W_m mechanische Verlustarbeit der Maschine.

W_1 folgt rechnerisch aus Elastizitätsmodul, molekularer Zerreißspannung sowie molekularer Wirkungsreichweite und ist durch Versuch indirekt nachweisbar (Einleiten des Zerkleinerungsprodukts in Wasser; Wärmebilanz). W_z ist bedingt durch Verluste innerhalb des Stoffs und des Verfahrens in der Maschine (z. B. Mahlkörperbewegung, Luftströmung u. dgl.). $W_1 \ll (W_z + W_m)$, so daß *Wirkungsgrad* der Zerkleinerung $\eta_{\text{ges}} = W_1/W_{\text{ges}}$ meist $< 0,01$. W_{ges} ist im wesentlichen Verlustarbeit, die mit Stoffart, Zerkleinerungsprinzip, Art der Maschine und anderen Bedingungen variiert. „Zerkleinerungsgesetze“ sind daher für Praxis problematisch. Bezüglich Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit von Zerkleinerungsgeräten wird zweckmäßig mit Kenngrößen (W_0 , P_0 , \dot{Q}_0 , W') als Erfahrungswerte gerechnet.

Zerkleinerungsprinzipien. – *Pressung (Druck)*, z. B. im Backen- oder Kegelbrecher: Zerkleinerungsbeginn fast aus Stillstand des Brechorgans heraus, Widerlager vorhanden, verlorene *Spannungsarbeit* relativ groß. – *Schlag*, z. B. im Flachkegelbrecher: Brechbeginn mit größerer Anfangsgeschwindigkeit, ähnlich *Hammer auf Amboß*, wirtschaftlich besser als Pressung. – *Prall*: Brechorgane oder Brechgut haben hohe Anfangsgeschwindigkeit; Brechkraft = Massenkraft, Spaltvorgang unter Ausnutzung von Rissen, Kerben, Lockerstellen, wobei *beanspruchtes Volumen* an den Spaltflächen konzentriert und verlorene Spannungsarbeit relativ gering wird.

Leerlaufverlustleistung ist bei Brechern vorwiegend durch mechanische Verluste bedingt. Bei Feinzerkleinerung (Mühlen) kommen z. T. weitere Verluste hinzu: bei Rohrmühlen und Rohrschwingmühlen Energie für Mahlkörperbewegung, bei Feinprallmühlen Ventilationsverluste.

Gehäuselagern, und gegen seitliches Ausweiten dient besondere Querbrücke. Brechbacken und Seitenkeile bestehen bei kleinen Brechern aus Schalenhartguß, bei größeren aus Manganhartstahl mit 12 ... 14% Mn. Brechbacken werden, soweit möglich, in einem Stück und umkehrbar (zur besseren Ausnutzung) hergestellt. Zwecks satter Auflage sind Brechbacken entweder zu hintergießen (z.B. mit Hartblei) oder auf Rückseite (über Rippen) plan zu schleifen. Zähnen der einen Brechbacke stehen Lücken der anderen gegenüber. Zahnspitzenwinkel $\approx 70^\circ$; Zahnteilung nimmt mit Brechergröße zu.

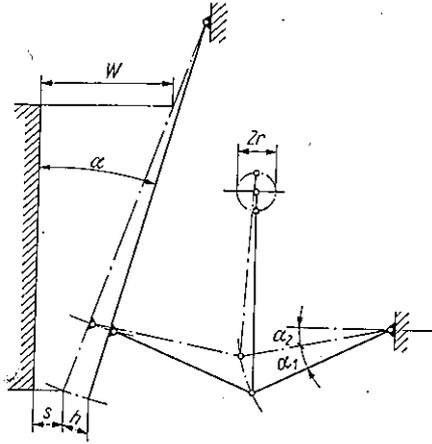


Bild 2.3
Arbeitsprinzip des Pendelschwingerbrechers

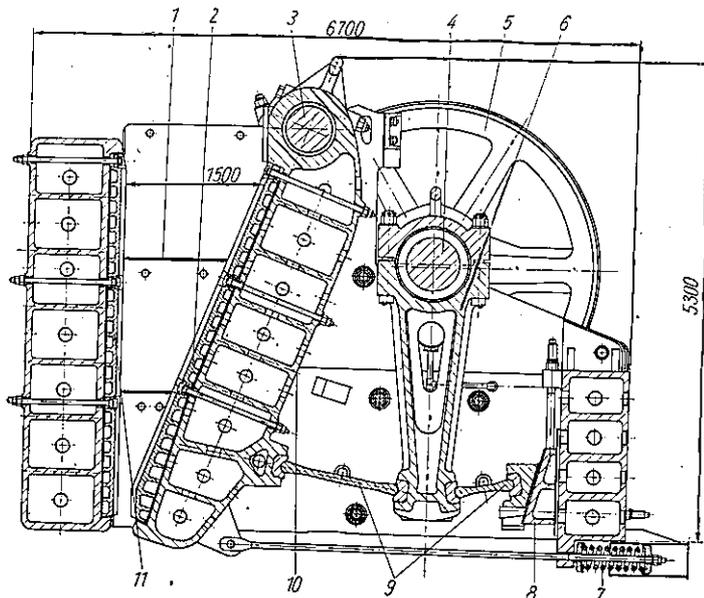


Bild 2.4. Großbackenbrecher, 2120 mm x 1500 mm
VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg
1 Seitenkeil; 2 Schwingenbrechbacke; 3 Schwingenwelle; 4 Antriebswelle; 5 Schwung- bzw. Antriebscheibe; 6 Zugstange; 7 Rückholfeder; 8 Keil für Spaltverstellung; 9 Druckplatten; 10 Schwingenkörper; 11 Gehäusebrechbacke

Antriebsexzenterwelle läuft meist in Wälzlagern mit besonderen Schutzhülsen. Lagerungen der Schwinge und Druckplatten sind im allgemeinen fettgeschmiert; jedoch kann Schwinge bis zu mittleren Brechergrößen in schmierungsfreien Gummiblocks (Silentblochs) gelagert werden. Druckplatten werden auch abwälzend statt gleitend ausgeführt, ebenfalls ohne Schmierung; dadurch besserer mechanischer Wirkungsgrad. Brechspalt kann außer üblicher Ausführung mittels Keils auch z.B. durch Einlegplatten unter Vor- und Zurückspindeln der Schwinge verstellbar werden.

Überlastschutz ist, in Kraftflußrichtung gesehen, stets hinter Hauptschwungmassen einzusetzen. Anstelle von Brech- oder Schersicherungen (z.B. Druckplatten als Brechsicherung) werden auch einstellbare Rutschkupplungen zwischen Schwungscheiben und Antriebswelle oder Ausklinkvorrichtungen benutzt, nach deren Ansprechen Schwinge stillsteht, während Schwungmassen und Motor sich zunächst weiterdrehen. Motorschutz wirkt erst nachträglich und nicht als Überlastschutz. Flüssigkeitskupplung hinter Motor mildert Stöße und erleichtert Anfahren.

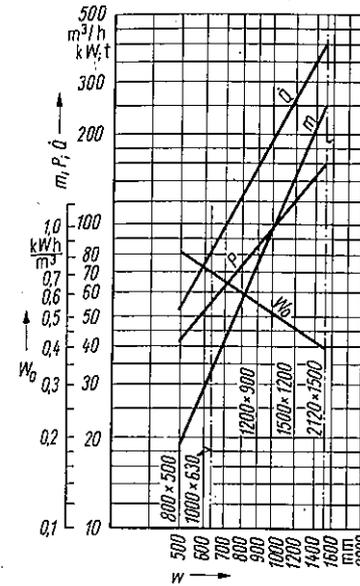


Bild 2.5
Kennlinien zum Pendelschwingerbrecher
(Grob- und Großbackenbrecher)
 $\varepsilon \approx 4,5$; $b/w = 1,6 \dots 1,4$

Großbackenbrecher (ab 1000 mm Maulbreite) werden bis $\approx 2500 \text{ mm} \times 1600 \text{ mm}$ Maulgröße gebaut. Schwinge hing bisher bei größten Ausführungen senkrecht. Neuer Großbackenbrecher gemäß Bild 2.4 hat dagegen (ebenso wie kleinere Typen des Pendelschwingerbrechers) schräghängende Schwinge und senkrechte Gehäusebrechbacke (günstig für Durchsatz). Antriebswelle läuft in hydrodynamisch geschmierten Gleitlagern mit Weißmetallausguß. Lager haben automatische Zentralumlaufrschmierung.

Tafel 2.1. Pendelschwingerbrecher (Grob- und Großbackenbrecher)
VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg

Maulgröße:	mm	800 x 500	1000 x 630	1200 x 900	1500 x 1200	2120 x 1500
Breite x Weite	mm	40 ... 60	60 ... 80	150 ... 190	210 ... 240	350 ... 420
Durchsatz	m^3/h	95	130	220	250	340
bei üblicher Spaltweite	mm	40	50	90	130	160
Leistungsbedarf	kW	19	31	75	140	257
Masse	t					

Daten s. Tafel 2.1. Bild 2.5 zeigt Kennlinien (Richtwerte) für Typenreihe von Backenbrechern. Bei Projektierung ist zu empfehlen, Kennliniendiagramm auch auf Einzelteile, Baumaße usw. auszudehnen.

Pendelschwingenbrecher als *Feinbrecher* unterscheidet sich vom Grobbrecher vor allem durch gewölbte Form der Schwingenbrechbacke, größeres Verhältnis Maulbreite/Maulweite und geringeren Zerkleinerungsgrad von 3 ... 4. Beim Grobbrecher ist Gefahr, daß Gut im unteren Teil des Brechraums stopft, nicht so groß, weil Füllungsgrad im Einlauf gering ist. Durch gewölbte Backe des Feinbrechers verringert sich Einzugswinkel nach Austragspalt zu. Dadurch wird Gut besser aufgelockert und verteilt, besser kalibriert und Stopfgefahr vermindert.

Anwendung. Als Grob- und Großbackenbrecher zum Vor- und Grobbrechen von Gesteinen, Erzen u.ä. Günstig sind Einfachheit von Maschine und Montage, Robustheit im Betrieb, weitgehende und einfache Spaltverstellung, geringer Verschleiß, billige und einfach zu wechselnde Verschleißteile, Unempfindlichkeit gegen sehr hartes Brechgut, Kalibrierung und Kornform sind mittelmäßig. Vorteil des Grobbrechers: Aufnahme sehr großer Stücke, dadurch Anpassung an Löffelinhalt großer Löffelbagger; Einsparung von Nachsprengarbeit. Bei Wahl zwischen großem Backen- oder Kegelschwingenbrecher ist geforderter Durchsatz wesentlich (s.a. S.72). Produkt des Grobbrechers kann auch bei kleinen Typen kaum feiner als 0 ... 30 mm gebracht werden wegen unterer Grenzen von Spaltweite und Hub sowie Verzahnung der Brechbacken.

Pendelschwingenbrecher als Feinbrecher verarbeitet ebenfalls sehr hartes Material und dient vorwiegend als Nachbrecher. Kalibrierung und Kornform sind besser; Endkorngrößen können etwas geringer werden als beim Grobkegelbrecher. Jedoch erfordert Herstellung besonders feiner, harter Edelsplitle andere Brecher, besonders den Flachkegelbrecher.

Auf Raupen selbstfahrende Großbrech- und Förderanlagen (VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg) werden vor allem im Steinbruch oder Tagebau eingesetzt bei Materialaufgabe unmittelbar durch Bagger und Produktabgabe über heb- und schwenkbaren Muldengurtförderer. Je nach Brechbedingungen und Art des Brechguts können wahlweise eingebaut werden: Großbacken-, Kegel-, Prall-, Zweiwellenhammerbrecher sowie Hammerbrecher mit beweglicher Brechwand.

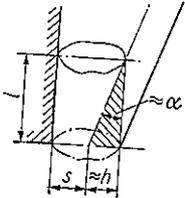


Bild 2.6
Zur Berechnung der Grenzdrehzahl
des Pendelschwingenbrechers

Berechnungen. Beim Rückhub der Schwinge rutscht Gut im Brechraum vollkommen nach. Grenzdrehzahl n_{gr} , bei der dieser Vorgang gerade noch eintritt, errechnet sich aus geometrischer und physikalischer Beziehung für Fallweg l des Brechguts (Bild 2.6):

$$l \approx \frac{h}{\tan \alpha}$$

$$l = \frac{gt^2}{2} \quad \text{mit } t = \frac{30}{n}$$

$$n_{gr} \approx 66,5 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{h}} \frac{n_{gr}}{U/\text{min}} \frac{h}{m}; \quad (2.7)$$

Infolge Reibung an den Brechbacken vermindert sich Fallgeschwindigkeit des Brechguts; daher wird optimale Drehzahl für den Durchsatz 5 ... 10% geringer gewählt. Durchsatz folgt angenähert nach herausfallenden Prismen unter Annahme eines Füllungsgrads φ (meist $\approx 0,5$) zu

$$\dot{Q} \approx \frac{60\varphi b \left(s + \frac{h}{2}\right) h n_{gr}}{\tan \alpha} \frac{\dot{Q}}{m^3/h} \frac{\varphi}{-} \frac{b; s; h}{m} \frac{n_{gr}}{U/\text{min}}; \quad (2.8)$$

b Backenbreite.

Bei gefordertem Durchsatz errechnet man aus Gl.(2.8) Backenbreite b . Zum Vergleich dient Näherungsformel für Brechmaulgröße:

$$bw \approx 120P \frac{b; w}{\text{cm}} \frac{P}{\text{kW}} \quad (2.9)$$

Leistungsbedarf nach Gl.(2.5):

$$P = W_0 \dot{Q}$$

Beanspruchungen der Hauptteile des Brechers werden aus maximaler Zugstangenkraft berechnet. Nach Messungen ist diese

$$F'_{\max} \approx \frac{45000 P}{nr} \frac{F}{N} \frac{P}{\text{kW}} \frac{n}{U/\text{min}} \frac{r}{m}; \quad (2.10)$$

r Exzenterradius der Antriebswelle.

Zur Sicherheit (Brechen sehr harten Guts) ist zu rechnen mit

$$F_{\max} = 2F'_{\max} \quad (2.11)$$

Durch Kräftezerlegung findet man hieraus Kräfte, die auf übrige Teile des Antriebsmechanismus (einschließlich Wellen, Lager, Schwinge usw.) wirken. Dabei ist zu beachten, daß F_{\max} etwa 60 ... 40° vor oberem Totpunkt des Exzenterantriebs auftritt. Mittlere Zugstangenkraft ergibt sich rechnerisch zu

$$F_m \approx \frac{30000P}{nr} \frac{F}{N} \frac{P}{\text{kW}} \frac{n}{U/\text{min}} \frac{r}{m} \quad (2.12)$$

Gemessene maximale Kraft liegt also nur $\approx 50\%$ über F_m .

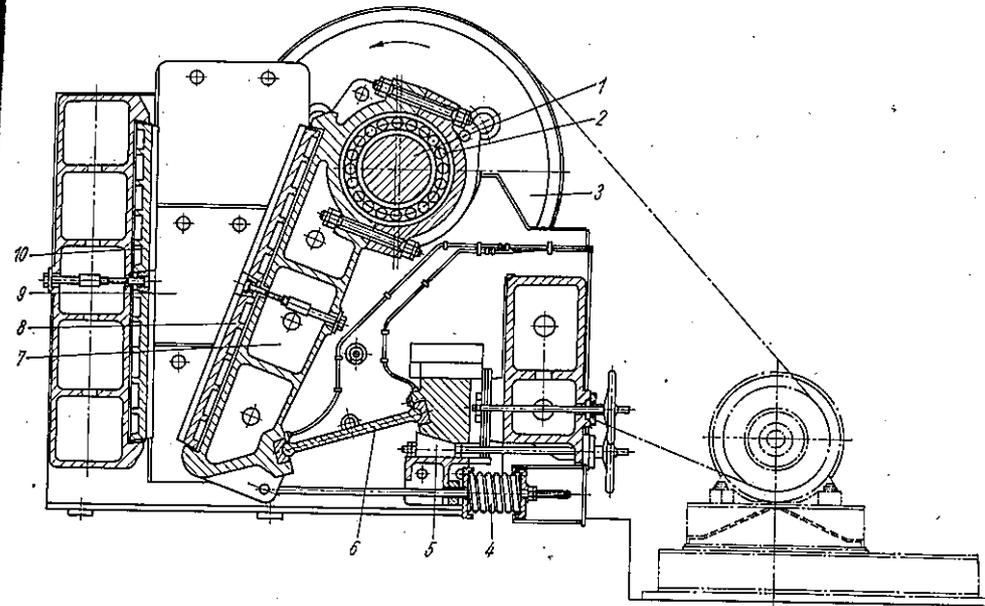


Bild 2.7. Kurbelschwingenbrecher, 1200 mm x 900 mm, als Grobbrecher
VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg
1 Antriebswelle; 2 Schwingenlager; 3 Antriebs- bzw. Schwungradscheibe; 4 Rückholfeder; 5 Spalteinstellung;
6 Druckplatte; 7 Schwingenkörper; 8 Schwingenbrechbacke; 9 Seitenkeile; 10 Gehäusebrechbacke

Direktbrecher arbeitet ohne Kniehebelmechanismus. Exzenterwelle wirkt über Pleuelstange direkt auf Schwinge, was entsprechend schwere und teure Wälzlager großen Durchmessers am Pleuelstangenkopf erfordert.

Kurbelschwingebrecher (Einschwingebrecher, Bilder 2.7 und 2.8). Oben etwa kreisförmige Schwingenbewegung geht nach unten in flacher werdende, steil stehende Ellipsen über. Beim Brechhub bewegt sich Schwinge zugleich nach unten. Drehzahl darf höher sein, und Durchsatz wird größer als beim Pendelschwingebrecher. Bewegungsart der Schwinge Brechbacke verursacht jedoch zusätzliche Reibung zwischen Gut und Brechbacken und erhöhten Verschleiß. Lager der Antriebsexzenterwelle sind unmittelbar durch Brechdruck beansprucht.

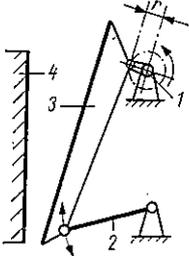


Bild 2.8. Arbeitsprinzip des Kurbelschwingebrechers
r Exzenteradius; 1 Antriebswelle; 2 Druckplatte;
3 Schwinge; 4 Gehäuse

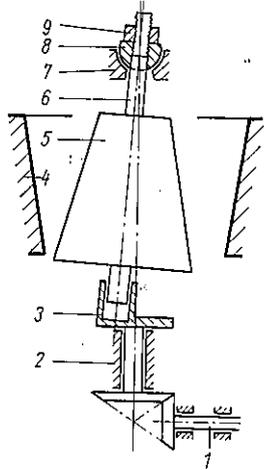


Bild 2.9
Arbeitsprinzip des Steilkegelbrechers

1 Antriebswelle; 2 Laufbuchse; 3 Exzenterbuchse
(Erzeugung der Taumelbewegung); 4 Brechmantel;
5 Brechkegel; 6 Brechkegelachse; 7 Kugelbuchse;
8 Kugelkörper; 9 Achsenmutter (Spalteinstellung)

Daten zum Grobbrecher nach Bild 2.7 mit Maulgröße $1200 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$: $\dot{Q} = 140$ bis $160 \text{ m}^3/\text{h}$ bei Normalspaltweite $s = 200 \text{ mm}$; $P = 65 \text{ kW}$; $m = 34 \text{ t}$.

Bei Kurbelschwingebrecher als Feinbrecher wird Breite/Weite des Brechmauls größer ausgeführt, bis über 6:1. Feinbrecher: $800 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$; $\dot{Q} \approx 5$ (9) m^3/h bei Spaltweite 15 (30) mm; $P \approx 10 \text{ kW}$; $m \approx 4,5 \text{ t}$.

Anwendung als Vor- und Nachbrecher für sprödes, mittelhartes, nicht sehr schleißendes Gut. Maschine ist einfach leicht, auch geeignet für Fahrarmachung, z.B. für einfache fahrbare Brech- und Siebanlage.

Schlagbrecher. Arbeitsprinzip des Flachkegelbrechers (Symonsbrecher s.S. 73) auf Backenbrecher übertragen.

2.2.2.2. Rundbrecher

Kegelbrecher (Steilkegelbrecher), Bild 2.9. Brechkegel führt kegelförmige Taumelbewegung aus und kann sich beim kontinuierlichen Rundumbrechen am Brechgut abwälzen. Antrieb bewirkt Taumelbewegung, jedoch keine zwangläufige Drehbewegung. Gebrochen wird vorwiegend durch Pressung. Hub h ist kleiner als Spaltweite s (im Gegensatz zum Flachkegelbrecher). Einzugswinkel (bei offenem Spalt) ist $< 26^\circ$; Zerkleinerungsverhältnis ϵ mit 7... 8 etwas größer als beim Backenbrecher (Grobbrecher); Drehzahl etwas höher als Grenzdrehzahl (s.S. 68), besonders beim Feinkegelbrecher. Kegelbrecher zieht Aufgabegut selbst ein. Da kontinuierlich gebrochen wird, reichen ohnehin vorhandene rotierende Teile (Motoranker, Kupplung, Riemenscheibe) als Schwungmassen aus. Brechkegelachse hängt meist in Kopflager mit Kugelkörper und -buchse, wobei Mittelpunkt der Kugel mit Spitze des Taumelkegels übereinstimmt. Austrittsspalt wird durch Heben oder Senken des Brechkegels verändert, meist mit starker Spindel am oberen Ende der Brechkegelachse.

Kegelbrecher ist gegen eindringende, schwer oder nicht brechbare Teile noch empfindlicher als Backenbrecher. Auch Herausbringen solcher Teile ist schwieriger. Automatische Kontrolle der Aufgabe durch Magnetscheider oder Metallsuchgerät ist daher vorteilhaft. Als Überlastschutz dient Scherbolzenkupplung zwischen Antriebscheibe und Welle oder für größere Bautypen Flüssigkeitskupplung. Diese ist zwischen schnellaufendem Antriebsmotor (z.B. Kurzschaufeläufer mit 1450 U/min) und Stirnradgetriebe angeordnet, wobei Riemetrieb entfällt. Motor dreht sich nach Ansprechen der Flüssigkeitskupplung zunächst weiter, schaltet danach automatisch ab. Energiespeicherung liegt vorwiegend im Motoranker und Primärteil der Flüssigkeitskupplung, deren Sekundärteil jedoch möglichst geringes Schwungmoment erhalten muß.

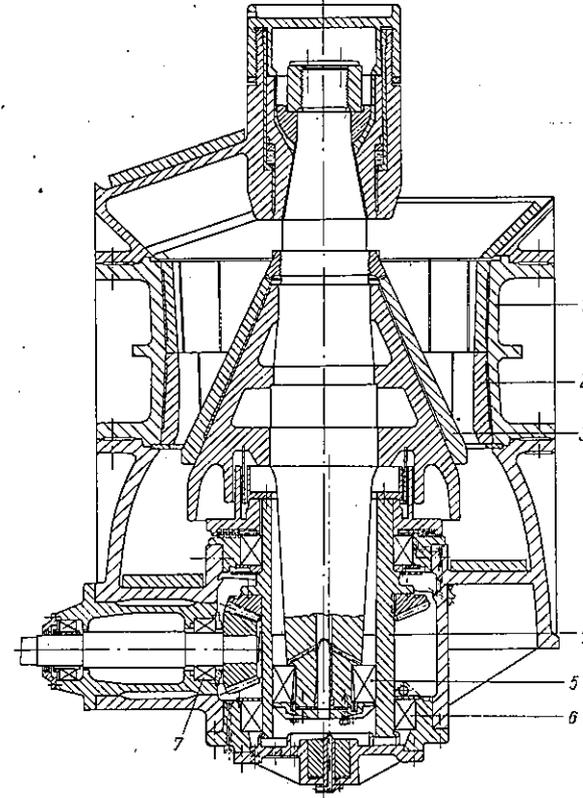


Bild 2.10
Steilkegelbrecher mit Wälzlagern
1 Brechrumpf; 2 Brechmantel;
3 Brechkegel; 4 Laufbuchse mit
schräger exzentrischer Bohrung;
5 Pendelrollenlager (Taumel-
bewegung der Achse); 6 Lager für
Laufbuchse; 7 Lager für Antriebs-
welle

Antriebsexzenterbuchse läuft innen und außen meist in Gleitlagern (Weißmetallegerie oder auswechselbare Bleibronzebuchsen). Bild 2.10 zeigt Ausführung mit Wälzlagern, wobei sich Pendelrollenlager der Taumelbewegung anpaßt.

Kegelbrecher mit nach oben erhöhtem und einseitig erweitertem Brechmaul dient der Aufnahme größerer Stücke (Backenkegelbrecher) bei Steigerung des Zerkleinerungsverhältnisses.

Beim „Hydroconebrecher“ (Bild 2.11) ist Brechkegelachse unten auf dem Kolben eines Hydraulikzylinders abgestützt, der zur Einstellung des Brechspalts (Heben und Senken des Brechkegels) und als Überlastsicherung dient. Nach Öffnen eines Überdruckventils senkt sich Brechkegel automatisch.

Daten. s. Bild 2.12. VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg, liefert Typen mit rundum konstanter Maulweite von 630, 800 und 1000 mm sowie mit einseitig erweitertem Brechmaul von 1000, 1250 und 1600 mm Weite.

Überschlägliche Berechnung des Durchsatzes des Kegelbrechers ist ähnlich wie beim Backenbrecher. Bei mittlerem Austrittsdurchmesser d_m und Spaltweite s wird

$$\dot{Q} \approx \frac{60\pi d_m (s + h/2) h n}{\tan \alpha} \quad \frac{\dot{Q}}{\text{m}^3/\text{h}} \left| \frac{d; s; h}{\text{m}} \right| \frac{\varphi}{-} \left| \frac{n}{\text{U}/\text{min}} \right. \quad (2.13)$$

Für Festigkeitsrechnungen kann man vom Leistungsbedarf ausgehen, da das Drehmoment gleichmäßiger ist als beim Backenbrecher.

Anwendung. Kegelbrecher als Grobbrecher dient hauptsächlich der Vor- und Mittelzerkleinerung von mittelhartem bis hartem, sprödem, nicht übermäßig schleißendem Gut (Kalkstein, Erze usw.). Wahl von Backen- oder Kegelbrecher richtet sich nach Anwendungsfall. Spezifische Vorteile des Backenbrechers s. S. 68. Demgegenüber sind Vorteile des Kegelbrechers u. a.: kontinuierlicher Brechablauf, Selbsteinziehen des Aufgabeguts, etwas höherer Zerkleinerungsgrad und besonders hoher Durchsatz. Neue größte Typen von Kegelbrechern (namentlich bei einseitig erweitertem Brechmaul) nehmen fast ebenso große Stücke auf wie Großbackenbrecher. Wesentlich für Einsatz ist Verhältnis von gefordertem Durchsatz zu größter Aufgabestückgröße. Dieses ist beim Kegelbrecher annähernd zweimal so groß wie beim Backenbrecher, der i. allg. dennoch bevorzugt wird, wenn er geforderten Durchsatz bringt. Bei besonders hohen Durchsätzen wählt man Kegelbrecher. Ferner können Großbackenbrecher als Vorbrecher und Kegelbrecher als Nachbrecher vorteilhaft zusammenwirken.

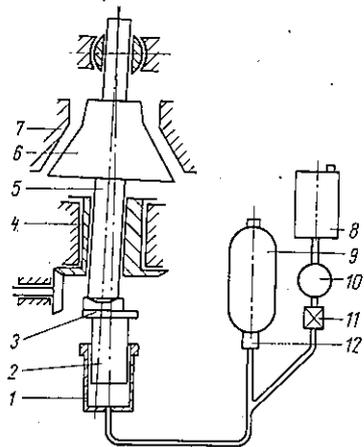
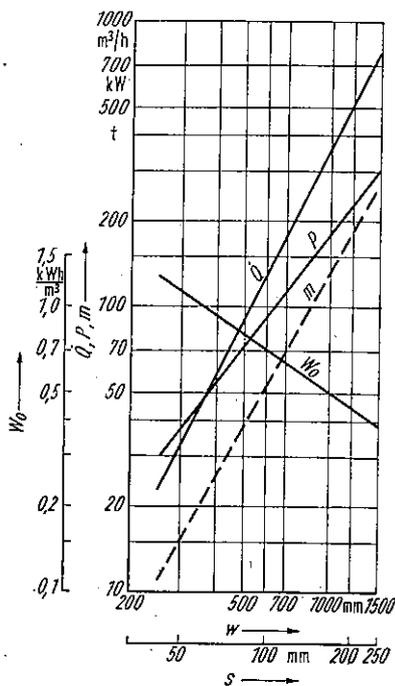


Bild 2.11. Kegelbrecher mit Hydraulik für Spalteinstellung und Überlastsicherung

1 Hydraulikzylinder; 2 Hydraulikkolben; 3 horizontaler Bewegungsausgleich; 4 Exzenterbuchse; 5 Brechkegelachse; 6 Brechkegel; 7 Brechmantel; 8 Flüssigkeitsbehälter; 9 Druckakkumulator; 11 Pumpe; 12 Überlastventil

Bild 2.12. Kennlinien zum Kegelbrecher als Grobbrecher
 $D/w \approx 3, s = 6$



Kegelfeinbrecher haben kleinere Maulweite und gewölbte Brechorgane; dadurch bessere Kalibrierung und Kornform, größere Nachstellbarkeit des Spalts, Vermeidung von Stauungen. Bei manchen Ausführungen sind Brechmantel und Brechkegel gewölbt, bei anderen nur Brechmantel. Kegelfeinbrecher dient zum Nachbrechen mittelhartem bis hartem Guts. Für besonders feine, kubische Splittkornklassen ist jedoch Flachkegelbrecher besser geeignet.

Flachkegelbrecher (Symonsbrecher, Bilder 2.13 bis 2.16). Brechkegel hat wesentlich größeren Winkel ($> 90^\circ$), so daß Mantellinie viel flacher zur Horizontalen als beim Steilkegelbrecher ver-

läuft. Brechprinzip durch Schlag ist wirtschaftlich. Beim Öffnungshub des Brechkegels fällt Gut zunächst frei, wird dann beim Schließhub vom Kegel etwa horizontal nach außen verschoben (Zickzackbewegung) und erst gegen Hubende eingeklemmt und gebrochen. Dies ergibt gute Kalibrierung und Kornform, hohen Zerkleinerungsgrad (7 ... 18:1) und bei Bedarf

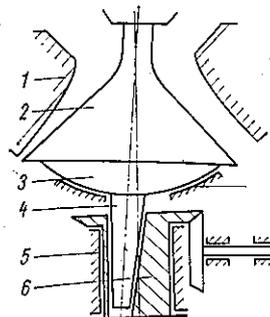


Bild 2.13. Arbeitsprinzip des Flachkegelbrechers

1 Brechmantel; 2 Brechkegel; 3 Kugelkörper; 4 Brechkegelachse; 5 Laufbuchse; 6 Exzenterbuchse; 7 Lagerung zum Kugelkörper

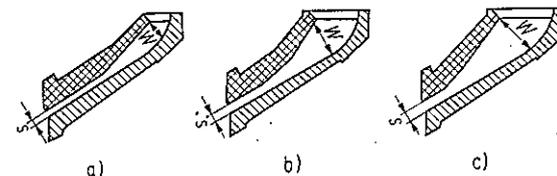


Bild 2.14. Brechraumformen des Flachkegelbrechers

a) fein; b) mittel; c) grob
 s Spaltweite; w Maulweite

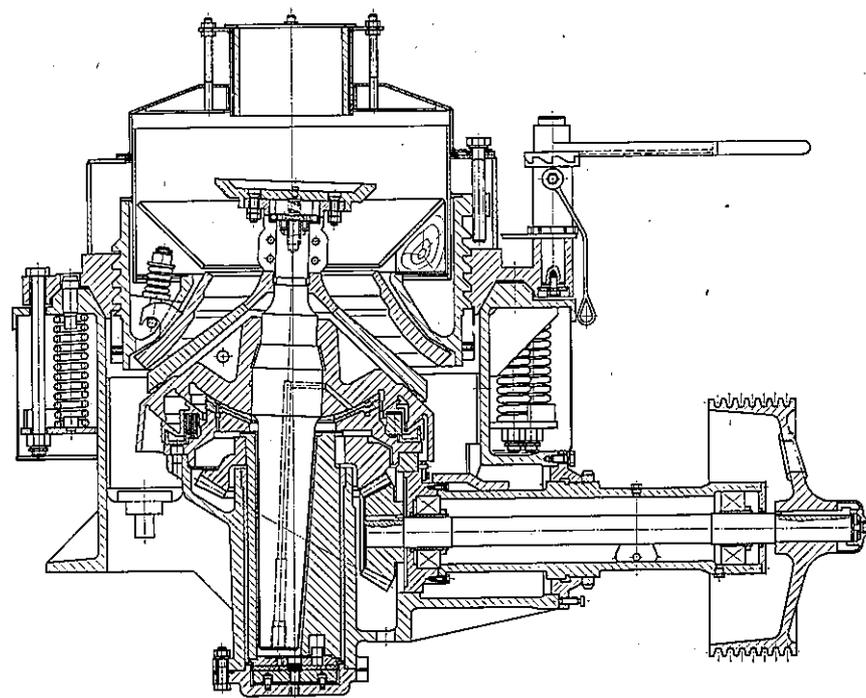


Bild 2.15. Flachkegelbrecher

VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg
1 Brechmantel; 2 Brechkegel; 3 Antriebswelle; 4 Laufbuchse; 5 Exzenterbuchse; 6 Brechkegelachse; 7 Gehäuse; 8 Federn (Überlastschutz); 9 Einstellring; 10 Brechrumpf; 11 Verteilteller; 12 Windevorrichtung

besonders kleine Endkörnungen, bis herab zu 3 mm Spaltweite. Durch flachen Kegel kann sich Brechgut im Brechraum trotz enger werdenden Spalts gut ausbreiten, so daß Stopfen vermieden wird. Hub ist größer als beim Steilkegelbrecher. Jede Baugröße kann entsprechend Verwendungszweck zwei oder drei verschiedene Brechraumformen und Maulweiten erhalten (Bild 2.14). Form a hat für *Feinbrecher* besonders langen Kalibrierspalt (früher als *Flachkegelgranulator* bezeichnet). Form c ist für *Grobbrecher* bestimmt.

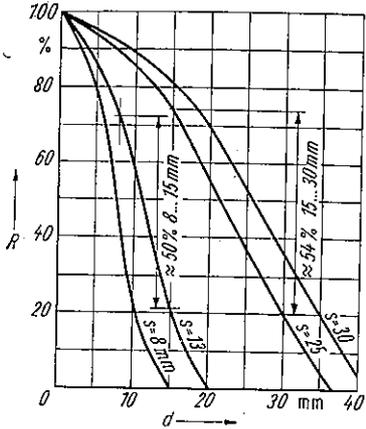


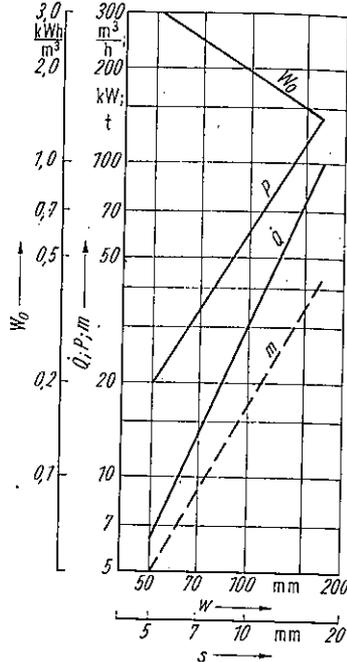
Bild 2.16. Rückstandskennlinien eines gut kalibrierenden Brechers, z. B. des Flachkegelbrechers; vgl. im Gegensatz hierzu die Rückstandskennlinien der Prallzerkleinerung nach Bild 2.28

Bild 2.17 Kennlinien zum Flachkegelbrecher nach Bild 2.15, gültig für Brechraumform mittel (s. Bild 2.14b)

Günstig sind freier, nicht durch Kopflagerung (wie beim Steilkegelbrecher) behinderter Einlauf und Verteilteller für Aufgabegut am oberen Ende der Hauptachse; automatische Beschickung ist vorgesehen. Tragkegel ist unten auf Kugelschalenschalenlager abgestützt; Hauptachse hat in Exzenterbuchse lange Lagerung (großer Hebelarm gegen Biegemomente beim Brechen). Bewegliche Dichtung ist zum Staubschutz gleitender Antriebsteile sorgfältig auszubilden. Diese Teile werden automatisch geschmiert mit Kontrolleinrichtung für Öldruck und -temperatur. Öltemperatur wird geregelt. Zur Spaltverstellung dient Sägewinde zwischen Brechrumpf und Einstellring. Durch Windevorrichtung wird Brechmantel gehoben oder gesenkt. Als Überlastschutz wirken außen rundum angeordnete, starke Federn, gegen die Einstellring und Brechmantel nach oben ausweichen können. Nach Passieren nicht brechbarer Stücke kehren ausgewichene Teile des Brechers von selbst in ursprüngliche Lage zurück. Für Spaltverstellung und Anhebung des Brechrumpfs ist auch hydraulische Bauweise möglich.

Daten. Größen der Flachkegelbrecher nach Bild 2.15, bezeichnet nach unterem Brechkegel-Dmr. und Maulweiten gemäß Brechraumformen a fein, b mittel, c grob: 630 mm x 30 mm x 50 mm x 75 mm, 915 mm x 50 mm x 75 mm x 115 mm, 1220 mm x 65 mm x 115 mm x 170 mm, 1750 mm x 85 mm x 170 mm x 250 mm, 2130 mm x 80 mm, 2130 mm x 330 mm. Typ 2130 mm x 330 mm hat etwa 80 t Maschinenmasse, 200 kW Leistungsbedarf und 200 bis 500 m³/h Durchsatz.

Siehe auch Kennlinien Bild 2.17.



Anwendung. Flachkegelbrecher zerkleinert hartes Gut mit hohem Zerkleinerungsverhältnis auf enge Kornklassen mit wenig Unter- und Überkorn, auch auf sehr kleine Körnungen, auf kubische Kornformen, bei geringem spezifischem Arbeitsbedarf mit gutem Durchsatz. Andere Brecherarten erfüllen kaum in einer Maschine alle diese in festgelegten Bedingungen. Sehr guter Schotter und Splitt, feiner Edelsplitt, auch aus sehr harten Gesteinen, wie Basalt, Quarzit, Diabas, werden hergestellt. Kreislaufverfahren über Stebe ist nicht unbedingt erforderlich, kann wie Basalt, Quarzit, Diabas, werden hergestellt. Kreislaufverfahren über Stebe ist nicht unbedingt erforderlich, kann jedoch den Brecher entlasten und das Zerkleinerungsverhältnis erhöhen. Aufgabegut darf nicht backen, und tonige oder lehmige Beimengungen sind vorher auszuwaschen, weil sonst Brikettieren eintritt. Weitere Einsatzgebiete sind chemische und keramische Industrie (Brechen harter Zuschlagstoffe, wie Feldspat). Feine Endkörnungen entlasten auch nachgeschaltete Mühlen, wobei deren Durchsatz und Wirtschaftlichkeit steigen. In Erzaufbereitung werden harte Erze gebrochen, dabei begünstigt Schlagprinzip selektive Zerkleinerung (Aufschließen). Maschine bricht auch Koks, Schlacke, Sinterstoffe, Karbide u.ä.

2.2.2.3. Walzenbrecher und -mühlen

Maschinen sind einfach gebaut, betriebssicher und vielfältig einsetzbar. Je nach Verwendungszweck werden profilierte Walzen mit großen oder kleinen Zähnen, Nocken, Riffeln oder Glattwalzen benutzt. Es gibt Maschinen mit einem Walzenpaar (am häufigsten), ferner mit zwei Walzenpaaren innerhalb eines Rahmens und solche mit nur einer Walze. Einzugswinkel $\alpha = 2\varrho$ (s. Backenbrecher S. 65); Zerkleinerungsverhältnis $\epsilon = d/s \approx 4$ (d maximale Aufgabekorngröße bei etwa Kugelform, s Spaltweite); Walzendurchmesser $D \approx 80s \approx 20d$. Diese Werte gelten für Glattwalzen und Reibung Stein auf Stahl. Gezähnte Walzen und weiches bis mittelhartes Gut, in das Zähne eingreifen können (z. B. Braunkohle), erlauben kleineren Walzendurchmesser, bis zu etwa $6d$. Zwei bzw. drei hintereinandergeschaltete Walzenpaare erhöhen Zerkleinerungsverhältnis auf 4² bzw. 4³. v_u der Walzen beträgt bei Grobzerkleinerung 2 ... 3 m/s, bei Feinzerkleinerung bis 10 m/s. Aufgabegut sollte etwa mit Geschwindigkeit v_u in Zerkleinerungsraum fallen. Unterschiedliche v_u der zwei Walzen wird vorgesehen, wenn außer Druckwirkung noch zusätzliche Reiß- oder Reibwirkung erwünscht ist.

Berechnung. Durchsatz wird

$$\dot{Q} \approx \varphi 3600 b s v_u \frac{\dot{Q}}{m^3/h} \frac{\varphi}{-} \frac{b; s}{m} \frac{v}{m/s}; \tag{2.14}$$

- φ Füllungsgrad $\approx 0,25 \dots 0,75$ (kleinerer Wert für Grob-, größerer für Feinzerkleinerung),
- b Walzenbreite,
- s Spaltweite,
- v_u Umfangsgeschwindigkeit.

Nach Ermittlung des spezifischen Arbeitsbedarfs W_0 in kWh/m³ wird Leistungsbedarf nach Gl. (2.5) berechnet.

Mittlere Preßkraft F zwischen zwei Walzen ist wichtig für Dimensionierung des Überlastschutzes und für Beanspruchung von Welle und Lagern (Bild 2.18):

$$F = \frac{1000P \cdot 30}{i a n_w \pi} = \frac{9550P}{i a n_w} \frac{F}{N} \frac{P}{kW} \frac{i}{-} \frac{a}{m} \frac{n_w}{U/min}; \tag{2.15}$$

- i Walzenanzahl (= 2)
- a mittlerer Hebelarm,
- n_w mittlere Walzendrehzahl.

Ausführungen. Zur Spaltverstellung und für Überlastschutz werden Lager einer Walze ausweichbar eingerichtet, z. B. mittels Geradführungs- oder Schwingensystems. Ausweichendes System muß sehr steif sein, damit sich Walze nicht schräg stellen kann. Spalt wird verstellt

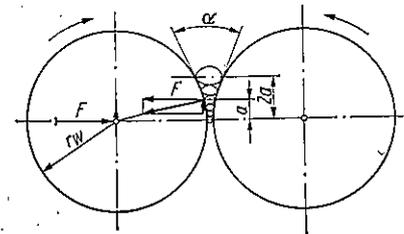


Bild 2.18 Preßkraft an Walzenmühle

Tafel 2.3. Zweiwellenflügelbrecher
VEB Zemag, Zeitz

Flügelkreis- durchmesser mm	Arbeits- breite mm	Durchsatz t/h	Bei Zerkleinerung auf mm		Leistungs- bedarf kW	Masse mit Motoren t
630	1250	300	0 ... 400	0 ... 200	17	6,4
630	1600	400	0 ... 400	0 ... 200	17	6,8
800	1250	550	0 ... 600	0 ... 250	22	8,1
800	1600	620	0 ... 600	0 ... 250	22	9,0
1000	1250	700	0 ... 800	0 ... 250	30	11,7
1000	1600	800	0 ... 800	0 ... 250	30	12,8
1250	1600	900	0 ... 900	0 ... 300	55	15,7
1250	2000	1100	0 ... 900	0 ... 300	55	17,3

Anwendung. Walzenbrecher mit gezahnten oder profilierten Walzen werden zum größeren Zerkleinern weicher bis mittelharter Stoffe (Braunkohle, Steinkohle, Ton, Mergel, Gipsstein, Kalisalze, Steinsalze u. dgl.) benutzt. Flügelbrecher zerkleinern grubenfeuchte, großstückige Rohbraunkohle vor, auch Froststücke. Glatzwalzenmühlen für verhältnismäßig geringen Durchsatzes und ungleichen Verschleißes bis herab zu 0 ... 1 mm werden weniger benutzt wegen (Warschau) mit schnelllaufenden ein- und zweistufigen Glatzwalzenmühlen erzielt bei Einlaufgeschwindigkeit \approx Umfahrgeschwindigkeit v_u . Sonderausführung ist Differential-Walzenmühle mit Glatzwalzen zum Verarbeiten schwer aufschließbaren Tons mit Einschlüssen von Kalk, Mergel u. dgl. Durch unterschiedliche v_u der Walzen wird Gut zusätzlich zerrieben. Spaltweite bis herab zu 0,5 mm verstellbar. Aufbereitungsanlage besteht aus Rostkollergang, Maukmischer, Differential-Walzenmühle und Tonraspeler. Walzendurchmesser 1000 mm, Drehzahlverhältnis 150/220 U/min.

2.2.2.4. Hammerbrecher und -mühlen

Unter Einfluß schnell umlaufender Hämmer wird am Einlauf durch Prallwirkung, danach vor allem durch Schläge sowie durch Reibung zerkleinert. Drehsinn des Rotors ist „einziehend“, so daß Gut nach kurzem Weg in schmalen Raum getrieben wird, der sich zum Auslauf hin verengt. Bei Prallhammermühle ist hinter Einlauf etwas größerer Raum vorgesehen, wodurch Anteil der Prallwirkung erhöht wird.

Rotor besteht aus einzelnen Scheiben oder Sternen. Hämmer (Schläger) sind in mehreren (z. B. 4, 6, 8) Reihen (am Umfang versetzt) angeordnet, an durchgehenden Rundstangen angelenkt und nach einseitiger Abnutzung wendbar. Fliehkraft streckt die Hämmer in Radiallage, wobei Nachgiebigkeit und begrenzter Überlastschutz gegenüber nichtbrechbarem Gut besteht (s. Bilder 2.20, 2.22, 2.23).

Brecher werden schwer gebaut mit verdickten Hammerköpfen für Grobzerkleinerung und können große Stücke aufnehmen, namentlich beim Zweiwellenhammerbrecher (bis $\approx 1 \text{ m}^3$). Mühlen sind leichter gebaut, haben viele Schläger in einfacher Blech- oder Plattenform und höhere Umfangsgeschwindigkeit (50 m/s und darüber). Produkt wird nach unten durch Rost oder starkes Siebblech ausgetragen, wobei Spaltweite die obere Korngröße begrenzt. Sieblose Bauart hat geschlossene untere Mahlbahn mit verstellbarem Austrittsspalt, oder es wird gegen Vorhang schwerer, pendelnd aufgehängter Stäbe ausgeschleudert.

Hammerbrecher mit einem Rotor und Rostaustrag (Bild 2.20). Mit Verschleißplatten ausgekleidetes Gehäuse besteht aus geschweißter Stahlkonstruktion mit Verstärkungsrippen. Spezifischer Durchsatz beträgt $\dot{Q}_0 \approx 50 \dots 70 \text{ t/m}^2 \cdot \text{h}$.

Daten. Kennlinien s. Bild 2.21.

Anwendung für weiche bis mittelharte, nicht sehr schleißende Stoffe (wegen des Reibanteils beim Zerkleinern), wie Braunkohle, Steinkohle, Kali, Steinsalz, Gips, Mergel, Ton u. dgl. Große Maschinen und Zweiwellenhammerbrecher sind auch häufig für Zementrohstoffe, namentlich Kalkstein, eingesetzt, wenn SiO_2 -Einschlüsse gering (möglichst $< 15\%$). Brechprodukt enthält relativ viel Feines, ähnlich wie beim Prallbrecher; s. Rückstandskennlinien Bild 2.28.

Reversierbare Prallhammermühlen (Bild 2.22). Durch Umkehr des Drehsinns kann Gegenseite der Hämmer ohne Hammerwechsel abgenutzt werden. Stirnwände ausfahrbar (dadurch schneller Zugang zum Mahlraum), Überlastschutz z. B. durch Ausweichen der Schwingen gegen Federn, Scherbolzen od. dgl. Umfangsgeschwindigkeit des Schlagwerks normal 50 m/s; Steigerung ergibt höhere Reinheit des Produkts.

Daten s. Tafel 2.4.

Anwendung s. Hammerbrecher.

Zweiwellenhammerbrecher. Hämmer bewegen sich in Mitte zwischen den Rotoren nach unten (also einziehend im Gegensatz zum Zweiwellenprallbrecher). Schwerer Rostkorb im Einlauf hält große Stücke zunächst zurück und entlastet dadurch Rotoren. Hämmer greifen im Lauf durch Rostspalte hindurch und zerkleinern Blöcke portionsweise.

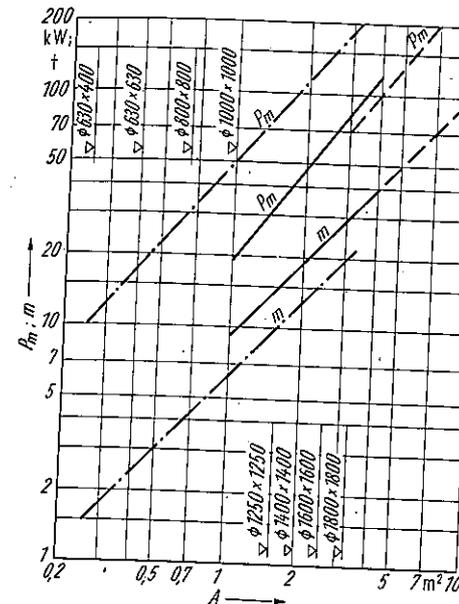


Bild 2.21
Kennlinien (Mittelwerte) von Hammerbrechern
und -mühlen

— Hammerbrecher mit einem Rotor;
- - - Hammerbrecher mit zwei Rotoren;
- - - Hammermühlen
A Rotorquerschnitt (Durchmesser \times Breite);
 P_m mittlerer Leistungsbedarf; m Mittelwert
der Masse; $\dot{Q} = P/W_0$
Anhaltswerte für W_0
Hammerbrecher bei mittelhartem Gut und
Produkt 0 ... 25 mm: $W_0 \approx 1,0 \dots 1,2 \text{ kWh/t}$
Hammermühle bei Steinkohle und Produkt
0 ... 10 mm: $W_0 \approx 1,0 \dots 1,5 \text{ kWh/t}$, bei
Kali $\approx 0,8 \text{ kWh/t}$

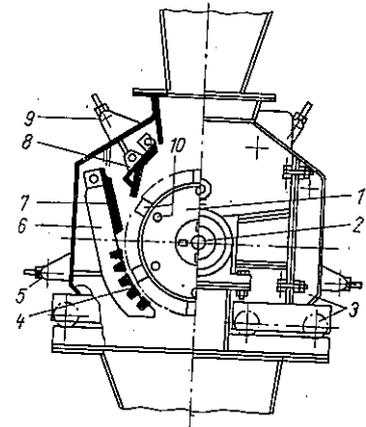


Bild 2.22
Reversierbare Prallhammermühle

VEB Zemag, Zeitz
1 Rotor; 2 Antriebswelle; 3 ausfahrbare Stirnwände;
4 Auslaufrost (zu 6); 5 Spaltverstellung (zu 6);
6 Schwinge; 7 Prallplatte (zu 6); 8 Prallplatte als
Schwinge; 9 Spaltverstellung (zu 8); 10 Hammer mit
Gelenkbolzen

Tafel 2.4. Reversierbare Prallhammermühle nach Bild 2.22

Schlagwerkdurchmesser	mm	630	630	630	630	1000	1250	1600
Schlagwerkbreite	mm	630	800	1000	1250	1250	1600	2000
Max. Durchsatz bei $v_u = 50 \text{ m/s}$	t/h	40	60	85	110	150	250	400
Rohbraunkohle von 80 ... 0 mm auf 6,3 ... 0 mm	t/h	-	-	-	-	300	750	1400
$W_0 = 1,0 \dots 1,2 \text{ kWh/t}$	t/h	20	25	32	40	-	-	-
Max. Durchsatz bei $v_u = 30 \text{ m/s}$	t/h	12	16	20	24	-	-	-
Rohbraunkohle von 250 ... 0 mm auf 40 ... 0 mm	t	2,7	2,8	3,4	3,7	7,4	13,0	23,5
$W_0 = 0,3 \dots 0,4 \text{ kWh/t}$	t/h	-	-	-	-	-	-	-
Max. Durchsatz bei $v_u = 50 \text{ m/s}$	t/h	-	-	-	-	-	-	-
Trockenbraunkohle von 6,3 ... 0 mm auf 2 ... 0 mm	t/h	-	-	-	-	-	-	-
$W_0 \approx 2,5 \text{ kWh/t}$	t/h	-	-	-	-	-	-	-
Max. Durchsatz bei $v_u = 50 \text{ m/s}$	t/h	-	-	-	-	-	-	-
Trockenbraunkohle von 6,3 ... 0 mm auf 1 ... 0 mm	t/h	-	-	-	-	-	-	-
$W_0 \approx 3,5 \text{ kWh/t}$	t/h	-	-	-	-	-	-	-
Masse mit Mahlbahn	t	-	-	-	-	-	-	-

Beim Brecher nach Bild 2.23 ist Gehäuse mehrteilig und geschweißt: Einlauföffnung 1600 mm × 1850 mm; $P = 2 \cdot (150 \dots 220)$ kW; bei 40 mm Spaltweite $\dot{Q} = 150 \dots 190$ m³/h; $m = 65,5$ t. Rostspaltweite (30, 40, 50 mm) und Drehzahl beeinflussen Endkorngrößen. $v_u = 28$ m/s bei $n = 300$ U/min.

Anwendung s. Hammerbrecher.

Feinhammermühlen. Schlägermühle (Bild 2.24) erzeugt speziell Kohlenstaub zum direkten Einblasen in den Brenner. Rotor als Ventilator macht Mühle selbstansaugend. Aufgabegut

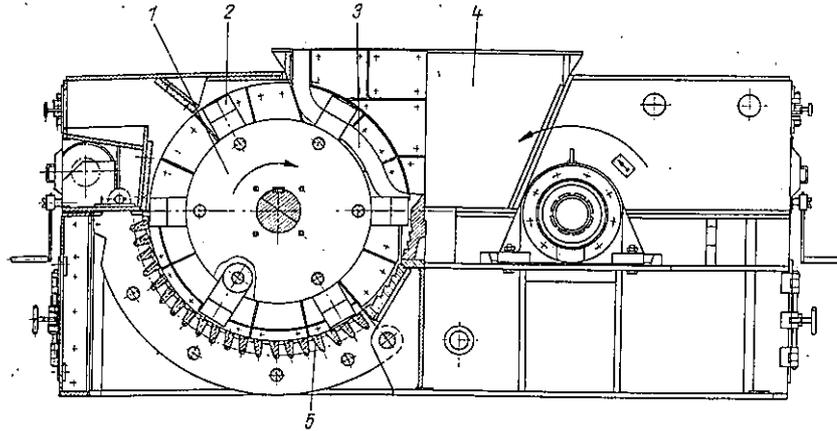


Bild 2.23. Zweiwellenhammerbrecher

VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg

1 Rotor; 2 Schläger; 3 Einlaufrostkorb; 4 Aufgabetrichter; 5 Roststäbe am Auslauf

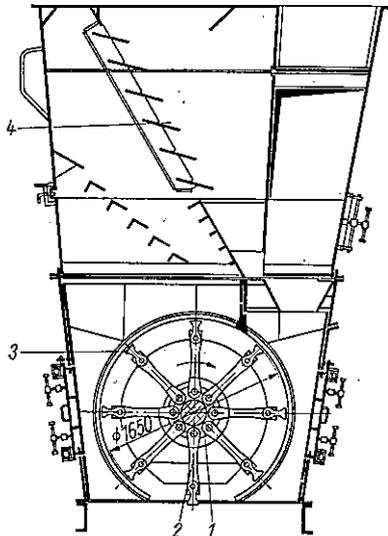


Bild 2.24. Schlägermühle HM 1,6

VEB Feuerungsanlagenbau, Holzhausen (Sachsen)
1 Rotor; 2 Rotorarme (Schlägerarme); 3 Schläger
oder Schlagplatten; 4 Siebter

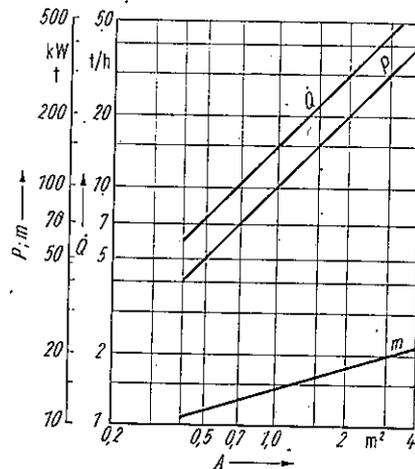


Bild 2.25. Kennlinien der Schlägermühle nach Bild 2.24

A Rotorquerschnitt (Durchmesser × Breite)

wird über beheizten Fallschacht dem Rotor tangential zugeführt. Griesse des auf Mühle gesetzten Stromsichters gelangen zum Rotor zurück. Wegen Verschleißes sind Schläger (Schlagplatten) an den Enden der Rotorarme lösbar und wendbar. Feuchte Rohbraunkohle erfordert Mahltrocknung.

Normale Typen M des VEB Mitteldeutscher Feuerungsanlagenbau: $v_u \approx 65$ m/s; $\dot{Q}_0 = 5$ bis 10 t/m² · h. Typen HM (Hochleistungsmühlen): $v_u \approx 80$ m/s; $\dot{Q}_0 = 10 \dots 15$ t/m² · h; Aufgabekorngröße normal 0 ... 60 mm (vom Walzenbrecher). Produkt meist etwas über 0 ... 1 mm.

Daten s. Tafeln 2.5. und 2.6, Kennlinien s. Bild 2.25.

Anwendung für weiches und mittelhartes Gut, wie Kalkstein, Gips, Ton, Schieferon, Bentonit, Holz. Maschine wird neuerdings auch in Müllaufbereitung eingesetzt für Zerkleinerung des Siebüberlaufs (nach Auslesen, Eisenausscheiden und eventuellem Vorzerkleinern).

Mahlgut	Endkornung > 0,2 mm %	W ₀ kWh/t
Rohbraunkohle	15 ... 30	6 ... 8
Trockenbraunkohle	10 ... 20	12 ... 16
Braunkohlenschwelkoks	15 ... 25	14 ... 20
Abfallsteinkohle	10 ... 15	12 ... 18
Steinkohle ¹⁾	10 ... 15	15 ... 25

¹⁾ flüchtige Bestandteile $\geq 15\%$

Tafel 2.6. Schlägermühlen der HM-Reihe für Rohbraunkohle nach Bild 2.24

Typ ¹⁾	Schlagkreisdurchmesser mm	Rotorbreite mm	Leistungsbedarf, etwa kW	Durchsatz, etwa t/h	Nenn-drehzahl U/min	Masse, etwa t
HM 0,8	1670	515	80	12	1000	13
HM 1,25	1670	785	120	18	1000	15
HM 1,6	1670	1055	160	25	1000	16

¹⁾ Bezeichnung der Typen nach aktivem Rotorquerschnitt in m²

2.2.2.5. Prallbrecher und -mühlen (Schlagprallbrecher)

Charakteristisch sind großer Zerkleinerungsraum, in den Stücke hineingeprellt werden, sowie schnell umlaufende, im Rotor fest eingespannte Schläger; dadurch intensives Brechen und Aufspalten des Brechguts (s. a. S. 63). Zusätzliche Reibwirkung erhöht Verschleiß.

Brecher darf erst bei voller Rotordrehzahl beschickt werden. Brocken werden dann im Fallen zerkleinert. Rotor muß möglichst großes Schwungmoment haben, damit sich bei Aufgabe großer Brocken Umfangsgeschwindigkeit nur wenig vermindert. Daher werden Rotoren größerer Brecher voll in Stahlguß oder schwerer Schweißkonstruktion ausgeführt.

Starke Welle läuft meist in Pendelrollenlagern. Die dem Prall unterliegenden Innenwände des Gehäuses sind mit Schleißplatten (Panzerplatten) ausgekleidet. Gehäusewände erhalten ausreichend große Öffnungen, namentlich für Wechsel der Schläger. Einlauföffnung muß gegen herausfliegende Stücke umkleidet werden; zu empfehlen ist außerdem einfacher oder zweifacher Kettenvorhang. Kinetische Energie des ausgeworfenen Brechprodukts ist zu dämpfen (z. B. durch Einbauten), bevor es auf Förderer gelangt. Auslaufrichter wird zweckmäßig an Entstaubung angeschlossen.

Feinheit des Produkts kann beim Prall verändert werden durch v_u der Schläger sowie durch Verstellen der Austrittsspalte. v_u ist 15 ... 50 m/s, normal ≈ 33 m/s (für Feinprall höher). Bei nur einem Austrittsspalt ist Feinanteil im Produkt besonders groß; günstig z. B. für nachfolgende Feinmahlung. Feinanteil läßt sich vermindern, wenn Stirnwände des Prallraums teilweise als Roste ausgebildet werden. (Hierbei hat genügend zerkleinertes Gut mehr Gelegenheit, Zerkleinerungsraum schnell zu verlassen.) Kreislaufschaltung über Siebmaschinen begrenzt Korngröße nach oben und verringert ebenfalls Feinanteil im Produkt.

(Im Gegensatz zu Kurvenverlauf bei kalibrierenden Brechern, z. B. nach Bild 2.16). Prallzerkleinerung wird benutzt in Zementindustrie zum Vor- und Nachzerkleinern von Kalkstein und anderen Zementrohstoffen; für Kali und ähnliche Salze; in Keramik für Schamottebruch, Schiefer-ton usw.; in Erzaufbereitung für mittelharte Erze (z. B. manche Pb-Zn-Erze) zur selektiven Zerkleinerung als Vorbereitung für Sortierung; im Straßenbau für harten Kalkstein, nicht zu harte Schlacken u. dgl. zwecks Schotter- und Splitherstellung, namentlich wenn verschiedene Splittgrößen gefordert sind und das anfallende Feingut von 0 ... 3 mm zu verwerten ist, z. B. in Teersplittanlage.

2.2.2.6. Feinprall- und Strahlmühlen

Feinprallmühlen mit Schlägern haben bis 110 m/s Umfangsgeschwindigkeit. Bei schlägerloser Feinprallmühle wird auf hohe Geschwindigkeit gebrachtes Gut durch Prallen gegen feste Elemente und durch Auftreffen und Reiben von Gut auf Gut (teilautogen) zerkleinert. Oft ist Sichteinrichtung in Mühle eingebaut.

Feinprallmühlen mit Schlägern. Schlagkreuzmühlen. Rotor hat Form eines Kreuzes; Gut wird zentral zugeführt, Produkt nach unten durch Rost abgeführt. Mühle zerkleinert weiche bis mittelharte Stoffe, wie Salze, Kalkmergel, trockenen Ton u. dgl., bis ≈ 5 t/h Durchsatz auf mäßige Feinheit. Aufgabestücke je nach Mühlengröße zwischen Walnuß- und Faustgröße.

Schlagkorbmühlen (Schleudermühlen) mit vier bis acht gegenläufig rotierenden, konzentrischen Stabkreisen zerkleinern durch Prallwirkung, dispergieren Agglomerate und mischen gleichzeitig. Siebe oder Roste am Auslauf fehlen. Stabteilung wird meist nach außen enger. Einer der Schlagkörbe einschließlich Lagerbock ist axial ausfahrbar. Je nach Mühlengröße werden Stücke bis ≈ 50 mm aufgegeben. Gut darf nicht zu hart und schleißend sein. Zur Erzielung höherer Endfeinheiten muß Schlagkorbmühle im Kreislauf mit Windsichter arbeiten.

Stiftmühlen haben frei tragende kantige oder zylindrische Stifte, die in konzentrischen Kreisen auf Scheiben angeordnet sind. Eine Stiftscheibe steht fest, die andere, hineingreifende rotiert mit v_u bis ≈ 100 m/s. Feste Scheibe mit zentralem Einlauf ist schranktürartig aufklappbar; Auslauf über ringförmiges Sieb oder auch sieblos. Bauweise und hoher Betrag von $r\omega^2$ beschränken Mühlengröße und somit Durchsatz auf ≈ 2 t/h, $W_0 \approx 11$ kWh/t.

Modellgips (Aufgabe 0 ... 15 mm) wurde bei $v_u = 85$ m/s Absolutgeschwindigkeit im einmaligen Durchgang auf $3 \dots 6\% > 90 \mu\text{m}$ zerkleinert.

Turbomühlen haben Rotor mit senkrechter Achse. Mahlgut wird von dem in Mühle selbst erzeugten Luftstrom durch turbinenähnlichen Zerkleinerungsraum gefördert und dabei zwischen Schlägern des Rotors und Rippen des Mantels durch Prall zerkleinert. Infolge zahlreicher Luftkammern entstehen turbulente Strömungen, in denen z. T. Mahlgut gegen Mahlgut zerrieben wird. Zur Abscheidung erzeugten Staubs aus der Luft sind Zyklon und Feinfilter nachzuschalten. v_u der Schläger bis 110 m/s. Turbomühlen zerkleinern weiches bis mittelhartes Gut, das auch feucht sein kann, u. a. Rohbraunkohle (Bild 2.29).

Ventilatormühle (Schlagradmühle, Bild 2.30) dient vornehmlich als Kohlenstaubmühle. Ähnlich einem Ventilatorrad ausgebildetes Schlagrad (Rotor) ist fliegend gelagert und mit horizontaler Welle verspannt. Es zerkleinert und fördert zugleich das Gut pneumatisch. Mahlgut

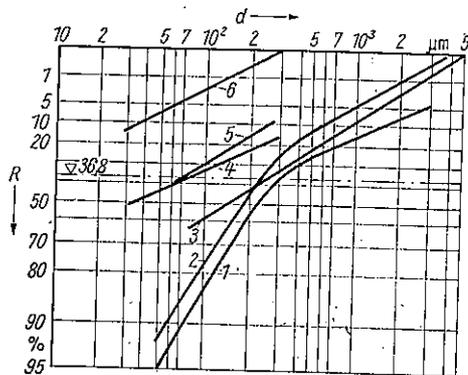


Bild 2.29 Rückstandskennlinien zur Feinprallzerkleinerung, aufgenommen an Turbomühlen

1 Koksgrus mit 7% Feuchte (Luft in Mühle ungedrosselt); 2 Koksgrus mit 7% Feuchte (Luft gedrosselt); 3 Rohbraunkohle mit 50% Feuchte; 4 weicher Kalkstein; 5 Konverterschlacke; 6 weicher Kalkstein; zweimaliger Durchgang
R Rückstand; d Korngröße

und Fördergas (Luft bzw. Heißgase) werden zentral zugeführt und tangential abgeleitet. Vom aufgesetzten Stromsichter abgeschiedene Grieße gelangen zum Mühleneinlauf zurück. Durch Art der Mahlgutzuführung werden Schläger hauptsächlich an Innenseite beansprucht, wobei Prallwirkung vorherrscht. Infolge fliegender Anordnung des Rotors kann Gehäuse türartig geöffnet werden (günstig für Schlägerwechsel und Ausbau des Schlagrads). Schläger sind für guten Ausnutzungsgrad gestaltet. Mahltrocknung kann ähnlich wie bei Schlägermühle durchgeführt werden (s. a. S. 81 und 131).

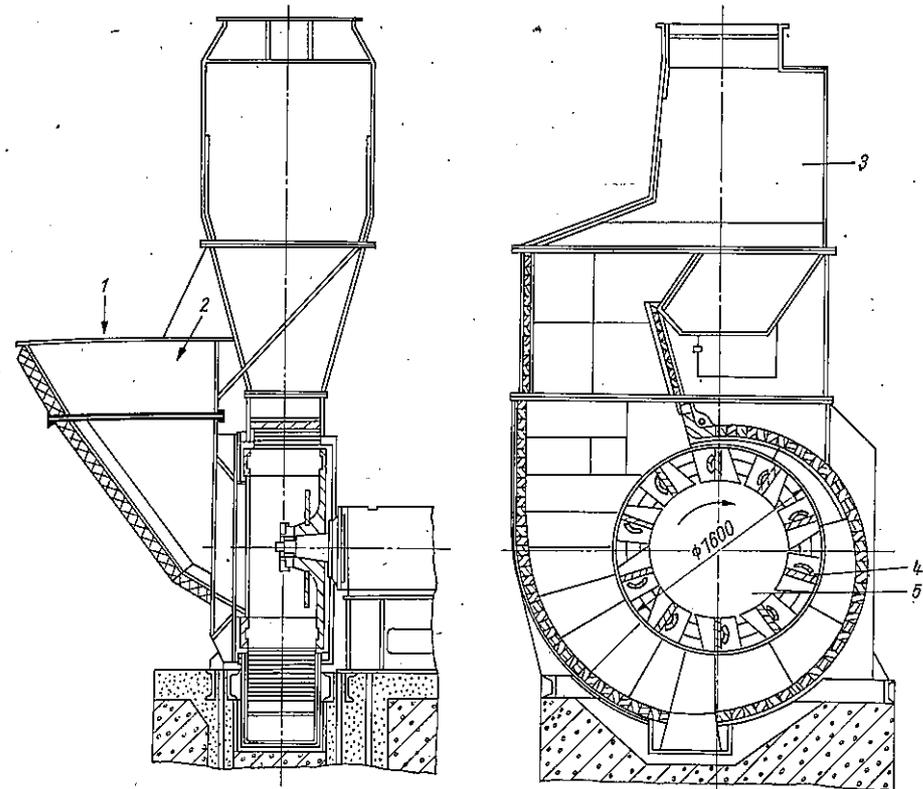


Bild 2.30. Ventilatormühle NV 20

VEB Feuerungsanlagenbau, Holzhausen (Sachsen)
1 Aufgabe; 2 Grießbrücklauf; 3 Sichter; 4 Schläger; 5 Rotor

Tafel 2.7. Naßkohlenventilatormühle, Typenreihe NV nach Bild 2.30

Typ ¹⁾	Rotor- durchmesser mm	Rotorbreite mm	Leistungs- bedarf, etwa kW	Durchsatz t/h	Nenn- drehzahl U/min	Masse, etwa t
NV 8	1600	330	70	8	1000	16
NV 12,5	1600	390	110	12,5	1000	16,5
NV 20	1600	470	180	20	1000	18
NV 25	1600	550	230	25	1000	19
NV 32	1600	630	290	32	1000	20
NV 50	2700	800	450	50	600	45
NV 80	3300	800	550	80	500	112

¹⁾ Bezeichnung der Typen gemäß Durchsatz bei Rohbraunkohle

Daten s. Tafel 2.7. $v_u \approx 80$ m/s; $W_o \approx 9$ kWh/t; $Q_o = 17 \dots 34$ t/m² · h; $\alpha = 0,034$ bis 0,048 (s. S. 83).

Typen V mahlen Steinkohle, Typen NV Rohbraunkohle mit Wassergehalt bis zu etwa 60%. Ventilatormühlen arbeiten hauptsächlich als Einblasemühlen, aber auch in Zentralmahlanlagen mit Abscheidung und Bunkerung des Staubs.

Zu weiteren Bauarten von Feinprallmühlen mit Schlägern gehört *Sichterprallmühle* (Bild 2.31). Im Sichtraum über Prallraum wird Feingut nach innen abgesaugt (Prinzip der Spiralsichtung, s. a. S. 123). Grieße gelangen zurück zum Zerkleinerungsraum.

Mahl- und Sichtvorgang sind unabhängig voneinander verstellbar. Produkt kann stufenlos zwischen Kornklassen 0 ... 150 und 0 ... 20 µm eingestellt werden.

Schlägerlose Feinprallmühlen. Im *Prallspalter* des VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann,

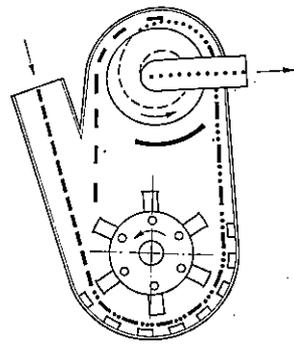


Bild 2.31
Feinprallmühle mit Spiralwindsichtung kombiniert
(Arbeitsprinzip)
Fa. Alpine, Augsburg

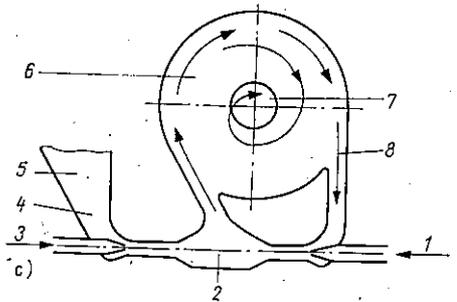
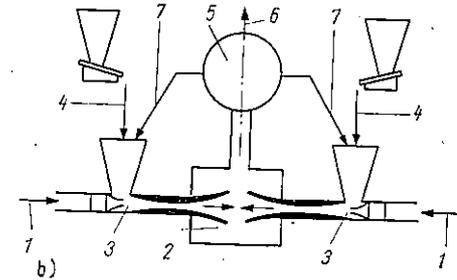
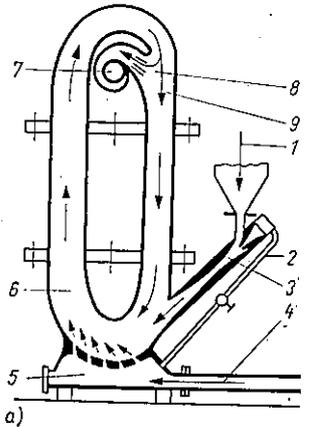


Bild 2.32. Ausführungsbeispiele zu Strahlmühlen

- a) Ovalstrahlmühle
1 Aufgabetrichter; 2 Druckluft (für 3); 3 Mahlgutzuführung (Injektor); 4 Druckluft (für 5); 5 Düsen für Luftzuführung in den Mahlraum; 6 Mahlraum; 7 Ableitung des Fertigguts zur Entstaubung; 8 Sichtzone; 9 Rücklauf des Grobguts
- b) Gegenstrom-Strahlmühle
1 Druckluft für Gegenstrom; 2 Prallkammer; 3 Injektor; 4 Mahlgutaufgabe; 5 Sichtraum; 6 Austritt des Fertigguts zur Entstaubung; 7 Rücklauf des Grobguts
- c) Gegenstrahlmühle, mit Sichtung kombiniert
1 Druckluft; 2 Prallhammer; 3 Druckluft; 4 Mahlgutzufuhr (Injektor); 5 Mahlgutbehälter; 6 Sichtzone; 7 Austritt des Feinguts (Fertigguts); 8 Rücklauf des Grobguts

Magdeburg, wird Aufgabegut in zwei Zerkleinerungsstufen durch horizontale Schleuderscheiben auf hohe v_u gebracht und gegen feste Prallelemente des äußeren Mantels geschleudert. Untere Schleuderscheibe hat größeren Durchmesser (850 mm), daher höhere v_u als obere Schleuderscheibe (mit 700 mm Durchmesser). Infolge vorwiegend reiner Prallwirkung ist Prallspalter für selektive Zerkleinerung gut geeignet. Erzielbare Endfeinheit ist nicht sehr hoch bei einmaligem Durchgang und hängt von v_u und Mahlbarkeit ab. Gerät zerkleinert Stoffe bis zu mittlerer Härte, wie Branntkalk, Kalkstein, Kali, bei Aufgabegrößen bis 25 mm.

Strahlmühlen (Bild 2.32). Druckluft oder Heißdampf strömt expandierend aus Düsen in den Mahlraum (Prallraum). Gut wird über Injektor zugeführt und bei turbulenter Bewegung tei- autogen (Gut gegen Gut, vgl. Abschn. 2.2.4., S. 106) zerkleinert. Nach Sichtung gelangt zu grobes Gut zurück zum Mahlraum. Für Zufuhr des Mahlguts ist relativ langes Injektorrohr vorteilhaft, dessen Form einer Lavaldüse ähnelt. Hiermit werden die Gutsteilchen auf besonders hohe Geschwindigkeit und auf erforderliche kinetische Zerkleinerungsenergie gebracht, um Feinheit des Produkts zu erhöhen. Wichtiger Parameter ist t/h Feststoff zu t/h Gasdurchsatz.

Bauarten. *Spiralstrahlmühle*: zylindrischer, flacher, horizontal liegender Mahlraum.

Ovalrohrstrahlmühle: Umlauf in vertikalem, O-förmigem Mahlraum.

Gegenstrahlmühle hat im Mahlraum gegeneinander gerichtete Strahlrohre, so daß die Teilchen des Guts frontal aufeinander prallen. Feinsichter (einstellbar) ist aufgebaut oder mit Mühle kombiniert.

Druck der Luft vor Eintritt in Mühle 7 ... 15 bar. Vorteilhaft ist feinkörniges Aufgabegut < 2 mm, oft < 0,2 mm. Art und Einstellung der Sichtung bestimmen obere Korngrößengrenze des Feinguts. Q bis ≈ 10 t/h, noch steigerbar.

Anwendung für fein zu vermahlende weiche bis harte Stoffe, z. B. der keramischen und chemischen Industrie, Erze u. dgl.

2.2.2.7. Trommel- und Rohrmühlen

Arbeitsweise. Mahlkörper zerkleinern Mahlgut unter Wurf- und Umlaufbewegung im Mahl- zylinder vorwiegend durch Schlag- und Reibwirkung. Drehzahl hängt vom lichten Zylinder- durchmesser D ab. Bei kritischer Drehzahl n_{krit} ist für einzelnen Mahlkörper $D\omega^2/2 = g$. Daraus folgt mit $\omega^2 = (\pi n/30)^2 = n^2/91$

$$n_{krit} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \frac{n}{U/\text{min}} \left| \frac{D}{m} \right. \quad (2.18)$$

Im Mittel wird mit $0,75n_{krit}$ gearbeitet, entsprechend

$$n \approx \frac{32}{\sqrt{D}} \frac{n}{U/\text{min}} \left| \frac{D}{m} \right. \quad (2.19)$$

Für Zerkleinerung optimale Drehzahl kann hiervon je nach Bedingungen (Mahlkörper- füllungsgrad ϕ , Art und Größe der Mahlkörper, Art der Panzerung, Beschaffenheit des Mahlguts, Trocken- oder Naßmahlung) abweichen und wird zweckmäßig durch Versuche bestimmt. Sie kann zwischen $28/\sqrt{D}$ und $40/\sqrt{D}$ liegen. In extremen Fällen oder für Sonderzwecke (z. B. bei glatter Wandung und Naßmahlung) wird sogar mit überkritischer Drehzahl gearbeitet. Verminderte Drehzahl, bei der Mahlkörper nicht geworfen werden, sondern nur rutschen oder rollen, ist dann zu empfehlen, wenn Reib- und Wälzwirkung erwünscht sind (NC = Not- cataracting-Verfahren).

Vorteile der Trommel- und Rohrmühlen (mit $\lambda = L/D \leq 2$) sind einfache Bauweise und Bedienung, Robustheit, Eignung für Dauerbetrieb, hoher Durchsatz, leichter und billiger Ersatz der Verschleißteile (besonders der Mahlkörper), Unempfindlichkeit gegen eindringende Eisenteile (kein Überlastschutz erforderlich). Auch härteste Mineralien werden fein vermahlen. Mahlverfahren kann periodisch, im kontinuierlichen Durchlauf, im Kreislauf über klassierende Geräte, trocken oder naß und bei Bedarf eisenfrei ablaufen.

zu schützen ist. Bauweise mit Hohlzapfen ohne durchgehende Welle hat unbehinderten Einlauf, jedoch geringere Steife. Mahltrommel muß hierbei selbsttragend sein. Mühle mit Hohlzapfen wird vorwiegend für Naßmahlung (z.B. in Erzaufbereitung) bei lichten Durchmessern bis $\approx 2,0$ m benutzt. Mahlplatten bestehen aus hartem, legiertem Stahlguß, bei kleineren

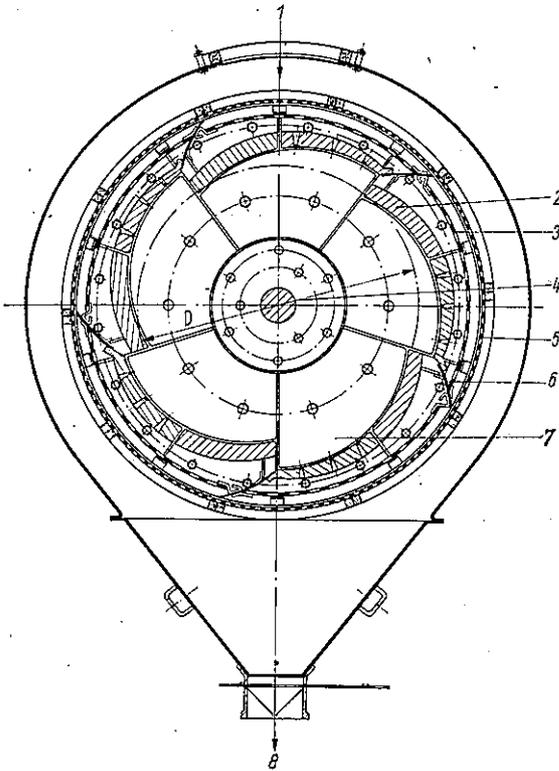


Bild 2.35. Siebtrommel, $D = 1250$ mm, mit durchgehender Welle für Trockenmahlung

VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg
 D mittlerer lichter Mahlraumdurchmesser; 1 Aufgabeöffnung; 2 Mahlplatten; 3 Vorsieb; 4 Antriebswelle; 5 Feinsieb; 6 Leitbleche; 7 seitliche Verschleißplatten; 8 Fertigtutauslauf

Mühlen und nichttragender Ausführung der Platten aus Schalenhartguß; Verschleißplatten der Stirnwände aus gleichen Werkstoffen. Lager sind z.T. Pendelrollenlager; Gleitlager brauchen wegen geringer Umfangsgeschwindigkeit Schmiermittel hoher Viskosität. Antrieb führt z.B. über Keilriemen- auf nachgeschalteten Zahnradtrieb oder über Reduziergetriebe mit elastischer Kupplung direkt auf Mühlenwelle.

Daten. Kennlinien s. Bild 2.36; Durchsatz $\dot{Q} = P/W_0$ hängt stark von Art des Aufgabeguts und eingestellter Endfeinheit ab.

Anwendung. Je nach Größe nehmen Siebtrommelmühlen Gut bis ≈ 100 mm Stückgröße auf. Siebmaschenweite bestimmt Endkörnungen zwischen 0... 5 und 0... 0,5 (0,3) mm. Feinere Endkörnungen erfordern Sichtbetrieb (Maschinenanordnung dazu s. Bild 2.78 d, S. 130; anstelle von 2 tritt Siebtrommel). Gemahlen werden mittelharte bis harte Mineralien und ähnliche Stoffe. Oft dient Siebtrommel dem größeren Mahlen von Erzen bei geringem Anteil an Feinstkorn oder Schlamm im Produkt, z.B. für nachfolgende Feinsetzwäsche.

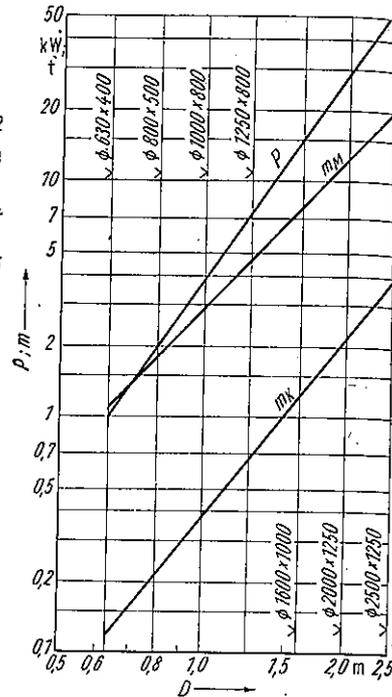


Bild 2.36. Kennlinien von Siebtrommelmühlen mit durchgehender Welle (Anhaltswerte)

$\lambda = 0,65 \dots 0,8$
 m_M Mühlenmasse; m_K Mahlkörpermasse;
 bei Mühlen mit Hohlzapfen P und $m_M \approx 15\%$ höher

Stetig arbeitende Trommelmühlen (besonders für Naßmahlung), Bild 2.37. Als Aufgeber dient meist Schöpfrüssel mit Aufgabebuchse, die Schneckengänge enthält. Jedoch können auch andere Aufgabevorrichtungen benutzt werden. Mühle mit Austragkammer hat schnelleren Durchlauf; Produkt enthält weniger feines Unterkorn bzw. Feinschlamm. Normalerweise haben Trommelmühlen Gleitlager; Mahlgut wird durch hohle Wellenzapfen zu- und abgeführt. Bei Mühle auf Laufrollen ist Gutzuführung und -abführung nicht durch Lager behindert; Mühle wird kürzer; andererseits sind Laufbandagen erforderlich. Silentblocs in Laufrollen gleichen Montagefehler aus und dämpfen Stöße.

Als Mahlkörper dienen bei nichteisenfreier Mahlung Stahlkugeln oder -stäbe zwischen 30 und 100 mm Dmr. (kleinere Größen für feineres Mahlen). Mahlkörperfüllungsgrad φ beträgt meist 0,3... 0,4 (höherer Wert für feineres Mahlen). Zweckmäßig ist Mischung verschiedener Mahlkugelgrößen. Für eisenfreies Mahlen dienen vorwiegend Flintsteine. Innere Panzerung

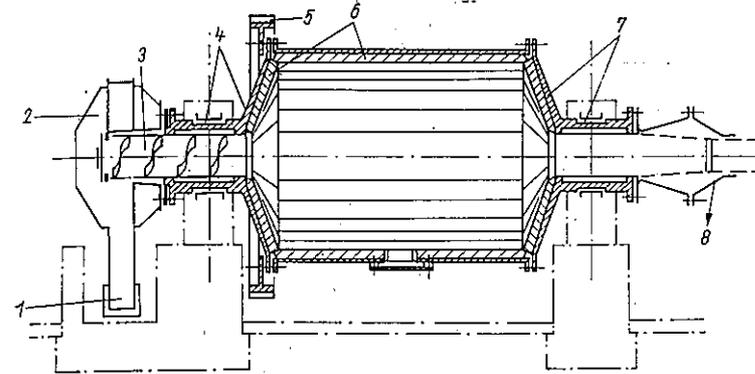


Bild 2.37. Stetig arbeitende Trommelmühle; Überlaufmühle für Naßmahlung

1 Schöpfrüssel; 2 Schöpfaufgeber; 3 Aufgaberohr mit Schneckengängen; 4 Einlaufhohlzapfen mit Stirnwand; 5 Antriebszahnkranz; 6 Verschleißplatten zu Trommelmantel und Stirnwänden; 7 Auslaufhohlzapfen mit Stirnwand; 8 Auslaufbüchse mit Sieb

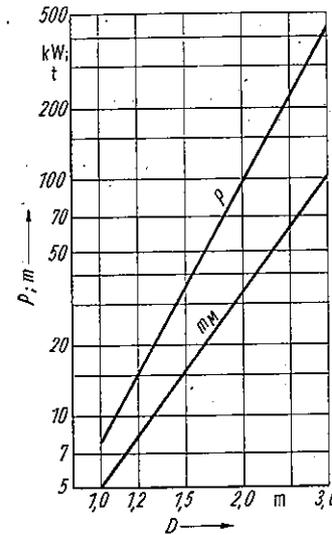


Bild 2.38. Kennlinien von stetig arbeitenden Naßtrommelmühlen als Überlaufmühlen

P Leistungsbedarf; m_M Masse der Mühle;
 $\lambda = 1,0 \dots 1,1$; bei Trommelmühlen mit Austragkammer $P \approx 10\%$ niedriger, $m_M \approx 10\%$ höher

(Schleißplatten) der Mahltrommel wird entweder mit Panzerkopfschrauben befestigt, oder schraubenlos (selbsttragend) auf Balken von wellen- oder stufenförmigem Querschnitt ausgeführt. Mühlen werden über Zahnkranz angetrieben.

Daten. Kennlinien s. Bild 2.38.

Anwendung. Im einfachen Durchgang wird infolge kurzen Mahlwegs nur grob auf 0 ... 1 mm gemahlen. Durch häufig benutzte Kreislaufschaltung erhält man kleinere obere Korngrößen bei geringem Anteil feinsten Fraktionen. Erze werden durch Naßmahlung im Kreislauf über Rechenklassierer (s. Bild 2.79, S. 131) oder anderen Naßklassierer oder Hydrozyklon als Vorbereitung für Flotation selektiv zerkleinert, also aufgeschlossen. Ferner werden Erze rösch vermahlen im Kreislauf über Schwingsiebmaschinen als Vorbereitung für naßmechanische Sortierung (z. B. in Feinsetzmaschinen) oder für magnetische Aufbereitung. Aufgabekorngrößen können bis ≈ 15 mm, bei Stabmühlen bis ≈ 35 mm betragen. **Stabmühlen** mahlen gröber mit gleichmäßiger Körnung und werden daher mitunter ohne Kreislauf sowie als Vormühlen für nachfolgende Feinmühlen eingesetzt. Sie sind geeignet für trockenes, grobes Mahlen von Koksgrus, künstlichen Düngestoffen, Vormahlen von Zementklinkern, zur Erzeugung von Sand u. dgl.

Keglige Trommelmühle (Hardingemühle) ist Sonderbauart. Im kurzen zylindrischen Teil herrscht Wurfbewegung der Mahlkörper vor, während im anschließenden kegigen Teil nach Auslauf hin zunehmend Rutsch- und Reibbewegung entsteht. Außerdem klassieren sich Mahlkörper durch den Kegel selbsttätig (kleinere Mahlkörper am kleineren Trommeldurchmesser, s. a. S. 94). Mahlverfahren paßt sich somit der nach dem Auslauf hin zunehmenden Feinheit des Mahlguts an.

Ein- und Mehrkammerrohrmühlen für Durchlaufverfahren, Bilder 2.39 und 2.40. Bei Antrieb über großen Zahnkranz an Stirnwand werden Ein- und Auslauf durch Hohlzapfen geleitet. Allerdings erfordert großer Zahnkranz erhöhten baulichen Aufwand, Staubschutz und sehr sorgfältige Montage für gleichmäßiges Tragen der Zähne, wobei mit zunehmender Baugröße Schwierigkeiten steigen. Bei Zentralantrieb mit vorgeschaltetem zweistufigem Getriebe laufen Zahnräder vollkommen gekapselt im Ölbad, jedoch wird schwere, am Mühlenzapfen angreifende Gelenkwelle erforderlich, die bei geringer Drehzahl und hoher Antriebsleistung großes Drehmoment übertragen muß. Auslauf kann wegen Gelenkwelle nicht am Hohlzapfen sein, sondern ist am Umfang vorzusehen, was großen Dichtungsdurchmesser erfordert. Verbesserte Ausführung s. Bild 2.39, wobei laternenartiges Stück kleineren Durchmessers für Auslauf zwischengeschaltet ist, so daß Dichtung entsprechend kleiner wird. **Zwillingsantrieb** (Bild 2.41) für große Mühlen hat Vorschaltgetriebe mit zwei Wellenableitungen (Gelenkwellen) zum Hauptgetriebe, das um hohlen Mühlenzapfen herum angeordnet ist. Großer Zahnkranz entfällt, und trotzdem kann Mahlgut durch Hohlzapfen geleitet werden. Besonderer Hilfsmotor erleichtert Anlauf großer Mühlen und erzeugt kleine Drehbewegungen bei Montagearbeiten. Für große Baueinheiten mit mehreren 1000 kW Leistungsbedarf werden zwei Antriebsmotoren benutzt.

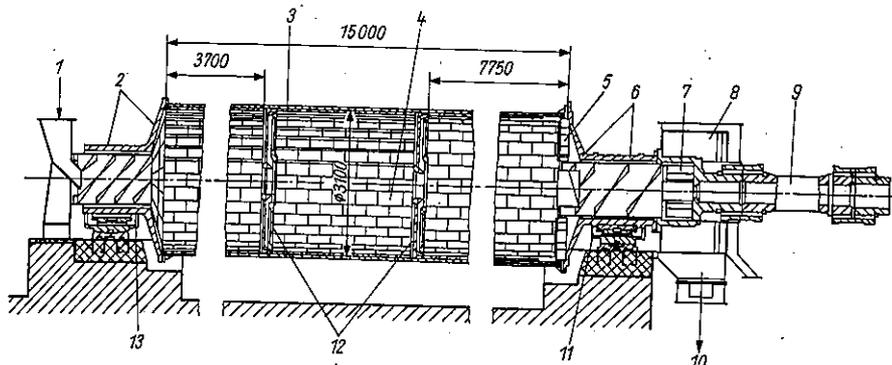


Bild 2.39. Dreikammerrohrmühle, 3,2 m Dmr. \times 15 m lang, mit Zentralantrieb für Trockenmahlung VEB Zementanlagenbau, Dessau

1 Aufgabetrichter; 2 Einlaufstirnwand mit Hohlzapfen; 3 Mühlenzylinder (Mahltrommel); 4 Panzerung (Mahlplatten, Verschleißplatten); 5 Austragschlitzwand; 6 Auslaufstirnwand mit Hohlzapfen; 7 Austrag durch Hohlzapfenschlitze; 8 Auslaufgehäuse; 9 Kuppelwelle (Gelenkwelle); 10 Auslauf; 11 Halslager (Auslaufseite); 12 Schlitzwände (zur Kammerbildung); 13 Halslager (Einlaufseite)

Rohrmühlen haben meist Einstellgleitlager. Unterschale ist mit bestem Weißmetall auszugießen. Oberschale (ohne Ausguß) bildet nur Abschlußdeckel. Größere Mühlen haben Umlaufschmierung mit Rückkühlung. Ein Lager dient als Festlager, wobei Hohlzapfen außen Bunde erhält. Stählerne Laufzapfen sind geschliffen und an Stirnwand verschraubt. Mühlen mittlerer Größe erhalten mitunter Wälzlager, durch die jedoch weniger an Reibleistung (im Verhältnis zum gesamten Leistungsbedarf) eingespart wird als z. B. beim Backenbrecher, da Rohrmühle auch mit Gleitlagern guten mechanischen Wirkungsgrad hat. Gleitlager wirken stoßdämpfend.

Längseinteilung des Mahlraums in zwei oder drei Kammern ermöglicht Anpassung der Mahlkörpergröße und -mischung an zunehmende Gutfeinheit. Trennungswände zwischen

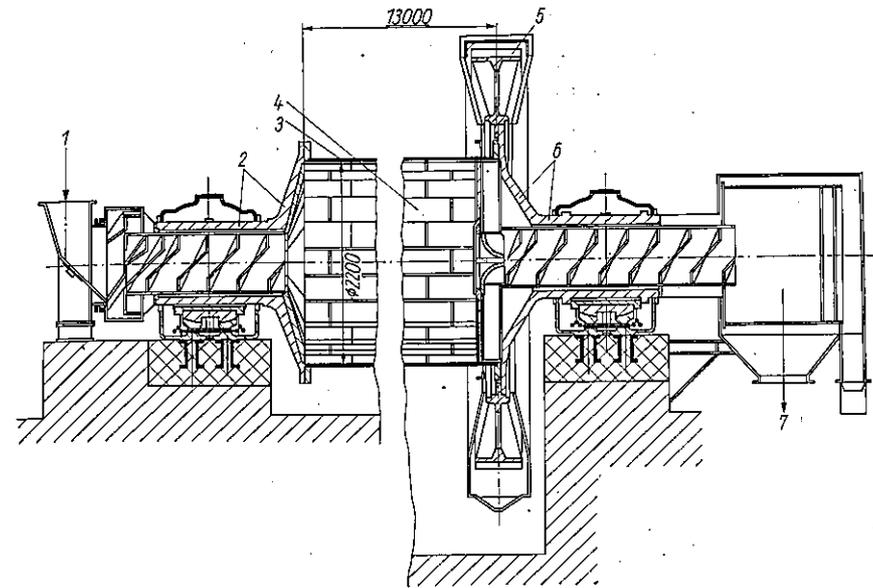


Bild 2.40. Mehrkammerrohrmühle, 2,2 m Dmr. \times 13 m lang, mit Zahnkranzantrieb für Naßmahlung VEB Zementanlagenbau, Dessau

1 Aufgabetrichter; 2 Einlaufstirnwand mit Hohlzapfen; 3 Mühlenzylinder (Mahltrommel); 4 Panzerung (Mahlplatten, Verschleißplatten); 5 Antrieb Zahnkranz; 6 Auslaufstirnwand mit Hohlzapfen; 7 Auslauf

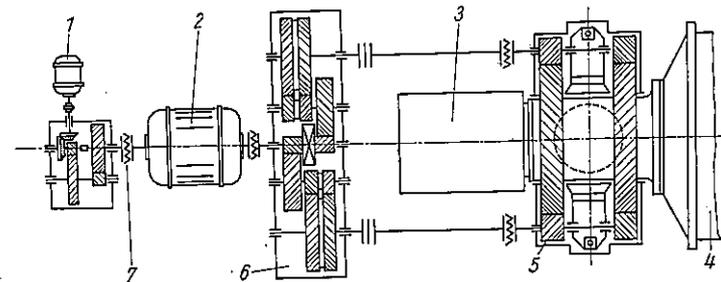


Bild 2.41. Zwillingsantrieb für große Rohrmühlen Bauart Polysius, Neubeckum

1 Hilfsantrieb; 2 Hauptmotor, 1000 U/min; 3 Gehäuse für Ein- oder Austrag des Mahlguts; 4 Mühle; 5 Hauptgetriebe mit Halslager; 6 Vorschaltgetriebe; 7 Überholkupplung

den Kammern als Schlitz- und Übertragungswände werden z. B. als steife Kastenkonstruktion mit Hubschaufeln ausgeführt. Neben üblicher Auspanzerung des Rohrmantels benutzt man auch kegliche Mahlplatten (Stufenplatten) mit Verengung zum Auslauf, wodurch sich Mahlkörper im Betrieb selbsttätig klassieren (Größe in Richtung Auslauf abnehmend). Dadurch entfällt Kammereinteilung teilweise oder ganz und verringert sich spezifischer Arbeitsbedarf gemäß Versuchen etwas. Einteilung der Feinmahlkammer in Sektoren (Bild 2.42) bewirkt reibendes Zerkleinern bei geringerer Schlagenergie und kleinerem Antriebsdrehmoment. Wurf-schaufeleinbau bei offener Mühlenmitte bringt ähnliche Vorteile und ist baulich einfach. Entlüftung (leichtes Absaugen) an Rohrmühle bei Trockenmahlung vermindert Staubbelästigung, Schwitzen im Innern sowie Mehlpolster durch rechtzeitiges Austragen der feinen Staubfraktionen.

Nach Untersuchungen von *Bernulat* kann man bei Berechnung des aus gebogenen Blechen zusammengeschweißten Zylinders von statischer Belastung der stillstehenden Mühle ausgehen, sollte jedoch Biegebeanspruchung auf 20 N/mm^2 begrenzen.
Daten s. S. 95.

Anwendung. Rohrmühlen vermahlen mittelhartes und hartes Gut, z. B. Zementrohstoffe, Zementklinker, Zuschlagstoffe der keramischen Industrie (Feldspat, Quarz usw.), Kalziumkarbid, Kalkstickstoff, Thomasphosphat, Koks, Kohle. Im einfachen Durchlauf ist Feinheit von $\approx 0 \dots 100 \mu\text{m}$ zu erzielen. Lange Mühlen liefern großen Anteil feinsten Unterkorns, so daß Mehlpolster zum Auslauf hin weitere Vermahlung, namentlich härterer Stoffkomponenten, erschwert (Verbesserung durch Absaugen). Ferner ist bei Durchlaufverfahren Umstellung auf andere Mahlfeinheit oder Kornzusammensetzung nicht schnell und nur mit größerem Aufwand sowie in begrenztem Maß durchführbar. Trotz dieser Nachteile wird lange Rohrmühle im Durchlaufverfahren benutzt, weil sie einfach und unempfindlich ist.

Rohrmühlen für Kreislauf mit Windsichter (s. a. S. 130 und 131). Für Kreislaufverfahren werden verhältnismäßig kurze Einkammerrohrmühlen mit Austrag am Mühlenende und Mehrkammerrohrmühlen mit Austrag zwischen zwei Kammern (Mitten- oder Zwischenaustrag) benutzt. Verfahrensschaltungen sind Becherwerkumlauf über Umluftsichter (Streutellersichter)

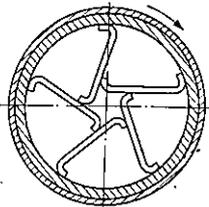


Bild 2.42
Einteilung der Feinmahlkammer der Rohrmühle
in achsparallele Räume

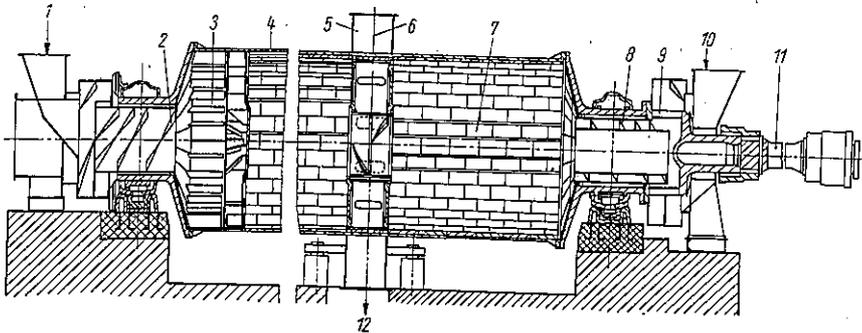


Bild 2.43. Becherwerkumlaufmühle, 3,2 m Dmr. \times 8,5 m lang, Mittenaustrag (Zwischenaustrag)
VEB Zementanlagenbau, Dessau

1 Aufgabetrichter; 2 Schnecke in Einlaufbuchse; 3 Vortrockenkammer; 4 Mühlenzylinder (Mahltrommel); 5 Austraggehäuse; 6 Absaugung; 7 Panzerung; 8 Schnecke in Einlaufbuchse (Antriebsseite); 9 Einlauf durch Hohlzapfenschlitze; 0 Aufgabetrichter (Antriebsseite); 11 Kuppelwelle (Gelenkwelle); 12 Mittenaustlauf

oder Luftstromverfahren (pneumatischer Transport) über Durchflußsichter (Stromsichter). Bild 2.43 zeigt *Becherwerkumlaufmühle* für Kreislaufverfahren mit Zwischenaustrag. Mühlen für Zwischenaustrag haben an Auslaufstelle große abgedichtete Staubhaube mit Anschluß an Entstaubung. Luftstrommühle wird in Anpassung an pneumatischen Transport nur in einer Richtung durchlaufen (Endaustrag), s. a. Bilder 2.80 und 2.83. Becherwerkumlaufmühle und Luftstrommühle erhalten für Mahltrocknung (feuchtes Aufgabegut) hinter Einlauf eine kurze Vortrockenkammer mit Hubschaufeln, ohne Mahlkörper und mit Überleitungsvorrichtung zur Vormahlkammer. In Vortrockenkammer wird Mahlgut aufgelockert und dadurch Trockenvorgang unter Einfluß zugeführter Heißgase beschleunigt. Für Mahlen ausreichend trockenen Gutes entfällt Vortrockenkammer. Feine Produkte, wie Zement, erfordern längere Mühle, damit Rücklaufmenge (Menge der Sichtergrieße) nicht zu groß wird (*Sichtorzementmühle*).

Daten. Baugrößen von Mehrkammerrohrmühlen (Durchlaufverfahren) bis $\approx 4,4 \text{ m}$ Dmr. \times 18 m Länge (Innenmaße), von Becherwerkumlauf- und Luftstrommühlen bis $\approx 4,0 \text{ m}$ Dmr. \times 12 m Länge. Masse (Anhaltswerte) s. Bild 2.44. Leistungsbedarf P und Durchsatz Q nach Gln. (2.5), S. 65, und (2.20), S. 88. Spezifischer Arbeitsbedarf W_0 stark schwankend je nach Mahlbarkeit des Gutes, an das Produkt gestellte Bedingungen, Art der Mühle usw. (s. Bild 2.2, S. 64), z. B. für Mahlen von Zement 30 ... 40 kWh/t, für Zementrohmehl 15 ... 25 kWh/t.

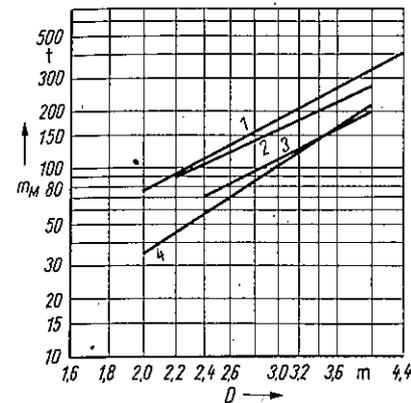


Bild 2.44
Orientierungswerte zur Masse von Rohrmühlen
(ohne Motor, Getriebe, Kupplungen, Mahlkörper)
1 Mehrkammerrohrmühle (Zentralantrieb),
 $\lambda = L/D \approx 6,0 \dots 3,5$; 2 Sichtorzementmühle
(Zentralantrieb), $\lambda \approx 4,5 \dots 3,0$; 3 Becherwerk-
umlaufmühle (Zentralantrieb), $\lambda \approx 2,7$; 4 Luftstrom-
mühle mit Vortrockenkammer und Zahnkranz-
antrieb, $\lambda \approx 2,3$ (bei größtem Typ $\lambda \approx 3,0$)

Kreislaufverfahren für gleiche Mahlgüter wie für Durchlaufverfahren hat folgende Vorteile: geringere Erwärmung des Mahlguts, geringeren Verschleiß, schnell und in weiten Grenzen durch Verstellen am Sichter zu ändernde Feinheit des Produkts, bessere Beherrschung der oberen Korngröße des Produkts, höheren Durchsatz. Durch kurzen Mahlweg und Sichtung sind Anteile feinsten Unterkorns verhältnismäßig gering. Laufende Abscheidung genügend feinen Guts entlastet Mühle. Wegfall von zuviel Feinstpolster im Mahlraum begünstigt Mahlen mehrerer Stoffe verschiedener Härte bzw. Mahlbarkeit, z. B. von Klinker und Schlacke. Auch durch verschiedene Kombinationen der Anlagen (Schaltungen) kann Kornanfall beeinflusst werden.

Für Zementrohstoffe und Klinker bevorzugt man Becherwerkumlaufmühle gegenüber Luftstrommühle, die für Ventilator verhältnismäßig großen Anteil des Gesamtleistungsbedarfs erfordert. Luftstrommühle wird viel zum Mahlen von Kohle für Zementöfen oder Kraftwerke bei pneumatischem Transport unter Inertgas benutzt. Zementindustrie fordert z. T. Durchsätze über 100 t/h für Rohmehl und Zement. Kleine Aufgabekorngrößen sind günstig (s. a. Bild 2.2, S. 64). Bei Zementmahlung ist Anlage so zu kombinieren und einzustellen, daß Körnungskennlinien der optimalen Zementqualitäten aufgrund systematischer Versuche erreicht werden. Beispiele von Anlagen (Kombinationen) s. S. 130.

2.2.2.8. Schwingmühlen

Schwingmühle zerkleinert Mahlgut durch Arbeit einer großen Anzahl von Mahlkörpern. Mahlbehälter läuft jedoch nicht um (wie bei Rohrmühle), sondern führt schnelle, annähernd kreisförmige Schwingungen kleinen Durchmessers (4 ... 12 mm) quer zur Längsachse aus und erteilt dadurch Mahlkörpern Wurf-, Reib- und Wälzbewegungen. Zugleich wird gesamte Mahlkörpermasse (entgegengesetzt der Schwingbewegung) umgewälzt. Schwingmühle kann periodisch oder kontinuierlich, im Trocken- oder Naßverfahren sowie eisenfrei mahlen. Gemeinsame Vorteile von Schwing- und Rohrmühle sind einfacher Mahlkörperaustausch, Unempfindlichkeit gegen eingedrungene Eisenteile und bei Trockenmahlung Anfall des staubförmigen Produkts in dichtem Fertigzustand. Vorteile gegenüber Rohrmühle: höherer Mahlkörperfüllungsgrad φ bis zu $\approx 0,8$ (dadurch bessere Raumaussnutzung und relativ geringe Mühlenmasse), leichtere und weitgehende Anpassung an Mahlbarkeit des Guts und an Mahlbedingungen (durch Verstellen der Amplitude oder Verändern der Drehzahl), höhere Endfeinheiten (im Durchlauf) erzielbar, leichter Austausch und mäßige Abnutzung des Schleißblechs im Mahlraum, geringe Erschütterungen von Unterbau oder Fundament infolge weicher Auflagefedern. Bei kontinuierlichem Betrieb ist Zu- und Abführung des Mahlguts sowie Staubabdichtung sehr einfach, da Mühle nicht umläuft. Kammereinteilung entsteht bei Anordnung von zwei Mahlzylindern übereinander (ohne besondere Zwischenwände). Totmahlen und Behinderung des Mahlens durch Polster feinsten Guts treten kaum ein. Daher können stetig arbeitende Schwingmühlen als Rohrschwingmühlen meist ohne Windsichtung arbeiten, wo-

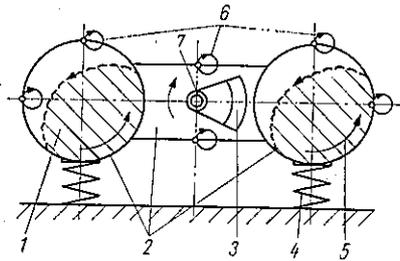


Bild 2.45
Arbeitsprinzip der Schwingmühle
1 Mahlkörpermasse; 2 Massensystem; 3 Unwuchtsystem; 4 weiche Auflagefedern (des Massensystems gegenüber Fundament); 5 Umwälzbewegung der Mahlkörpermasse; 6 Schwingkreis des Massensystems; 7 Antriebswelle

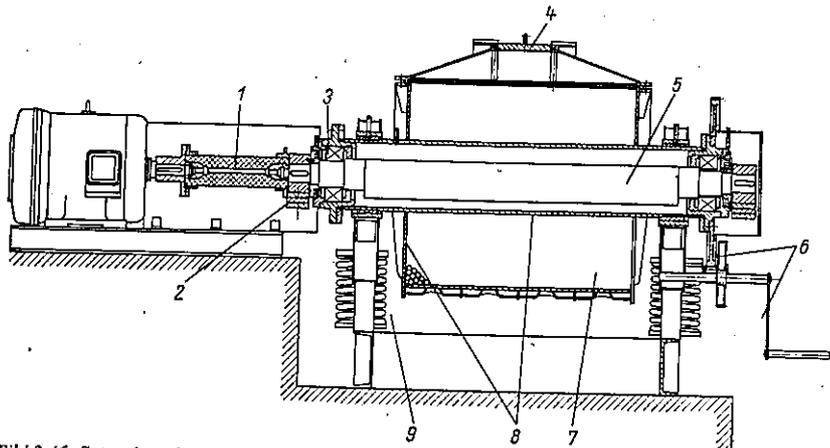


Bild 2.46. Satzweise arbeitende Schwingmühle
1 elastische Kuppelwelle; 2 Zusatzunwuchtscheibe; 3 Lager für Antriebswelle; 4 Deckel zur Füll- und Entleeröffnung; 5 Antriebswelle mit Hauptunwuchtscheibe; 6 Antrieb zum Kippen (Entleeren) des Mahlbehälters; 7 Mahlraum; 8 Mahlbehälter mit Innenrohr; 9 weiche Auflagefedern

durch baulicher Aufwand geringer wird. Nachteil gegenüber langsamlaufender Rohrmühle ist hohe Frequenz der Schwingmühle (meist 1000 oder 1500 min^{-1}). Betriebssicherheit und Dauerbetrieb erfordern daher sehr sorgfältig ausgebildeten Schwingantrieb. Schwingmühlen werden z. Z. nur in kleinen bis mittleren Größen mit entsprechend geringem Durchsatz ($\leq 2 \text{ t/h}$) gebaut. Schwingantrieb besteht hierbei aus Welle, die in Schwerpunktschwerachse des schwingenden Massensystems gelagert ist und an ihren Enden umlaufende Unwucht-

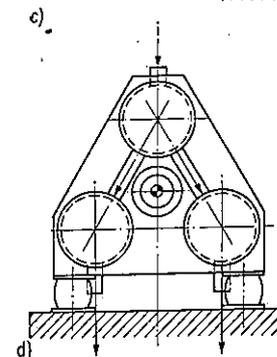
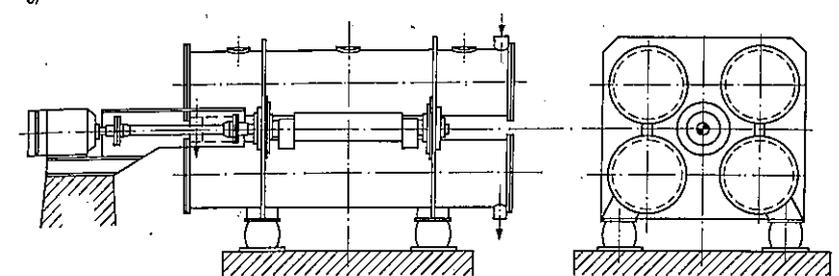
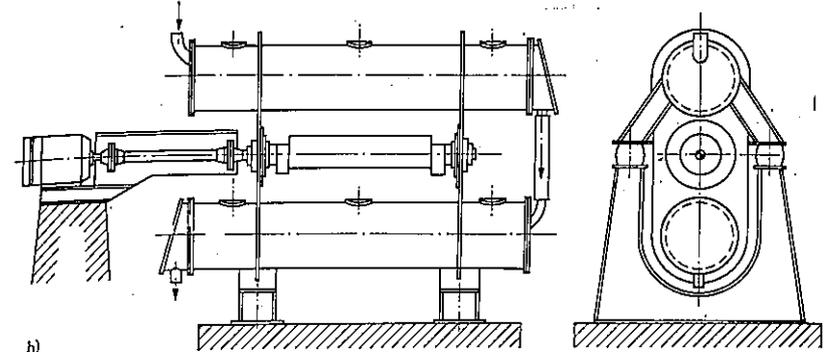
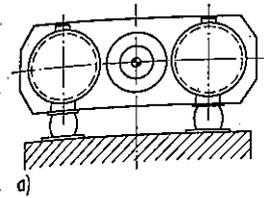


Bild 2.47
Bauweisen stetig arbeitender Rohrschwingmühlen.

Tafel 2.9. Kegelrollenwälmühle nach Bild 2.50

Baugröße		6	9	12	16	20	25
Mahlbahndurchmesser	mm	600	900	1200	1600	2000	2500
Mittlerer Leistungsbedarf	kW	26	60	130	220	400	650
Mittlerer Durchsatz bei $\approx 20\%$ $> 90 \mu\text{m}$ und für Kalkstein	t/h	1,7	4,8	11	25	55	110
Masse der Mühle	t	4,4	9,5	26	46	80	130
Masse der Anlage	t	11	22	50	85	135	210

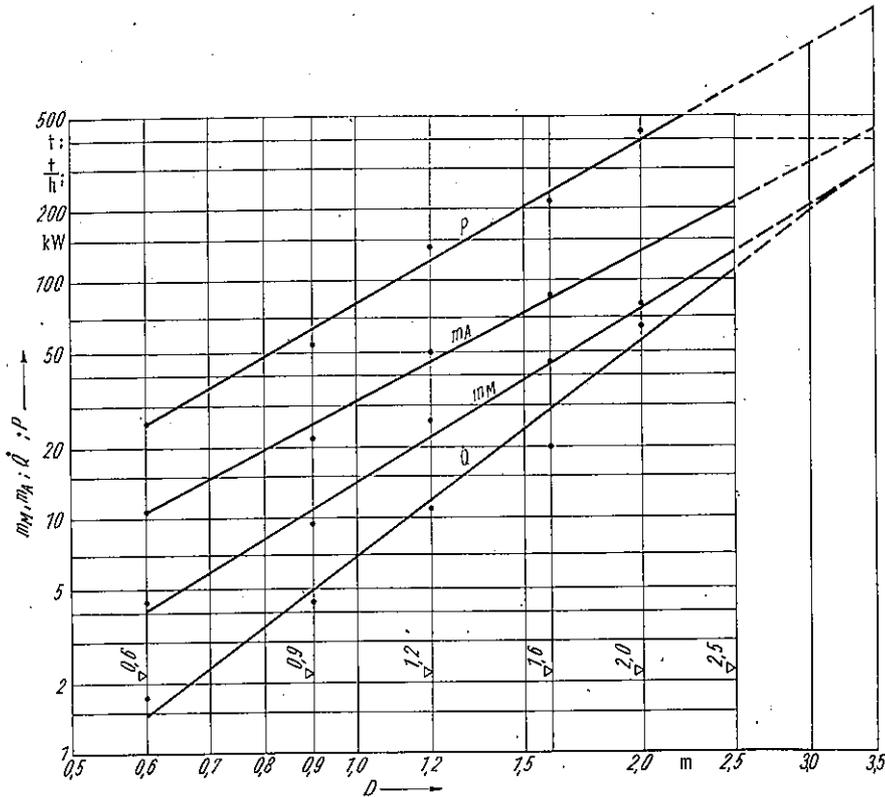


Bild 2.51. Kennlinien (Orientierungswerte) von Kegelrollenwälmühlen

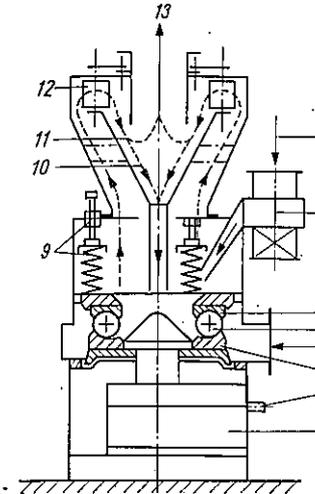
D Mahlbahndurchmesser; P Leistungsbedarf für Anlage einschließlich Mühle, Aufgeber, Sichter, Gebläse;
 Q Durchsatz für leicht mahlbares Gut und Endfeinheit $\approx 20\%$ $> 90 \mu\text{m}$, sonst nach Gl. (2.5) $Q = P/W_0$

Variante ist Wälmühle mit zwei oder drei balligen Rollen bei muldenförmig ausgenommener Mahlbahn, für größere Mahlung mit Durchsatz bis 200 t/h gebaut.

Kugelmühlmühlen (Bild 2.52). Maschine arbeitet mit großen Stahlkugeln als Wälzkörper nach Kugellagermahlprinzip. Auf oberen Ring drücken einstellbare Federn, unterer Ring wird als Mahlbahn angetrieben. Innerer Stromsichter hat im Gegensatz zur Kegelrollenwälmühle keinen Antrieb, sondern verstellbare Leitschaukeln. Fremdventilator steht vor Mühle auf Reinluftseite (Überdruckbetrieb). Mühlgelände muß daher gut abgedichtet sein. Typ EM hat Hohlkugeln bis 850 mm Dmr. Optimale Umfangsgeschwindigkeit der Mahlbahn ist $\approx 3 \text{ m/s}$. Kugeln werden gleichmäßig abgenutzt und so dimensioniert, daß ein Satz Mahlkugeln mit einem Ringsatz gleichzeitig verschleißt, wodurch Montagearbeit gespart wird. Im Mahl-

raum befinden sich keine zu schmierenden und abzudichtenden Wellen oder Gelenke. Bei größeren Mühlen kann mit erhöhter Staumdichte bis $\approx 500 \dots 700 \text{ g/m}^3$ Gas gefahren werden, wodurch Leistungsbedarf für Ventilator prozentual geringer wird. Luftwiderstand der Mühle beträgt 40 ... 60 mbar. Durchsatz bis $\approx 40 \text{ t/h}$ bei Mahlen von Steinkohle auf etwa 20% $> 90 \mu\text{m}$, dabei ist $W_0 \approx 5,0 \text{ kWh/t}$.

Anwendung als Kohlenstaubeinblasemühle zur direkten Befuerung von Industrieöfen und Kesseln, auch für Bunkerung des Kohlenstaubs (Zentralmahlanlagen). Ferner werden gemahlen: Kalkstein, Bauxit, Magnesit, Gips, Phosphat, Talkum u. dgl. Bei Mahltrocknung können Heißgase bis 600°C eingeführt werden (da Mahlraum ohne Schmierstellen). Für Stuckgips ist gleichzeitiges Brennen in Mühle möglich (Mahlbrennen).

Bild 2.52
Kugelmühlmühle

Fa. Peters, Hamburg

1 Aufgäbe; 2 Zuteiler (Schleuse); 3 oberer Mahlring (nicht drehend);
 4 Mahlkugel; 5 Gas oder Heißgas (bzw. Luft); 6 unterer Mahlring
 (angetrieben); 7 Antriebswelle; 8 Getriebe; 9 Druckfedern mit Ver-
 stellung der Vorspannung; 10 Rückführung des Überkorns;
 11 Trennzone des Sichters; 12 Regelklappen des Sichters; 13 Staub-
 Luft-Gemisch (zur Staubabscheidung oder zum Brenner)

Ringwälmühlen (Maxeconmühle, Ringmühle). Drei ballige Mahlwalzen mit horizontaler Achse laufen innerhalb des freien, etwas muldenförmig ausgenommenen Mahlringes. Obere Walze wird angetrieben. Bei neuerer Ausführung sind alle drei Walzen durch Federkraft radial gegen den Ring gepreßt. Reibanteil beim Mahlen ist gering. Meist ist Betrieb über Sieb oder Sichter im äußeren Kreislauf erforderlich; kleiner bis mittlerer Durchsatz; Aufgabekorngröße bis 30 mm.

Flichkraftwälmühlen (Flichkraftmühle). Anpreßdruck der Walzen wird durch deren Zentrifugalkraft erzeugt. Walzenmasse sowie Radius und Drehzahl der kreisenden Bewegung sind entsprechend abzustimmen. Mahlbahn nimmt Flichkraft des Walzenkörpers auf und entlastet dadurch Walzenlager. Von verschiedenen Varianten hat sich Pendelmühle mit drei senkrecht hängenden Mahlpendeln und senkrechter, ringförmiger Mahlbahn durchgesetzt (Bild 2.53). Mahlpendel werden von unten durch senkrechte Antriebswelle und über Mitnehmerstück in kreisende Bewegung versetzt. Dabei wälzen sich unten an den Pendeln gelagerte Mahlwalzen auf Mahlring bzw. Mahlgut ab. Innerer Stromsichter ist ohne Antrieb und hat ringförmig angeordnete Regelklappen. Grieße werden über Klappen auf Mahlbahn zurückgeleitet. Reibanteil beim Mahlen ist relativ gering. Pendelmühlen werden bis zu $\approx 35 \text{ t/h}$ Durchsatz gebaut und vermählen ähnliche, meist mittelharte Stoffe wie vorgenannte Wälmühlen, u. a. Dolomit, Phosphat, Kalkstein, Schwespat, Schwefel, Rohgips.

Kollergänge arbeiten mit Antrieb auf Koller oder Mahlteller; periodisch oder kontinuierlich; im Naß- oder Trockenverfahren. Schwerkraft der Koller (sowie Kreiselwirkung bei rundumschwenkender Kollerachse) erzeugt Anpreßdruck, der hier nicht ohne weiteres zu verändern ist. Koller können nach oben ausweichen, z.B. durch Lenkerführung (Schleppkurbeln). Zylinderform der Koller bewirkt gewollten Reibanteil beim Mahlen. Kollergang ist für reine

2.2.2.10. Sonstige Mühlen

Mühlenarten mit Scher- und Reibwirkung (z.B. *Mahlgänge, Glockenmühlen, Zahnscheibenmühlen*), hauptsächlich für Weichzerkleinerung, kaum für Aufbereitung von Mineralien und ähnlichen Rohstoffen.

Bei *Rührwerkmühlen* dreht sich senkrechte Welle mit Rührarmen innerhalb feststehenden Mahlbehälters, der kleine Mahlkörper, Mahlgut und bei Naßmahlung Flüssigkeit enthält. Bei periodisch arbeitender Mühle werden Mahlkugeln aus Stahl oder Porzellan oder Flintsteine von 10 ... 12 mm Größe benutzt bei 70 bis 110 U/min der Rührwelle. Mahlbehälterinhalt z. Z. bis 0,6 m³. Rohrleitung und Pumpe außerhalb des Behälters dienen der Umwälzung der Suspension und der Entleerung.

Sandmühle hat als Mahlkörper kugelförmige Körner, z.B. aus Quarz oder Porzellan von nur 0,4 ... 1,5 mm Durchmesser. Bei kontinuierlichem Betrieb wird Suspension unten eingepumpt, Produkt fließt oben über feines Sieb ab. Drehzahl 500 U/min entspricht 8 m/s mittlerer Umfangsgeschwindigkeit der Rührarme. Rührwerkmühlen dispergieren und mahlen bei kleinem Durchsatz vorgemahlenes Aufgabegut auf Endfeinheit von wenigen Mikrometern. Anstelle der Rührarme werden auch gelochte Scheiben benutzt.

2.2.3. Selektives und differentielles Zerkleinern

Aufschließen miteinander verwachsener Stoffe zur Vorbereitung nachfolgender Sortiervorgänge erfordert selektive Zerkleinern, weil Erfolg der Sortierung davon abhängt. Stücke müssen entlang ihrer Verwachsungsflächen aufgespalten werden, was bei fester Verbindung oft schwierig ist. Je nach Feinheit der Verwachsung ist grobes oder feines Zerkleinern notwendig. Bewährt für Aufschließen hat sich Prallverfahren, mitunter bei Hintereinanderschaltung mehrerer Maschinen. Bei harten Stoffen, für die Prallverfahren wegen Verschleißes nicht geeignet ist, muß mit anderen Zerkleinerungsmaschinen vorsichtig, d.h. bei nicht zu großem Zerkleinerungsgrad je Maschine und stufenweise, erforderlichenfalls im Kreislauf zerkleinert werden. Im allgemeinen ist Schlagwirkung vorteilhaft. Im Grobbereich dienen hierzu, nach Vorzerkleinerung in Backen- oder Kegelschneidern, z.B. Flachkegel- oder Schlagbrecher. Im Feinkornbereich werden harte, verwachsene Stoffe meist in Trommel- oder Stabmühlen im Kreislauf mit Klassiermaschinen selektiv zerkleinert, z.B. für Aufschließen fein verwachsener Erze zur Vorbereitung der Flotation oder der Naßmagnetscheidung oder einer nassen feinkörnigen Dichtesortierung (s.z.B. S. 131, Bild 2.79).

Bei differentieller Zerkleinerung werden miteinander verwachsene oder vermengte Stoffe verschiedener Mahlbarkeit auf unterschiedliche Feinheiten, besonders durch Prall, zerkleinert. Bei günstigen Bedingungen für differentielle Zerkleinerung ist oft nachfolgendes Sortieren lediglich durch Klassieren möglich. Spezialgeräte für kombinierte differentielle Zerkleinerung und Siebklassierung sind z.B. Trommelsiebbrecher und Bergscheider (s.S. 161).

2.2.4. Autogenes Mahlen

Weiterentwicklung des autogenen Zerkleinerns Gut gegen Gut zur Verminderung des Stahlverschleißes, besonders beim Feinmahlen, ist wichtige Aufgabe. In einem Industrierwerk geht bei 1000 t Tagesdurchsatz mit 1% Verschleiß täglich 1 t Stahl verloren. Teilaugene Zerkleinerung wird als Brockenmahlung (Brocken des Mahlguts anstelle von Mahlkörpern) in Trommel- oder Rohrmühlen mit Rostaustrag und im Kreislauf über Klassiergerät durchgeführt. Das setzt i.allg. Vorzerkleinerung des Aufgabeguts in Brechern voraus sowie Klassierung in Mahlbrocken und feineres, zu zerkleinerndes Gut. Füllungsgrad in Mühle ist bei Brocken höher als bei Stahlmahlkörpern. Falls erforderlich, wird kleiner Anteil Stahlmahlkörper zugesetzt. Spezialgeräte für autogenes Mahlen sind Trommelmühlen großen Durchmessers (bis 9 m) bei relativ geringer Breite ($\lambda = L/D < 1$). Durch größere Fallhöhe wird kleinere Dichte der Brocken gegenüber Stahlmahlkörpern ausgeglichen. *Aerofallmühlen*

(Trockenverfahren) haben Hub- und Leiteinbauten im Innern; *Kaskadenmühlen* (Trocken- und Naßverfahren) haben kegliche Stirnwände. Notwendig ist Mahlen im Kreislauf über Siebmaschine, Windsichter oder Naßklassierer, je nach Bedingungen und verlangter Feinheit des Endprodukts. Feuchtes Gut erfordert Mahltrocknung oder Naßmahlung.

Daten der Hardinge-Loesche-Kaskadenmühle: lichter Durchmesser bis 9,0 m; hierbei $\dot{Q} \approx 85$ t/h, P bis 3400 kW, Aufgabestücke bis 100 mm.

Vollkommen autogenes Zerkleinern ist praktisch kaum möglich, da große Stücke zunächst in Brechern üblicher Art zerkleinert werden müssen und Mühlenpanzerung meist aus Stahl besteht. Ferner haben Klassier- und Fördergeräte Stahlverschleiß.

Autogene Anlagen mahlen z.B. Kalkstein, Baryt, Quarzit, Sandstein, Fluorit. Naßverfahren hat sich bewährt für Mahlen von Erzen im Kreislauf über Naßklassierer oder Hydrozyklon zur Vorbereitung für Flotation.

Eignung kontinuierlich arbeitender Rohrschwingmühlen für autogenes Mahlen bedarf der Untersuchung. Außer Vergrößerung des Zylinderdurchmessers kann hierbei ω^2 gesteigert werden, um Schlagwirkung der Mahlbrocken geringer Dichte zu erhöhen. Bei autogenem Mahlen muß auch Rohrschwingmühle im Kreislauf arbeiten.

2.3. Siebklassieren

Gekörn wird gemäß Spalt- oder Maschenweite der Siebe unmittelbar nach geometrischen Abmessungen getrennt. Zur Erzeugung mehrerer Kornklassen werden Siebe entweder übereinander (Aufgabe zuerst auf größtes Sieb) oder hintereinander angeordnet (Aufgabe zuerst auf feinstes Sieb). Trockenverfahren ist häufiger als Naßverfahren, bei dem Sieb überbraust wird oder vollständig unter Wasser arbeitet. Aufgabegut kann beim Naßsieben zugleich geläutert werden (s. S. 163). Man wendet Siebklassierung wegen guter Trennschärfe bevorzugt an, d.h. für industrielle Verfahren bis 1,0 ... 0,5 mm Maschenweite, in Sonderfällen auch darunter. Unter 0,5 mm Maschenweite werden jedoch erforderliche Siebflächen sehr groß, weil Durchsatz je m² Siebfläche mit kleiner werdender Maschenweite stark abfällt. Feine Siebbeläge verschleifen schnell. Man muß dann zu Spezialsiebmaschinen (s.S. 117), vor allem aber zu den indirekten Verfahren der Stromklassierung übergehen (s.S. 118).

2.3.1. Schwingsiebmaschinen

2.3.1.1. Grundlagen

Man teilt Schwingsiebmaschinen ein nach Form und Richtung der Schwingung: Kreisschwinger (K), Ellipsenschwinger (E), Geradschwinger, annähernd geradlinig, schräg zur Siebebene schwingend (G), Belagschwinger, bei denen nur Siebbelag etwa vertikal zu seiner Ebene schwingt (B), Planschwinger mit Schwingform parallel zur Siebebene (P);

nach Schwingweise im Verhältnis zur Resonanz: überkritisch, Masse gegen Auflagefedern (\bar{u}), in Resonanz oder Resonanznähe, Masse gegen Masse über Resonanzfedern (R), unterkritisch oder ohne besondere Schwingfedern (\bar{u});

nach Antriebsart: starr, durch Exzenter oder Kurbel angetrieben (st), elastisch, durch Unwucht, über Federkraft oder elektromagnetisch angetrieben (el).

Viele Kombinationen sind hiernach möglich, zum großen Teil auch ausgeführt. Es bedeutet z.B. K- \bar{u} -el kreisförmig und überkritisch schwingend, elastisch angetrieben; G-R-el geradlinig, schräg zur Siebebene und in Resonanz schwingend, elastisch angetrieben.

Typen mit Schwingungsformen K, E, G und B sind Wurfschwingsiebmaschinen, Typen P da gegen Gleit- oder Planschwingsiebmaschinen.

Zum Sieben harter Stoffe eignen sich Wurfsiebmaschinen besser. Sie haben geringeren Verschleiß. Dagegen kommen Plansiebmaschinen, bei denen Gut auf Siebboden keine Wurf-

sondern Rutschbewegung ausführt, für weichere Stoffe in Betracht, die schonend zu behandeln sind (z. B. bei Saatgutreinigung). Bei Plansiebmaschinen sind siebwerkende Kräfte, d. h. Kraftkomponenten senkrecht zum Siebboden, geringer.

Für Aufstellung eines Gütegrads der Siebung η_s wird meist vereinfachend angenommen, daß bei einwandfreiem Siebbelag kein echtes Überkorn im Durchgang ist (abgesehen also von länglichen Stücken). Nimmt man ferner den Durchgang als Wertkomponente an, so wird bei der allgemeinen Formel für Wertstoffausbringen, s. Gl. (2.58), S. 146, der Wertstoffanteil $x = 1$, und es folgt

$$\eta_s = \frac{a - y}{a(1 - y)}; \quad (2.29)$$

a Unterkornanteil des Aufgabeguts,

y Unterkornanteil des Überlaufs (Unterkorn als Wertstoff angenommen, s. a. Bild 2.96, S. 145).

Wichtige Parameter für Bau, Betriebsweise, Gütegrad und Durchsatz einer Schwingsiebmaschine sind Maschenweite, Art, Länge und Breite des Siebbelags; $r\omega^2$ bei Abstimmung von Amplitude gegen Schwingzahl, Neigungs- und Wurfwinkel; Eigenschaften des Siebguts (Dichte, Kornformen, Kornzusammensetzung, Feuchte, Beimengungen usw.). Man arbeitet mit der für Schwingmaschinen wichtigen Maschinenkennziffer

$$\kappa = \frac{r\omega^2}{g} = \frac{r}{9,81} \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 = \frac{rn^2}{895} \frac{K}{-} \left| \frac{r}{m} \right| \left| \frac{\omega}{s^{-1}} \right| \left| \frac{g}{m/s^2} \right| \left| \frac{n}{U/min} \right| \quad (2.30)$$

und der Siebkennziffer

$$K_v = \frac{\kappa \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}; \quad (2.31)$$

α Wurfwinkel,

β Neigungswinkel des Siebbodens gegen Horizontale.

K_v gibt Aufschluß über Zusammenwirken von Wurf- und Schwingbewegung. Optimalwerte der Parameter für Durchsatz \dot{Q} und Gütegrad η_s werden am besten durch Versuchsreihen gefunden. Grundsätzlich werden mit zunehmender Maschenweite w bei Schwingsieben Hübe h größer und Schwingzahlen n kleiner. $r\omega^2$ beträgt für überkritisch schwingende Wurfsiebmaschinen (4...6) g bei 1000...3000 U/min, bei Resonanzsiebmaschinen (4...5) g bei ≈ 1000 U/min. Unterkritisch schwingende Siebmaschinen arbeiten mit geringerer Beschleunigung und Schwingzahl. Sieblänge ist mit Rücksicht auf η_s und Schütthöhe zu wählen. Steigen Schütthöhe und Neigungswinkel, so erhöht sich Durchsatz, wogegen η_s absinkt, was Kompromisse erfordert. Mehrdeckersiebmaschinen bringen betriebliche Vereinfachung (weniger Maschinen), jedoch nicht optimale Parameter für jede Maschenweite. Unterschiede in Maschenweiten innerhalb einer Maschine sollen daher nicht groß sein.

Schwierig zu sieben ist feuchtes Gut, ferner Siebgut mit Beimengungen von Lehm, Ton u. dgl. oder erhöhtem Anteil von Korngrößen nahe der Maschenweite. Dafür werden u. a. verwendet Roste mit trapezförmigem Querschnitt der Stäbe (Erweiterung des Spaltes nach unten), Roste mit gegeneinander bewegten Stäben, Siebgewebe mit Eigenschwingungen der Drähte (wie Harfengewebe, Duosiebroste), Klopfvorrichtungen, Wärme bei feuchtem Gut (Bestrahlung, elektrische Beheizung der Siebdrähte) oder Naßsiebung.

Siebböden müssen innerhalb des Siebrahmens fest eingespannt, aber auch einfach auswechselbar sein. Bei ausreichend biegesteifem Siebbelag hat sich Befestigung durch Holzkeile bewährt, evtl. in Mitte abgestützt und an Querstäben des Rahmens verschraubt. Leicht biegsame Beläge (mit feiner Maschenweite) werden durch Spannvorrichtungen über etwas nach oben gewölbtem Gitter des Grundrahmens verspannt. Bild 2.55 zeigt verschiedene Befestigungsarten.

In Entwicklung sind auch Siebmaschinen mit Siebböden aus Gummi und Plasten. Schwingende Rahmen sind steif auszubilden, wobei auf möglichst geringe Einschränkung der offenen Siebfläche zu achten ist. Beim Zusammenbau werden Niet- und Schraubverbindungen bevorzugt. Schweißverbindungen neigen bei hohen Frequenzen zum Bruch. Bei Trockenverfahren und

staubendem Gut sind Staubhaube mit Absaugung, bei Naßverfahren Wasserfangkasten und Spritzschutz zweckmäßig.

Als Durchsatz bezeichnet man Siebgutmenge \dot{Q} , die einer Schwingsiebmaschine aufgegeben werden kann. Seine exakte Berechnung ist wegen zahlreicher Einflußgrößen (bauliche, betriebliche, Siebguteigenschaften) kaum möglich. Stärksten Einfluß hat Maschenweite w . Angeähert gilt für den auf 1 m² bezogenen Durchsatz \dot{Q}_0 die Beziehung

$$\dot{Q}_0 = K w^b \frac{\dot{Q}}{m^3/m^2h} \left| \frac{w}{mm} \right| \left| \frac{K; b}{-} \right|; \quad (2.32)$$

Exponent b meist 0,5...0,7, seltener bis 1,0.

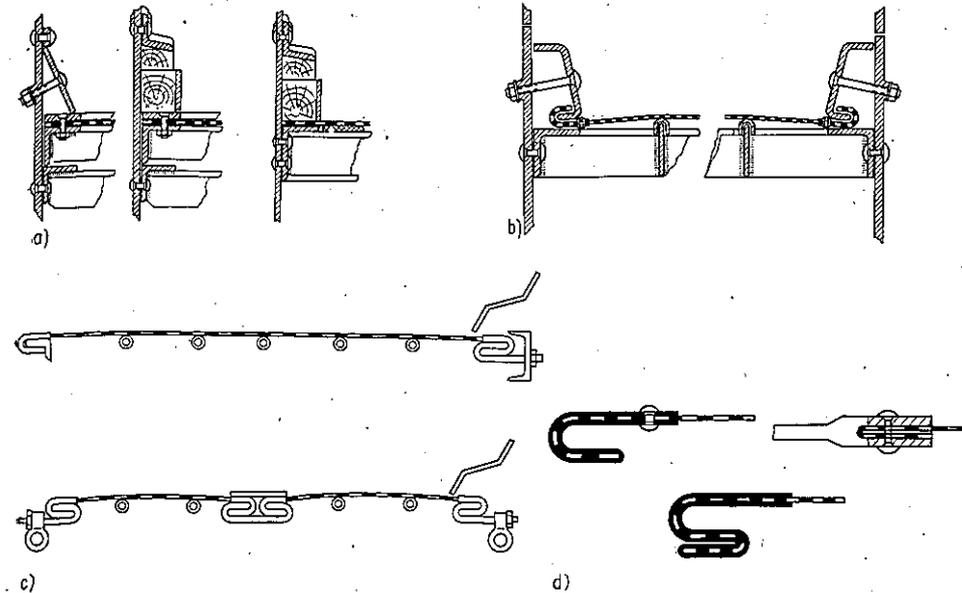


Bild 2.55. Befestigungsarten von Siebbelägen

a) Klemmleiste oder Holzverkeilung; b) mit Spannfaseln, quer gespannt; c) mit Spannfaseln und Spannschrauben, längs gespannt; d) Spannfaseln, Flachstahleinfassung

Faustformel nach Staudacher $\dot{Q}_0 \approx w$, d. h. 1 m³/m² h bei 1 mm Maschenweite, gibt nur groben Anhalt in begrenztem Bereich.

Man benutzt oft noch zusätzliche Korrekturfaktoren für Anteil im Aufgabegut $< w$ und $< w/2$, ferner für Feuchte, Gütegrad usw. Jedoch sind solche Berechnungen unsicher. Praktisch ist zu empfehlen, Kurven \dot{Q}_0 über w für verschiedene (vorgenannte) Parameter durch systematische Versuche aufzustellen, um sich über Auslegung der Maschinengröße zu orientieren (ähnlich wie beim spezifischen Arbeitsbedarf der Zerkleinerung, s. S. 64). Soweit Exponentialgleichung für \dot{Q}_0 zutrifft, ergeben sich im logarithmischen Netz Gerade für \dot{Q}_0 über w (Bild 2.56).

Erforderliche gesamte Siebfläche wird $A = \dot{Q}/\dot{Q}_0$. P basiert auf Erfahrungswerten, da rechnerisch schwer zu erfassen. P_0 beträgt für überkritischen Betrieb 1,5...2,5 kW/m² Siebfläche, bei Resonanz nur $\approx 0,8$ kW/m².

Aufgaben für weitere Entwicklung der Schwingsiebmaschinen sind u. a.: Steigerung von \dot{Q}_0 , bessere Beherrschung siebschwierigen Guts, Siebung bei noch feineren Kornschneiden (Trenngrenzen) als bisher sowie konstruktive Verbesserungen.

mit dem Drehmoment $F_1 r$ bzw. $Z_u r_u$. φ ist erfahrungsgemäß so klein, daß Unwuchtmasse, die zur Erzeugung der maximalen Amplitude r erforderlich wird, angenähert aus Gleichsetzung der Fliehkräfte bestimmt werden kann:

$$m_u \approx \frac{m_s r}{R - r} \quad (2.33)$$

Wenn ferner r klein ist gegenüber Schwerpunktradius R der Unwuchtmasse, so gilt in weiterer Annäherung

$$m_u \approx \frac{m_s r}{R} \quad (2.34)$$

Bei gewählten Werten für n und $r\omega^2 = \kappa g$ beträgt die in den Gln.(2.33) und (2.34) einzusetzende Amplitude nach Gl.(2.26), S.99:

$$r = \frac{895 \kappa}{n^2} \frac{r}{m} \left| \frac{n}{\text{U/min}} \right.$$

Unwucht soll reichlichen Zuschlag erhalten, um Reserve zu haben. Bei vorgesehener Verstellbarkeit kann Wirkung nach Bedarf vermindert werden.

Für Beanspruchung von Lagern und Welle ist Fliehkraft Z_u der Unwucht maßgebend

$$Z_u = \sqrt{Z^2 + F_1^2} \approx Z; \quad (2.35)$$

$Z = m_s r \omega^2 = \kappa g m_s$ Fliehkraft des schwingenden Massensystems in N,

$$F_1 = \frac{1000 P \cdot 30}{\pi n} = \frac{9550 P}{n} \text{ durch Leistungsbedarf } P \text{ in kW bedingte Umfangskraft in N.}$$

Bei zwei Lagern kommt auf jedes Lager $F_L = Z_u/2 \approx Z/2$. Eigenschwingungszahl des Massensystems gegenüber Auflagefedern ist

$$\omega_e = \sqrt{\frac{c}{m_s}} = \sqrt{\frac{m_s g}{f m_s}} = \sqrt{\frac{g}{f}} \frac{\omega}{\text{s}^{-1}} \left| \frac{c}{\text{N/m}} \right| \left| \frac{m}{\text{kg}} \right| \left| \frac{g}{\text{m/s}^2} \right| \left| \frac{f}{\text{m}} \right|, \quad (2.36a)$$

somit kritische Drehzahl bei Auflagefedern aus Stahl

$$n_e = 9,55 \sqrt{\frac{g}{f}} = \sqrt{\frac{895}{f}} \frac{n}{\text{U/min}} \left| \frac{g}{\text{m/s}^2} \right| \left| \frac{f}{\text{m}} \right|; \quad (2.36b)$$

g Erdbeschleunigung,
 f Zusammendrückung der Federn.

Damit n_e nicht zu hoch wird, muß f ausreichend groß sein, z. B. $f = 40$ mm mit $n_e = 150$ U/min. Auch Gummi ist für Auflagefedern sehr gut geeignet, namentlich bei großen schwingenden Massen. Erforderlich ist schnellelastische Qualität des Gummis mit 3 ... 5% Dämpfung und 50 ... 55° Shorehärte. Mit Schwerkraft G_1 belastete Gummifläche des einzelnen Puffers wird

$$A_1 = G_1/\sigma \quad (2.37)$$

und unbelastete Höhe

$$H = fE/\sigma \quad (2.38)$$

Höhe des belasteten Puffers somit $H' = H - f$.

Zulässiger Wert für σ sinkt mit steigender Schwingzahl und ist wesentlich geringer als bei statischer Belastung. Elastizitätsmodul E ist Funktion von Shorehärte und Formfaktor k (= einfache belastete Fläche/freie Fläche).

Für zylindrischen Gummipuffer mit innerer Bohrung, Maße $D/d \times H$, ist Formfaktor

$$k = \frac{D - d}{4H} \quad (2.39)$$

Elastizitätsmodul schwankt stark. Bei schnell-schwingenden Gummifedern wird dynamische Federkonstante c_{dyn} größer als statische. Demnach wird Eigenschwingungszahl des Systems bei Gummifedern

$$n_{e \text{ dyn}} = 9,55 \sqrt{\frac{c_{dyn}}{m_s}} \frac{n}{\text{U/min}} \left| \frac{c}{\text{N/m}} \right| \left| \frac{m}{\text{kg}} \right|. \quad (2.40)$$

Oft werden auf Schub beanspruchte Gummifedern (Schubgummi) in Schwingmaschinen benutzt. Gummifläche, durch Schwerkraft G_1 auf Schub belastet; ist

$$A_1 = G_1/\tau \quad (2.41)$$

und unbelastete Höhe bzw. Dicke

$$H = fG/\tau \quad (2.42)$$

Zulässige Schubbeanspruchung $\tau < \sigma$ ($\approx \sigma/5$) vermindert sich ebenfalls mit zunehmender Frequenz. Gleitmodul G steigt mit Shorehärte und fällt mit Druckvorspannung, unter der Schubgummi eingebaut wird. Meist liegt Gleitmodul zwischen 0,6 und 0,7 N/mm² und ist wesentlich geringer und weniger veränderlich als Elastizitätsmodul.

2.3.1.3. Ellipsenschwinger

Unterkritisch, starrer Antrieb, Typ E-u-st (Langsamläufer). Siebkasten kann am Einlauf durch Lenker auf Grundrahmen abgestützt und am Auslaufende unmittelbar durch Exzenterwelle angetrieben sein oder umgekehrt. Form der Ellipsen ändert sich dabei vom Einlauf zum Auslauf. Wegen unvollkommenen Massenausgleichs ist $r\omega^2 < (2 \dots 2,5) g$; $n \approx 400$ U/min; Hub dementsprechend groß. Maschine wird vor allem für grobe Absiebung bei Aufgabe großer Brocken benutzt, u. a. als Aufgeber für Brecher, die von genügend kleinen Stücken entlastet werden sollen.

Überkritisch, elastischer Antrieb, Typ E-ü-el. Elliptisches Schwingen wird durch Überlagerung kreisförmiger und gerader Schwingungen erzielt. Siebrahmen enthält z. B. Unwuchtantrieb und ist durch Lenker gegenüber zweiter Masse (Grundrahmen) geführt und federnd abgestützt. Grundrahmen schwingt auf weichen Federn gegen Fundament.

2.3.1.4. Geradschwinger

Unterkritisch, starrer Antrieb, Typ G-u-st. Beim schweren Stückgutabscheider mit starkem Rost zur Grobabsiebung wird Rostkasten durch schräge Lenker geführt (stehend oder hängend) und von Kurbel- oder Exzenterwelle aus über Pleuelstange angetrieben. Sehr schwach gekrümmte Bogenbewegung der Schwingung gilt praktisch als Gerade. Wegen großer schwingender Masse und nur teilweise möglichen Massenausgleichs ist $r\omega^2$ nur $\approx 2g$. Andere Ausführung hat starke Roste mit zwei ineinandergreifenden Stabsystemen, die versetzt gegeneinanderschwingen und sich dadurch bei etwas feuchtem Gut besser freiarbeiten.

Überkritisch, elastischer Antrieb, Typ G-ü-el. Häufig ist Schwingungserregung durch elektromagnetischen Vibrator mit Krafrichtung entsprechend dem Wurfwinkel. Siebkasten wird meist durch schräge Lenker geführt und weich abgededert. Entweder ist kompletter Vibrator am Siebkasten befestigt oder nur der Anker, das Magnetsystem jedoch an Grundplatte. Geräte dienen z. B. der Feinabsiebung bei Schwingungsfrequenz 3000 oder 6000 min⁻¹. Sehr starke Magneterreger, z. B. für Schwingabzüge mit Rost unter Bunker, eignen sich für großen Durchsatz.

Resonanz, elastischer Antrieb, Typ G-R-el. Resonanzschwingsiebmaschine (Bilder 2.60, 2.61). Zwei Massensysteme schwingen über Federn annähernd in Resonanz gegeneinander, so daß Antriebsteile (Lager, Welle) weitgehend von Fliehkräften entlastet sind. Zur Elastizität des Antriebs dienen meist vorgespannte Koppelfedern innerhalb der Schubstange, die somit in sich federnd nachgeben kann. Bei Schwingsiebmaschinen, besonders bei großen Bautypen, ist Resonanz vorteilhaft, weil Massenkräfte sehr viel höher sind als am Antrieb auftretende Nutz- bzw. Dämpfungskräfte. In Anbetracht zahlreicher Ausführungsmöglichkeiten ist Entscheidung

über optimale Konstruktion nicht einfach. Solche Varianten sind z.B. Kopfantrieb oder mittlerer Seitenantrieb an beiden Seiten; zwei Massen als Nutmassen, d.h. zwei Siebkästen oder eine Nutz- und eine Gegenmasse; Verhältnis von Gegenmasse zu Nutzmasse (ausgeführt bis $\approx 4:1$); Anordnung der Massen übereinander oder Gegenmasse rahmenartig um den Siebkasten; Resonanzfedern als Druckgummi oder Schubgummi wirken über gesamten Hub oder nur gegen Hubende (als Resonanzfreischwinger); Lenkerführungen (oder entsprechende Elemente) unmittelbar zwischen den zwei Massen, wobei Gesamtsystem auf weichen Auflagefedern ruht, oder gesonderte Führung und Abstützung der zwei Massen gegenüber fundamenterfestem Grundrahmen. Weitere Fragen sind z.B. die des zweckmäßigen Wurfwinkels und seiner Verstellmöglichkeit.

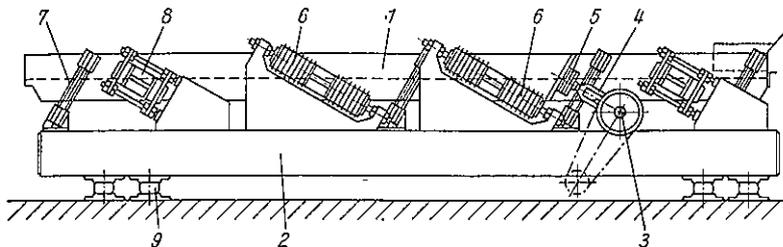


Bild 2.60. Resonanzschwingsiebmaschine

1 Siebkastenmasse; 2 Gegenmasse; 3 Antriebswelle mit Exzenter; 4 Pleuelstange; 5 weiche Koppelfedern; 6 Resonanzpuffer; 7 Lenker; 8 Hubbegrenzung; 9 weiche Stützfedern

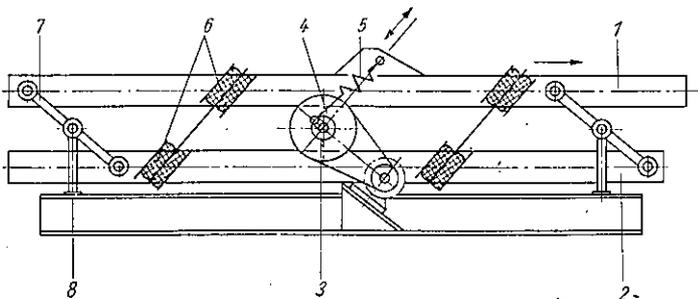


Bild 2.61. Resonanzschwingsiebmaschine

1 Siebkastenmasse; 2 zweite Siebkasten- bzw. Gegenmasse; 3 Antriebswelle mit Exzenter; 4 Pleuelstange; 5 weiche Koppelfedern; 6 Resonanzpuffer; 7 Lenker als Doppelhebel; 8 Lagerböcke auf Fundament

Um Amplituden möglichst wenig empfindlich gegen Belastungsschwankungen zu machen, werden Anlaufpuffer (Kugelkalotten) benutzt. Federkonstante steigt dann gegen Hubende steil an. Verstellen der Anlaufpuffer verändert Siebhub. Amplituden werden beständiger, wenn etwas außerhalb (zweckmäßig unterhalb) der Resonanz gefahren wird. Federn entlasten den Antrieb dann noch immer zu hohem Prozentsatz. Konstante Amplitude wäre zu erreichen durch Resonanz in Verbindung mit starrem Antrieb, also nach Typ G-R-st. Dies bedarf der konstruktiven Entwicklung, namentlich bezüglich des Anlaufvorgangs und Entlastung der Lager vom Druck der Resonanzfedern bei Stillstand der Maschine.

Wegen Transportwirkung des schräg aufwärts gerichteten geraden Schwinghubs ist Siebboden von Resonanzschwingsiebmaschinen meist horizontal oder nur schwach fallend; Wurfwinkel $\approx 35^\circ$, mitunter 45° . Siebkasten ist sehr steif auszubilden, s. S.108

Druckgummiresonanzfedern bestehen aus mehreren flachen, etwa 40 mm dicken Kreisscheiben unter Zwischenschaltung anvulkanisierter Kühlbleche. Vorspannung ist so groß auszuführen,

daß Gummi im Betrieb bei größter Amplitude nicht drucklos wird. Änderung der Vorspannung beeinflusst etwas die Amplitude bei Druckgummifedern.

Schubgummiresonanzfedern (meist rechteckigen Querschnitts) sind in Schubrichtung nicht vorgespannt, d.h., Beanspruchung ist $\pm \tau$. Jedoch werden Schubgummis zwecks einwandfreien Arbeitens unter Druckvorspannung eingebaut. Schubgummiresonanzfedern wirken als Arbeitsfedern gegen Massenkräfte und dienen zur Führung der Massensysteme in Schubrichtung und zur Abstützung.

Antrieb nach Bild 2.60 ist Kompromiß zwischen Kopf- und Mittenantrieb. Untere Gegenmasse nicht durch Lenker geführt. Resonanzpuffer wirken über gesamten Hub (ohne Luftspalt). Nach Bild 2.61 schwingen zwei gleich große Nutmassen (Siebkästen) gegeneinander und werden durch Doppelhebeln geführt, die in Gummisilentblöcken gelagert sind. Resonanz- und Koppelfedern haben Schubgummi. Grundrahmen braucht infolge des Massenausgleichs nur verhältnismäßig leichte Unterstützungskonstruktion.

Berechnung. Infolge geringen Einflusses der Dämpfung auf Resonanzfrequenz wird kritische Winkelgeschwindigkeit

$$\omega_{\text{krit}} = \sqrt{c/m_s}$$

Erforderliche dynamische Federkonstante bei Gummiresonanzfedern ergibt sich bei zwei gegeneinander schwingenden Massensystemen zu

$$c_{\text{dyn}} \approx \frac{m_1 m_2 \omega_{\text{krit}}^2}{m_1 + m_2} \approx \frac{m_1 m_2 n_{\text{krit}}^2}{(m_1 + m_2) \cdot 91}; \quad (2.43)$$

n_{krit} gewählte Resonanzdrehzahl.

Da bei Druckgummi je zwei Federn gegeneinander gespannt sind, hat Einzelfeder halbe Federkonstante. Qualität und Daten des Gummis und Berechnung der weichen Auflagefedern s. S.112 sowie Band I/II. Gummi erwärmt sich im Dauerbetrieb bei weichen Auflagefedern nur gering. Diese können daher aus einem Stück bestehen. Resonanzgummifedern erwärmen sich stärker, da sie hohe Energie in schneller Folge aufnehmen und abgeben müssen.

Höchstzulässige Temperatur bei hier erforderlicher Gummiqualität ist 60°C , anzustreben $< 50^\circ\text{C}$.

Bei Resonanz besteht Gleichgewicht zwischen Erreger- und Dämpfungsarbeit. Dämpfungsarbeit ist Summe von Nutz- und Verlustarbeit und entspricht somit Leistungsbedarf. Aus dieser Bedingung folgen Federkonstante und Abmessungen der Koppelfeder, die aus Antriebsleistung bedingte Kräfte und Arbeiten übertragen muß. Im allgemeinen eilt Bewegung der Schubstange (bezogen auf Kurbelkreis) der Schwingbewegung des Siebkastens um etwa 60° voraus.

Daten zu Resonanzschwingsiebmaschinen. Breite der Siebfläche zwischen 1000 und 2000 mm; Verhältnis Länge/Breite des Belags zwischen 3 und 8; Masse bis ≈ 15 t; Kennlinien siehe Bild 2.56.

Resonanzfreischwinger des VEB Zemag, Zeitz, haben 1000, 1250, 1600 und 2000 mm Breite. Nach Bedarf können zu jeder Breite vier Längen durch Zusammensetzen von zwei bis fünf Siebkästen gebildet werden (Baukastenprinzip). Bei 1600 mm Länge des einzelnen Siebkastens ergibt sich 3200, 4800, 6400 und 8000 mm Gesamtlänge.

Anwendung vor allem für hohen Durchsatz, d.h. für Geräte mit großen schwingenden Massen, und dort, wo Neigung des Siebs unerwünscht ist. Maschinen können mit sehr verschiedenen Siebböden und Maschenweiten arbeiten.

2.3.1.5. Belagschwinger

Da nur Siebbelag schwingt (senkrecht zu seiner Fläche), sind Massenkräfte gering. Schwingungserreger sind meist mehrere Elektromagnete. Neigung ist veränderbar und steil, Länge des Siebs relativ gering. Je nach Größe der Neigung werden Kornscheidern $<$ Maschenweite erzielt. Intensive Siebwirkung ergibt hohen Q_0 -Wert. Optimale Betriebsbedingungen erhält man durch Einregulieren der Amplitude, durch Einstellen der Neigung und durch Wahl des Siebwebes.

Beim Belagschwinger (Stößelschwingsiebmaschine) vom VEB Chemieanlagenbau Staßfurt (Bild 2.62) wirkt jeder Magnet auf ein System mit mehreren Stößeln. Siebelag hat bestimmte Vorspannung. Amplituden können mit Spezialsteuergerät stufenlos zwischen Null und Maximum verändert werden. Bei Schwingfrequenz von 50 Hz erreichbare Beschleunigung etwa 10g. Siebneigung zwischen 30 und 40° einstellbar. Gebaut werden Ein- und Zweidecker für Trocken- und Naßsiebung; Größen zwischen 0,63 und 3,6 m² Siebfläche. Geräte eignen sich besonders für feine Kornschneiden zwischen 0,2 und 4 mm, s. Bild 2.56, S. 110, Linien I bis 4 und 11.

2.3.1.6. Planschwinger

Typ P-u-st. Siebkasten steht gegenüber Grundrahmen vorn und hinten auf Lenkern, die in Nulllage einen Winkel von 90° zur Siebfläche bilden, und wird von Kurbel- oder Exzenterwelle über Pleuelstange angetrieben. Zur Verstellung der Neigung ist Grundrahmen mit zu kippen, wenn Charakter der Planschwingung erhalten bleiben soll. Wird dagegen nur Belag gegenüber Siebkasten gekippt, so geht Gleitbewegung mit steigender Neigung in Wurfbewegung über. **Typ P-ü-el.** Siebkasten ruht gegenüber Grundrahmen auf Gummipuffern und enthält Unwuchtantrieb mit zur Siebebene senkrechter Achse. Es entstehen ellipsenähnliche Schwingformen parallel zum Belag mit kleiner Amplitude bei hoher Frequenz.

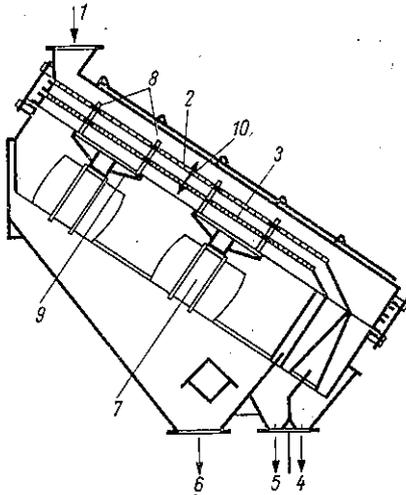


Bild 2.62. Belagschwinger des VEB Chemieanlagenbau, Staßfurt

1 Aufgabegut; 2 oberer Siebelag; 3 unterer (feiner) Siebelag; 4 Überlauf des groben Guts; 5 Auslauf des mittleren Guts; 6 Durchgang des feinen Guts; 7 Schwingungserreger (standardisierter Vibrator); 8 Stößel; 9 Übertragungssystem; 10 Schwingungsrichtung

2.3.2. Gleichsinnig bewegte Siebmaschinen

2.3.2.1. Walzenrostsiebmaschinen

Walzen werden über Kegelradpaare (z.B. mit Spiralverzahnung) angetrieben, bei einfachen Maschinen über Ketten. Durch Scheiben der Walzen entstehen, von oben gesehen, recht, eckige Öffnungen. Zentrische oder exzentrische Kreisscheiben, Dreibogenscheiben oder ovale von Walze zu Walze um 90° versetzte Scheiben werden benutzt, die sich gegenseitig ausweichen.

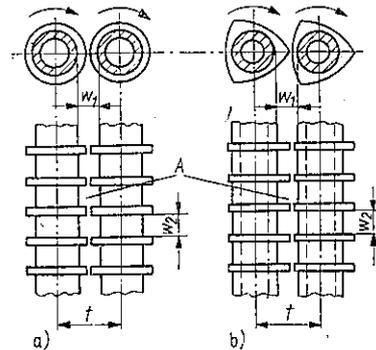


Bild 2.63. Walzenrostsiebmaschinen; Beispiele für Ausbildung der Scheiben

a) kreisförmig; b) dreibogenförmig
A rechteckige Öffnungen

Exzentrische und unrunde Scheiben transportieren besonders gut und lockern Siebgut auf (Bild 2.63). Untere Abstreicher halten Spalte rein und leiten Durchgang weiter. Für feuchtes Gut werden Abstreicher und evtl. auch Walzen beheizt. Walzenrostsiebmaschinen des VEB Zemag, Zeitz, haben 110 und 150 mm Teilung (Breiten zwischen 1,0 und 1,8 m). Große Geräte mit 220/300 mm Teilung dienen besonders der Siebung von Rohbraunkohle in Großkraftwerken mit Durchsätzen bis 2400 t/h.

Anwendung namentlich für schonende Siebung von Braunkohle (auch großer Stücke) sowie Steinkohle, Koks, Ton-schiefer u. ä. Gegenüber Schwingsiebmaschinen haben Walzenrostsiebmaschinen größeren Durchsatz (bei gleicher Spaltweite), jedoch höhere Kosten für Fertigung und Instandhaltung.

2.3.2.2. Trommelsiebmaschinen

Gelochte Siebtrommel ist meist vorn auf Laufrollen, hinten in Zapfen gelagert, wobei zugleich Axialschub aufgenommen wird; Gefälle $\approx 6\%$. Feinere Siebgewebe werden an Einlaufseite auf äußerer Trommel angebracht und sind durch innere Siebtrommel (mit gröberer Lochung) geschützt. Für Austritt des Überlaufs sind am Ende große Öffnungen vorgesehen. Trommel besteht aus mehreren Abteilen mit verschiedener Lochgröße, die zum Auslauf hin zunimmt, um entsprechende Kornklassen zu erzielen. Andere Ausführungen haben nur Laufrollenlagerung, äußeren Zahnkranz und offenes Auslaufende. Drehzahl muß unterhalb n_{krit} liegen (s. S. 87). Feinsiebung erfordert Staubhaube.

Anwendung ist wegen Verschleißes beschränkt. Trommelsiebmaschinen arbeiten vorteilhaft bei einfachen sowie fahrbaren Brech- und Siebanlagen in abwegigem Gelände zur Gewinnung von Schotter und Splitt für Straßenbau.

2.3.3. Feststehende Siebe oder Roste

Feste Roste mit starken Stäben von rechteckigem oder trapezförmigem Querschnitt bei mittleren bis großen Spaltweiten dienen bei Aufstellung mit geringer Neigung über Einlauföffnung von Brechern zum Zurückhalten zu großer Aufgabestücke oder bei Aufstellung mit steiler Neigung vor Brechern zur Absonderung bereits genügend kleiner Stücke. Aufgabegut darf nicht zum Anbacken neigen.

2.3.4. Sonderbauarten von Siebgeräten

Arbeitsprinzipien ermöglichen teils Steigerung des Durchsatzes, teils Siebung bei besonders kleinen Kornschneiden sowie von siebschwierigem Gut.

Luftstrahlstieb. Einer unlaufenden Siebtrommel (mit feinem Gewebe und mit eingebauten

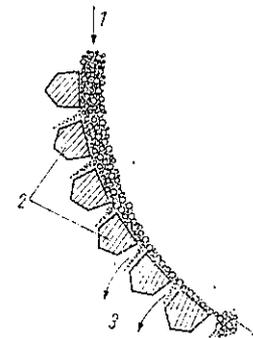


Bild 2.64a. Bogensieb

1 Aufgabe (Wasser + feines Gekörn); 2 Roststäbe; 3 Durchgang (Feingut); 4 Überlauf (Grobgut)

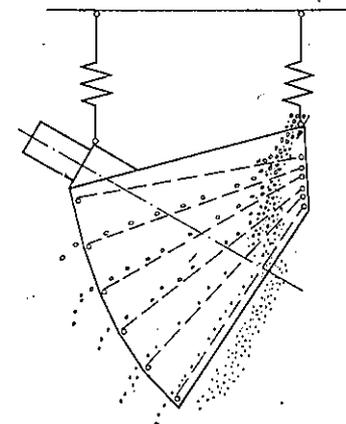


Bild 2.64. Mogensen-Sizer

Leitschaufeln) wird Aufgabegut innen stetig zugeführt. Luft wird von außen durch Langschlitzdüse in schmalen Bereich laufend in die Trommel (durch Gewebe hindurch) eingeblasen. Auf gesamtem übrigen Umfang der Trommel tritt Luft zusammen mit Feingut aus.

Daten der Baugröße 32/100: Siebtrommel Dmr. 320 mm × 1000 mm; $n = 55$ U/min; $P = 0,2$ kW; $m \approx 0,46$ t. Luftdruck für Düse ≈ 42 mbar; Luftmenge ≈ 700 m³/h; Durchsatz 0,04 ... 0,3 t/h, je nach Siebtyp und Maschenweite (bis zu 40 μ m).

Mogensen-Sizer (Bild 2.64). Siebböden sind fächerartig mit nach unten zunehmender Neigung angeordnet. System wird durch elektromagnetischen Vibrator in Schwingungen schräg zur Siebebene versetzt (Amplitude ≈ 1 mm). Maschenweite beträgt Mehrfaches der Kornscheide. Verfahren weicht von üblicher Siebung ab. Je nach Schrägstellung und Vibration wird eine Kornklasse über das Sieb hinweggeprallt, deren untere Größe kleiner als Maschenweite ist. Auf Sieb darf sich keine Gutschicht bilden. Auch etwas feuchtes oder zum Anbacken neigendes Gut läßt sich ohne Verstopfen sieben. Bauweise ist einfach; Leistungsbedarf und Verschleiß sind relativ gering. Kornscheiden können durch Maschenweite, Siebneigung und Trennblech verändert werden. Einsatz für Sand, Kies, Ton, Schamotte, Feldspat, Phosphat, Salze u. a.

Bogensieb (Naßverfahren) enthält festen Rost in Bogenform mit Stäben prismatischen Querschnitts (Bild 2.64a). Schnelle Strömung ($v \approx 3 \dots 6$ m/s) mit Fliehkraftwirkung erhöht Durchsatz. Da an jedem Stab nur eine dünne Schicht abgeschert wird, ist maximale Durchgangsgröße der Körner mit $\approx 0,5$ μ kleiner als Spaltweite. Zentriwinkel des Bogens beträgt 60 ... 270°, oft $\approx 90^\circ$. Es sind so viele Spalten vorzusehen, daß letzte überlaufende Grobgutschicht dünn und möglichst frei von Unterkorn ist. Roststäbe werden nach Verschleiß geschwenkt. Vorteilhaft ist einfache Bauweise (ohne mechanischen Antrieb); nachteilig sind Verschleiß und Aufwand für Pumpe. Einsatz z. B. für Sand, Erz, Kohleschlämme – evtl. im Kreislauf mit Naßtrommelmühle – bei Kornscheiden zwischen ≈ 150 und 500 μ m (s. a. Bd. 3/II, Lebensmittelmaschinen).

2.4. Stromklassieren

2.4.1. Grundlagen

Durch Stromklassieren wird eine Körnung mit Teilchen gleicher Dichte nach Größen getrennt (Anwendung der Strömungswirkung bei ungleicher Dichte s. S. 163). Rechnerische Grundlagen beziehen sich nicht nur auf trockenes und nasses Stromklassieren, sondern auch auf Entstauben und Entwässern, z. T. auf Dichtesortieren sowie auf Laborapparate. Teilchen bewegen sich in einem ruhenden oder strömenden Medium (Luft, Wasser) unter Schwer- oder Fliehkraft.

Berechnung. Es wird Kugelform der Teilchen angenommen. Für gröbere Körnungen folgt nach *Newton* (Anwendungsgrenzen s. Bild 2.65) aus Gleichgewicht zwischen Schwerkraft (minus Auftrieb) und Strömungskraft die Strömungs- bzw. Endfallgeschwindigkeit

$$v = \alpha \left[\frac{d(\rho - \rho_0)}{\rho_0} \right]^{0,5} \frac{v}{\text{cm/s}} \left| \frac{\alpha}{-} \right| \frac{d}{\text{cm}} \left| \frac{\rho}{\text{g/cm}^3} \right|; \quad (2.44a)$$

d Korndurchmesser,
 ρ Dichte des Guts,
 ρ_0 Dichte des Mediums,
 α zusammenfassende Konstante, bei Kugelform $\alpha \approx 55$.

Für Luft und Wasser gilt

$$v_L \approx 1600 (d\rho)^{0,5} \quad v_W \approx 55 [d(\rho - 1)]^{0,5} \quad \frac{v}{\text{cm/s}} \left| \frac{d}{\text{cm}} \right| \left| \frac{\rho}{\text{g/cm}^3} \right|. \quad (2.44b, c)$$

Unter Fliehkraft ist

$$v_F = v \left(\frac{a}{g} \right)^{0,5} = v \omega^{0,5} \frac{c}{\text{cm/s}} \left| \frac{a; g}{\text{cm/s}^2} \right| \left| \frac{\omega}{-} \right|; \quad (2.45)$$

$a = \omega g$ Beschleunigung.

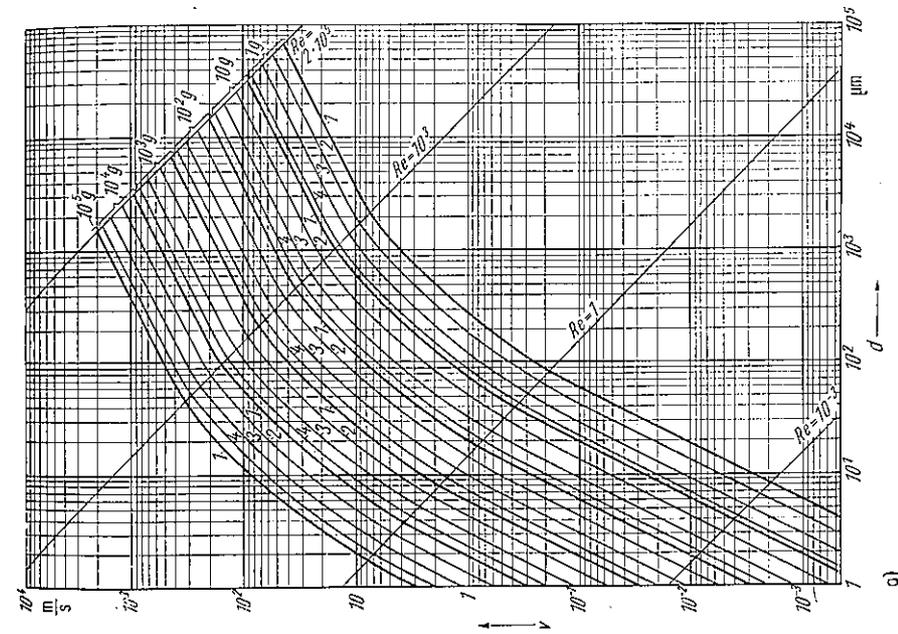
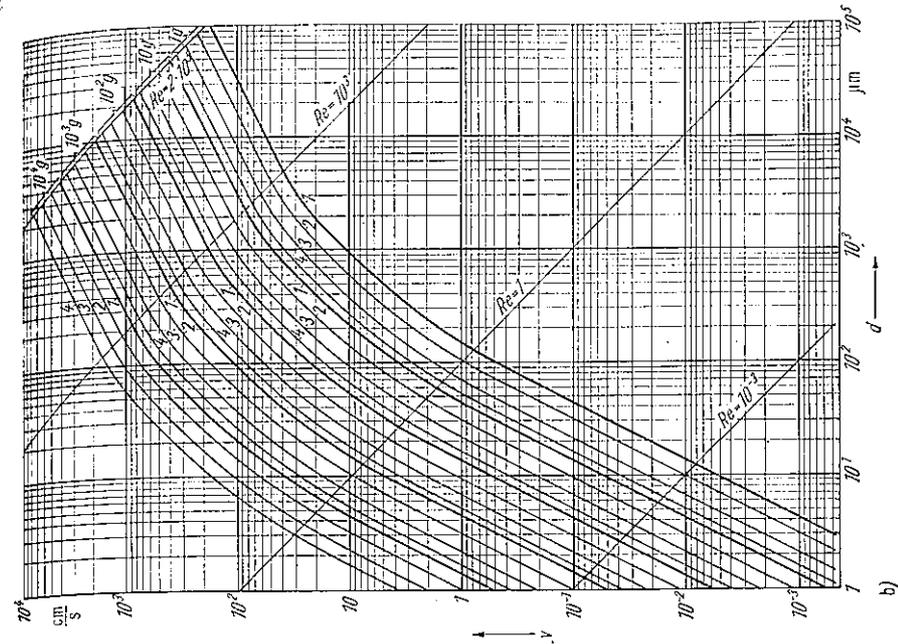


Bild 2.65. v, d-Diagramme: Geschwindigkeiten von Kugeln verschiedener Dichte unter Schwer- und Fliehkraft
a) in Luft $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$; $2\rho = 2 \text{ g/cm}^3$; $3\rho = 3 \text{ g/cm}^3$; $4\rho = 4 \text{ g/cm}^3$; $5\rho = 5 \text{ g/cm}^3$
b) in Wasser $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$; $2\rho = 3 \text{ g/cm}^3$; $3\rho = 4 \text{ g/cm}^3$; $4\rho = 5 \text{ g/cm}^3$

Für feine Körnung geht man nach Stokeschen Beziehungen (Anwendungsgrenzen s. Bild 2.65) von gleicher Bilanz aus, muß jedoch Abhängigkeit des Widerstandsbeiwerts ψ_{st} von Reynoldszahl berücksichtigen:

$$\psi_{st} = \frac{3\pi}{Re} = \frac{3\pi\eta}{dv\varrho_0} \quad \left| \frac{\psi; \pi; Re}{-} \right| \quad \left| \frac{\eta}{g/s \cdot cm} \right| \quad \left| \frac{d}{cm} \right| \quad \left| \frac{v}{cm/s} \right| \quad \left| \frac{\varrho}{g/cm^3} \right|; \quad (2.46)$$

η dynamische Viskosität des Mediums.

Demnach wird Strömungs- bzw. Endfallgeschwindigkeit

$$v_{st} = \frac{d^2 (\varrho - \varrho_0) g}{18\eta} = \frac{54,5d^2 (\varrho - \varrho_0)}{\eta} \quad (2.47a)$$

Unter Fliehkraft wird

$$v_{stF} = v_{st} a/g = v_{st} z. \quad (2.47b)$$

Trägt man v über d für verschiedene Werte $\varrho = \text{const}$ und $z = \text{const}$ in je einem logarithmisch geteilten Diagramm für Luft und für Wasser auf, so ergeben sich Geraden für jedes Gesetz (s. Bild 2.65). Übergänge zwischen den Geraden nach Stokes und nach Newton sind als Kurven eingetragen. Linien für $Re = \text{const}$ sind ebenfalls Geraden. Hiernach werden Gültigkeitsgrenzen der Gesetze beurteilt. Für Körnungen unterhalb $\approx 1 \mu\text{m}$ (selten in Aufbereitungstechnik) wird Gesetz nach Stokes allmählich ungültig wegen Überlagerung der Brownschen Molekularbewegung.

Gütegrad bei Stromklassierung ist meist geringer als bei Siebklassierung: Feingut von Sicht- oder Schlammvorgängen enthält gröberes Fehlkorn, Grobgut feineres Fehlkorn in prozentual beträchtlichen Mengen. Man bevorzugt daher Siebklassierung – soweit wie möglich – wegen besserer Trennschärfe.

2.4.2. Trockenverfahren (Windsichten)

Man gliedert Windsichter nach Art der Luftzuführung in Umluft- und Durchflußsichter mit innerhalb des Sichters zirkulierendem Luftstrom und Durchflußsichter mit durchfließendem Luftstrom, ferner nach Art der Kraft zum Ausschleiden des Grobguts gegen die Strömungswirkung (Schwerkraft, Schwer- und Fliehkraft kombiniert, Fliehkraft).

Umluft- und Durchflußsichter erhält Aufgabegut in dichtem Zustand und liefert Produkte ebenfalls in verhältnismäßig dichtem Zustand (oft vorteilhaft); s. a. Becherwerkmahlanlagen, S. 94.

Durchflußsichter erhält Gut im Luftstrom. Austretendes Feingut-Luft-Gemisch bedarf der Entstaubung (Zyklon plus Feinfilter), wenn Feingut in dichtem Zustand gewonnen werden soll.

Nur Grieße werden infolge zyklonartiger Ausschleuderung relativ dicht auch aus dem Durchflußsichter abgeführt; s. a. Luftstrommahlanlagen, S. 130. Tragfähigkeit der Luft muß erhalten bleiben, d. h., kritische Staubauffladung ($\text{kg Staub}/\text{m}^3 \text{Luft}$) darf nicht überschritten werden.

Durch Verschleiß besonders gefährdete Innenwandungen des Sichters erhalten Schutzverkleidung, meist aus verschleißfestem Stahlblech, bei Forderung eisenfreier Produkte (z. B. in Verbindung mit eisenfreier Mahlung) aus Schmelzbasalt, Gummi u. dgl.

Entwicklungsforderungen enthalten Verbesserung der Trennschärfe; einfache Verstellbarkeit der Trenngrenze; Feinsichter mit Kornscheiden von wenigen Mikrometern bei für Industriebetrieb ausreichendem Durchsatz.

2.4.2.1. Umluft- (Streuteller- oder Schleudersichter mit innerem Luftkreislauf)

Drei rotierende Arbeitsorgane – Streuteller, Ventilatorrad und Gegenflügelsystem (letzteres zur Dämpfung der Luftgeschwindigkeit) – werden bei einfacher, normaler Bauart gemeinsam auf senkrechter Welle angetrieben. Diese läuft meist in Rollenlagern; Axialkugellager nimmt senkrechte Kraftkomponente auf. Gut wird seitlich von oben aufgegeben (Bild 2.66a). Mitunter ist als viertes Organ kleineres Ventilatorrad an der Welle unterhalb des Streutellers vor-

gesehen. Hauptsichtstelle ist dort, wo vom Streuteller ausgeschleudertes Gut in aufsteigenden Luftstrom gelangt, Nachsichtung der Grieße dort, wo Umluft durch Jalousie oder Ringspalt wieder zum inneren Raum zurückkehrt. Umluftstrom kreuzt also Gutstrom zweimal. Feinheit wird bei Normalbauart meist durch Luftgeschwindigkeit verstellbar, z. B. durch Änderung von Anzahl oder Winkelstellung der Flügel am Gegenflügelsystem, mitunter auch am Ventilator. Bei manchen Maschinen wird Luft durch Ringschieber, Kegel od. dgl. gedrosselt. Mit Drehzahlveränderung wird bei gemeinsamem Antrieb wenig erreicht, da sich hierbei Wirkungen von Fliehkraft und Luftgeschwindigkeit z. T. aufheben.

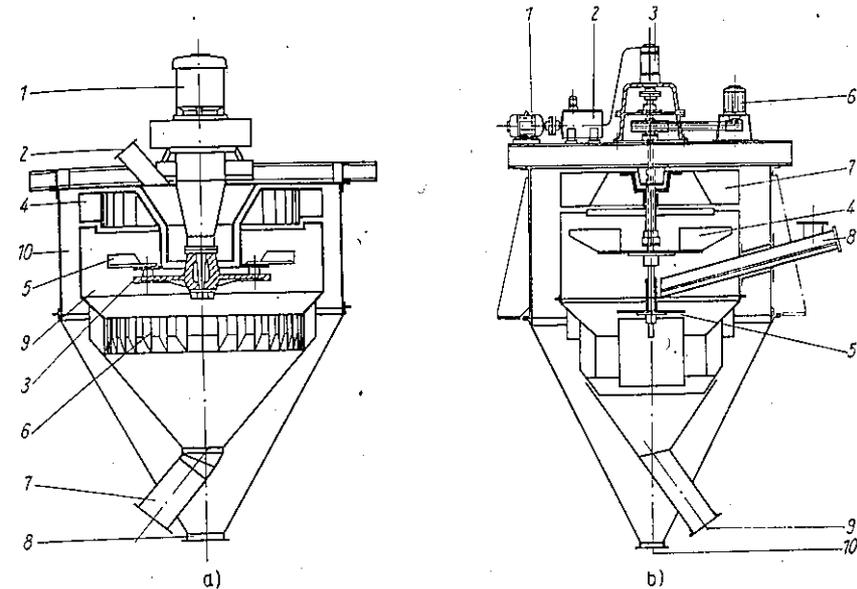


Bild 2.66. Umluft- und Durchflußsichter

- a) normale Bauart (gemeinsamer Antrieb)
 1 Motor; 2 Einlauf; 3 Streuteller; 4 Lüfterrad (Ventilator); 5 Gegenflügelsystem; 6 Jalousie; 7 Grobgutauslauf;
 8 Feingutauslauf; 9 Sichtraum; 10 Feingutraum
- b) Bauweise mit getrennten Antrieben; Streuteller und Gegenflügel gemeinsam und stufenlos regelbar angetrieben, Ventilator gesondert mit konstanter Drehzahl; Zuführung des Aufgabeguts seitlich über Luftförderrinne
 1 Elektromotor für 2; 2 Pumpe; 3 Hydraulikmotor für Antrieb von 4 und 5; 4 Gegenflügel; 5 Streuteller;
 6 Elektromotor für Antrieb von 7; 7 Ventilator; 8 Einlauf; 9 Grobgutauslauf; 10 Feingutauslauf

Für häufige und weitgehende Verstellung des Sichters bzw. der Kornscheide (auch während des Laufs) dienen meist getrennte Antriebe, z. B. für Gegenflügelsystem oder für Ventilator mit stufenloser Drehzahlveränderung (Bild 2.66b). Höhere Drehzahl des Streutellers und der Gegenflügel ergibt feinere Kornscheide, höhere Ventilatorzahl (also höhere Luftgeschwindigkeit), dagegen gröbere Kornscheide.

Daten s. Tafeln 2.10 und 2.11.

Anwendung. Normalbauart liefert Kornscheiden von $\approx 0,09$ bis 1,0 mm. Aufgabekörner sollen hierbei < 10 mm sein, andernfalls ist Siebklassierung vorzuschalten. Windsichter mit getrennten Antrieben ergeben Kornscheiden bis $\approx 40 \mu\text{m}$ (mit etwas Überkorn). Meist werden Umluft- und Durchflußsichter im Kreislauf mit Mühle, vornehmlich Becherwerkmahl- oder Schleudermühle, geschaltet. Gesichtet werden Zement und andere Bindemittel, künstliche Düngestoffe, Farbstoffe usw., die trocken sein müssen. Bereits geringer Feuchtigkeitsgehalt verlangt Mahltrocknung oder Vortrocknung des Guts. Ansetzen von elektromagnetischen Vibratoren am Sichter ist günstig bei Stoffen, die zum Anbacken neigen.

Baugröße (Durchmesser) mm	Durchsatz bei Kalkstein, 10% > 90 µm t/h	Leistungs- bedarf kW	Masse t
630	0,3	0,9	0,29
900	0,8	1,3	0,54
1250	1,2	2,6	0,79
1500	2,0	5,5	1,37
1800	4,0	7,0	2,16
2100	6,0	10,5	3,11
2500	11,0	12,5	4,67
2800	17,0	16,0	6,92
3150	22,0	20,0	9,36
3550	30,0	28,5	11,53
4000	40,0	37,0	14,96
4500	45,0	47,0	17,35

Tafel 2.10. Umluftsichter, normale Bauart (gemeinsamer Antrieb) VEB Zementanlagenbau, Dessau

Baugröße (Durchmesser) mm	Durchsatz bei Zement 5 ... 6% > 90 µm t/h	Leistungs- bedarf kW	Masse t
1800	4,7	10,5	2,67
2800	11,0	19,5	6,85
3150	13,0	26,0	9,20
3550	16,0	37,0	11,40
4000	22,0	63,0	14,78
4500	28,0	81,0	18,80
5000	34,0	118,0	26,47
5600	42,0	158,0	28,60

Tafel 2.11. Umluftsichter mit zwei getrennten Antrieben VEB Zementanlagenbau, Dessau

2.4.2.2. Streutellersichter mit äußerem Luftkreislauf und Zyklonabscheidung

Bei dieser Bauart verläßt Luft mit Feingut oben den Sichter, wird in Zyklon (Hohlkegel) tangential eingeleitet und Staub unten als Fertiggut abgezogen. Oben aus Zyklon kommende entstaubte, somit wieder gut tragfähige Luft geht über Gebläse tangential in Sichter zurück. Grieße verlassen wie üblich den Sichter unten und werden in Mühle zurückgeführt. Im Inneren des Sichters ist kein Ventilator, jedoch Streuteller. Meist sind mehrere Zykline rund um Sichter angeordnet. Vorteile sind Auslegung für hohen Durchsatz (z.B. für Zement- und Kalkindustrie), Verstellbarkeit während des Laufs durch Drehzahländerung des Lüfters oder Luftdrosselung unabhängig vom Streutellerantrieb (der besondere Drehzahländerung haben kann), höhere Feinheit der Kornseide und bessere Trennschärfe gegenüber Umluftsichtern der Normalbauart, geringer Verschleiß des staubentlasteten Lüfterrads, besserer Wirkungsgrad des Lüfters als beim eingebauten Lüfter sowie günstige Trocken- oder Kühlmöglichkeit (Tafel 2.12).

Einbau eines Streutellersichters mit Zyklonabscheidung in eine Prall- und Mahltrocknungsanlage s. Bild 2.83, S. 133.

Tafel 2.12. Streutellersichter mit Zyklonabscheidung VEB Zementanlagenbau, Dessau

Baugröße Ø mm	Durchsatz bei Rohmehl 12 ... 15% > 90 µm t/h	Durchsatz bei Zement 5 ... 6% > 90 µm t/h	Leistungs- bedarf kW	Masse t	Luftbedarf m ³ /h
3150	62,0	37,5	20,0	19,50	60000
3550	85,0	47,5	30,0	25,81	80000
4000	110,0	62,5	45,0	33,64	100000
4500	130,0	75,0	65,0	42,65	120000
5000	175,0	105,0	90,0	52,00	160000

2.4.2.3. Durchflußsichter (Stromsichter)

Durchflußsichter mit Schwerkraftwirkung. Beim *Siebsichter* strömt Luft von unten nach oben durch ein innerhalb der Sichtkammer schräg gestelltes oder schwingendes Sieb. Feingut wird von Luft nach oben ausgetragen und zur Entstaubung geleitet, während Grobgut über Sieb hinweggeht. Im *Schrägstammerstiebwindrichter* kann z. B. Brikettierkohle (Braunkohle), die von Trocknung kommt, auf 0 ... 4 mm Fertiggut abgesehen, zugleich gekühlt und nachgetrocknet werden. Siebwindrichter dienen zur größeren Sichtung oder Reinigung des Guts von Staub. Beim *Fall- oder Säulensichter* (ohne Siebe oder Roste) fällt Grobgut dem aufsteigenden Luftstrom entgegen.

Weitere Ausführung eines Schwerkraftsichters ist *Zickzacksichter*, Bild 2.67. Durch Knicke der Einbauten wird Gut aufgelockert, was Sichtwirkung begünstigt. Erhöhung der Anzahl der Knicke bewirkt Korrektur von Fehlsichtung und verbessert Trennschärfe. Luft wird im äußeren Kreislauf über Zyklon und Ventilator geführt. Trenngrenzen entsprechend Veränderung der Luftmenge 0,1 ... 10 mm. Bei Aufgabe von Gleichfälligkeitsklassen ist Zickzacksichter auch zur Stofftrennung geeignet; s. a. S. 163.

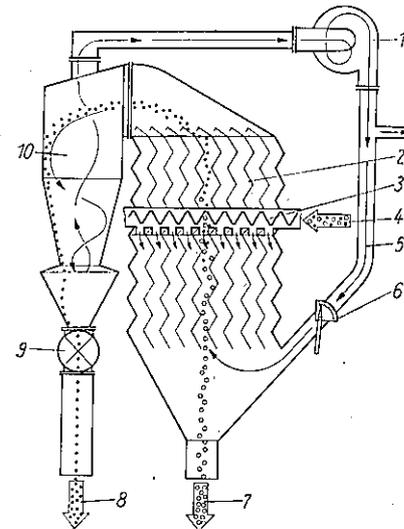


Bild 2.67

Zickzacksichter

Fa. Alpine, Augsburg

- 1 Umluftventilator; 2 Zickzackeinbauten;
- 3 Verteilung des Aufgabeguts; 4 Aufgabe; 5 Luftkreislauf; 6 Veränderung der Luftmenge;
- 7 Grobgutauslauf; 8 Feingutauslauf; 9 Schleuse;
- 10 Zykline

Durchflußsichter mit Schwer- und Fliehkraftwirkung arbeiten in üblicher, einfacher Bauweise ohne bewegte Teile (Bild 2.68). Manche Sichter haben jedoch angetriebenes Zentrifugalsystem zur Erhöhung der Fliehkraft. Trenngrenze läßt sich durch Änderung der Luftgeschwindigkeit beeinflussen; unter Verstellen von Leitschaufeln im Innern oder durch Regulierung des außerhalb befindlichen Ventilators.

Daten s. Bild 2.69.

Anwendung besonders in Luftstrommahlanlagen und dort, wo Mühle das zu sichtende Produkt bereits im Luftstrom anliefert. Wegen des Zuflusses zum Sichter im aufsteigenden Strom muß Aufgabegut entsprechend feinkörnig sein; s. Gl. (2.44) bis (2.47). Auf manche Mühlen, namentlich Wälzmühlen, wird Stromsichter unmittelbar aufgesetzt (s. S. 100).

Durchflußsichter mit hoher Fliehkraftwirkung, z. B. Mikroplex-Spiralwindrichter mit horizontaler Achse. Gemäß Bild 2.70a bewegt sich staubbeladene Luft bei ebener Strömung in angenähert archimedischen Spiralen von außen nach innen. Nur Teilchen entsprechend der Trennkorngröße werden theoretisch auf Kreisbahn bewegt, während alle größeren Teilchen nach außen fliehen, alle kleineren dagegen durch radiale Reibungskraft der Luft nach innen abgeleitet

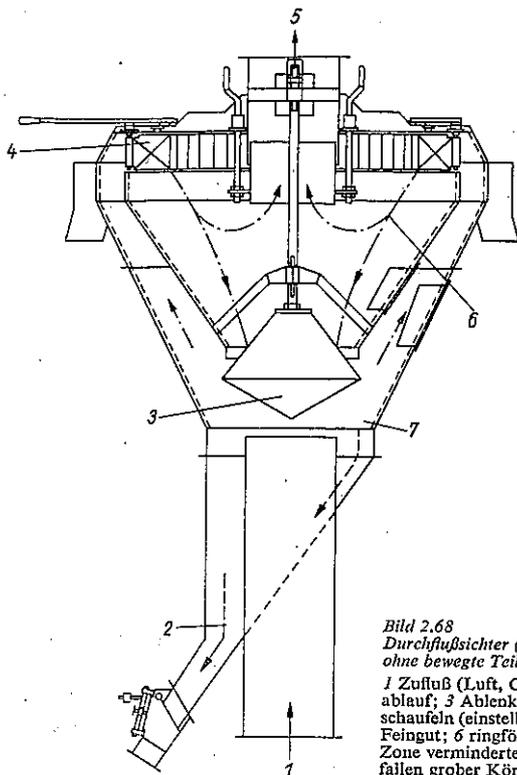


Bild 2.68
Durchflußsichter (Stromsichter), einfache Bauart
ohne bewegte Teile
1 Zufuß (Luft, Grob- und Feingut); 2 Grob-
ablauf; 3 Ablenkegel (Höhe einstellbar); 4 Leit-
schaukeln (einstellbar); 5 Abfluß von Luft und
Feingut; 6 ringförmige Sichtzone; 7 ringförmige
Zone verminderter Luftgeschwindigkeit (Zurück-
fallen grober Körner)

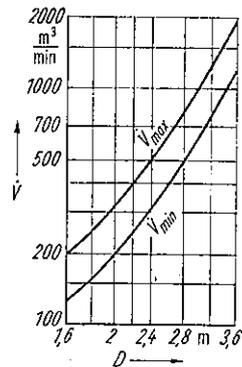


Bild 2.69. Durchflußsichter
(Stromsichter)
 V Förderstrom

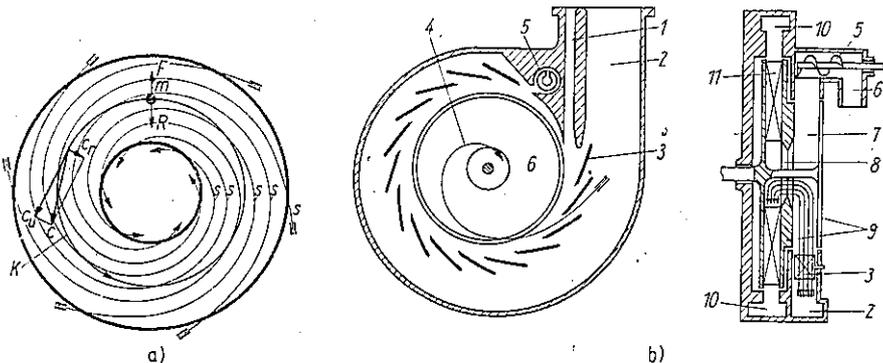


Bild 2.70. Spiralwindrichter mit horizontaler Achse
Fa. Alpine, Augsburg

a) Prinzip
 m Masse des Grenzkorns; F Fliehkraft; R Reibkraft der Luft; c_r Radialkomponente; c_u Umfangskomponente; K Kreisbahn; s spirale Stromlinie
b) Schema der Bauweise
1 Sichtguteintritt; 2 Sichtlufteintritt; 3 verstellbare Leitschaukeln; 4 eine der spiralen Stromlinien; 5 Grob-
gutaustragschnecke; 6 Grob-
gutaustritt; 7 Sichtraum; 8 Austritt aus Sichtraum; 9 rotierende Sichtraumwände;
10 Ventilatorausstrittspirale (Luft und Feingut); 11 Ventilatorschaukeln

werden. Sichtraum (Bild 2.70 b) ist schmal, um möglichst ebene Strömung einzuhalten. Sicht-
raumwände laufen um, damit störende Randströmungen weitgehend vermieden werden. Im
Nebenraum auf gleicher Welle laufender Ventilator führt Luft mit Feingut ab und der Ent-
staubung zu. Grieße gleiten an Leitschaukeln entlang bis zur Ableitungsschnecke. Korn-
scheide wird durch Luftgeschwindigkeit und Steilheit der Spirale verändert. Beides ist zugleich
in gleichem Sinne durch Verstellen des Leitschaukelkranzes von Hebel aus möglich. Auch Dreh-
zahl kann etwas verändert werden. Ferner hängt Trenngrenze vom Sichtraumdurchmesser ab.

Daten s. Tafel 2.13.

Tafel 2.13. Spiralwindrichter mit horizontaler Achse nach Bild 2.70

Typ		132 MP	400 MP	800 MP
Sichtraumdurchmesser	mm	132	400	800
Einstellbereich der Trenngrenze	μm	3 ... 15	8 ... 35	10 ... 40
Durchsatz (Aufgabemenge)	t/h	0,05 ... 0,2	0,5 ... 2,5	1,2 ... 6,0
Drehzahl	U/min	12000	1400 ... 2800	1400 ... 2000
Antriebsleistung (mit Reserve)	kW	2,2	4 ... 35	12 ... 35

Durchsatz, Drehzahl und Leistungsbedarf hängen von Art des Aufgabeguts und verlangter Trenngrenze ab; daher schwankt spezifischer Arbeitsbedarf stark.

2.4.3. Naßverfahren (Naßklassieren)

2.4.3.1. Mechanische Freifallklassierer

Arbeitsprinzip: Sedimentation unter Schwerkraftwirkung und mechanischer Austrag des
Grob-
guts.

Rechenklassierer (Bild 2.71). Trübe wird über unterem Teil des Rechens aufgegeben, der
Grob-
gut nach oben zum Austrag fördert, während Feines mit Flüssigkeit am Wehr überläuft.
Rechen trägt dicht über Trogboden aus (Aufwärtsbewegung) und bewegt sich mit größerem
Abstand zurück. Getriebeteile arbeiten außerhalb der Trübe. Durch Herausschwenken des
Rechens nach oben wird Troginneses zugänglich und Anfahren erleichtert. Bei Trogbreiten
 ≥ 1 m arbeiten zwei Rechen nebeneinander. Zur Einstellung der Trenngrenze benutzt man vor-
wiegend Veränderung von Hubzahl und Trübedichte; weitere Parameter sind Höhe des Über-
laufwehrs, Trogneigung und Rechenabstand vom Trogboden.

Daten. Rechenklassierer (Trogbreite \times -länge) mit einem Rechen: 400 ... 630 mm \times 4000 bis
6500 mm; mit zwei Rechen: 1000 ... 2500 mm \times 5600 ... 8500 mm. Durchsatz hängt stark von

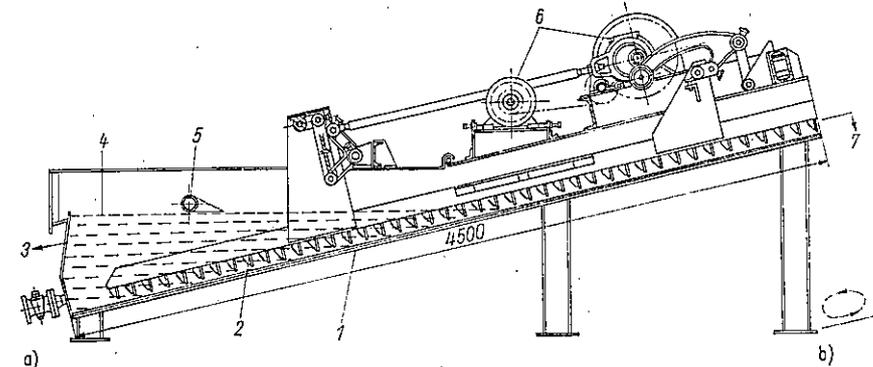


Bild 2.71. Rechenklassierer
VEB Chemieanlagenbau, Staffurt

a) 1 Trogboden; 2 Klassiererechen; 3 Ablauf von Feingut und Flüssigkeit; 4 Flüssigkeitsspiegel; 5 Aufgabe der
Trübe; 6 Rechenantrieb; 7 Ausschub des Grob-
guts (Sande)
b) Skizze der Rechenbewegung über dem Trogboden

2.5.3. Äußeres Klassieren mit geschlossenem Kreislauf und Kombinationen

Einfacher Kreislauf (Bild 2.78a). Bei Projektierung solcher Anlagen sind tatsächliche Durchsatzleistungen der Zerkleinerungs-, Klassier- und Fördereinrichtungen zu bestimmen, die meist wesentlich von stündlicher Aufgabe- und Fertigmengen der Anlage abweichen. Bei Ermittlung der Belastung der Zerkleinerungsmaschine ist zwischen Aufgabe des Rohguts auf Zerkleinerungsmaschine (üblich bei wenig Feinanteil im Aufgabegut) und Aufgabe auf Klassiermaschine (üblich bei viel Fein- bzw. Fertigteile im Aufgabegut) zu unterscheiden.

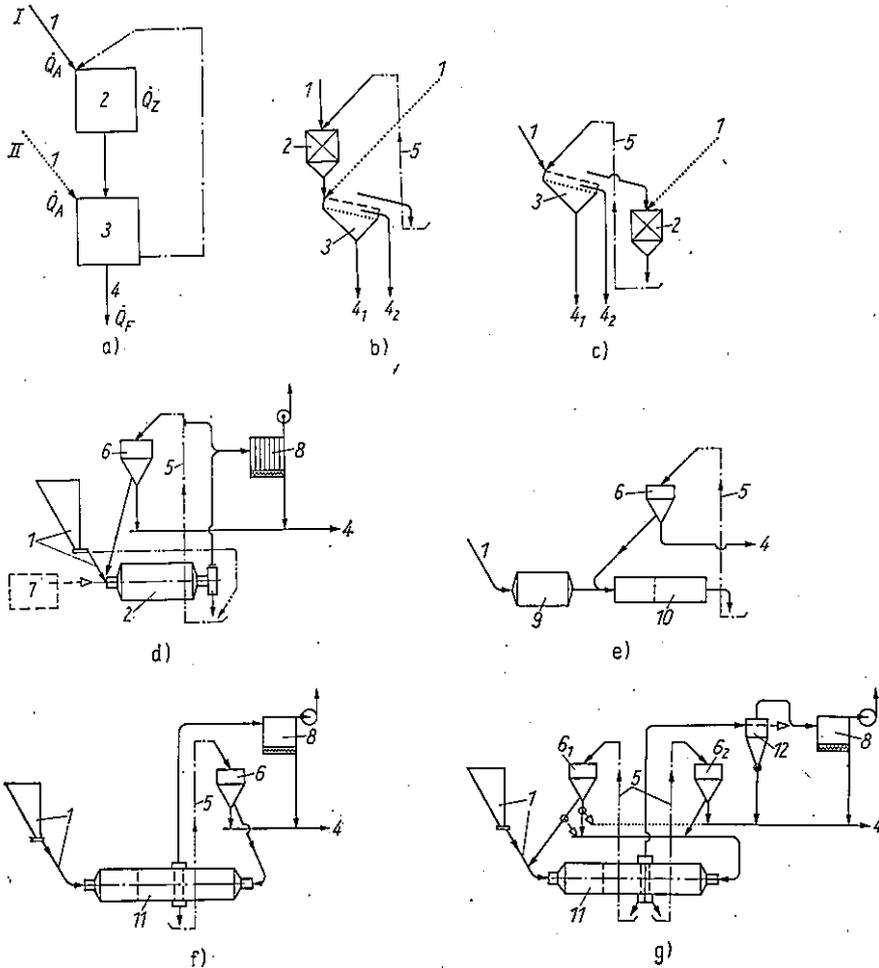


Bild 2.78. Geschlossene Kreisläufe und Kombinationen

a) Kreislaufschema für Berechnung; b), c) zwei Kreisläufe zwischen Brecher und Siebmaschine mit Aufgabe auf Brecher oder auf Sieb; d) einfache, wirtschaftlich günstige Schaltung mit Trommelmühle und Umluftsichter als Typ Z-U oder nach ... als Typ K-U; e) Kombination zweier Systeme: Vormühle größeren Durchmessers im Durchlauf, Feinmühle kleineren Durchmessers im Kreislauf als Typ Z-U; f), g) Kreislaufrichtungen zu Mehrkammerrohrmühlen mit Zwischenaustrag
 1 Aufgabe; 2 Zerkleinerungsmaschine; 3 Klassiermaschine; 4 Fertiggut; 5 Fördermaschine; 6 Umluftsichter; 7 Heißgaserzeuger; 8 Feinfilter; 9 Vormühle; 10 Feinmühle; 11 Mehrkammerrohrmühle mit Zwischenaustrag; 12 Zyklon

Bei Aufgabe auf Zerkleinerungsmaschine ist

$$\dot{Q}_F = \dot{Q}_A = z\dot{Q}_Z;$$

\dot{Q}_F Fertigmengen,

\dot{Q}_A Aufgabemenge der Anlage,

\dot{Q}_Z Durchsatz der Zerkleinerungsmaschine,

z Anteil an Fertiggut, den Zerkleinerungsmaschine bei einmaligem Durchgang liefert.

Belastung der Zerkleinerungsmaschine wird

$$\dot{Q}_Z \approx \dot{Q}_A/z. \quad (2.48)$$

Bei Aufgabe auf Klassiermaschine gilt

$$\dot{Q}_F = \dot{Q}_A = a\dot{Q}_A + z\dot{Q}_Z;$$

a Anteil an Fertiggut, den Aufgabegut bereits enthält.

Demnach ist Belastung der Zerkleinerungsmaschine

$$\dot{Q}_Z \approx (1 - a)\dot{Q}_A/z. \quad (2.49)$$

Größe des Brechers oder der Mühle ist hiernach auszulegen, um Über- oder Unterbelastung zu vermeiden. Ferner lassen sich Belastungen der Klassier- und der Fördereinrichtung nach Bestimmung von \dot{Q}_Z anhand des Stammbaums ermitteln.

Bilder 2.78 b und c zeigen u. a., daß verfahrensmäßiger Unterschied nicht in räumlicher Anordnung der Maschinen liegt, sondern in Aufgabestelle des Rohguts.

Bei Mahlanlagen mit Windsichtern ist zu unterscheiden zwischen Aufgabe auf Zerkleinerungsmaschine Z oder auf Klassiermaschine K sowie zwischen Anlage mit Umluftsichter U (Becherwerkumlaufmühle) oder mit Durchflußsichter D (Luftstrommühle). Danach vier Grundtypen: Z-U, Z-D, K-U, K-D. Statt meist üblicher Trommel- oder Rohrmühle werden auch z. B. Wälzmühlen oder, sofern es Härte des Mahlguts zuläßt, Hammermühlen und Feinprallmühlen eingesetzt. Beispiele zu Kreislaufmahlanlagen s. Bilder 2.78 d bis g und 2.79.

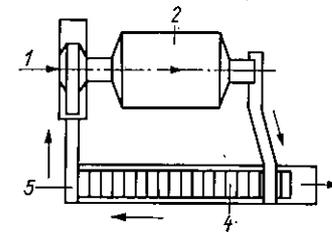


Bild 2.79. Naßmahlanlage mit Trommelmühle und Rechenklassierer, Aufgabe auf Mühle
 1 Aufgabegut; 2 Mühle; 3 Überlauf des Feinguts; 4 Klassiermaschine (Rechenklassierer); 5 Rücklauf des Grobguts

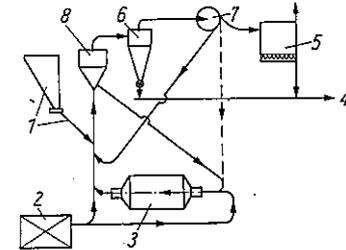


Bild 2.80. Mahltrocknungsanlage, Typ K-D, mit Aufgabe in Steigleitung zum Durchflußsichter
 1 Aufgabe; 2 Heißgaserzeuger; 3 Mühle; 4 Fertiggut; 5 Feinfilter; 6 Zyklon; 7 Gebläse; 8 Durchflußsichter

2.5.4. Mahltrocknen

Bei Einführung von Heißgasen in Mahlsystem wird Mahlgut infolge erzeugter großer spezifischer Oberfläche schneller und wirtschaftlicher getrocknet als bei Trocknung in besonderem Trockengerät und nachfolgender Mahlung (Bild 2.80). Bei Aufgabe auf Trommel- oder Rohrmühle ist i. all. Anfangsfeuchte des Aufgabeguts bis 10% zulässig, bei Aufgabe auf Sichter oder in Rohrleitung zum Stromsichter bis 20%, bei Notwendigkeit mit besonderen Maßnahmen (lange Vortrockenstrecke u. dgl.). Zulässigkeit der Anfangsfeuchte hängt auch von Gut- und benutzter Mühlenart ab. Feinprall- (Ventilator- oder Turbo-)Mühlen lassen höhere Feuchte

zu, z.B. bei Rohbraunkohle $\approx 50\%$. Bei Mahltrocknung verbleiben i. allg. 0,5 ... 1% Restwasser. Bei Anfangsfeuchte bis 3% sind Heißgase in Trommel- und Rohrmühlen oft noch entbehrlich, da sich Verlustarbeit in Wärmeenergie umsetzt und Maschine $\approx 80 \dots 100^\circ\text{C}$ erreicht. Trotzdem sind Rohrmühlen empfindlich gegen feuchtes Gut wegen Gefahr der Krustenbildung am Mühlenmantel und Verstopfung der Schlitze in Zwischen- und Austragwänden. Rohrmühlen für Mahltrocknung haben daher meist Vortrocknungskammer mit Hubschaufeln (s. S. 94). Bei Aufgabe in Steigleitung zum Stromsichter dürfen Körner nicht über 8 mm groß sein, damit sie einwandfrei pneumatisch hochgefördert werden (s. S. 118). Gasgeschwindigkeit in Steigleitung 35 ... 50 m/s.

Bei Becherwerkumlaufmühle für Mahltrocknung von Zementrohstoffen werden sowohl Hammerbrecher vor Mühle als auch Schleudersichter mit Heißgasen, die auch Becherwerk und Mühle durchströmen, beschickt.

Mitunter kann auch zuerst gemahlen und dann getrocknet werden. Wegen Gefahr des Anbackens in Mühle ist das nur selten möglich, z.B. bei Feinprallmühle und Rohbraunkohle. Trocknung läuft dann bei großer spezifischer Oberfläche und höherer Temperatur sehr schnell ab, ohne daß es zum Schwelen kommt. Getrockneter Kohlenstaub wird danach in Zyklon abgeschieden. Trockensystem läuft unter inertem Gas.

Berechnung. Aus Anfangs- und Endwassermenge

$$X_a = a\dot{Q}_a \quad \text{bzw.} \quad X_c = e\dot{Q}_c$$

folgt zu verdampfende Wassermenge

$$X = X_a - X_c = \dot{Q}_a \frac{a - e}{1 - e} = \dot{Q}_c \frac{a - e}{1 - a}; \quad (2.50)$$

\dot{Q}_a Aufgabemenge an Feuchtgut,
 \dot{Q}_c Fertigmengemenge,
 a Anfangswassergehalt,
 e Endwassergehalt.

Dazu ist erforderlich die Wärmemenge

$$Y = 1000Y_0X \frac{Y}{\text{kJ/h}} \left| \frac{Y_0}{\text{kJ/kg}} \right| \left| \frac{X}{\text{t/h}} \right|; \quad (2.51)$$

Y_0 Erfahrungswert, meist 4200 ... 4600 kJ/kg einschließlich aller Wärmeverluste sowie Positivposten an Wärme durch mechanische Arbeit in Mühle.

Eintrittstemperatur der Heißgase in Mühle ist i. allg. $\leq 600^\circ\text{C}$, bei temperaturempfindlichem Mahlgut entsprechend geringer. Gastemperatur am Austritt aus Anlage 80 ... 100°C.

Für Gewebe der Tuchfeinfilter ist zulässige Temperatur einzuhalten. Andererseits darf im Tuchfilter Taupunkt wegen Kondensation nicht unterschritten werden (evtl. Wärmeisolation). Staubbichte des Gases soll im Tuchfilter möglichst nicht $> 150 \text{ g/m}^3$ betragen. Belastbarkeit des Filterstoffs ist $q = 1,0 \dots 1,5 \text{ m}^3/\text{min m}^2$ (bei kaltem Gas bis 3,0), woraus Nettofilterfläche folgt.

Zyklon scheidet Hauptmenge des Staubs ab. Durchmesser seines oberen, zylindrischen Teils ist

$$d \approx \sqrt{\frac{\dot{V}}{1,2 \dots 2,0}} \frac{d}{\text{m}} \left| \frac{\dot{V}}{\text{m}^3/\text{s}} \right|; \quad (2.52)$$

\dot{V} Gasmenge, die in Zyklon einströmt.

Gaseintritts- und -austrittsgeschwindigkeit am Zyklon ist 12 ... 20 m/s.

2.5.5. Pralltrocknen

Spezialprallmühlen (*Pralltrockner*) erhalten Heißgaszuführung. Bei verhältnismäßig enger Spaltstellung (z.B. 8 mm) wird Gut im Prallraum unter ständiger Vergrößerung der spezifischen Oberfläche durch Heißgase getrocknet. Größerer Anteil des Zerkleinerungsprodukts

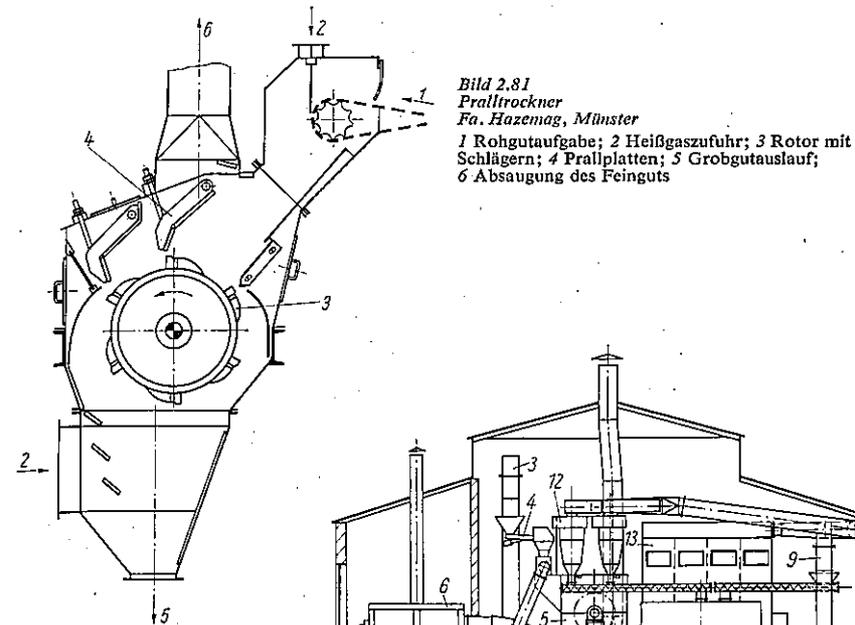


Bild 2.81
Pralltrockner
 Fa. Hazenag, Münster
 1 Rohgutaufgabe; 2 Heißgaszufuhr; 3 Rotor mit Schlägern; 4 Prallplatten; 5 Grobgutauslauf; 6 Absaugung des Feinguts

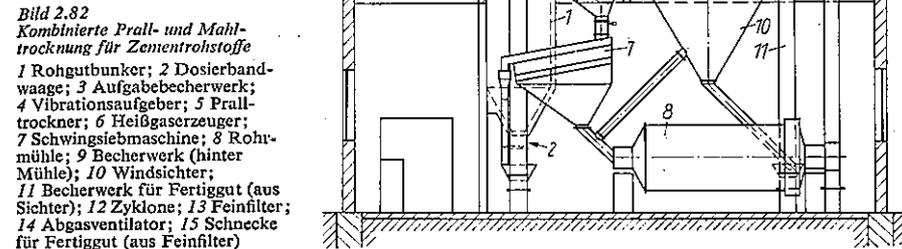


Bild 2.82
Kombinierte Prall- und Mahltrocknung für Zementrohstoffe
 1 Rohgutbunker; 2 Dosierbandwaage; 3 Aufgabebewerk; 4 Vibrationsaufgeber; 5 Pralltrockner; 6 Heißgaszerzeuger; 7 Schwingsiebmaschine; 8 Rohrmühle; 9 Becherwerk (hinter Mühle); 10 Windsichter; 11 Becherwerk für Fertiggut (aus Sichter); 12 Zyklone; 13 Feinfilter; 14 Abgasventilator; 15 Schnecke für Fertiggut (aus Feinfilter)

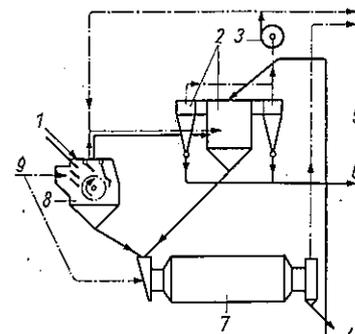


Bild 2.83
Schema zu Mahltrocknungsanlage mit Pralltrocknung und Streutellersichter mit Zyklonabscheidung
 VEB Zementanlagenbau, Dessau
 1 Aufgabegut; 2 Sichter mit Zyklonen; 3 Gebläse; 4 Gas zum Feinfilter; 5 Becherwerk; 6 Fertiggut; 7 Rohrmühle; 8 Pralltrockner; 9 Heißgas

2.6.2. Brikettieren

Brikettieren ohne Bindemittel (außer Wasser) erfordert i. allg. Drücke von ≥ 1000 bar. Optimaler Wassergehalt des Brikettierguts ist einzuhalten. Beim Brikettieren mit Bindemittel genügen meist einige 100 bar. Normalerweise arbeiten Strangpressen und Ringwalzenpressen ohne, Walzenpressen mit Bindemittel. Luft zwischen den kleinen Körnern des Brikettierguts muß beim Pressen genügend Möglichkeit und Zeit zum Entweichen erhalten. Wesentlich für Wahl des Verfahrens ist auch Brikettierbarkeit des Guts.

2.6.2.1. Strangpressen

Preßvorgang in Strangpresse (Bild 2.85): Stempel komprimiert nach Fertigfüllung das Kohlematerial und schiebt nach Erreichen des Arbeitsdrucks den Kohlestrang um die Dicke des neugebildeten Briketts vor. Rückhub des Stempels: Expansion des Strangs, Leerlauf und Vorfüllung.

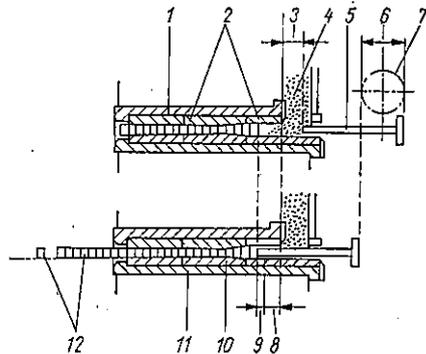


Bild 2.85. Preßvorgang in Strangpresse

1 Oberhaken; 2 Formteile; 3 Füllungshub; 4 Füllschacht; 5 Stempel; 6 Stempelhub bei Schubkurbelpresse; 7 Kurbelkreis; 8 Kompression; 9 Vorschub und Brikettausstoß; 10 Buckel der Form; 11 Unterhaken; 12 Brikettstrang und losgelöstes Brikett

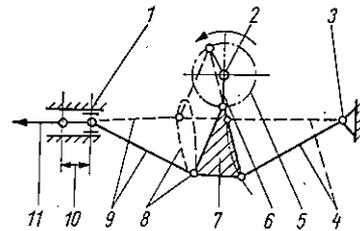


Bild 2.86. Arbeitsprinzip des Kniegelenktriebs

1 Bär (Pressenkreuzkopf); 2 Antriebswelle (Kurbelwelle); 3 ortsfestes Widerlager; 4 hintere Treibstange; 5 Kurbelkreis; 6 Kurbel; 7 Kniegelenkstück; 8 Weg des Punktes 8; 9 vordere Treibstange; 10 Stempelhub; 11 zum Stempel

Mechanismen zwischen Antriebswelle und Pressenbär (Kreuzkopf) sind i. allg. Schubkurbel- oder Kniegelenktrieb (Bild 2.86). Parameter für Konstruktion des Kniegelenktriebs sind namentlich Form und Lage des Lenkers (Dreieckstücks), Länge und Lage der Treibstangen, Lage zur Antriebswelle, um günstiges Weg- und Geschwindigkeits-Zeitdiagramm zu erzielen. Für Kompression sind bei Kniegelenkpresse etwa 16% der Zeit des Arbeitsspiels erreichbar, bei Schubkurbelpresse nur etwa 6%. Längere Kompressionszeit (bei noch ausreichender Zeit für Füllung) ist vorteilhaft für Entweichen der Luft. Da Kniegelenkpressen jedoch höheren Verschleiß und Ölverbrauch (mehr Lagerstellen) haben und teurer sind, bevorzugt man Schubkurbelpressen, besonders für weichere, leicht brikettierbare Braunkohle. Kniegelenkpresse benutzt

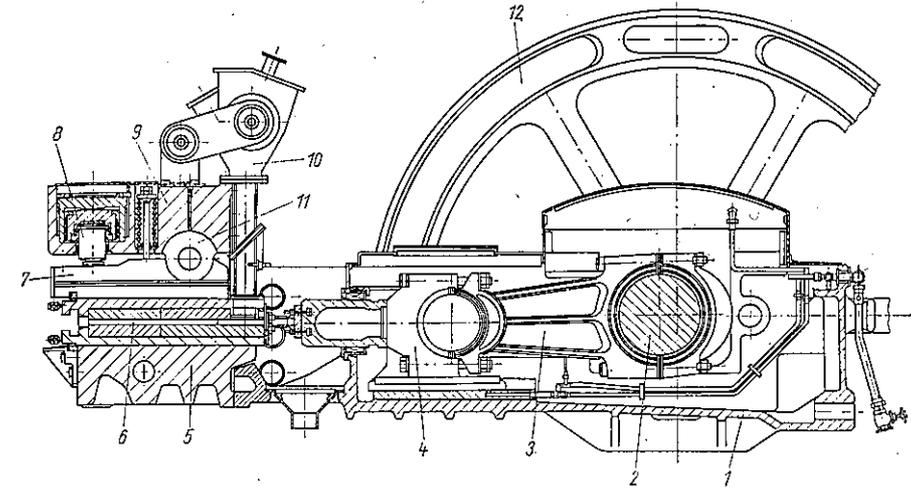
Tafel 2.16. Vorgänge in Strangpressen (Vergleich)

	Schubkurbel- presse Zeitanteile in %	Kniegelenk- presse
Vor- und Fertigfüllung	57	42
Kompression	6	16
Strangvorschub und Brikettausstoß	15	19
Rückexpansion	4	6
Leerlauf	18	17
Summe = 1 Arbeitsspiel	100	100

man vorwiegend für harte, schwer brikettierbare Braunkohle und für Gut $\approx 0 \dots 2$ mm Aufgabekörnung.

In Tafel 2.16 sind die zeitlichen Anteile für die einzelnen Vorgänge in % des gesamten Arbeitsspiels für Schubkurbel- und Kniegelenkpresse gegenübergestellt.

Schubkurbelstrangpresse (Bild 2.87). Preßklotz besteht meist aus Stahlguß. Bei hydraulischer Zungenverstellung (statt Spindelverstellung) sind Elastizität und Druckausgleich besser; dadurch Herstellfehler (Reißen der Briketts) geringer. Form wird beim Anpressen mit Dampf beheizt, beim normalen Betrieb mit Wasser gekühlt. Kanal der Preßform ist meist 900 bis 1300 mm lang. Buckel in oberer und unterer Schwalbung erhöht Preßdruck bzw. erspart unnötig langen Preßkanal. Bewährt hat sich i. allg. Buckel $h/l \approx (4 \dots 5)/150$ mm; jedoch hängt optimale Buckelgröße auch von Kohlebeschaffenheit ab. Fugen im Buckel sind zu vermeiden. Hinter Buckel erweitert sich Form etwas, so daß Brikett zügig (ohne Ribbildung) expandieren kann. Übliche Drehzahl der Hauptwelle beträgt 100 ... 120 U/min, bei schnellaufenden Pressen 150 ... 200 U/min; daher Zeit für ein Preßspiel (Arbeitstakt) 0,5 ... 0,3 s.

Bild 2.87. Schubkurbelstrangpresse
VEB Zernag, Zeitz

1 Pressenrahmen; 2 Kurbelwelle (Antrieb); 3 Schubstange; 4 Pressenbär (Kreuzkopf); 5 Preßklotz (Pressenkopf); 6 Formkanal; 7 Zunge; 8 Hydraulikkolben; 9 Deckplatte; 10 Kohlezuführung; 11 Pfannenlager; 12 Schwungrad

Querschnitt des Stempelschafts entspricht dem des Brikettriegels. Schaftlänge eines neuen Stempels 475 ... 500 mm; Hub $h = 200 \dots 220$ mm, bei Schnellläufern 150 ... 170 mm; Eintauchtiefe $l = 85 \dots 95$ mm; Kompressionsverhältnis $K = V_{\text{Schütt}}/V_{\text{Brik}} = \rho_{\text{Brik}}/\rho_{\text{Schütt}} \approx l/s_{\text{Br}}$ (s_{Br} Brikettstärke). Meist führt Speisewalze, bei der Zuteilmenge durch Walzendrehzahl und Schieber verändert werden kann, Kohle vom Pressenrumpf dem Kohlefallschacht des Preßklotzes zu. Andere Möglichkeiten für Kohlezuführung sind z.B. Zellenrad oder Füllkolben, voller oder offener Füllschacht ohne maschinelle Zuteilvorrichtung. Im letzten Fall kann Brikettstärke schwanken. Bei schnellaufenden Pressen mit offenem Füllschacht kann Gut durch Druckluft verdichtet werden, die mit etwa 0,5 bar Überdruck in Einfüllrichtung zugeführt wird.

Stempelstopfbüchse zur Staubabdichtung vor Füllschacht ist meist aufklappbar. Strangpressen werden entweder elektrisch (vom E-Motor über Riemen oder Seile auf Schwungrad) oder durch Dampf angetrieben (wobei Dampfmaschine mit Schubkurbelpresse über gemeinsame Kurbelwelle gekoppelt sind), meist mit ≈ 20 bar Überdruck aus Vorschalt- oder Entnahme-

turbinen. Abdampf mit i. allg. 4 bar Gegendruck beheizt Braunkohlentrockner. Dampftrieb bietet günstige Drehzahländerung. Vorteile des elektrischen Antriebs: Konzentration der Energieerzeugung, einfacheres Rohrleitungsnetz, ölfreier Turbinenabdampf für die Trockner. Strangpressen werden für kleinere Betriebe als Einstempelpressen, für größere Betriebe als Zwillings-, Drillings- und Vierlingspressen gebaut. Stempel arbeiten zwecks besseren Kraft- und Massenausgleichs versetzt.

Maulweite der Strangpresse, die gleich lichter Breite des Formkanals ist, entspricht möglicher Länge des Briketts bzw. Brikettriegels. Briketts sind 60 ... 80 mm hoch; ihre Dicke zwischen 40 und 60 mm ist verfahrensbedingt nicht exakt herstellbar. In einer Presse von gegebener Maulweite können Briketts verschiedener Formate gefertigt werden, soweit Länge des Briketts oder Brikettriegels innerhalb der Maulweite liegt. Entsprechendes Formzeug ist einzusetzen. Strangpressen haben zentrale Ölumlaufschmierung mit verstellbaren Mengenzuteilern.

Größter Verschleiß tritt am Formzeug auf. Formverschleiß hängt vor allem ab von Härte sowie Asche-, Sand- und Wassergehalt der Kohle, Kornzusammensetzung, Brikettformat, Buckelform, Preßdruck, Formkühlung und Werkstoff des Formzeugs. Liegedauer einer Form schwankt daher stark. *Formzeugwechsellmaschine*, mittels Kran und Laufkatze verfahrbar sowie hydraulisch heb- und senkbar, vermindert Zeit für Formlegen und schont Presse und Formzeug. Komplettes Formzeugpaket wird durch hydraulischen Arbeitszylinder herausgezogen und neues Formzeug eingeschoben.

Leicht verfahrbare *Ausbohrvorrichtung* (VEB Zemag, Zeitz) für festgefahrene Pressen vermeidet schwere körperliche und zeitraubende Arbeiten. Festsitzender Brikettstrang kann in wenigen Minuten durch Bohren gelöst und danach leicht entfernt werden.

Entwicklungstendenzen: Durchsatzsteigerung der Pressen zur Angleichung an moderne Großröhrentrockner mit 4625 m² Heizfläche und ≈ 5 t Trockenbraunkohle je m Arbeitsbreite und Stunde, Maßnahmen zur Verschleißminderung.

Daten. Durchsatz ist

$$\dot{Q} = \eta i m n \cdot 60 \cdot 10^{-6} \frac{\dot{Q}}{\text{t/h}} \left| \frac{\eta; i}{-} \right| \frac{m}{g} \left| \frac{n}{\text{U/min}} \right|; \quad (2.54)$$

i Anzahl der Stränge,
m Brikett- bzw. Riegelmasse,
 $\eta \approx 0,9$ zeitlicher Ausnutzungsfaktor, bedingt durch Formlegen, Anpressen, Reparaturen usw., z.B. Zwillingsstrangpresse mit 900 g Brikettmasse und 100 U/min: $\dot{Q} \approx 10 \text{ t/h}$.

Spezifischer Arbeitsbedarf ist wegen Reibung verhältnismäßig hoch: $W_0 \approx 25 \text{ kWh/t}$ für Normalbriketts, 30 ... 40 kWh/t für Feinkornbriketts; Leistungsbedarf nach Gl. (2.5), S. 65.

Spezifischer Preßdruck kommt beim Anpressen auf maximal 1700 ... 2100 bar und liegt im Dauerbetrieb zwischen 1200 und 1500 bar.

Anwendung hauptsächlich für Brikettierung von Braunkohlen ohne Bindemittel; dadurch Steigerung des Formwerts, Erhöhung von Heizwert und Verbrennungstemperatur, Senkung der Transportkosten. Für normale Heizbriketts wird relativ grobe, im Naß- und Trockendienst hergestellte Körnung von 0 ... 4 mm und 16 ... 19% H₂O verpreßt. Für Kokereizwecke dient Feinkornbrikettierung, z.B. mit Aufgabegut 0 ... 2 mm und 14 ... 15% H₂O. Gefordert werden 18 N/mm² Festigkeit und $\rho = 1,3 \text{ t/m}^3$ für Kokereibriketts; Strangpressen erreichen 20 N/mm².

2.6.2.2. Ringwalzenpressen

Wesentliche Verfahrensmerkmale sind stetiger Preßbetrieb durch Verdichten des Preßguts im Ringspalt, der bei Abwälzen des Preßbrads auf dem exzentrisch gelagerten Preßring entsteht, günstiger spezifischer Arbeitsbedarf, sehr hoher spezifischer Preßdruck. Bei Presse nach Bild 2.88 geht Antrieb über Stirnradgetriebe und Gelenkwelle auf Preßrad. Preßring wird über Kohlenstrang mitgenommen und dreht sich auf einer Druck- und einer Stützrolle. Preßdruck wird hydropneumatisch durch zwei Arbeitszylinder erzeugt, die auf schwenkbar gelagertes Preßrad wirken. Von hier wird Druck über Brikettstrang und Preßring auf Druckrolle übertragen. Zur Erleichterung des Anfahrens wirkt 5-kW-Hilfsantrieb über Kettenräder und Überholkupplung auf Stützrolle und sichert Drehung des Preßrings, wenn Brikettstränge noch nicht genügend druckfest für Übertragung der Bewegung sind. Pressendrehzahl und Staubabgabe stufenlos einstellbar. Bild 2.89 zeigt Kohlezuführung. Drehzahlverstellbare Schnecke

mit Schleuderrad führt Brikettiergut zwangsläufig zu (Motor 7,5 kW). Einzugraum ist seitlich abgedeckt. Kohle wird im Überschuß zugeleitet und durch Schleuderrad etwas vorverdichtet; überschüssige Kohle durch besondere Schnecke zurückgeleitet. Annäherung der Radien von Preßrad und Preßring verlängert Preßweg, verbessert dadurch Einziehen des Guts und verlangsamt Kompression und Rückexpansion (günstig für Brikettgüte). Preßring und -rad erzeugen zwei nebeneinanderliegende Brikettstränge.

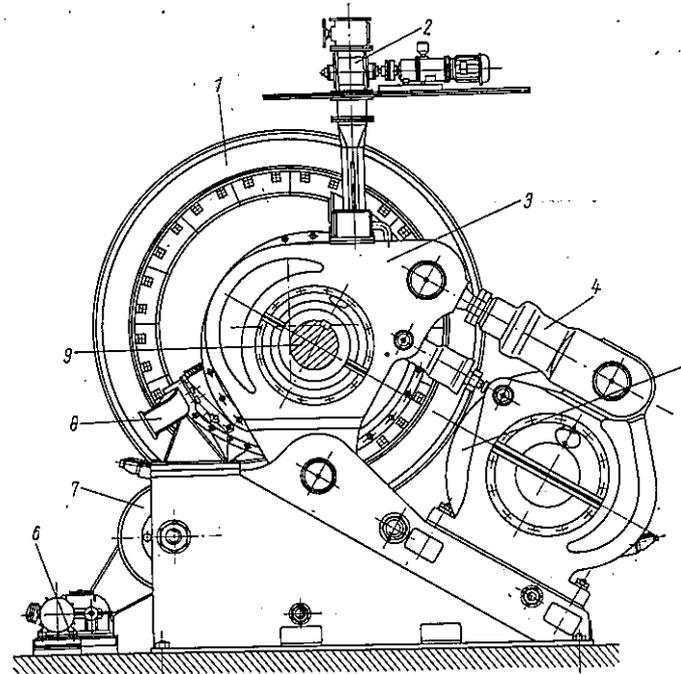


Bild 2.88. Ringwalzenpresse

VEB Zemag, Zeitz

1 Preßring; 2 Zuführung des Preßguts; 3 Preßradträger (schwenkbar); 4 Hydraulikzylinder; 5 Druckrolle; 6 Hilfsantrieb; 7 Stützrolle; 8 Brikettaustrag; 9 Preßradwelle

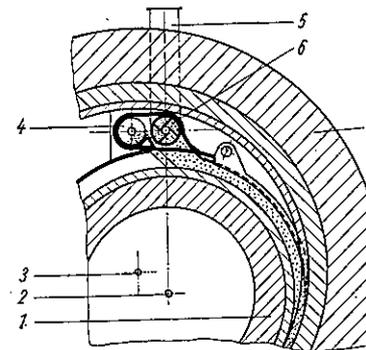


Bild 2.89

Kohlezuführung bei Ringwalzenpresse

1 Preßring; 2 Mitte Preßrad; 3 Mitte Preßring;
 4 Schnecke für Rückleitung überschüssigen Aufgabeguts; 5 Füllrohr (Aufgabe der Kohle);
 6 Schnecke mit Schleuderrad für Kohlezufuhr;
 7 Preßring

Daten. Preßdruckdiagramm s. Bild 2.90; Ausstoß an Briketts 12,5 t/h bei 8 U/min des Preßrads; installierte Motorleistung 225 kW; Preßraddurchmesser 1800 mm; Preßdurchmesser des Ringes 2400 mm; Masse der Presse ≈ 124 t.

Anwendung für Feinkorn-Hochdruckbrikettierung von Braunkohle (vornehmlich harter, schwer brikettierbarer) sowie mancher Erze, ohne Bindemittel. Braunkohle ist auf Körnung 0 ... 1 oder 0 ... 0,5 mm und auf optimalen Wassergehalt von 10 ... 11% zu bringen. Anteil im Aufgabegut an feinstem Staub unter 60 μ m soll < 20% sein.

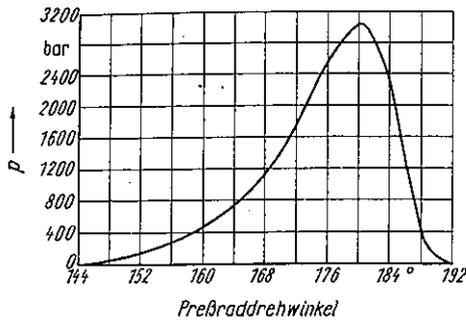


Bild 2.90
Preßdruckdiagramm der Ringwalzenpresse nach Bild 2.88

2.6.2.3. Walzenpressen

Spezifischer Preßdruck liegt meist unter 300 bar; daher sind zusätzliche Bindemittel fast immer erforderlich. Druck kann erhöht werden durch Vergrößerung des Walzendurchmessers, Verringerung der Fließfähigkeit des Brikettierguts oder Anwendung von Gegenstempeln. Antrieb (Bild 2.91) wirkt als Einfachantrieb nur auf eine Walze mit kraftübertragenden Kuppelrädern zwischen den Walzenwellen oder, vor allem für schweren Einsatz, als Zweifachantrieb mit besonderem Motor für jede Walze und mit Synchronisierädern (viel geringer beansprucht als Kuppelräder) zwischen den Walzenwellen. Walzen sind mit Formzeugen armiert. Zum genauen Gegenüberstehen der Formmulden der zwei Walzen ist Verstellbarkeit einer Walze gegenüber der Welle zweckmäßig. Günstig ist ferner hydraulische Verstellmöglichkeit der Lager einer Walze zur Einstellung von Preßdruck und Spalt (0,3 ... 0,5 mm) sowie als Überlastschutz (bis 30 mm ausweichbar). Formen werden als Formbandagen oder -segmente ausgeführt. Formsegmente mit Entlastungsnut sind angeschraubt und daher leicht auswechselbar. Mulden der Formen werden geschliffen und poliert. Große Pressen haben besonders schwere Pendelrollenlager. Zuteilzunge zwischen Füllschacht und Walzeneinzug läßt durch ballige Form außen mehr Gut zu als in Walzenmitte; dadurch besserer Druckausgleich über gesamte Walzenbreite. Für Gut, das zum Anbacken neigt, kann Vibrierschacht benutzt werden. Schacht und Zunge (aus nichtrostendem Werkstoff) sind poliert. Nicht genügend rieselfähiges Gut erfordert Stopfschnecken oder andere mechanische Zuteiler. Über der Presse befindet sich Mischer für Stoffkomponenten und Bindemittel, z.B. kontinuierliche Zweifachmischschnecke für trockene Substanzen (wie Steinkohle und Trockenpech) oder kontinuierlich

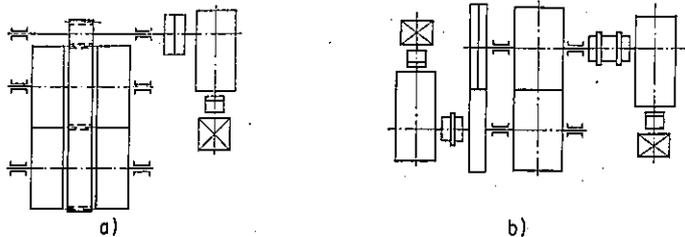


Bild 2.91. Antriebsbeispiele für Walzenpresse
a) Einfachantrieb; b) Zweifachantrieb

arbeitender Mischer für Schleuder- und Wirbelverfahren, der sich außerdem zum Zumischen flüssiger Bindemittel nicht zu hoher Viskosität eignet (s. S. 145). Bei höherer Viskosität des Bindemittels sind beheizte Knetwerke erforderlich.

Daten. VEB Zemag, Zeitz, baut Größe 1000 mm \times 300 mm \times 2 (Walzendurchmesser \times -breite \times -paare) für Brikettieren von Steinkohlen, Koks, Erzen. $\dot{Q} \approx 10 \dots 20$ t/h; $P \approx 75$ kW. Brikett in Kissenform bis 155 mm \times 100 mm \times 55 mm mit $m \approx 800$ g. Andere Größe mit 1400 mm Walzen-Dmr. liefert größere Brikettformate.

Anwendung für Steinkohlen, Koks, Erze, Gichtstaub u. dgl. Bei Steinkohle kommt meist feinkörnige, für unmittelbare Verfeuerung wenig geeignete Magerkohle in Betracht. Ferner werden Briketts aus Eisenerz und Kohle oder Eisenerz, Kohle und Kalk hergestellt, so daß bereits im Brikett gewisse Möllierung vorliegt. Bindemittel sind Pech, Sulfitablauge u. dgl. (Steinkohle wäre ohne Bindemittel nur mit extrem hohen Drücken brikettierbar.) Ohne Bindemittel lassen sich in Walzenpressen nur Stoffe brikettieren, die zur Bindung neigen, z.B. manche Plastmassen. Kissenform der Briketts gibt für Verkokung von Steinkohle günstigen Formkoks. Bituminöse Bindemittel verbessern Briketts (größere Wasser- und Wetterbeständigkeit, oft wichtig). Anteil an Feinstkorn < 60 μ m im Aufgabegut nicht > 25 ... 30%.

2.7. Mischen

2.7.1. Allgemeines

Mischen soll einheitliches Gemenge von Körnern unterschiedlicher Stoffe und Größen mit oder ohne Flüssigkeit erzeugen; d.h., im Mischraum entsprechend ausgebildeter Maschinen ist sehr große Anzahl weiträumiger Lageveränderungen, auch der kleinsten Teilchen, in möglichst kurzer Zeit zu erzielen. (Mischen und Sortieren oder Klassieren sind also gegensätzliche Verfahren, ebenso wie Zerkleinern und Stückigmachen.)

Beim reinen Mischen soll i. allg. nicht zusätzlich zerkleinert werden. Mitunter ist jedoch gleichzeitiges Zerkleinern erwünscht (s. Mischmühlen, S. 145). In manchen Betrieben, z.B. in keramischen, wird auch eisenfreies Mischen (entsprechend dem eisenfreien Zerkleinern) gefordert. **Gütegrad der Mischung.** Fortschreitende Güte des Produkts während des Mischens wird geprüft, indem man z.B. den Komponenten einen Indikatorstoff zusetzt, dessen Mengenanteil physikalisch oder chemisch leicht zu analysieren ist. Nach guter Mischung muß prozentualer Mengenanteil des Indikatorstoffs für beliebige, an verschiedenen Stellen des Mischraums entnommene kleine Proben der gleiche sein wie in der gesamten Stoffmenge. Ferner kann man Mischfarbe bei verschiedenfarbigen Komponenten prüfen. Nach ausreichender Mischung erlangt Mischfarbe einen Endwert. Schließlich läßt sich Mischgüte auch indirekt an Qualität des Endprodukts ermitteln, z.B. an Festigkeit von Betonproben. Maßgebend für Gütegrad sind erforderliche Mischzeit t und erforderliche Antriebsleistung P für zu mischende Gesamtmenge m . Somit ist spezifischer Arbeitsbedarf für satzweises Mischen

$$W_0 = \frac{Pt}{m \cdot 3600} \quad \frac{W}{\text{kWh/t}} \quad \frac{P}{\text{kW}} \quad \frac{t}{\text{s}} \quad \frac{m}{\text{t}} \quad \frac{\dot{m}}{\text{t/h}} \quad (2.55)$$

und Leistungsbedarf für kontinuierliches Mischen

$$P = \dot{m} W_0. \quad (2.56)$$

Einteilung. Nach Mischverfahren unterscheidet man *Freifallmischer* (durch vielfältige Wurfbewegungen, oft unter Verwendung von Einbauten wirkend) und *Zwangsmischer* (mit angetriebenen Mischwerkzeugen, wie Messer, Rechen, Koller, Schnecken), auch Rührwerk-mischer genannt. Beide Mischverfahren können in *Chargen-* oder *Stetigmischern* durchgeführt werden. Es gibt ortsfeste und fahrbare Mischmaschinen.

Anwendung. Freifallmischer werden für Baustoffe, wie Kalkmörtel, Putzsorten, Mischbinder, Zementmörtel, Beton (mit größeren Zuschlägen), verwendet; Vorteile sind u.a. geringer Verschleiß und Leistungsbedarf, Einfachheit der Geräte. Zwangsmischer werden auch in Baustoffindustrie zunehmend eingesetzt, besonders wegen kurzer Mischzeit und höherer Mischgüte. Sie sind z.B. bei Fertigung von Kalksandsteinen, die intensives Mischen von Quarzsand und Kalk erfordern, den Freifallmischern überlegen. Ferner werden in Zwangsmischern gemischt: keramische Massen, Gießereisande, Brikettiergut für Kohlen- oder Erzbrikettierung, Farbstoffe, künstliche Düngestoffe, Pro-

dukte der chemischen Industrie. Zwangsmischer teilen klumpige, knollige Stoffe besser auf als Freifallmischer. Zwangsmischer haben höheren Leistungsbedarf und etwas größeren Verschleiß, dagegen besseren Gütegrad der Mischung bzw. kürzere Mischzeiten. Chargenmischer sind häufiger als Stetigmischer. Auf Baustellen ist kontinuierliche Fertigung nicht einzuhalten; ferner ist für kleinere Baustellen zusätzlicher Aufwand für stetig arbeitende Dosiereinrichtungen zu groß. Chargenmischer können durch entsprechende Steuerung in stetigen Verfahrensgang eingegliedert werden. Stetigmischer sind z.B. für kontinuierliche Herstellung von Betonsteinen oder Betonfertigteilen in großer Stückzahl geeignet.

2.7.2. Freifallchargenmischer

2.7.2.1. Sturztromelmischer (Taumelmischer)

Durch geneigt zur Drehachse liegende Trommelachse entsteht Taumelbewegung mit Längs- und Querverlagerungen des Guts beim Drehen. Einbauten entfallen. Gefüllt und geleert wird durch Öffnungen mit Deckeln oder Klappen. Trommel kann für eisenfreies Mischen mit Schmelzbasalt, Porzellan oder dgl. ausgekleidet werden. Trotz einfacher Bauweise ist Mischung gut (Bild 2.92).

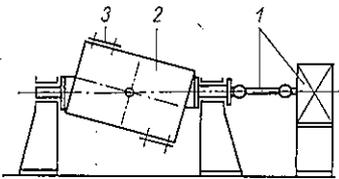


Bild 2.92
Taumelmischer
1 Antrieb; 2 Mischtrommel; 3 Öffnungen zum Füllen und Entleeren

2.7.2.2. Kipptromelmischer

Einseitig offene, auf Laufrollen gelagerte Mischtrommel wird innerhalb schwenkbaren Trommelträgers über Zahnkranz oder Antrieb einer Laufrolle gedreht. Zwischen Füll-, Misch- und Entleerstellung wird bei kleinen Geräten durch Handantrieb, bei größeren hydraulisch oder pneumatisch gekippt. Zum Beladen dient meist Kübelaufzug mit Bodenentleerung bei steiler Trommelstellung. Größere Mischer, z.B. für 1,5 ... 2,0 m³ Nutzinhalt, haben selbst-

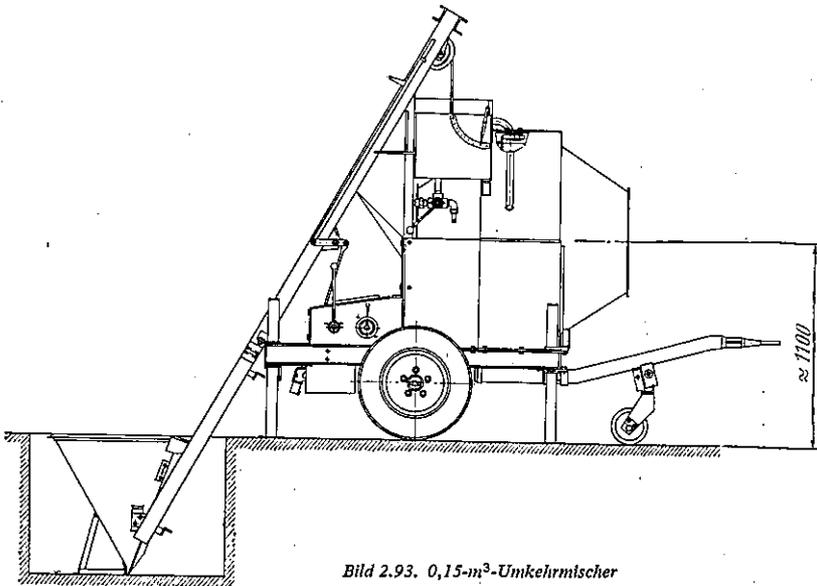


Bild 2.93. 0,15-m³-Umkehrmischer

tätige Steuerung für Kippen und Aufzugbewegung. Einbauten und Innenwand der Trommel sind durch Stahlplatten vor Verschleiß geschützt.

Daten für kleinen, einachsigen fahrbaren Kipptromelmischer mit 0,15 m³ Nutzinhalt: $\dot{Q} = 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 30 Spielen/h; Trommeldrehzahl 24 U/min; $P_M = 1,5 \text{ kW}$ für Elektromotor, = 3,0 kW für Benzinmotor; $m = 0,6 \text{ t}$ mit Motor und Fahrgestell.

2.7.2.3. Umkehrmischer

Liegende, an beiden Enden kegliche und offene Mischtrommel wird an einem Ende (Füllöffnung) durch Aufzug mit Kippkübel oder Kübel mit Bodenentleerung beschickt (Bild 2.93). Einbauten (Blechschaufeln) bewirken intensive Mischung. Nach Umkehr des Trommeldrehsinns (mechanisch oder elektrisch) treiben Einbauten das Gut zur Entleerungsöffnung. Bei kleineren Geräten hat Trommel oft nur einen Lauftring, der mit Zahnkranz für Trommelantrieb kombiniert ist. Hierbei sind Führungs- und Laufrollen erforderlich. Neuere Bauarten haben gummibereifte Rollen unterhalb der Trommel (vgl. Bild 2.113, S.162). Bei Vollautomatik läuft nach Betätigen eines Druckknopfs ein vollständiges Arbeitsspiel der Mischtrommel und der Beschickungseinrichtung ab.

Daten für 0,15 m³ Nutzinhalt: $\dot{Q} = 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 30 Spielen/h, $n = 18 \text{ U/min}$, $P = 2 \times 1,5 \text{ kW}$, $m = 1,0 \text{ t}$; für 1,0 m³ Nutzinhalt: $\dot{Q} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 40 Spielen/h, $P_{\text{ges}} = 14 \text{ kW}$. Füllungsgrad φ und Drehzahl $n < n_{\text{krit}}$ sind durch Versuch auf Optimum abzustimmen.

2.7.2.4. Gleichlaufmischer

Mischtrommel ist ebenfalls zweiseitig offen, an Enden keglig und hat Schaufeleinbauten. Entleert wird durch Einschwenken einer Abzugrinne (vom Bedienungsstand gesteuert) in den Kegel am Austragende unter Beibehaltung des Drehsinns.

2.7.3. Freifallstetigmischer

In vorgeschriebener Dosierung aufgegebene Stoffkomponenten durchlaufen Mischtrommel kontinuierlich. Einbauten (Mischschaufeln) in Trommel sind z.T. verstellbar zur Anpassung an Art des Mischguts. Mit Rücksicht auf Bedarf, Aufwand, Gütegrad werden Freifallstetigmischer wenig benutzt. Stetig arbeitende Mehrfach-Taumelmischer haben mehrere Taumeltrommeln hintereinander, stufenartig in einem Stück.

2.7.4. Zwangschargenmischer

2.7.4.1. Tellermischer mit senkrechter Mischwelle

Als Mischwerkzeuge dienen je nach Bedarf Schare, Rechen, Messerkörbe, Koller (letzte für zusätzliches Kneten). Es können gleiche oder verschiedenartige Werkzeuge im Mischaum gleichzeitig arbeiten. Entleert wird durch Öffnen von Klappe oder Schieber im Boden. Beschickung ist meist ähnlich wie bei Freifallmischern.

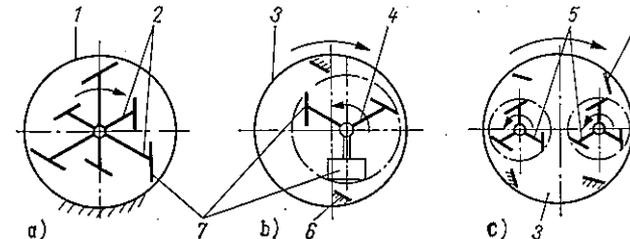


Bild 2.94. Tellermischertypen

1 Teller (nicht drehend); 2 Mischwelle (drehend); 3 Teller (drehend); 4, 5 Mischsterne (gegenläufig zum Teller drehend); 6 Randabstreifer (ortsfest); 7 Mischwerkzeuge (Schare, Koller usw.)

Einfache Tellermischer. Sie haben feststehenden Teller und zentralen Mischstern, an dessen Armen Mischwerkzeuge fest oder federnd angebracht sind (Bilder 2.94a und 2.95). Geräte sind häufig fahrbar, je nach Größe auf ein- oder zweiachsigem, gummibereiftem Fahrgestell. Baugrößen bis $\approx 1,5 \text{ m}^3$ Nutzinhalt.

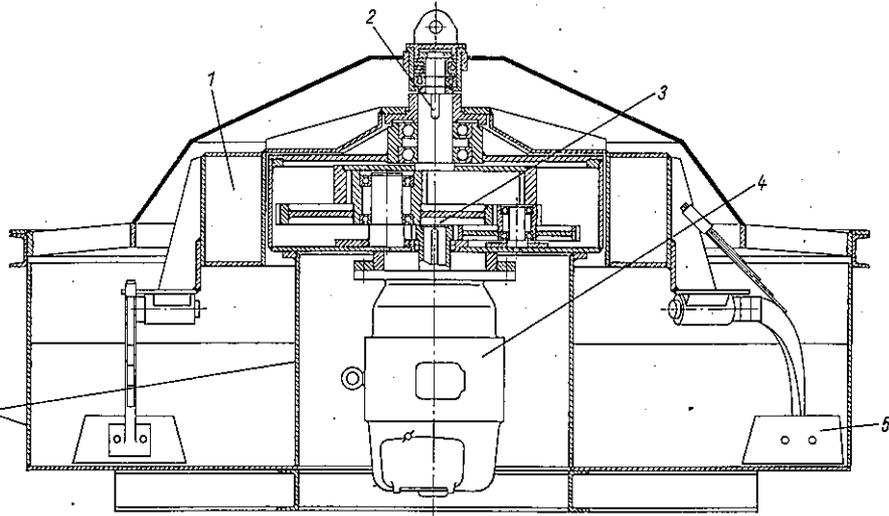


Bild 2.95. Einfacher Tellermischer mit zentralem Motor

1 Tragkörper (ringförmig) für Werkzeuge; 2 zentrale Hauptwelle; 3 Getriebe (Antrieb zu 1 und 2); 4 Motor; 5 Mischwerkzeuge an 1, z.B. Schare; 6 Maschinengestell und Mischteller

Planetenmischer. Sie haben feststehenden Teller und zentral umlaufenden Stern, an dessen Enden kleinere Mischsterne im entgegengesetzten oder gleichen Sinn rotieren. Mischschare und Koller sind federnd gelagert. Koller haben gegenüber Tellerboden etwas Spiel.

Daten. Übliche Größen 0,25; 0,5 und $1,0 \text{ m}^3$ Nutzinhalt (Trockensubstanz). Beispiel: Mischer für Beton, Aufgabemenge $0,75 \text{ m}^3$: $\dot{Q} = 22 \dots 24 \text{ m}^3/\text{h}$, $m = 4,5 \text{ t}$ (ohne Aufzug), reine Mischzeit 40 ... 50 s; für Formsand, Aufgabemenge $0,5 \text{ m}^3$: $\dot{Q} = 5 \dots 10 \text{ m}^3/\text{h}$, $m = 5,0 \text{ t}$, reine Mischzeit 120 ... 240 s; beide mit Mischstellerinnendurchmesser 2200 mm und Mischwerkmotor 13 kW.

Gegenstrommischer (Bilder 2.94 b und c). Sie haben rotierenden Teller und ein oder zwei meist gegenläufig drehende, mit Werkzeugen armierte Mischsterne an fester Achse. Außerdem können ortsfeste Schaber oder Leitschaufeln in den Teller ragen, die Gut den Mischsternen zuführen: Sonderausführungen sind gekapselte Bauweise, nach Bedarf mit Anschluß an Entlüftung oder Entstaubung, Dampf- oder Gasbehandlung des Mischguts, säurefeste oder nicht-rostende Ausstattung. Mischwirkung ist etwa gleich wie beim Planetenmischer. Baugröße bis $\approx 3,0 \text{ m}^3$ Nutzinhalt.

2.7.4.2. Chargenmischer für Schleuder- und Wirbelverfahren

Liegende Mischwelle innerhalb zylindrischer, meist feststehender Trommel trägt pflugscharähnliche Schaufeln in versetzter Anordnung. Bei $\approx 60\%$ Trommelfüllung wird zu mischende Masse im Leerraum kreuzweise geschleudert und gewirbelt. Nach Bedarf werden zusätzliche Einbauten benutzt. Heizung oder Kühlung der Trommel ist möglich. Hohe Mischgüte wird nach wenigen Minuten erreicht.

Daten. 0,130 ... 25 m^3 Trommelinhalt, d.h. 0,08 ... 15 m^3 Nutzinhalt.

Weitere Bauarten von Zwangschargenmischern verarbeiten meist weiche Stoffe und kommen für Mineralaufbereitung weniger in Betracht.

2.7.5. Zwangstetigmischer

2.7.5.1. Stetigmischer für Schleuder- und Wirbelverfahren

Sie entsprechen in ihrer Ausführung Chargenmischern für gleiche Verfahren, erhalten jedoch zusätzlich Ein- und (durch Schieber verstellbaren) Auslaufstutzen für stetigen Betrieb. Optimale Trommelfüllung beträgt nur etwa 50%.

Anwendung z.B. zum Mischen von Brikettiergut, von Stoffen der chemischen, keramischen und Farbstoffindustrie.

2.7.5.2. Doppelwellenmischer

Zwei gegenläufige Wellen in langem Trog sind mit Messern armiert, die das Gut mischen, fördern, z. T. wieder bremsen und zerteilen.

Daten. Bei 3,0 m Länge und 1,0 m Breite des Trogs ist $\dot{Q} \approx 12 \dots 15 \text{ m}^3/\text{h}$ und $P \approx 22 \text{ kW}$.

Anwendung vor allem in keramischer Industrie (Mischen grubenfeuchter Tone, Beimischen von Zusätzen u. dgl.).

2.7.6. Zentrale Mischanlagen

An Großbaustellen oder im Bereich mehrerer Baustellen arbeiten zentrale Mischanlagen, z. B. Mischtürme, wirtschaftlicher als Anlagen mit vielen einzelnen Mischmaschinen. Mischtürme mit Zement- und Zuschlagstoffsilos und Mischbühnen (mit Freifall- oder Zwangsmischern) haben automatische Steuerung und Wägung der Stoffkomponenten. Türme sind nach Baukastensystem für schnelle Montage und Demontage konstruiert.

Speziallastwagen fördern Beton zu Einsatzstellen. Trommel auf Wagen dreht sich während Fahrt, um Entmischung zu verhindern (Agitatoren). Bei größeren Entfernungen zur Einsatzstelle erhalten Transportmischer nur dosierte Trockensubstanzen (Bindemittel, Sand und Zuschläge), um vorzeitiges Abbinden zu vermeiden. Gemischt wird unter Wasserzugabe kurz vor Erreichen der Baustelle oder im Stillstand am Ziel. Als weitere Möglichkeit sind große fahrbare Mischanlagen zu nennen.

2.7.7. Mischmühlen

Geeignet für gleichzeitiges Mahlen und Mischen sind lange Rohrmühlen und Rohrschwingmühlen, satzweise arbeitende Trommel- und Schwingmühlen, Schleudermühlen, periodische Mischkollergänge.

2.8. Sortieren

2.8.1. Allgemeines

Für Sortiervorgänge werden Unterschiede der physikalischen Eigenschaften der Stoffkomponenten ausgenutzt. Trennerfolg wird nach Ausbringen und Gütegrad beurteilt (Bild 2.96).

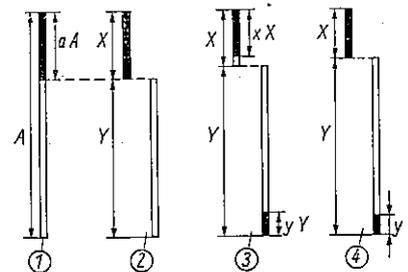


Bild 2.96

Trennvorgänge Sortieren, Klassieren

1 Rohgut (Aufgabegut); 2 Idealfall der Trennung; 3 allgemeiner Fall; 4 Sonderfall schwarz: reiner Wertstoff (z.B. Reinerz, Reinkohle); weiß: reiner Ballast (z.B. nur Steine); A Menge des Rohguts (Aufgabeguts); X Menge der Wertkomponente (z.B. Konzentrat); Y Menge der Abgangskomponente (z.B. Berge); a, x, y Wertstoffanteile in A', X, Y

Man arbeitet mit den Kenngrößen Mengenausbringen

$$\gamma = \frac{X}{A} = \frac{a - y}{x - y} \quad (2.57)$$

und Wertstoffausbringen bzw. Gütegrad

$$\eta = \frac{xX}{aA} = \frac{xv}{a} = \frac{x(a - y)}{a(x - y)} \quad (2.58)$$

Bei verwachsenem Rohstoff ist gutes Aufschließen Vorbedingung für wirksames Sortieren (s. S. 106).

2.8.2. Dichtesortieren

Schwerkraftaufbereitung (gravimetrisches Verfahren) ist weitgehend anwendbar, wenn ausreichende Unterschiede in Dichte der stofflichen Komponenten vorliegen (Kohle oder Erz gegenüber Bergen usw.). Auch in bezug auf verarbeitbare Korngrößen bietet Dichtesortieren breites Anwendungsgebiet bei richtiger Auswahl der Maschinen.

2.8.2.1. Schwertrübeverfahren

Statisches Schwertrübeverfahren. *Sinkscheider* arbeiten mit Schwertrübe, deren Dichte zwischen den zwei Dichten von Leicht- und Schwergut liegt, eignen sich für hohe Durchsätze und haben gute Trennschärfe. Bevorzugt werden halbstarre Trüben mit $\approx 0 \dots 100 \mu\text{m}$ Korngröße des Schwerstoffs. Von Vorteil sind dabei geringere Viskosität, einfacheres Abbrausen und leichteres Regenerieren als bei stabilen Trüben mit Schwerstoff höherer Kornfeinheit. Mit Magnetit ($\rho \approx 5,0 \text{ g/cm}^3$) sind Trübedichten bis $2,0 \text{ g/cm}^3$ erzielbar (geeignet für Kohleaufbereitung), mit Ferrosilizium ($\rho = 6,5 \dots 7,5 \text{ g/cm}^3$) bis $3,5 \text{ g/cm}^3$ (geeignet auch für Erzaufbereitung). Höhere Feststoffanteile sind unzulässig, weil Viskosität der Trübe zu hoch wird. Verdüστε Ferrosilizium ist verfahrensmäßig günstiger (Abrieb, Viskosität, Schwerstoffverlust geringer), jedoch teurer als gemahlenes FeSi. Zur Schwertrübeanlage gehören ein Betriebsrübe- und ein Regenerationskreislauf. Zum Regenerieren der durch Abbrausen verdünnten Trübe (Dünnrübe) werden meist Naßmagnetscheider benutzt (Trennen magnetischer Schwerstoffe - Fe_3O_4 , FeSi - von Verunreinigungen). Anschließendes Entmagnetisieren ist erforder-

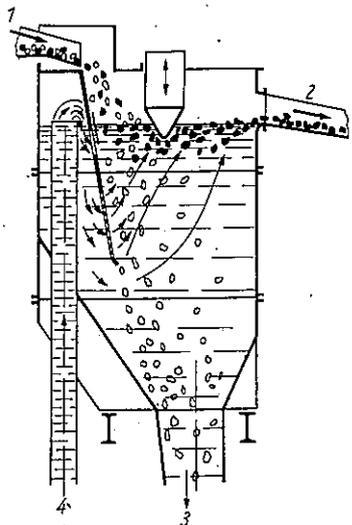


Bild 2.97
Kastensinkscheider
1 Aufgabe; 2 Schwammgut; 3 Sinkgut; 4 Schwertrübezufluß

lich, wobei Trübestrom durch Achse von Wechselstromspulen spezieller Bauart geleitet wird. Bei Ausbildung statischer Schwertrübeanlagen ist ruhige, nicht turbulente Bewegung der Trübe im Arbeitsraum anzustreben. Je ruhiger die Bewegung, desto besser ist Trennschärfe, und desto kleiner können Aufgabekorngrößen sein (bis 6 mm). Langsames Sinken der feinen Körner verringert Durchsatz und Trennschärfe.

Beim *Kastensinkscheider* ohne bewegte Teile (Bild 2.97) wird in Trübe abgesunkenes Schwergut durch Luftheberverfahren unter Einführen von Druckluft in Steigrohre hochgefördert. Um Verstopfungen der Einmündestelle in Steigleitung zu vermeiden, muß lichter Durchmesser des Steigrohrs etwa dreimal so groß sein wie größte Aufgabestücke. Kastensinkscheider mit Luftheberförderung bleibt daher aus wirtschaftlichen Gründen auf 80 ... 100 mm maximale Aufgabestückgröße beschränkt.

Verbrauch an Förderluft 10 ... 15 m³/t Aufgabegut. Schwerstoffverlust stark schwankend zwischen 300 und 800 g/t (steigend mit abnehmender Korngröße des Aufgabeguts).

Bei *Heberadscheider* wird Sinkgut durch Hubschaufeln des Rads aus der Schwertrübe gehoben und zum Ablauf gefördert (Arbeitsprinzip ähnlich wie im Bild 2.98 b). Umfangsgeschwindigkeit des Rads $\approx 0,5 \text{ m/s}$. Größte Heberadscheider nehmen Stücke bis annähernd 1 m Kantenlänge auf. Hierdurch kann Vorschaltung von Klaubearbeit eingespart werden. Durchsatz bei Rohwaschkohle 80 ... 120 t/h je m wirksame Badbreite.

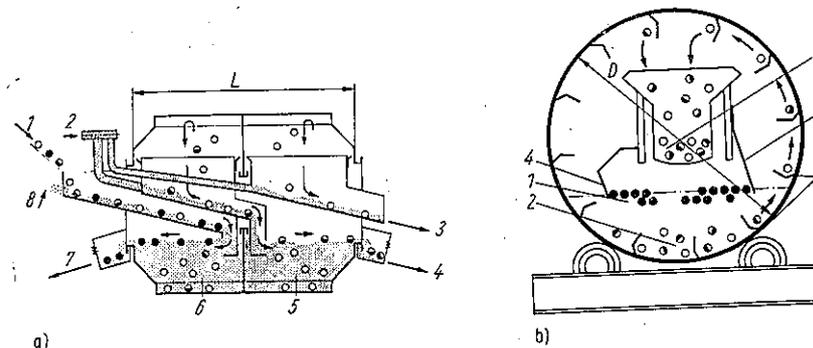


Bild 2.98. Trommelsinkscheider für Dreiproduktenscheidung
Fa. West's Manchester Ltd. (Wemco)

- a) Längsschnitt
1 Rohgutaufgabe; 2 Zufluß der Schwertrübe höherer Dichte; 3 Sinkgut (Schwergut); 4 Mittelprodukt; 5 Abteil der Schwertrübe höherer Dichte; 6 Abteil der Schwertrübe geringerer Dichte; 7 Schwammgut (Leichtgut); 8 Zufluß der Schwertrübe geringerer Dichte
- b) Querschnitt durch erstes Abteil
1 Schwammgut; 2 Sinkgut (Mittelprodukt und Schwergut); 3 Hubschaufeln für Sinkgut; 4 Scheidewände; 5 Sinkgutableitung

Flachtrogscheider hat als Schwertrübebehälter lange Wanne, in der endloses Förderband mit Mitnehmern umläuft und Schwammgut an einem, Sinkgut am anderen Ende der Wanne austrägt.

Trommelsinkscheider ist im Verhältnis zum Durchmesser länger als Heberadscheider; daher bei Bedarf auch Dreiproduktenscheidung in einem Gerät durchführbar. Bauweise und Bedienung einfach. Trommeldrehzahl 1 ... 1,5 U/min. Einfachscheider für Zweiproduktenscheidung und Zweifachscheider (zwei Räume mit unterschiedlicher Trübedichte) für Dreiproduktenscheidung, s. Bild 2.98 a und b. Komplette Anlage s. Bild 2.99.

Daten. $D \times L$ (lichter Durchmesser \times Länge):

$4' \times 4'$ für $\dot{Q} = 5 \dots 15 \text{ t/h}$ bis $12' \times 12'$ für $80 \dots 450 \text{ t/h}$ Einfachscheider,
 $6' \times 10'$ für $\dot{Q} = 15 \dots 50 \text{ t/h}$ bis $12' \times 20'$ für $80 \dots 400 \text{ t/h}$ Zweifachscheider.

(Längenmaße in englisch Fuß)

Dynamisches Schwertrübeverfahren. Hierfür dient Hydrozyklon als Sortier- und Waschzyklon. Aufbau gleicht dem des Klassierzyklons (s. S. 128). Gegenüber statischem Schwertrübeverfahren muß Schwerstoff für Trübe feinkörniger sein ($0 \dots 50 \mu\text{m}$). Hydrozyklon braucht guten Verschleißschutz. Aufgabegut fließt mit Schwertrübe dem Zyklon bei ≈ 1 bar Überdruck zu. Trenndichte ist vor allem durch Trübedichte bestimmt, kann auch durch Größe der Unter- und Überlaufdüse und durch Aufgabedruck beeinflusst werden.

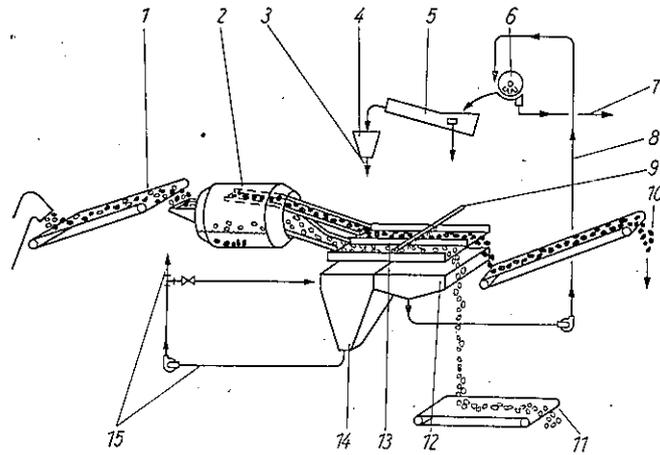


Bild 2.99. Schwertrübeanlage mit Trommelsinkscheider für Zweiproduktenscheidung

1 Rohgutaufgabe; 2 Trommelsinkscheider; 3 zum Schwertrübebehälter 14; 4 Entmagnetisierung; 5 Schraubenklassierer; 6 Naßmagnetscheider; 7 Unmagnetisches; 8 Dünntrübeleitung; 9 Brausewasser; 10 Sinkgut; 11 Schwimmgut; 12 Dünntrübebetriehter (Wasser mit Schwerstoffresten); 13 Abfließ- und Waschsiebe; 14 Schwertrübebehälter; 15 Arbeitstrübekreislauf

Übliche Hydrozyklone haben 350, 500 und 600 mm Zylinderdurchmesser des Oberteils und 25° Kegelwinkel. Sortierzyklone werden z.B. in Erz- und Steinkohlenaufbereitung für Aufgabekorngrößen $10 \dots 1$ mm benutzt. Im Wettbewerb stehen jedoch Setzmaschinen, deren Betrieb in der Gesamtanlage billiger ist.

2.8.2.2. Setzmaschinen

Allgemeines. Laufende Energiezufuhr durch Pulsbewegungen des Wassers ist (unter Zufuhr von Frischwasser) erforderlich, da Schwergut nur unter Auflockerung des Korngemenges vom Leichtgut getrennt wird (Beseitigung der Reibungs- und Packwiderstände). Derzeitige Theorie des Setzvorgangs nimmt vorwiegend Senkung des Gesamtschwerpunkts an, also Übergang vom labilen Zustand des ungeschichteten zum stabilen Zustand des geschichteten Gemenges unter Mitwirkung der Gleichfälligkeit (s. S. 163). Kornklasse des Aufgabeguts braucht nicht so eng zu sein wie Gleichfälligkeitsklasse, darf aber auch nicht zu breit zugelassen werden. Wenn nötig, wird vor dem Setzen in Kornklassen unterteilt.

Setzverfahren sind weniger trennscharf als Schwertrübeverfahren. Jedoch behaupten sich Setzmaschinen weiterhin wegen geringen Aufwands für Anlage und wegen einfacher Bedienung. Neuere Maßnahmen zur Verbesserung von η und Erhöhung von \dot{Q} (s. S. 151) haben Anwendung der Setzmaschinen wieder gesteigert. Wichtige Betriebsparameter sind Hubhöhe, Hubzahl und Unterwassermenge. Sieblänge beeinflusst Gütegrad; dagegen wirken Siebbreite und Korngrößen (Schichthöhe) auf Durchsatz. Aufgabemenge soll möglichst wenig schwanken. Man unterscheidet Maschinen mit bewegtem Sieb (Stauchsetzmaschinen) und die vorwiegend benutzten mit festem Sieb, wie Kolben- und Membransetzmaschinen, sowie luftgesteuerte Setzmaschinen. Zur Anpassung an Aufgabekorngrößen gibt es Grobkorn- und Feinkorn-

setzmaschinen. Grobkornsetzmaschinen werden bei Steinkohle mit Korngrößen $150 \dots 10$ mm, bei Erzen mit $50 \dots 3$ mm, Feinkornsetzmaschinen bei Steinkohle mit $10 \dots 0,5$ mm, bei Erzen mit $3 \dots 0,5$ mm beschickt. Bei Feinkornsetzmaschinen ist Schichtdicke geringer, Hubhöhe h kleiner und Hubzahl n größer (Dauer des Wasserstoßes kürzer). Orientierungswerte (für Erze): $h \approx 50$ mm bei $n = 100/\text{min}$; $h \approx 15$ mm bei $n = 200/\text{min}$; $h \approx 3$ mm bei $n = 500/\text{min}$.

Nach Art der Abtrennung der Leichtgut- von der Schwergutschicht unterscheidet man *Austrag- und Durchsetzmaschinen*. Durchsetzmaschinen eignen sich für feineres Gut < 3 mm. Sie haben auf dem Setzsieb ein *Graupenbett*. Lochweite des Siebs rund zweimal so groß wie obere Korngröße des Setzguts, Graupen wiederum größer als Sieblochweite. Dichte der Graupen entspricht ungefähr der Dichte des Schwerguts. Beim Setzen von Steinkohle wird oft Feldspatbett benutzt. Graupen können auch eiserne Hohlkörper sein. Schwergut arbeitet sich während seines Weges langsam durch Graupenbett hindurch.

Bei Maschinen mit festem Sieb sind Setzabteile (Schwer-, Mittel-, Leichtgutabteil) durch Querwände in einzelne Kammern mit selbständiger Pulsung unterteilt. Austragsetzmaschinen werden bei erhöhten Ansprüchen und wechselnder Zusammensetzung des Aufgabeguts über einen Schwimmer geregelt, der sich an der Grenze zwischen Leichtgut- und Schwergutschicht der Höhe nach einstellt (vgl. Bild 2.103). Anstelle des Schwimmers kann auch radioaktive Dichtemeßstrecke benutzt werden. Gestänge des Schwimmers ist der Reibung wegen in Rollen geführt. Schwimmer steuert Servomotor, der Organ zur Schichtentrennung (z.B. Schieber) am Austrag richtig einstellt und danach automatisch gestoppt wird. Unterer Austrag des Schwerguts aus der Maschine geschieht z.B. durch Becherwerk oder bei feineren Körnungen < 8 mm über Schwannenhäule. Für Dreiproduktenscheidung werden zwei Setzsiebe hintereinandergeschaltet. Setzmaschinen sortieren vor allem Erze und Steinkohlen.

Stauchsetzmaschinen. Sie dienen z.B. zum groben Anreichern armer Erze in einfacher, billiger Weise und zum Abscheiden gröberer Bergestücke. Auslaufwehre sind zur Anpassung an Höhe der Schwergutschicht verstellbar. Setzsieb wird schneller gesenkt als gehoben, was günstig für Auflockerung und Schichtungsvorgang ist. Wasser- und Leistungsbedarf sind gering. Setzsiebbreite bis ≈ 1 m; Hubzahl $75 \dots 90 \text{ min}^{-1}$; Aufgabegrößen $\approx 50 \dots 3$ mm (mit Unterteilung in Klassen); spezifischer Durchsatz für Erze $\dot{Q}_0 = 8 \dots 30 \text{ t/mh}$ (d.h. je m Siebbreite und Stunde), je nach Korngrößen und Dichte des Setzguts.

Kolbensetzmaschinen (Bild 2.100). Sie haben rechteckige Kolben, mit ein oder zwei Kolbenstangen starr verbunden, bei reichlich Spiel gegenüber Wandungen. Auswechseln schwerer Kolben nach Verschleiß erfordert umfangreiche Montagearbeit. Antrieb erfolgt über Kniehebel oder Exzenter. Hub ist verstellbar, z.B. durch zwei ineinandergesetzte Exzenter. Setzsiebbreiten für Erze bis 0,8 m, für Steinkohle bis 2 m; $\dot{Q}_0 = 3,5 \dots 12 \text{ t/mh}$ für Erze und ≈ 25 bis 75 t/mh für Kohle, je nach Korngröße. Kolbensetzmaschinen wurden durch luftgesteuerte Maschinen vielfach ersetzt, behaupten sich aber besonders dort, wo bei nicht zu hohen Ansprüchen der Mehraufwand für luftgesteuerte Maschine nicht lohnt.

Anwendung als Austragmaschine für Grob- und Mittelkorn, als Durchsetzmaschine für Feinkorn.

Membransetzmaschinen. Sie sind schnelllaufende Bettsetzmaschinen (Durchsetzmaschinen) für Feinkorn. Statt der Kolben werden schlupflos arbeitende Gummimembranen von Exzenterwelle über Kolbenstangen bewegt. Frischwasser unterhalb Membran fließt bei deren Heben zu, wodurch Saugwirkung und Störung auf Setzvorgang vermieden werden. Setzsiebbreiten bis 1 m; Hubzahl $300 \dots 500 \text{ min}^{-1}$; \dot{Q}_0 bis $3,5 \text{ t/mh}$ bei Erzen.

Anwendung vor allem für Erze $< 2 \dots 3$ mm.

Membran-Feinstkornsetzmaschine für Korn < 1 mm besonderer Bauweise ist *Schwingsetzmaschine*. Senkrechte Mittelmembran unterhalb des Setzsiebs mit Unwuchtantrieb von außen her erzeugt Pulsung. \dot{Q}_0 bis $1,5 \text{ t/mh}$; Aufgabegrößen $600 \dots 50 \mu\text{m}$.

Anwendung in Erzaufbereitung, z.B. für Zinn- und Wolframerze und Schwefelkies; z.Z. weitgehend durch andere Sortierverfahren verdrängt. Durchsatzsteigerung durch Vergrößerung des Geräts und Verbesserung des Schwingantriebs.

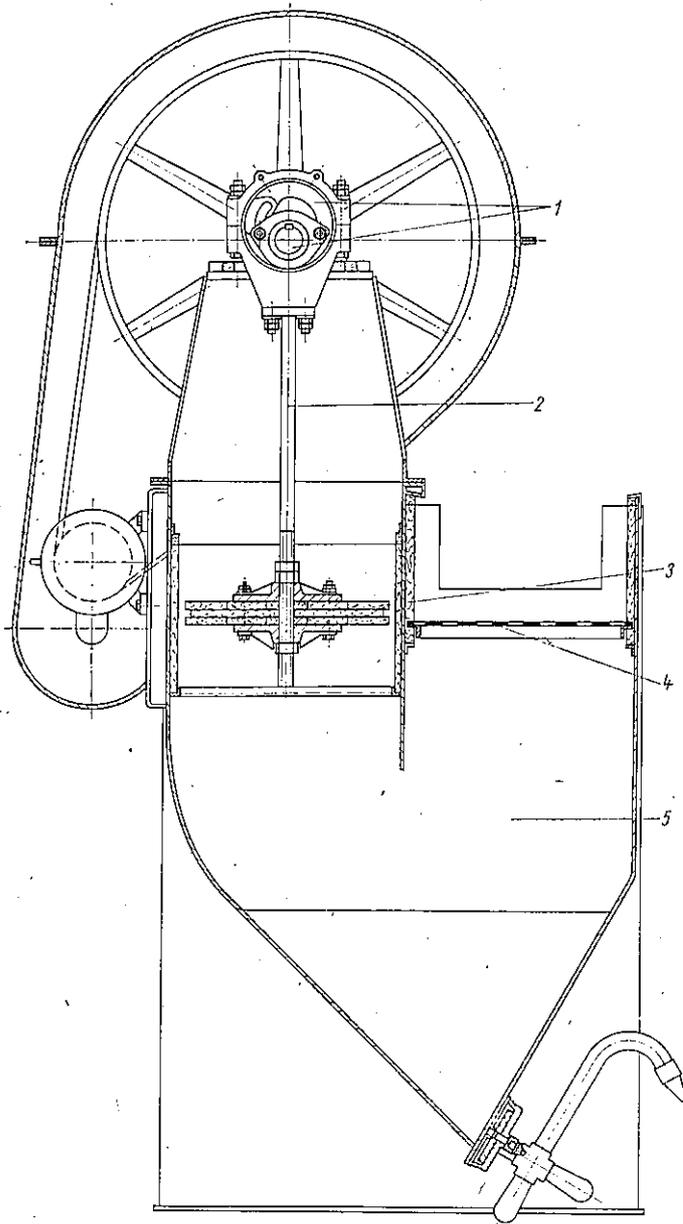


Bild 2.100. Kolbensetzmaschine, $3 \times 710 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ (Anzahl \times Breite \times Länge der Setzsiebe)
VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg
1 Exzenterantrieb (einstellbar); 2 Kolbenstange; 3 Kolben; 4 Setzsiebe (Setzguträger); 5 Setzkasten

Luftgesteuerte Setzmaschinen (für Grob-, Mittel- und Feinkorn). Sie sind weit verbreitet. Baulicher Aufwand ist größer als bei Kolbensetzmaschinen; Verschleiß und Wartungskosten sind geringer; günstigeres Setzhubdiagramm ist erzielbar. Im Bild 2.101 dargestellte Maschine hat zwei Setzabteile für Dreiproduktenscheidung. Endstücke der Setzsiebe über letzter Kammer jedes Abteils sind schwenkbar ausgeführt zur Veränderung des Austragquerschnitts. Antriebe der Luftschieber für die einzelnen Kammern sind meist über Länge der Maschine versetzt. Druckluft von 0,15 ... 0,20 bar Überdruck wird in Niederdruckgebläse erzeugt und im Ausgleichbehälter gespeichert. Druckluft bewirkt Aufwärtshub, Schwerkraft den Abwärtshub des Wassers. Statt hin- und hergehender Längsschieber werden auch ständig umlaufende Drehkolbenschieber benutzt, bei denen Ein- und Auslaßquerschnitte für die Luft unabhängig voneinander ausgeführt werden können. Zum Beispiel dient zur Verbesserung des Sortiervorgangs schneller Aufwärtshub und Verzögerung des beginnenden Rückhubs des Wassers. Spezifischer Durchsatz bei Kohle 40 ... 120 t/mh, je nach Aufgabekorngröße.

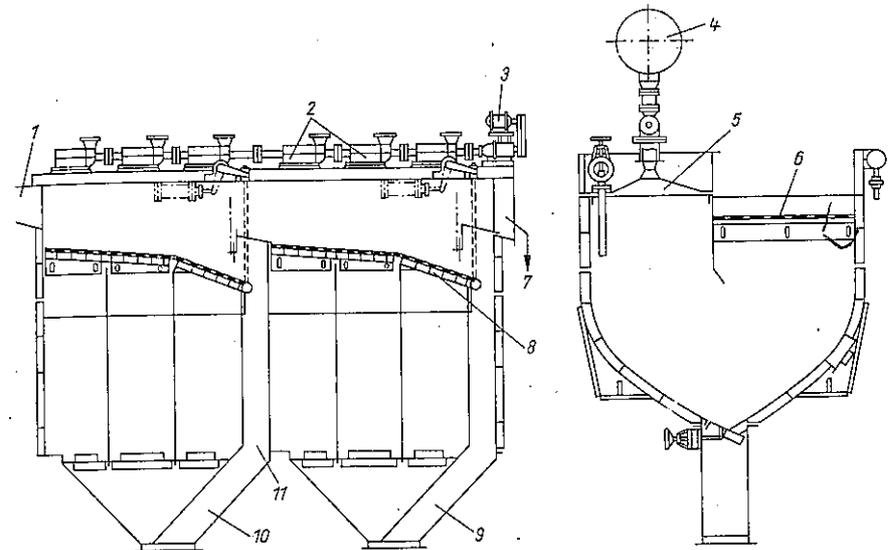


Bild 2.101. Luftgesteuerte Grobkornsetzmaschine (Austragsmaschine)
Fa. Wedag, Bochum

1 Rohgutaufgabe; 2 Steuerschieber für Druckluft; 3 Antrieb der Steuerschieber; 4 Druckluftbehälter;
5 Luftraum der Setzmaschine; 6 Setzsiebe; 7 Leichtgutaustrag; 8 schwenkbares Endstück des Setzsiebs;
9 Mittulgutaustrag; 10 Schwergutaustrag; 11 Austragschacht

Doppelpulsationssetzmaschine mit unterem Schwingantrieb. Oberer Behälter mit Setzsieb und Graupenbett ist fest auf Grundrahmen montiert; unterer Behälter mit Wasser wird in Schwingungen versetzt. Zwischen beiden befindet sich starke Gummimembran. Grundschiwingung mit geringer Frequenz ($\approx 150 \text{ min}^{-1}$) und großem Hub wird durch Hebeldifferentiale von Oberschiwingung mit höherer Frequenz ($\approx 400 \text{ min}^{-1}$) und kleinem Hub überlagert. Maschine wird auch zur Läuterung von Betonzuschlägen u. dgl. eingesetzt. Schädliche Bestandteile geringerer Dichte werden ausgeschieden, sofern Dichteunterschiede $> 0,3$ Dichteinheiten sind. Bild 2.102 zeigt spezifische Durchsätze \dot{Q}_0 zu verschiedenen Setzmaschinenarten für Setzen von Erz und Kohle.

Hebung des Gütegrads. Trennvorgang wird gestört durch Brücken am Setzsiebaustrag und durch Pulsbewegungen im Auslauf bei nicht geschlossenem Schacht, so daß bereits eingetretene gute Schichtung verschlechtert wird. Entwicklungen führten zur brückenlosen Maschine und zum beruhigten Austrag. Hierzu dienen bei Feinkorn absperrende Austragorgane, z. B. Zell-

räder, Schieber, Klappen, Senkrechtredler. Schwergut steht darüber als Säule im Schacht. Störende Pulsbewegungen treten kaum noch auf. Bild 2.103 zeigt Austrag einer brückenlosen Feinkornsetzmaschine mit Kombination von Austragen und Durchsetzen. Setzbett ist am Ende wannenartig ausgebildet; zur Beruhigung und Verstellung des Austrags dient schwenkbarer Schieber. Bei Feinkorn ist auch reine Durchsetzmaschine geeignet. Für Grob- und Mittelkorn ist beruhigtes Austragen schwieriger, weil zwangsläufige, sperrende Austragorgane (z. B. Zellräder) hierbei zu Verstopfungen führen würden. Verbesserungen konnten aber durch elastische Klappen u. dgl. erzielt werden.

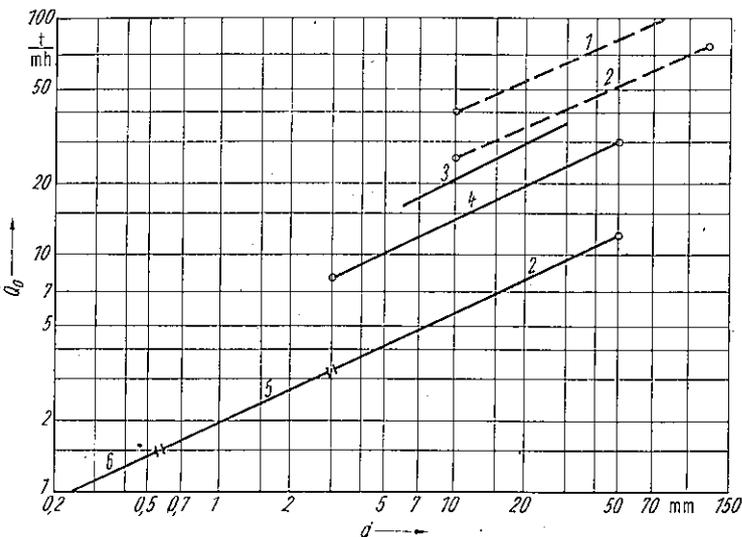


Bild 2.102. Durchsatz (Aufgabemenge) von Naßsetzmaschinen, abhängig vom größten Aufgabekorn d für Erze und Kohle (Orientierungswerte)

— für Erze; - - - - für Steinkohle
1 luftgesteuerte Setzmaschine; 2 Kolbensetzmaschine; 3 Doppelpulsionssetzmaschine (Fa. West's Manchester Ltd.); 4 Stauchsetzmaschine; 5 Membransetzmaschine; 6 Feinst-(Schwing-)Setzmaschine

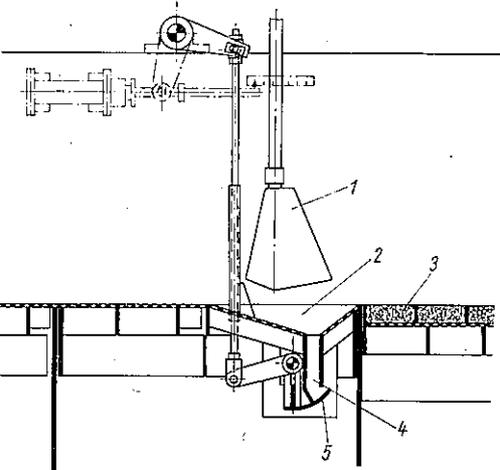


Bild 2.103
Beispiel eines brückenlosen Austrags

1 Schwimmer; 2 Bodenmulde (mit Öffnung an tiefster Stelle); 3 Graupenbett (für Durchsetzen); 4 Austragkammer; 5 Bodenschieber (eingestellt durch Servomotor, abhängig vom Schwimmerstand)

Bei luftgesteuerter Setzmaschine (Witkowitz Eisenwerke, ČSSR) werden alle Produkte der Sortierung nur durch obere Überläufe ausgetragen; Becherwerke u. dgl. entfallen. Untersuchungen ergaben, daß Sortierung von unten nach oben vor sich geht.

Durchsatzsteigerung. Sie ist durch Verbreiterung des Setzsiebs möglich. Bei seitengepulsten Maschinen kann aber Breite kaum über 2,5 m gesteigert werden, weil Wasserhub sonst nicht gleichmäßig über gesamter Bettbreite vorhanden ist. Bild 2.104 zeigt seitengepulste Maschine in Zwillingsausführung mit schmaler Luftkammer in Mitte, wobei $2 \cdot 2,5 \text{ m} = 5,0 \text{ m}$ gesamte Bettbreite zu erzielen ist, Pulsung kann auch von unten erfolgen (untergepulste Setzmaschine), entweder mit elastischen Faltenbälgen, die periodisch aufgebläht werden, oder mit unteren Luftkammern, die oben geschlossen und unten offen sind. Hierbei sind auch große Setzbettbreiten ausführbar und entsprechend hoher Durchsatz zu erzielen, z. B. 350 t Kohle/h.

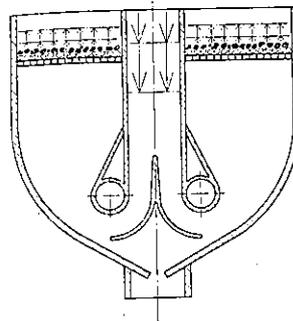


Bild 2.104
Beispiel zur Durchsatzsteigerung (Faßform in Zwillingsausführung)

Setzsiebe. Je nach Aufgabekorngrößen werden gelochte Bleche, Roste, Siebe aus dickem Stahldraht oder feinere Drahtgewebe benutzt. Siebe ruhen auf Grundrahmen und sind durch Holzkeile verspannt. Dünnere Siebe müssen gegen Flattern unterstützt werden, z. B. durch Roste aus hochkant gestellten Flachstählen. Spezialausführungen von Setzsieben sind u. a. Setzroste, die durch Strahlrichtung den Transport fördern, oder das Druckstrahlsieb. Form und Richtung der Düsen wirken hierbei ebenfalls transportfördernd und üben erhöhte Bremswirkung auf Rückstrom aus, während Aufstrom nur wenig gehindert wird.

2.8.2.3. Herde

Energie zum Dichtesortieren wird durch Stöße auf die Herdplatte zugeführt, deren Schwingungen das Aufgabegut in Längsrichtung transportieren. Durch quer zur Transportrichtung über die Platte fließendes Spülwasser (bei geringer seitlicher Neigung) werden leichte, mittelschwere und schwere Teilchen unterschiedlich aus ursprünglicher Bewegungsrichtung abgedrängt und getrennt voneinander abgeführt. Herdplatte hat Belag, z. B. aus Linoleum, Platten, Gummi, Leichtbeton, und z. T. Längsleisten oder Rillen, wodurch Trennvorgang begünstigt wird. Nach Schwingantrieb unterscheidet man Schüttelherde (Förderung durch erhöhte Verzögerung gegen Hubende vom Antriebsmechanismus aus, z. B. durch Schleppkurbelantrieb), Wurfherde (Förderung durch Mikrowurfprinzip ähnlich Schwingförderer), Schnellstoßherde (Förderung durch Anlaufen der Herdplatte auf Puffer gegen Hubende bei Federung in Kurbelstange, starke Verzögerung, Rutschen des Guts). Betriebsparameter sind Schwingzahl, Schwingweite, Verzögerungen (Bewegungsdiagramm), Neigung der Herdplatte, Spülwassermenge. Nachteil der Herde ist geringer Durchsatz im Vergleich zu Masse und Aufwand je Maschine; deshalb werden Herde verdrängt, vor allem durch Flotation.

Daten. Schüttelherd für Körnung $3 \dots 0,2 \text{ mm}$: Plattengröße bis $2000 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm}$; $\dot{Q} = 0,6 \dots 1,0 \text{ t/h}$; $P = 1,5 \text{ kW}$; $m = 1,6 \text{ t}$.

Wurfherd für Körnung $0,75 \dots 0,3 \text{ mm}$: $1500 \text{ mm} \times 4500 \text{ mm}$; $\dot{Q} = 0,8 \dots 2,0 \text{ t/h}$; $P = 1,5 \text{ kW}$; Hubzahl $200 \dots 240 \text{ min}^{-1}$.

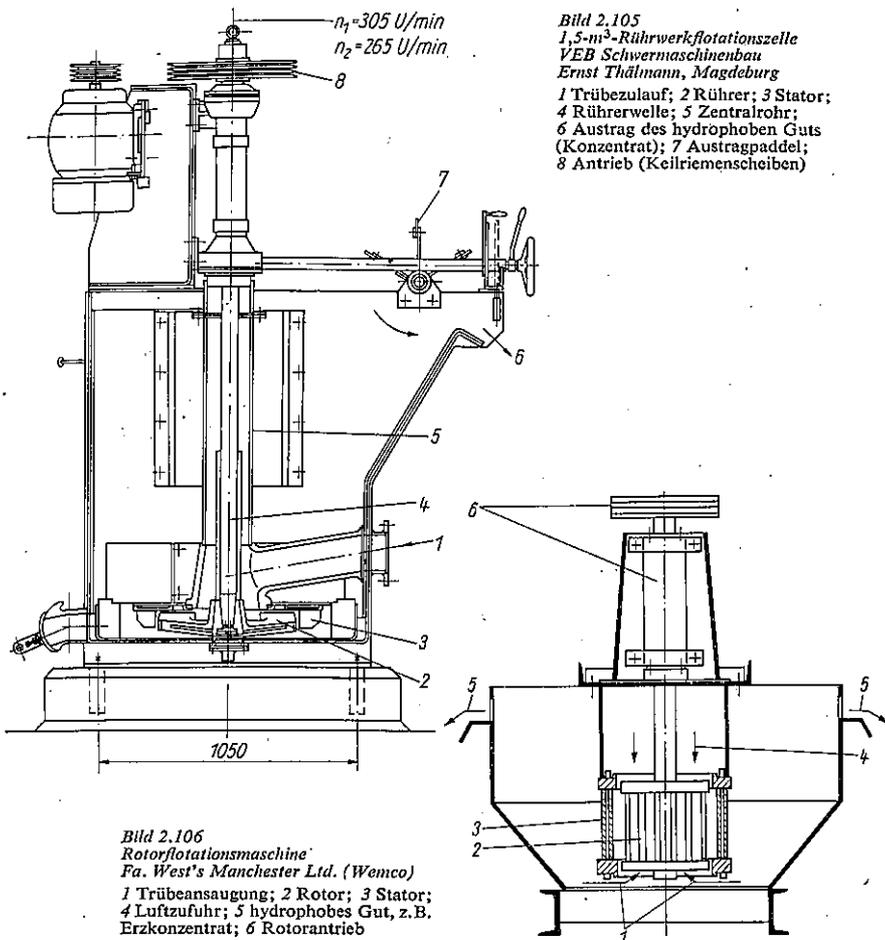


Bild 2.106
Rotorflotationsmaschine
Fa. West's Manchester Ltd. (Wemco)
1 Trübeansaugung; 2 Rotor; 3 Stator;
4 Luftzufuhr; 5 hydrophobes Gut, z.B. Erzkonzentrat; 6 Rotorantrieb

Bild 2.105
1,5-m³-Rührwerkflotationszelle
VEB Schwermaschinenbau
Ernst Thälmann, Magdeburg
1 Trübezulauf; 2 Rührer; 3 Stator;
4 Rührerwelle; 5 Zentralrohr;
6 Austrag des hydrophoben Guts
(Konzentrat); 7 Austragpaddel;
8 Antrieb (Keilriemenscheiben)

Dichte der Trübe, so daß diese aufsteigt, ebenso steigt Schaum mit Konzentrat in den äußeren Räumen hoch und wird oben ausgetragen, wogegen Trübe absinkt. Es gibt Apparate mit Unterteilung in Zellen durch Querwände, die nicht bis Trogboden reichen, so daß Zellen miteinander in Verbindung stehen, und solche ohne Querwände. Gleichmäßige Verteilung der Luft in der Trübe und Erzielung feiner Luftblasen ist wichtig für Gütegrad der Sortierung. Verbesserte Ausführungen (UdSSR) in flacher und namentlich auch in tiefer Bauweise, letztere mit 2 ... 3 m Troghöhe, sind besonders für leicht flotierbare Mineralien gut geeignet. Bei tieferer Bauweise ist Belüftung intensiver, Wirbelung und Gasblasenbildung stärker.

Luftheberanlage. Sie eignet sich besonders zum Flotieren von Kohle (Bild 2.108a). Luft wird mit $\approx 3,0$ bar Überdruck unten in Steigrohr eingeführt. Während des Aufsteigens der Trübe scheiden infolge Druckminderung feine Luftbläschen aus. In Flotationsmaschine wird durch Zentrifugalwirkung beschleunigte Schaumabscheidung erreicht (Bild 2.108b).

Injektorflotationsmaschine. Injektor für Belüftung (Mischdüse, ähnlich Wasserstrahlpumpe) ist Flotationszelle vorgeschaltet. Luft wird dem Injektor mit 3,5 bar Überdruck aufgegeben, und infolge Druckminderung werden feine Luftbläschen rasch ausgeschieden.

Zyklonflotation, Zyklozelle. Flotation ist auch in Apparaten ähnlich Hydrozyklon möglich und durchgeführt worden. Trübe und Luft werden Einlauf des Hydrozyklons zugeleitet, Luft evtl. auch weiter unten. Zentrifugalwirkung beschleunigt Abtrennung des Schaums. Trübe und Abgänge werden unten abgezogen, Schaum läuft oben aus. Zyklozelle arbeitet nach ähnlichem Prinzip.

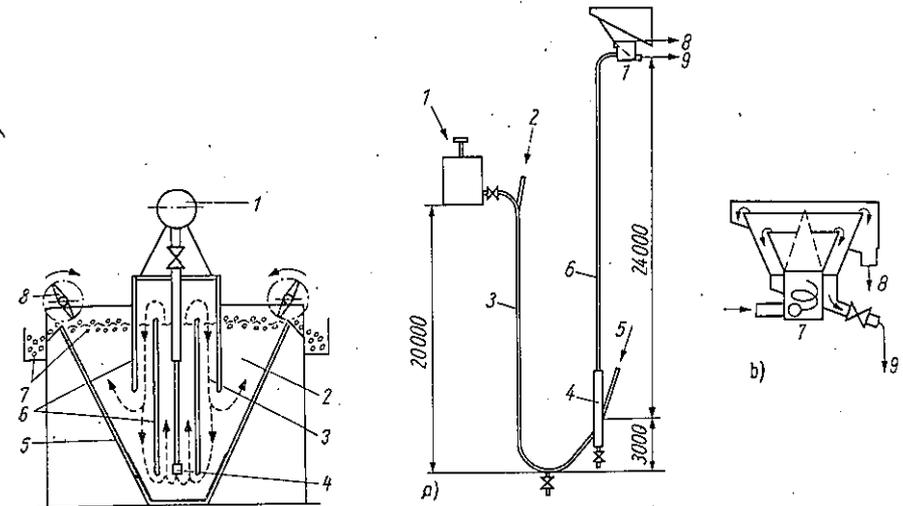


Bild 2.107. Beispiel einer rührerlosen Flotation (einfaches Druckluftgerät)
1 Druckluftspeicher; 2 Schaumkammer;
3 Wirbelkammer; 4 Luftdüse; 5 Trog;
6 Längswände; 7 Konzentrat (Schaum);
8 Austragpaddel für 7

Bild 2.108. Luftheberanlage mit Flotationsmaschine, UdSSR
a) Luftheberanlage
1 Aufgabefäß; 2 Reagenzien; 3 Aufgeberohr; 4 Belüfter;
5 Druckluft; 6 Steigrohr; 7 Flotationsmaschine;
8 Konzentrat; 9 Berge
b) Flotationsmaschine

2.8.4. Magnetscheiden

2.8.4.1. Allgemeines

Magnetscheiden zur Stofftrennung ist in Anwendung eingeschränkt, weil es große Unterschiede der magnetischen Eigenschaften der Stoffkomponenten (*Permeabilität, Massenssuszeptibilität*) erfordert. Ferner ist obere Aufgabegröße durch Art der Maschine (z. B. Luftspalt) begrenzt. Andererseits dürfen aufzugebene Körnchen nicht zu fein sein, da magnetische Kraft sonst nicht ausreicht, Körner gegen Schwer- oder Fliehkraft aus der Bahn abzulenken, um sie von sehr schwach magnetischen oder diamagnetischen Teilchen zu trennen. Verwachsene Stoffe erfordern auch hier gutes Aufschließen durch selektives Zerkleinern. Vorteile des Magnetscheidens sind einfache Bauart der Geräte, leichte Bedienbarkeit und geringer spezifischer Arbeitsbedarf.

Auf ein Teilchen ausgeübte magnetische Kraft hängt ab von Feldstärke, magnetischer Eigenschaft des Stoffs, Größe des Teilchens. Stärke des magnetischen Felds ist bedingt durch Stärke des Elektro- bzw. Permanentmagneten, Anordnung und Gestaltung der Pole, Polabstand. Für eindeutige Anziehungsrichtung sind inhomogene Felder zwischen je zwei ungleichnamigen Polen mit sich verdichtenden Kraftlinien erforderlich. Schwachfelder haben meist offene, Starkfelder vorwiegend geschlossene Systeme.

Einteilung der Magnetscheider nach Stärke des Magnetfelds in Schwachfeldmagnetscheider für stark magnetisierbare Stoffe und Starkfeldmagnetscheider für schwach magnetisierbare Stoffe; nach Art von Trennvorgang und Beschickung in Abwurfverfahren (Beschickung von

oben) und Aushebeverfahren (Beschickung von unten); nach der Austragrichtung in Maschinen mit Austrag in gleichbleibender Richtung oder Austrag quer zum anfänglichen Strom; nach Magnet- bzw. Stromart in Maschinen mit Gleichstrommagnet, Permanentmagnet, Wechsel- oder Drehstrommagnet (selten); nach Medium in Trockenscheider, Naßscheider (Medium Wasser) und schließlich nach Bauweise mit Rolle, Trommel, Walze usw.

Für Magnetscheiden eignen sich stark para- oder ferromagnetische Stoffe, wie Magnetit, Maghemit, Ilmenit, magnetisierend geröstete Fe-Erze (erforderliche Feldstärke bis zu etwa 25 A/m); mittelmagnetische, wie Magnetkies (Feldstärke 35 ... 75 A/m); schwach magnetische, wie Hämatit, Limonit, Siderit, Manganerze, Wolframit (erforderliche Feldstärke 75 ... 250 A/m). Magnetscheiden ist also nicht nur auf Fe-Erze beschränkt, jedoch können die meisten anderen Mineralien infolge zu geringer Massensuzzeptibilität auch auf Starkfeldscheidern nicht mehr ausgebracht werden.

Man benutzt Gleichstrom- oder Permanentmagneten. Für Wechsel- oder Drehstromscheider bestehen Schwierigkeiten (Wirbelstrom- oder Hysteresisverluste, höhere Herstellungskosten u. dgl.), jedoch werden auch diese Geräte entwickelt (Beispiel: Drehstromfeld als Wanderfeld mit Transportwirkung). Aushebeverfahren ist für feineres Aufgabegut geeignet und arbeitet trennschärfer als Abwurfverfahren. Durchsatz ist bei stark magnetisierbaren Stoffen wesentlich höher als bei schwach magnetisierbaren, weil größere Stücke aufgegeben werden können, sofern es Verwachsung zuläßt. Dagegen können Starkfeldscheidern mit ihrem engen Spalt nur feinere Körnungen aufnehmen, z. B. < 3 mm, oft nur < 1 mm.

Bei größeren Vorkommen schwach magnetisierbarer Eisenerze, wie Eisenspat, Rot- und Brauneisenstein, kann ihre Umwandlung in stark magnetisierbare Erze durch magnetisierendes Rösten vorteilhaft sein. Danach ist magnetisches Sortieren mit relativ geringem Aufwand und hohen Durchsätzen auf Schwachfeldmagnetscheidern möglich. Jedoch ist von Fall zu Fall Gesamtwirtschaftlichkeit gegenüber magnetischem Starkfeld- oder anderen Sortierverfahren zu prüfen.

2.8.4.2. Schwachfeldmagnetscheider

Magnetrollen mit umlaufendem Magnet. Sie arbeiten meist in Verbindung mit Förderbändern an deren Antriebsstation (Ablaufseite) und mit Abwurfverfahren. Wenn Fördergerät kein Bandförderer ist, kann Magnetrolle über dem Förderer im Aushebeverfahren arbeiten. Bei großen Anlagen ist Vorschaltung eines Eisensuchgeräts zu empfehlen, das Erregung der Elektromagnetrolle zur Verminderung von Stromverbrauch und Wärmeentwicklung steuert. Grundkörper besteht aus Dynamostahlguß. Stärke der Magnetfelder nimmt von beiden Seiten aus nach der Mitte zu, da Gutschicht in Bandmitte am stärksten ist. Auch Permanentmagnetrollen haben sich bewährt. Vorteilhaft ist dabei besonders der Wegfall der elektrischen Einrichtungen, namentlich der Schleifringe, und große Betriebssicherheit. Baugrößen bis 1400 mm Durchmesser und 2000 mm Breite.

Anwendung vorwiegend als Eisenausscheider, aber auch zur Mineraltrennung bei ferromagnetischer Stoffkomponente, z. B. Magnetitzer bis zu 200 mm Stückgröße.

Elektromagnet mit Austragband als Eisenausscheider (VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg). Magnet steht brückenartig über Gurtförderer. Eisenteile werden nach Aushebeverfahren durch Querband seitlich ausgetragen. Lichte Höhe zwischen Hauptförderband und Querband 180 mm, in Sonderbauart 240 mm. Bei großem Durchsatz ist Nachschaltung einer Magnetrolle zu empfehlen, damit auch untere Gutschicht mit Sicherheit von Eisen befreit wird. Förderbreite 300 ... 1400 mm.

Trommelmagnetscheider. Magnetsystem steht fest innerhalb umlaufender, dünnwandiger Trommel aus nichtmagnetischem Werkstoff und ist auf deren Achse verdrehbar. System hat mehrere Pole, Nord- und Südpole abwechselnd. Bei Elektromagneten entfallen Schleifringe. Permanentmagnete eignen sich ebenfalls. Es gibt Trockenscheider mit Abwurf- oder mit Aushebeverfahren und Naßscheider mit Aushebeverfahren in verschiedenen Varianten. Meist sind mehrere Felder über Trommelbreite verteilt, die bestimmend für Durchsatz ist. Optimale Dreh-

zahl wird zweckmäßig durch Versuch bestimmt. Ausführungsbeispiele s. Bilder 2.109 und 2.110. Trennschärfe kann durch Hintereinanderschalten zweier Geräte verbessert werden. *Daten* des Naßtrommelscheiders: 600 mm Dmr.; 1320 mm Arbeitsbreite; Motor 1,1 kW; Magnetfeldstärke ≈ 20 A/m; Durchsatz bei 25 ... 50% Feststoffmenge 10 ... 30 t/h; Masse 1,2 t.

Anwendung besonders für Mineraltrennung bei stark magnetisierbaren Eisenerzen. Trockenverfahren verarbeitet Aufgabestücke bis 100 mm. Naßverfahren dient u. a. in Schwertrübeanlagen zur Rückgewinnung der Schwerstoffe Magnetit oder Ferrosilizium. Als Eisenausscheider ist Gerät von Art des Förderers unabhängig und kann zugleich als Aufgeber für Zerkleinerungsmaschine dienen.

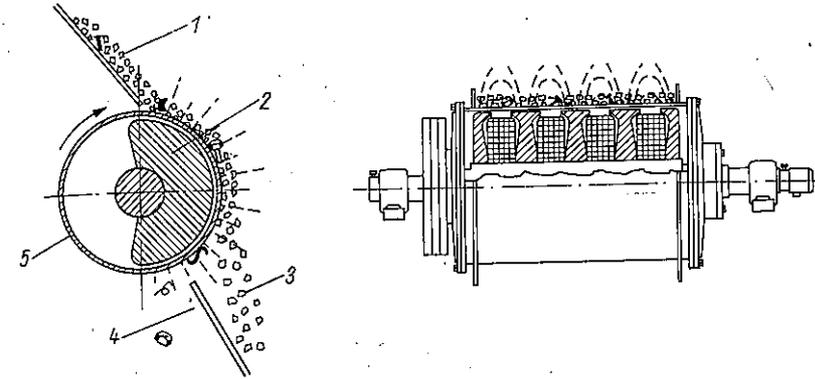


Bild 2.109. Trockentrommelscheider mit Elektromagnet
VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg
1 Aufgabe; 2 Magnetsystem; 3 Ableitung des nichtmagnetisierbaren Guts; 4 Abfall des magnetisierbaren Guts; 5 Trommel (aus nichtmagnetischem Werkstoff)

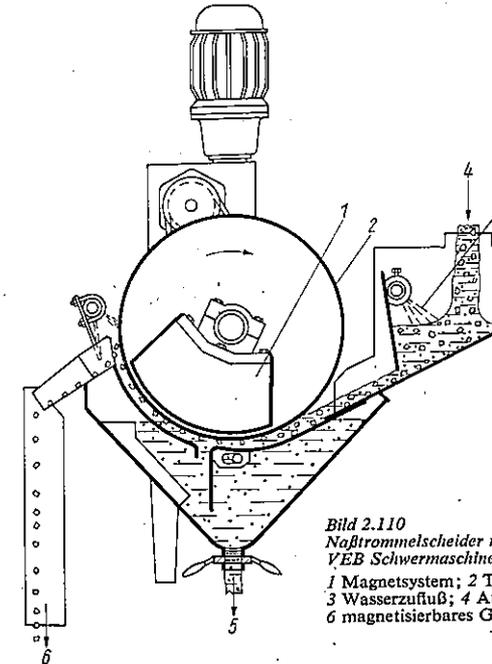


Bild 2.110
Naßtrommelscheider mit Permanentmagnet
VEB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg
1 Magnetsystem; 2 Trommel (aus nichtmagnetischem Werkstoff);
3 Wasserzufuß; 4 Aufgabe; 5 nichtmagnetisierbares Gut;
6 magnetisierbares Gut

2.8.4.3. Starkfeldmagnetscheider

Kreuzbandscheider. Längsband (Hauptband) bewegt aufgegebenes Gut zwischen Polen hin- und her und leitet Berge ab, während Querbänder an oberen Polen magnetisches Gut seitlich abführen.

Daten. Feldstärke im Mittel 200 A/m, im stärksten Feld bis 300 A/m; Durchsatz je nach Art des Guts 0,125 ... 0,250 t/h je 100 mm Hauptbandbreite.

Anwendung. Ausscheidung schwach magnetisierbaren Guts, z. B. Ilmenit, Monazit, Wolframit; Korngrößen < 5 mm im Trockenverfahren.

Ringmagnetscheider. Sie arbeiten ähnlich wie Kreuzbandscheider. Magnetisches Gut wird durch Aushebeverfahren quer zur anfänglichen Richtung ausgetragen, und zwar hier mittels rotierenden Ringankers (aus Dynamostahl). Dieser hat konzentrische Rillen bzw. Schneiden und Kraftlinienverdichtung nach oben hin (Querbänder entfallen). Unter Ringanker befindet sich ein hülsenförmiger Polkörper mit Wicklungen (Bild 2.111). Aufgabegut wird zwischen Ringanker und Polkörper mit Band oder Schurre hindurchgeführt. Bei Band können mehrere Magnetssysteme hintereinandergeschaltet werden. Zur Veränderung der Feldstärke sind Ringanker höhenverstellbar, auch neigbar, wobei Mehrproduktscheidung möglich wird. Feldstärke bis 225 A/m.

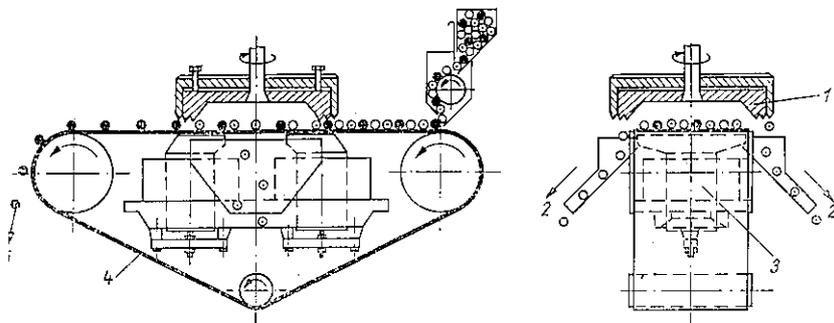


Bild 2.111. Elektromagnetischer Ringscheider mit Band
 'EB Schwermaschinenbau Ernst Thälmann, Magdeburg

1 Ringanker; 2 magnetisierbares Gut; 3 Polkörper; 4 Förderband; 5 nichtmagnetisierbares Gut

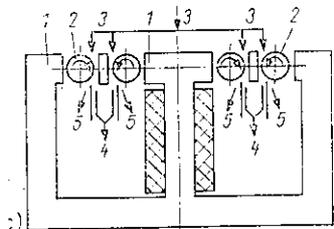
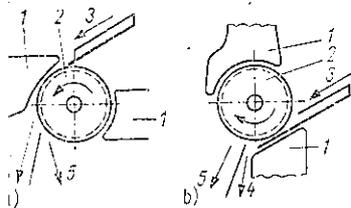


Bild 2.112
 Walzenmagnetscheider, Arbeitsprinzip
 a) obere Aufgabe; b) untere Aufgabe;
 c) Vierwalzenscheider
 1 Pole des geschlossenen Magnet-systems; 2 Induktionswalze; 3 Aufgabe des Scheideguts; 4 nichtmagnetisierbares Gut (Abgänge); 5 magnetisierbares Gut (Konzentrat)

Walzenmagnetscheider (Bild 2.112). Eine oder mehrere Induktionswalzen mit Ringrillen laufen zwischen je zwei Polen eines geschlossenen Magnetsystems um. Spalt zwischen Pol und Walze ist einstellbar zur Anpassung an magnetische Eigenschaften des Scheideguts. Durch Hintereinanderschalten von Walzen ist auch zweistufige Trennung möglich. Walze besteht aus geschichteten, gegeneinander isolierten Dynamoblechen, Welle aus nichtmagnetisierbarem Stahl. Magnetisierbares Scheidegut wird bis zum Polwechsel von Walze gehalten, wogegen nichtmagnetisierbarer Anteil abfällt oder ausgeschleudert wird. Für Trockenbetrieb wird Abwurfverfahren (Bild 2.112a) oder Aushebeverfahren (Bild 2.112b), für Naßbetrieb Aushebeverfahren vorgesehen. Walzenmagnetscheider erreichen Feldstärke ≈ 350 A/m. Geräte sind einfach, Anlage- und Betriebskosten verhältnismäßig gering. Aufgabekorngrößen bei unterer Aufgabe bis 3 mm möglich, bei oberer Aufgabe auch darüber.

Daten. Bei schwach magnetisierbaren Eisenerzen feiner Körnung (bis 1 mm) setzt Vierwalzenscheider (ähnlich Bild 2.112c) mit 750 mm Arbeitsbreite (=Walzenlänge) etwa 8 t/h durch. (Feinkornanteil vermindert Durchsatz.)

2.8.5. Elektroscheiden

Bei *elektrischer* Aufbereitung im hochgespannten Gleichstromfeld (bis 40000 V) lenken elektrische Kräfte die Teilchen einer Stoffkomponente aus der durch mechanische Kräfte (Schwerkraft, Fliehkraft) bedingten Bahn ab. Voraussetzung sind ausreichend große Unterschiede der elektrischen Eigenschaften der zu trennenden Stoffsorten (*Dielektrizitätskonstante, Oberflächenleitfähigkeit*). Je nach Art und Eignung des Aufgabeguts wird elektrostatisches Feld (Kondensatorfeld) oder Sprühfeld (Koronaentladung) benutzt. Beim Sprühfeld besteht Hochspannungselektrode aus sehr dünnem Draht oder ist mit hoher Oberflächenkrümmung ausgebildet. Gegenelektrode ist geerdet. Vorbedingungen für günstiges η sind trockene Luft im Arbeitsraum, trockenes Aufgabegut (1,0 ... 1,5% H₂O) sowie vorheriges Klassieren und Entfernen feinsten Staubs < 40 μ m. Aufgabekorngrößen meist nicht > 3 mm, bei geringer Dichte bis 6 mm. Aufgegebenes Gut muß gut aufgeschlossen sein.

Anlagekosten sind hoch durch Stromtransformation, Klimaanlage, Vortrocknen, Klassieren, Entstauben, laufende Betriebskosten für den Scheider selbst gering.

Bevorzugte Bauweise ist *Walzenelektroscheider* mit Walze als Erdelektrode. Gut ist der Walze in gleichmäßiger, dünner Schicht aufzugeben. Zur Verbesserung des Trenneffekts sind mehrere Walzen in einem Gerät übereinander anzuordnen (Repetition des Verfahrens). Walzen haben große Länge im Verhältnis zum Durchmesser. Durchsatz hängt außer von Maschinendaten von Gutart und Korngrößen ab; mit einem Gerät bis 3 t/h erzielbar.

Anwendung z. B. bei Aufbereitung von Kalisalzen. Getrennt werden ferner Quarz von Feldspat oder Kalkspat, Zirkon von Rutil, Scheelit von Pyrit; trocken anfallende, feinkörnige Steinkohle von Aschebestandteilen. Bei Projektierung ist Gesamtwirtschaftlichkeit zu prüfen. Elektrische Aufbereitung wird bisher nur wenig benutzt.

2.8.6. Sortieren durch Klassieren

2.8.6.1. Sortieren durch Siebklassieren

Verfahren ist möglich, wenn Rohgut (von Natur aus oder nach differentieller Zerkleinerung) so aufgeschlossen vorliegt, daß sich zu trennende Stoffkomponenten in ihren Korngrößen oder -klassen wesentlich unterscheiden. Wird z. B. mit Bergen verwachsenes Steinsalz vorsichtig durch Prall zerkleinert, so daß Salz überwiegend feiner anfällt als Berge, können die zwei Stoffe durch nachfolgendes Sieben voneinander geschieden werden. Verfahren eignet sich auch für Kohle, die mit Bergen verwachsen ist. Oft ist Scheidung nur unvollkommen, jedoch weitgehende Vorsortierung erzielbar. In manchen Maschinen werden die zwei Vorgänge – differentielles Zerkleinern und Siebklassieren – zugleich durchgeführt.

Bergescheider. Rohstückkohle wird einem auf- und abschwingenden Rost (mit Querstäben) aufgegeben. Durch Prallwirkung zerkleinerte Kohle fällt durch Rost nach unten, während größere Bergestücke (mit verhältnismäßig geringem Kohleanteil) über Rost hinweg zum stür-

seitigen Austrag gelangen. Synchron und gegenläufig sich drehende Schwungscheiben der Kurbelwellen gleichen Massenkräfte des Rostes durch Unwuchtmassen weitgehend aus. Rostneigung und Drehzahl sind veränderbar. Rost schwingt mit $130 \dots 150 \text{ min}^{-1}$ bei 220 mm Hub; Spaltweite des Rostes 80 ... 120 mm. Verfahren spart Klaubarbeit, sondert großen Prozentsatz der Berge aus und zerkleinert Kohle auf Waschkohlengröße. Auf Stückkohle in natürlicher Größe muß verzichtet werden. Feinanteil der erzeugten Rohwaschkohle wird mit 10% angegeben. Größter Bautyp 1400 mm x 3500 mm setzt bei 120 mm Spalt etwa 130 t/h Rohstückkohle durch.

Siebtrommelbrecher. Er dient gleichem Zweck. Langsam umlaufende Siebtrommel enthält Hubleisten sowie Hubschaufeln (für Transport in Längsrichtung). Kohle wird durch Herabfallen unter Mitwirkung der Bergestücke zerkleinert und durch Löcher der Trommel nach unten abgeführt, während Berge an Auslaufstirnseite der Trommel abgehen. Brecher mit 3,0 m Dmr. und 4,0 m Länge der Trommel setzt bei 150 mm Lochweite etwa 350 t/h Rohstückkohle durch.

2.8.6.2. Läutern, Schlämmen

Zum Sortieren durch Strömungswirkung des Wassers müssen die Kornklassen der zwei Stoffkomponenten sehr verschieden sein und dürfen sich nicht überdecken. Eine Komponente muß von Natur aus sehr feinkörnig vorliegen und sich aufteilen lassen. Läutergeräte sollen tonige Beimengungen (auch Erden, Humus) vom Wertgut entfernen. Im Gegenstrom zum Gutstrom fließendes Wasser trägt unerwünschte Stoffanteile aus. Meist ist zusätzliche mechanische Bearbeitung erforderlich, um zusammen mit Geröllwirkung harter Stücke gutes Aufschließen zu erreichen, besonders bei fest anhaftenden Beimengungen oder harten Tonknollen im Aufgabegut. Wasserverbrauch beträgt i. allg. das Ein- bis Zweifache der Rohgutmasse. Mitausgespülter Sand kann in Klassierern abgetrennt und rückgewonnen werden. Wasser wird im Kreislauf geführt und nach Klärung in Eindickern oder Klärteichen wieder in Läutermaschine benutzt.

Anwendung. Für Herstellung sauberen Schotters und Splitts ist es zweckmäßig, großstückiges Rohgut zu waschen, weil große Stücke kleinere Gesamtoberfläche haben (leichteres Waschen) und nachher zerkleinertes Produkt weniger feucht ist. Läutern dient auch zur Aufbereitung stark tonbehalteter Eisenerze und kann hier wesentliches, mitunter sogar einziges Sortierverfahren sein.

Umlaufende Läuter- (Wasch-) Trommeln üblicher Bauart. Sie werden waagrecht oder mit etwas Gefälle, ohne oder mit eingebauter Siebtrommel ausgerüstet, nach Bedarf auch mit angesetz-

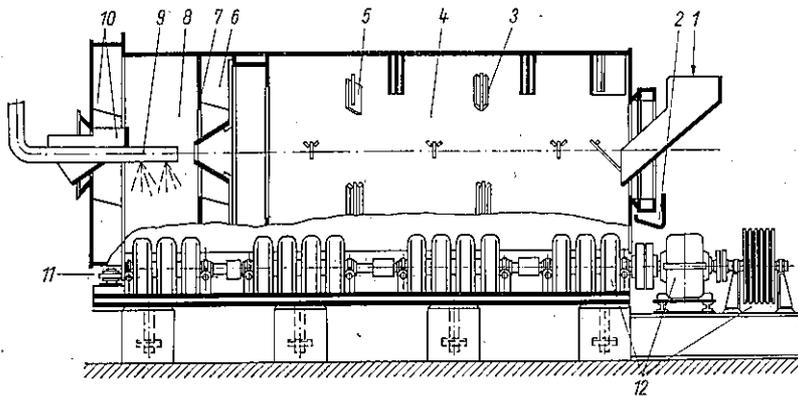


Bild 2.113. Schwerttrommelwäsche
Fa. Esch, Duisburg

1 Aufgabe; 2 Schlammwasser; 3 Verdränger (Schwerter); 4 Vorwäsche; 5 Transportschaufeln; 6 Übergabebecherkranz; 7 Stauwand; 8 Nachwäsche; 9 Brauserohr; 10 Austragvorrichtung; 11 Axialdruckaufnahme; 12 Antrieb über Gummireifen

tem Siebkegel am Auslauf zum zusätzlichen Klassieren des geläuterten Guts. Trommelantrieb durch Laufrollen oder Zahnkranz. Einbauten in Trommel dienen zum Anheben, Aufteilen, Transportieren des Läuterguts. Bei Schwerttrommelwäsche (Bild 2.113) kommt Aufgabegut erst in Vorwäsche, deren Innenwand mit pflugscharähnlichen Schwertern und mit Transportschaufeln armiert ist. In Nachwäsche wird Gut vom Frischwasser umspült und abgebraust. Intensive Waschwirkung löst festklebenden Ton und teilt harte Tonknollen auf. Trommel läuft auf luftbereiften Rädern mit Wälzlagern. Laufbandagen und Bearbeitung des Trommelmantels entfallen hierbei. Antrieb führt über Räder einer Seite, während Räder anderer Seite schlupflos mitlaufen. Innenwände der Trommel sind mit Schleißblechen ausgekleidet.

Daten. Lichte Maße der Trommel: 2250 ... 3600 mm Dmr.; 6300 ... 10185 mm Länge; größter Typ hat $\dot{Q} \approx 300 \text{ t/h}$ bei Aufgabegrößen 0 ... 200 mm; $P \approx 135 \text{ kW}$; $W_0 \approx 0,45 \text{ kWh/t}$. **Läutergeräte mit feststehendem Trog** und darin umlaufenden Werkzeugen. Bei *Exzelstorwäsche* mit Schwerterstufe und nachfolgender Becherwerkstufe ist Trog muldenförmig. Welle trägt im ersten Teil Räder mit Schwertern (zum Lösen und Aufteilen harten Tons), im zweiten Teil Becherwerkkräder für Auflockerung des Guts und Herausspülen von Ton, Erde u. dgl. Wasser läuft im Gegenstrom. Gerät wird z.B. bei tonbehalteten Eisenerzen benutzt.

Schwingende Läutergeräte. Mechanische Bearbeitung zum Aufteilen von nicht zu festen Tonklumpen u. dgl. wird durch Schwingungen erreicht, wobei Massen- und reibende Kräfte zwischen den Stücken auftreten. *TrogSchwingwäscher* arbeitet ähnlich ansteigendem Schwingförderer. Oberes Ende vor Auslauf ist gelocht, so daß Schmutzwasser abläuft. *Überbrauste Schwingsiebe* werden bei leicht lösbarem Tonmaterial und geringem Anteil störender Beimengungen auch zum Läutern benutzt, besonders dann, wenn zugleich Feingut abgeschieden werden soll. *Unterschwingsiebmachine* dient der Entschlammung, Läuterung und Feinabsiebung von Gestein, Erzen, Kohle usw. bei leicht lösbarem Tonanteil.

Naßklassierer, wie Rechen- oder Schraubenklassierer. Sie werden auch zum Läutern eingesetzt, wenn Gut feinkörnig ist und tonige Beimengungen leicht lösbar sind. Anwendung z.B. zur Gewinnung sauberen Sandes. Hierbei interessiert also Grobgutaustrag entgegen sonst üblichem Gebrauch dieser Klassierer (s. S. 125).

Reine Schlammgeräte, wie Gegenstromklassierer. Sie arbeiten mit Strömungswirkung ohne mechanische Bearbeitung des Guts. Zum Läutern sind sie daher nur bei vollkommen aufgeschlossenem Aufgabegut bzw. weichem, leicht lösbarem Ton brauchbar.

2.8.6.3. Sortieren nach Gleichfälligkeit

Wenn sich – im Gegensatz zu den Bedingungen des Läuterns – die Korngrößen der zwei Stoffkomponenten wenig voneinander unterscheiden und deren Kornklassen sich überdecken, ist Sortieren durch Stromklassieren nur möglich bei ausreichenden Dichteunterschieden und bei nicht zu feinkörnigem Aufgabegut, so daß dieses durch Siebklassieren in *Gleichfälligkeitsklassen* aufteilbar ist. (Andererseits darf Aufgabegut wegen nachfolgender Stromklassierung nicht zu grobkörnig sein.) Innerhalb der Gleichfälligkeitsklasse bewegen sich alle spezifisch leichten Teilchen (also auch größtes) beim Stromklassieren in gleicher Richtung, d.h. mit strömendem Medium, alle spezifisch schweren Teilchen (auch kleinstes) einheitlich in umgekehrter Richtung, d.h. entgegen strömendem Medium infolge Schwer- oder Fliehkraft. Aus Gleichsetzung der Geschwindigkeiten nach *Newton* (s. S. 118) folgt *Gleichfälligkeitskoeffizient*

$$d_1/d_2 = (\rho_2 - \rho_0)/(\rho_1 - \rho_0); \quad (2.59a)$$

Indizes 1 und 2 für die zwei Stoffkomponenten, Index 0 für Medium.
Demnach ist für Luft

$$d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1 \quad (2.59b)$$

und für Wasser

$$d_1/d_2 = (\rho_2 - 1)/(\rho_1 - 1). \quad (2.59c)$$

abskalenkoeffizient zur Herstellung der Gleichfälligkeitsklassen wird somit

$$w_1/w_2 < d_1/d_2. \quad (2.60)$$

abschließendes Stromklassieren kann im Naßverfahren (Schlämmen) oder im Trockenverfahren (Windsichten) durchgeführt werden.

3.7. Sonstige Sortierverfahren

Unterschiede in anderen physikalischen Eigenschaften, z. B. in Wärmeleitfähigkeit, Kornform, Übungskoeffizient, Elastizitätsmodul, werden z. Z. nur selten zur Mineraltrennung ausnutzt.

Literatur

- ochlin, I.*: Straßenbaumaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1952.
selm, W.: Zerkleinerungstechnik und Staub. Düsseldorf: VDI-Verlag 1949.
 Vorbereitung der Steinkohle. Essen: Verlag Glückauf 1960.
el, W.: Einführung in die Korngrößenmeßtechnik. Berlin: Springer-Verlag 1960.
 Gebäuausrüstungen. Leipzig: Fachbuchverlag 1958.
 Kettierung der Steinkohle. Essen: Verlag Glückauf 1958.
rkatsch, G.: Magnetische Aufbereitung schwachmagnetischer Erze. Leipzig: VEB Deutscher Verlag f. d. Grundstoffindustrie 1960.
 Aufbereitungsanlagen in Westdeutschland. Berlin: Springer-Verlag 1955.
n, W.; Melzer, R.: Setzmaschinen in der neuzeitlichen Erzaufbereitung. Jena: Verlag Wilhelm Gronau 1950.
th; Salzmann, Hamann: Leitfaden der Erzaufbereitung. Bonn: Verlag Bonner Universitätsdruckerei 1952.
nder, W.: Aufbereitungskunde, Bd. I u. II. Goslar: H. Hübner Verlag 1965 und 1957.
chberg, H.: Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe. Jena: Verlag Wilhelm Gronau 1953.
ahn, O.: Ratgeber für Zementingenieure. Wiesbaden: Bauverlag 1958.
ken, W.: Vorbereitung des Hochofenmüllers. Berlin: Springer-Verlag 1953.
ldau, R.: Handbuch der Staubtechnik. Bd. I u. 2. Düsseldorf: VDI-Verlag 1956 und 1958.
ttag, C.; Weinrich, H.: Hartzerkleinerung. Berlin: Springer-Verlag 1953.
ow, W.; Brand, W.: Feinmahlen der Erze. Berlin: VEB Verlag Technik 1954.
ttkat, G.: Erzaufbereitung. München: Carl Hanser Verlag 1961.
ubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Leipzig: VEB Deutscher Verlag f. d. Grundstoffindustrie, Bd. I u. II, 1968 und 1967.
rgart: Handbook of Mineral Dressing. New York 1948.
izki, W.: Flotation, ein Aufbereitungsprozeß. Leipzig: Fachbuchverlag 1956.
cke-Kaminsky: Zement. Dresden, Leipzig: Verlag Steinkopff 1950.

3. Glasverarbeitungsmaschinen

von Ing. H. Schier unter Mitarbeit von Dr.-Ing. J. Cerovsky, Dipl.-Ing. A. Fuchs, Dr.-Ing. O. List, Dr.-Ing. H. Wiegand

3.1. Formgebungsverfahren	166
3.1.1. Warmformgebung	166
Blasen - Pressen - Ziehen - Walzen - Gießen	
3.1.2. Kaltformgebung	167
Trennen - Randverschmelzen - Verwärmen - Schleifen und mechanisches Polieren - Drehen, Fräsen, Bohren - Verschweißen	
3.2. Dosieren des geschmolzenen Glases	168
3.3. Glasformen	172
3.3.1. Formenwerkstoffe	172
3.3.2. Oberflächenbehandlung	172
3.3.3. Formenschmierung	173
3.3.4. Formenreinigung	173
Mechanische Reinigung - Chemische Reinigung - Elektrochemische Reinigung - Strahl läppen - Trockenstrahlen	
3.4. Blasmaschinen	173
3.4.1. Saugblasmaschinen	175
3.4.2. Speiserblasmaschinen	178
3.4.3. Preßblasmaschinen	185
3.5. Preßmaschinen	185
3.5.1. Manuell bediente Preßmaschinen	186
3.5.2. Mechanische Preßmaschinen	186
3.6. Ziehmaschinen	186
3.6.1. Flachglasziehmaschinen	186
Fourcault-Ziehmaschine - Pittsburgh-Ziehmaschine - Libbey-Owens-Ziehmaschine	
3.6.2. Rohr- und Stabziehmaschinen	188
Danner-Ziehanlage - Schüller-Ziehmaschine	
3.6.3. Glasfaserziehmaschinen	190
Düsenziehmaschine - TEL-Maschine	
3.7. Walzmaschinen	194
3.8. Gießanlagen	195
3.9. Nachbearbeitungsmaschinen	196
3.9.1. Maschinen zum Trennen von Glas	196
Absprengen - Abschmelzen - Trennschleifen	
3.9.2. Randverschmelzmaschinen	200
3.9.3. Verwärmmaschinen	200
3.9.4. Schleifmaschinen	201
3.9.5. Poliermaschinen	203
3.9.6. Dreh- und Fräsmaschinen	204
3.9.7. Bohrmaschinen	204
3.9.8. Verschweißmaschinen	204
Literatur	204

Formelzeichen

c	spezifische Wärme	α	linearer Ausdehnungskoeffizient
HB	Brinellhärte	η	Viskosität, dynamisch
HV	Vickershärte	λ	Wärmeleitfähigkeit
T	Temperatur, thermodynamisch	ρ	Dichte

3.1. Formgebungsverfahren

Glas wird im geschmolzenen und festen Zustand verarbeitet. Bei Verarbeitung des geschmolzenen Glases werden die Vorteile des Zustands bei niedriger Viskosität genutzt. Verarbeitung im festen Zustand ist erschwert durch Sprödigkeit und Härte.

3.1.1. Warmformgebung

Warmformgebung des Glases ist in einem Viskositätsbereich zwischen 10^3 und $10^5 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ möglich.

Viskositäts-Temperatur-Abhängigkeit bei Gläsern unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung s. Bild 3.1, wichtige physikalische Größen s. Tafel 3.1.

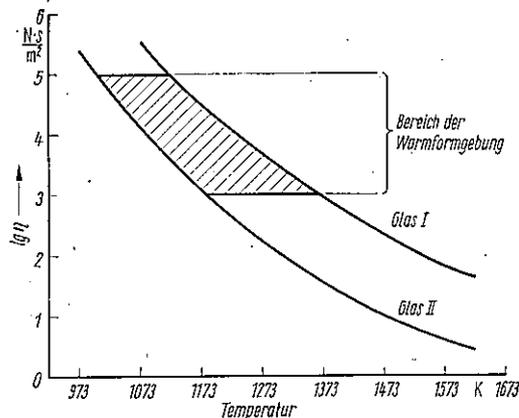


Bild 3.1
Viskositätsverlauf unterschiedlicher Gläser

Geschmolzenes Glas kann näherungsweise als inkompressible Newtonsche Flüssigkeit angesehen werden. Für mathematische Beschreibung der Warmformgebung sind daher die Fouriersche Wärmeleitgleichung mit effektiven Wärmeleitungsparametern, die Navier-Stokeschen Bewegungsgleichungen und die Kontinuitätsgleichung anwendbar [3.1].

Warmformgebung ist vorteilhafteste Methode der Verarbeitung von Glas. Es ist anzustreben, dem Erzeugnis durch Warmformgebung die endgültige Gestalt zu geben. Notwendige Korrekturen durch Kaltformgebung sind meist kompliziert und aufwendig. Grundverfahren für Warmformgebung sind Blasen, Pressen, Ziehen, Walzen und Gießen.

Blasen. Bei diesem am häufigsten angewendeten Formgebungsverfahren wird geschmolzenes Glas zu Hohlkörpern verarbeitet. Bildung des Hohlraums durch Einblasen von Luft. Formen begrenzen Weitungsvorgang. Blasverfahren wird manuell oder mechanisch durchgeführt. Bei mechanischer Fertigung verläuft Umformprozeß stufenweise: Vorformen, Fertigformen. Gesamtfertigungszeit 10 ... 26 s; Artikelmasse bei mechanischer Fertigung i. allg. 50 ... 1000 g. Größere Teile werden manuell hergestellt.

Pressen. Geschmolzenes Glas wird durch Druckeinwirkung über Stempel geformt. Formwerk-

zeuge geben äußere Gestalt. Erforderliche Preßkraft hängt von Viskositätsverlauf des Glases und geometrischer Gestalt des Artikels ab. Glas wird über Anfangeisen oder Tropfenspeiser zugeführt. Maschinen werden für Preßkräfte von 5 ... 1200 kN ausgelegt. Gesamtfertigungszeit variiert zwischen 3 und 15 s; maximale Masse geformter Artikel erreicht etwa 8 kg.

	Glas I	Glas II
Tafel 3.1. Eigenschaften unterschiedlicher Gläser		
Chemische Zusammensetzung in %		
SiO ₂	80,0	71,0
Na ₂ O	3,8	16,0
K ₂ O	0,4	—
CaO	0,2	8,0
Al ₂ O ₃	2,2	1,5
B ₂ O ₃	12,9	—
MgO	—	3,3
As ₂ O ₃	0,5	—
Fe ₂ O ₃	—	0,2
Dichte ρ in kg/dm ³	2,23	2,47
Wärmeleitfähigkeit λ bei 293 K in W/m · K	1,13	2,72
Spezifische Wärme c in kJ/kg · K		
bei 293 K	0,754	1,05
bei 1573 K	0,796	1,26

Ziehen. Stetiger Viskositätsverlauf ermöglicht manuelle oder mechanische Verarbeitung des geschmolzenen Glases zu Fasern, Röhren, Stäben und Scheiben.

Mechanische Fertigung erlaubt Herstellung von Halbzeugen endloser Länge. Formgebung erfolgt i. allg. direkt aus der Schmelze, selten über Zwischenprodukt; Profilgebung überwiegend durch Düse.

Walzen. Geschmolzenes Glas wird zwischen zylinderförmigen Walzen im mechanischen Verfahren zu Flachglas, Ornament- und Drahtglas verarbeitet. Dicke des Walzguts 3 ... 25 mm, Breite i. allg. 1,8 m. Walzgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Dicke 0,013 ... 0,067 m/s. Flachglas kann durch beiderseitiges Schleifen und Polieren zu Spiegelglas veredelt werden.

Gießen. Geschmolzenes Glas wird unter Einwirkung der Schwerkraft in Formen gefüllt. Bedeutendstes Verfahren ist das Floatverfahren zur Herstellung von Flachglas. Geschmolzenes Glas fließt kontinuierlich über geneigten Einlauf auf Metallschmelze (i. allg. Zinn) und breitet sich auf der ebenen Oberfläche aus, verliert die Welligkeit, erstarrt stetig und wird von der Oberfläche der Schmelze abgehoben. Dieses hochproduktive Verfahren liefert Flachglas höchster Oberflächenqualität. Nachträgliches Schleifen und Polieren sind nicht mehr erforderlich.

3.1.2. Kaltformgebung

doğuk biçimlendirme

Darunter werden alle Bearbeitungsverfahren bei Glasviskosität von etwa $10^{11} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ zusammengefaßt, wobei Glas eine amorph erstarrte Flüssigkeit mit Eigenschaften der Festkörper ist. Zur Kaltformgebung zählen auch Bearbeitungsverfahren, bei denen mit Wärme auf eng begrenzte Zonen der festen Glaskörper eingewirkt wird. Maschinen der Kaltformgebung werden daher auch als Nachbearbeitungsmaschinen bezeichnet.

Wichtigste Verfahren der Kaltformgebung sind Trennen, Randverschmelzen, Verwärmen, Schleifen und mechanisches Polieren, Drehen, Fräsen, Bohren und Verschweißen.

Trennen. Am häufigsten angewendetes Verfahren für Hohlkörper ist das *Absprengen*, wobei ein thermisch erzeugtes Spannungsgefälle genutzt wird. Bei dünnwandigen Erzeugnissen ist *Ab-schmelzen* mit heißer Gasflamme möglich. Mit Korund- und Diamantwerkzeugen lassen sich Hohl- und Massivkörper durch *Trennschleifen* teilen.

Randverschmelzen. Bei verschiedenen Verfahren der Warm- und Kaltformgebung entsteht scharfer Grat an den Kanten der Erzeugnisse. Durch heiße Gasflamme wird dieser Grat verschmolzen. Hohe Oberflächenspannung des Glases rundet die Kanten selbsttätig.

Verwärmen. Eine dünne Zone an der gesamten Oberfläche des Erzeugnisses wird zum Schmelzen gebracht. Hohe Oberflächenspannung verhindert Ablauf des flüssigen Glases und läßt eine gleichmäßig glatte Oberfläche entstehen.

Schleifen und mechanisches Polieren. *Schleifen* ist das am häufigsten angewendete Verfahren der Kaltformgebung zur Nachbearbeitung von Glas, unter Anwendung von losem und gebundenem Korn. Es lassen sich sowohl Plan- als auch Profilkörper durch Schleifen bearbeiten. Einhaltung enger Toleranzen ist möglich. Beim Schleifen verliert Glaskörper seine Transparenz durch die entstehende Oberflächenstruktur.

Polieren ist Fortsetzung der Nachbearbeitung mit wesentlich geringerem Abtrag. Dabei wird Rauhtiefe der bearbeiteten Fläche verringert; Glaskörper erhält seine Transparenz zurück. Verfahren ist besonders wichtig bei der Herstellung optischer Linsen und Spiegel.

Drehen, Fräsen, Bohren. Bei Glas in begrenztem Umfang auf normalen Werkzeugmaschinen möglich. Erforderlich sind jedoch besondere Werkzeuge sowie Kühl- und Schmiermittel. Werkstoffabtrag ist gegenüber Metallbearbeitung gering. Die Glastechnologie ist bemüht, die Eigenschaften ausgewählter Gläser durch thermische Nachbehandlung den Anforderungen an eine Bearbeitung durch Drehen, Fräsen und Bohren anzupassen.

Verschweißen. Wichtig bei Herstellung komplizierter Erzeugnisse, die sich aus zwei oder mehr Einzelteilen zusammensetzen. Zu verbindende Kontaktflächen werden durch heiße Gasflammen oder elektrischen Strom zum Schmelzen gebracht und unter leichtem Druck zusammengeführt. Festigkeit der Schweißverbindung entspricht annähernd der des Grundgefüges. Das Schweißverfahren wird besonders häufig im chemischen Apparatebau angewendet.

3.2. Dosieren des geschmolzenen Glases

Geschmolzenes Glas muß in bestimmter Masse und Form den Verarbeitungsmaschinen zugeführt werden.

Tropfenspeiser (Bild 3.2) ist eine spezielle Vorrichtung zur Dosierung des geschmolzenen Glases in Form von Tropfen unterschiedlicher Dimension, Masse und Temperatur. Bei allen mechanischen Verarbeitungsverfahren mit Stückfertigung (Behälterglas, gepreßte Erzeugnisse) ist tropfenförmige Zuführung des geschmolzenen Glases notwendig. Tropfenspeiser besteht aus **Speiserkanal** und **Speiserkopf**.

Speiserkanal (Bild 3.3). Durch Speiserkanal wird geschmolzenes Glas von der Schmelzwanne bis zum Speiserkopf geführt. Die vom Schmelzprozeß herrührenden Temperaturschwankungen müssen im Speiserkanal durch automatische Regelung stark reduziert werden. Erreichbare Genauigkeit am Speiserkopf: ± 3 K.

Gleichfalls automatisch geregelter Glasstand wird in einem Bereich von ± 2 mm gehalten. Speiserkanal wird durch Gas, Öl oder elektrisch beheizt.

Energieverbrauch steht in umgekehrtem Verhältnis zu durchgesetzter Glasmenge. Installierte Heizleistung für elektrischen Speiser von 6 m Länge etwa 180 kW; Leistung während Betrieb 30 ... 60 kW; Maximalleistung erforderlich beim Aufheizen. Entsprechend seiner Länge wird Speiserkanal in mehrere Regelzonen (mindestens zwei aufgeteilt, bei zwei je eine für Kühl- und Ausgleichzone. Ab 4 m Länge sind drei, über 6 m vier Regelzonen mit voneinander unabhängig wirkendem Heizsystem notwendig.

Geschmolzenes Glas wird in Rinne geführt. Strömungsgeschwindigkeit soll 0,0016 m/s nicht überschreiten; Glasstand in Rinne i. allg. 150 ... 200 mm, innere Weite 300 ... 600 mm, abhängig vom Glasdurchsatz.

Brenner oder elektrische Heizstäbe sind oberhalb des Glasspiegels angeordnet. Direkte Flammeneinwirkung auf Glasspiegel ist schädlich.

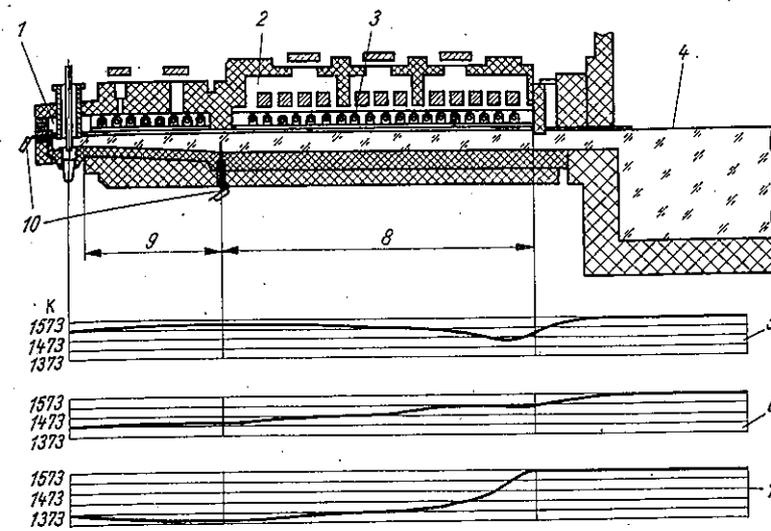


Bild 3.2. Tropfenspeiser

1 Speiserkopf; 2 Speiserkanal; 3 Reihenbrennersystem; 4 Glasspiegel; 5 Temperaturverlauf bei kleiner Tropfenmasse (250 g); 6 Temperaturverlauf bei mittlerer Tropfenmasse (750 g); 7 Temperaturverlauf bei großer Tropfenmasse (1500 g); 8 Kühlzone; 9 Ausgleichzone; 10 Temperaturfühler für Regelung

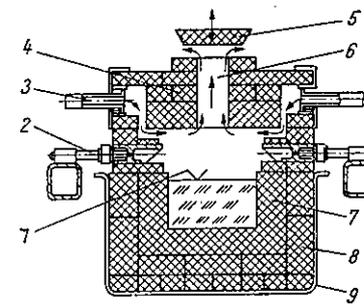
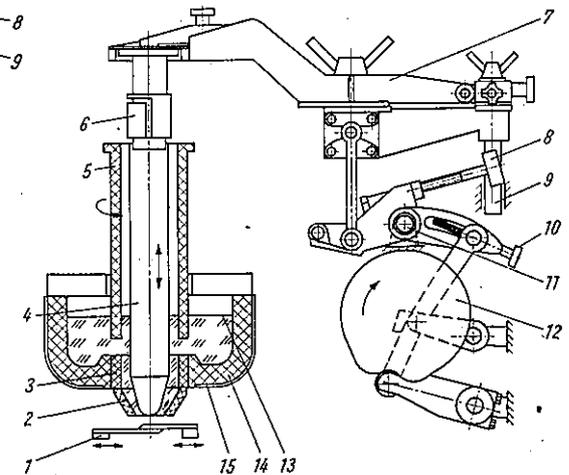


Bild 3.3
Speiserkanal (Querschnitt)

1 Glasspiegel; 2 Brenner für Beheizung; 3 Kühlluftzufuhr; 4 Kappe; 5 Verstellklappe; 6 Abgaskanal; 7 Rinne aus feuerfestem Werkstoff; 8 Isoliersteine; 9 Stahlmantel

Bild 3.4
Mechanischer Speiser

1 Schere; 2 Tropftring; 3 Hülse; 4 Plunger; 5 Drehrohr; 6 Plungerkuppelung; 7 Plungertraverse; 8 Verstellung für Hublagenveränderung; 9 Gleitführung; 10 Verstellung für Plungerhub; 11 Lagerstelle im Gehäuse; 12 Kurvenscheibe; 13 Glasspiegel; 14 Speiserschüssel; 15 Stahlmantel



3.3. Glasformen

Ihre Gestalt erhalten Glasartikel durch Formen, an die infolge hoher Arbeitsproduktivität der Verarbeitungsmaschinen und gesteigerten Qualitätsansprüchen große Anforderungen gestellt werden. Erhöhung der Lebensdauer der Formen ist erreichbar durch Verbesserung des Formwerkstoffes, Veredelung der Kontaktflächen, Verwendung geeigneter Schmierstoffe und schonender Reinigungsverfahren.

3.3.1. Formwerkstoffe

Maßgebende Eigenschaften von Formwerkstoffen sind Hitzebeständigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit, spezifische Wärme, Wärmeleitvermögen und Wärmedehnung, Volumenzunahme, Klebeverhalten gegenüber Glas, Verschleißfestigkeit, Bearbeitbarkeit.

Meist angewandeter Werkstoff ist unlegierter, stabilisierter und legierter Grauguß (für höhere Beanspruchung) [3.2] [3.3]. Grundgefüge ist ferritisch und perlitisch. Chemische Zusammensetzung von verwendetem Grauguß s. Tafel 3.2., S. 170/171.

Bei hohen Anforderungen an Verschleißfestigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit und geringer Zunderneigung, z.B. beim Pressen von Glas, wird hitzebeständiger Stahl, besonders austenitischer Cr-Ni-Stahl, verwendet. Zusammensetzung s. Tafel 3.3.

Wegen hoher Oxydationsbeständigkeit und sehr guter Wärmeleitfähigkeit erfolgt Einsatz von Al-Bronze für thermisch hochbeanspruchte Formenteile.

Bekannteste Legierung ist Inccramet 800 (USA-Patent). Zusammensetzung s. Tafel 3.4.

C	Si	Cr	Ni	Fe	Anwendungsbereich
0,15	2,1	19,5	9,5		1170 ... 1320 K
0,15	2,1	24,0	20,0	Rest	1170 ... 1470 K
0,15	3,5	21,0	30,0		1170 ... 1470 K

Tafel 3.3. Chemische Zusammensetzung von Cr-Ni-Stählen
Angaben in %

Tafel 3.4. Chemische Zusammensetzung von Inccramet 800 (Al-Bronze)
Angaben in %

Ni	Al	Fe	Ph	Sn	Cu
13,5 ... 16,5	9,5 ... 10,5	0,4 ... 1,0	<0,005	<0,01	Rest (zul. Beimengen max. 0,25)

3.3.2. Oberflächenbehandlung

Oberflächenveredelung erfolgt durch chemische Beschichtung. Wichtigste Verfahren sind *Vernickeln* (Nibodurverfahren) und *Verchromen* (galvanisch).

Durch Nibodurverfahren aufgebraute Nickel-Bor-Legierungsschichten ($HV = 9500$ bis 11500 N/mm^2) haben hohen Verschleißwiderstand, sehr gute Haftfestigkeit, Temperaturwechsel- und Korrosionsbeständigkeit.

Einsatz vernickelter Formen erfolgt i. allg. bei niedrigen Arbeitstemperaturen. Verwendung galvanisch verchromter Formen nur bei bestimmten Glassorten möglich.

Kantenverfestigung geschieht durch *Metallspritzen*. Durch Flammispritzen (Gas-Sauerstoff-Atmosphäre) aufgetragene Nickel-Chrom-Bor-Silizium-Legierungsschichten zeichnen sich durch hervorragende Korrosionsbeständigkeit und gute Härte aus. Verfahren wird besonders bei Kanten zur Verschleißminderung bzw. zur Reparatur beschädigter Kanten und Kontaktflächen angewendet. Metallspritzschichten verbessern gleichzeitig Oberflächenbeschaffenheit der Glaserzeugnisse.

3.3.3. Formenschmierung

Kontaktflächen werden bei hoher thermischer Belastung geschmiert. Schmierfilm mindert Reibung zwischen Glas und Formenwand, verhindert unzulässig hohe Wärmeabführung beim Vorformen und reduziert Neigung zum Kleben. Schmierstoffe sollen gasförmigen oder festen Schmierfilm ausbilden.

Schmierstoffe auf Mineralölbasis zeichnen sich durch gute Benetzbarkeit aus und bilden gute thermische Isolationsschicht. Nachteilig sind gesundheitsschädigende Dämpfe. Häufiges Formenreinigen ist erforderlich. Bewährt haben sich besonders mineralische Schmierstoffe mit Zusatz von kolloidalem Graphit. Bei schlechterer Benetzbarkeit gegenüber Ölen wird Neigung zum Kleben stark gemindert.

3.3.4. Formenreinigung

Mechanische Reinigung. Sie beruht grundsätzlich auf Abschleifen der oxydierten Formoberfläche mittels Schmirgelpulver. Grobschleifen zur Beseitigung der Oxide und Verunreinigungen, Feinschleifen zur Erzielung der geforderten Oberflächenqualität.

Erreichbare Rauhtiefe i. allg.: $1,1 \dots 2,6 \mu\text{m}$.

Chemische Reinigung. Verunreinigungen werden mittels Säuren, Alkalien, verschiedener Industriereiniger und geschmolzener Salze ohne Anwendung elektrischen Stromes beseitigt.

Qualität chemisch gereinigter Formoberflächen ist i. allg. nicht gut.

Elektrochemische Reinigung. Zu reinigende Teile werden als Anode oder Katode angeschlossen. Man verwendet saure, basische oder neutrale Elektrolyte. Wirtschaftlich vertretbare Reinigungszeit wird durch erhöhte Temperaturen ($320 \dots 360 \text{ K}$) und Stromdichten bis 3000 A/m^2 erzielt.

Periodische Änderung der Stromrichtung (Reversierung) begünstigt Reinigungsprozeß. Elektrochemische Reinigung ist wegen geringer Tiefenwirkung nicht für ziselierte Formen geeignet. Erreichbare Rauhtiefe: $2,0 \mu\text{m}$.

Strahlhlappen. Gut geeignetes Verfahren zur Reinigung von Glasformen: Schleifmittel in körniger Form (z.B. SiC, Bimsstein) gemischt mit Trägerflüssigkeit (vorwiegend H_2O), wird mit Druckluft auf zu reinigende Formoberfläche gestrahlt. Erreichbare Rauhtiefe je nach Korngröße des Schleifmittels: $1,5 \dots 2,0 \mu\text{m}$.

Trockenstrahlen. Es entspricht im Prinzip dem Strahlhlappen, jedoch ohne Trägerflüssigkeit. Größere Abtragung des Grundwerkstoffes der Formen führt zur Oberflächenaufräuhung. Erreichbare Rauhtiefe: $2,5 \mu\text{m}$.

3.4. Blasmachines

Sie werden überwiegend verwendet zum Herstellen von Behälterglas (Flaschen oder Enghalsbehälter sowie Konservengläser oder Weithalsbehälter), technischem Hohlglas und Wirtschaftsglas (Becher, Kelchoberteile u. a.).

Blasmachines für Behälterglas formen geschmolzenes Glas in zwei Stufen: Vorformen und Fertigformen. Für jede Stufe ist eine eigene Form notwendig. Maschinensektion mit Vor- und Fertigform bezeichnet man als *Station*, eine vorgeformte Glasmenge als *Kübel*. Transport des Kübels von Vor- in-Fertigform wird zum Rückerhitzen der abgekühlten Oberfläche genutzt. Von *Giegerich* [3.4] wurden Zusammenhänge der Formgebungsoperationen näher untersucht.

Gesamtfertigungszeit t_{ges} in s/Artikel ergibt sich aus

$$t_{\text{ges}} = t_v + t_r + t_f;$$

- t_v Vorformzeit (Eingabe des Glases in Vorform bis Öffnen),
 t_r Rückerhitzungszeit (Öffnen der Vorform bis Beginn Fertigblasen),
 t_f Fertigformzeit.

Während des Fertigformens wird auf gleicher Station mit dem Vorformen des nächsten Artikels begonnen. Dadurch wird Zeitabstand t_H (Herstellzeit) zwischen dem Ausstoß von zwei aufeinanderfolgenden Artikeln kürzer als t_{ges} (Bild 3.7).

Aus t_{ges} und t_H ermittelt man Maschinenkonstante

$$d = \frac{0,5t_{ges}}{t_H}$$

Zahlenwert hängt ab vom konstruktiven Aufbau der Maschine und beträgt für

Reihenmaschine $d \approx 0,89$,
 kontinuierlich bewegte Karussellmaschine $d \approx 0,66$,
 intermittierend bewegte Karussellmaschine $d \approx 0,58$.

1. Besichtigung

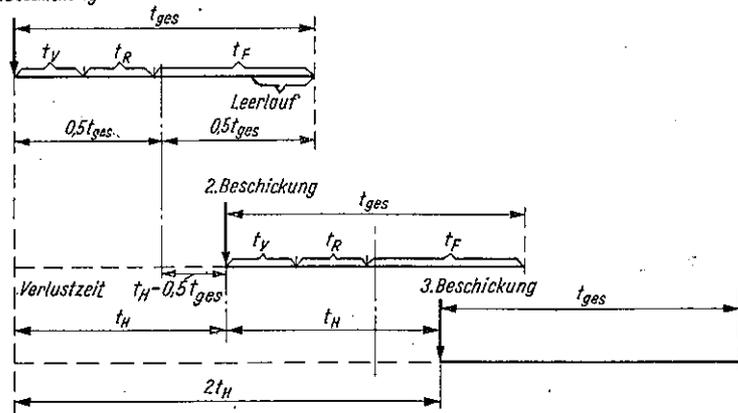


Bild 3.7. Zeitlicher Verarbeitungsablauf einer Station [3.4]

Bei bekannter Gesamtfertigungszeit und Maschinenkonstante ergibt sich Herstellzeit

$$t_H = \frac{0,5t_{ges}}{d} \text{ in s/Artikel.}$$

Produktionsleistung einer Station beträgt somit

$$L = \frac{60}{t_H} \text{ in Artikel/min}$$

und bei z Stationen

$$L_{ges} = z \frac{60}{t_H} \text{ in Artikel/min.}$$

Nach Besichtigung gliedert man Blasmaschinen in Saugblas- und Speiserblasmaschinen (Tafel 3.5). Saug- und Speiserblasmaschinen können mit Einfachformen, Doppelformen und in der speziellen Bauart als Reihenmaschine mit Dreifachformen ausgerüstet werden. Bei Mehrfachformen erhöht sich die Produktionsleistung je Arbeitsspiel entsprechend der Formenzahl je Station. Der Einsatz von Mehrfachformen stellt höhere Anforderungen an technologisches Regime (Tropfenbildung, Formenköhlung) und an die Bedienung der Maschinen. Besonders problematisch ist die Temperaturführung in den Stegen der Mehrfachformen.

Tafel 3.5. Funktionszeiten und Produktionsleistung von Saug- und Speiserblasmaschinen (Tropfenmasse 520 g) [3.4]

Bezeichnung (Zeit in s)	Saugblasmaschinen			Speiserblasmaschinen		
	A	B	C	D	E	F
Vorformzeit t_V	5,6	4,7	6,5	4,6	4,6	4,2
Rückerhitzungszeit t_R	3,2	4,8	5,1	4,0	4,5	6,2
Fertigformzeit t_F	10,1	11,6	11,4	6,5	6,0	5,8
Gesamtfertigungszeit t_{ges}	18,9	20,1	22,8	15,1	15,2	16,2
Herstellzeit t_H	9,5	15,1	19,1	9,5	11,2	13,6
Verlustzeit ($t_H - 0,5t_{ges}$)	0,05	5,05	7,7	1,5	3,65	5,5
ν (Leerlauf + Verlustzeit) in % von t_H	25,3	67,5	65,0	26,6	39,4	49,4
Produktionsleistung in Artikel/min und Station	6,3	3,97	3,14	6,65	5,35	4,42

A	oszillierender Antrieb, Einstationenmaschine	D	Reihenmaschine
B	kontinuierlich rotierende Karussellmaschine	E	kontinuierlich rotierende Karussellmaschine
C	intermittierend bewegte Karussellmaschine	F	intermittierend bewegte Karussellmaschine

3.4.1. Saugblasmaschinen

Die sich mit der Maschine kreisförmig bewegende Vorform taucht in der Drehwanne in das geschmolzene Glas ein (Bild 3.8). Durch eine kreisförmige Öffnung im Boden der Vorform wird geschmolzenes Glas eingesaugt. Größe oder Antrieb der Drehwanne sind so ausgebildet, daß kaltes Restglas von den folgenden Stationen nicht eingesaugt wird. Genaues Dosieren ist durch Füllen des Vorformvolumens gewährleistet. Nach Ausheben der Vorform wird anhaftender Glasstrang an der Saugöffnung durch Messer getrennt. Vorformung erfolgt

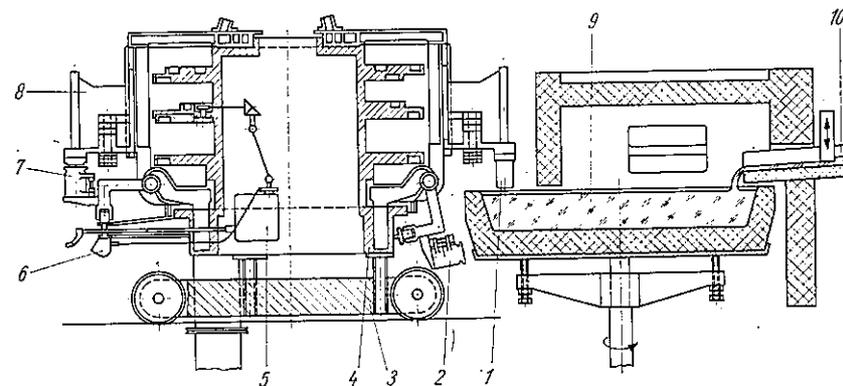


Bild 3.8. Saugblasmaschine - Typ Owens

1 Vorform; 2 Fertigform (ausgeschwenkt); 3 fahrbares Maschinengestell; 4 Kurventräger; 5 Mechanismus für Kurvenverstellung; 6 Schwenkkurve für Fertigform; 7 um Kübel geschlossene Fertigform, Vorform weit geöffnet; 8 Vorformstation, vertikal verschiebbar zum Einführen in Drehwanne; 9; 10 Glaszulauf aus Schmelzwanne

		Tafel 3.6. Technische Daten der Owens-Flaschenblasmaschinen AR mit 10 Stationen	
Ansaugmasse	g	110 ... 2260	
Produktionsleistung	St./min	12 ... 45	
Artikelabmessungen			
Maximale Behälterhöhe bei Einfach- und Doppelform (ohne Mündung)	mm	314	
Maximaler Behälterdurchmesser	mm		
Einfachform		97	
Doppelform		78	
Medienbedarf bei Doppelformen			
Druckluft	m ³ /h	1300 mit 2,3 bar	
Vakuum	m ³ /h	2100 mit 930 mbar	
Kühlluft	m ³ /h	36000 mit 38 mbar	
Antriebsleistung	kW	10	

in normaler Lage des Behälters (Boden unten), wodurch Schwenken des Kübels entfällt. Nach Öffnen der Vorform wird Kübel von Fertigform umschlossen, die sich im geöffneten Zustand unterhalb der Vorform befindet. Verarbeitungsablauf s. Bild 3.9. Konstante Masse und feststehendes Kübel sichern qualitativ gute Produktion.

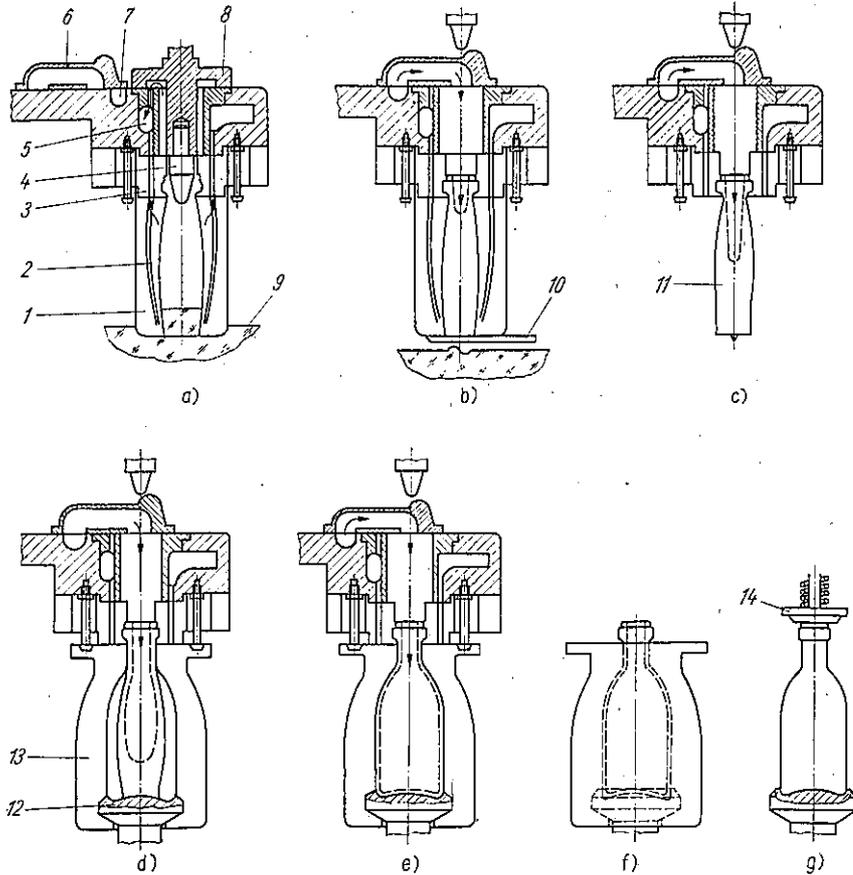


Bild 3.9. Verarbeitungsablauf bei Saugblasmaschine

1 Vorformhälfte; 2 Saugkanal; 3 Mündungsformhälfte; 4 Pegel; 5 Saugleitung; 6 Blasluftschieber; 7 Blasluftkanal; 8 Halterung; 9 Glasspiegel; 10 Messer; 11 Kübel; 12 Bodenform; 13 Fertigformhälfte; 14 Gegenhalter

a) Vorform mit Saugöffnung in Schmelze eingetaucht, durch Evakuieren wird Glas eingesaugt; b) Vorform angehoben, nachgezogener Glasstrang wird durch Messer getrennt; c) Vorform geöffnet, Kübel wird frei hängend vorgeblasen, Pegel ist zurückgezogen; d) Fertigform wird von unten eingeschwenkt und umschließt Kübel; e) Kübel wird aufgeblasen und durch Wärmezug verfestigt; f) Fertigform schwenkt mit aufgeblasener Flasche ab; g) Fertigform geöffnet, Flasche wird durch Gegenhalter an Bodenteller gedrückt, bis Abnehmer sie erfäßt

Saugblasmaschinen haben jedoch $\approx 30\%$ geringere Produktionsleistung als vergleichbare Speicherblasmaschinen. Ursache ist unerwünschte Wärmezufuhr an Vorform während des Ansaugens. Saugblasmaschinen sind i. allg. kontinuierlich bewegte Karussellmaschinen (z. B. erste vollmechanische Flaschenblasmaschine von Owens, s. Tafel 3.6), bei denen die Mechanismen der Stationen durch Umlauf über feststehende Kurven angetrieben werden.

Ansaugmasse	g	20	50	100	200	400
Produktionsleistung	St./min	—	45	35	24	17
Einfachform		—	—	—	—	—
Doppelform		79	68	—	—	—
Medienbedarf						
Druckluft	m ³ /h	100 mit 2,5 bar				
Vakuum	m ³ /h	178 mit 930 mbar				
Kühlluft	m ³ /h	7000 mit 88 mbar				
Antriebsleistung	kW	1,5				
Gesamtanschlußwert	kW	≈ 30				

Tafel 3.7. Technische Daten der Flaschenblasmaschine KS 6/60 mit 6 Stationen

Tafel 3.8. Technische Daten der Saugblasmaschine BB mit einer Station (Drehtisch mit 2 Vorformen, 1 Zwischenform, 1 Fertigform)

Ansaugmasse	g	2500	4500	7500	10000
Nettoproduktionsleistung	St./min	1,8	1,3	0,9	0,7
Artikelabmessungen	mm				
Maximale Höhe		640			
Maximaler Durchmesser		465			
Maximaler Mündungsdurchmesser		80			
Medienbedarf					
Druckluft	m ³ /h	70			
		mit 0,8 bar für 1. Vorblasen			
		mit 1,5 bar für 2. Vorblasen			
		mit 2,0 bar für Druckluftausgleich			
Vakuum	m ³ /h	600 mit 850 mbar			
Kühlluft	m ³ /h	6500 mit 25 mbar			
		10800 mit 36 mbar			
		3600 mit 18 mbar			
Antriebsleistung	kW	2,2			
Gesamtanschlußwert	kW	≈ 41			
Platzbedarf	m				
Maschine		3,6 × 2,2 × 2,5			
Drehwanne		1,65 × 1,65 × 1,37			

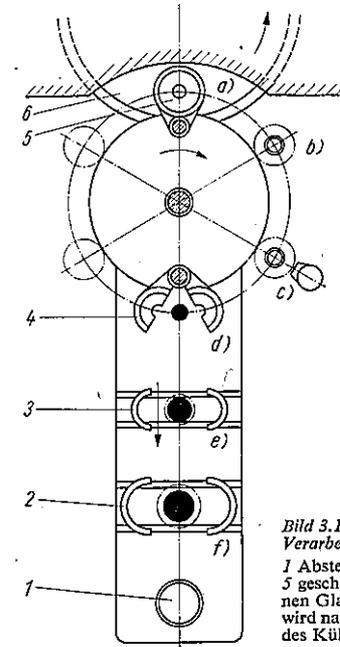


Bild 3.10. Verarbeitungsablauf bei BB-Maschine

1 Abstellplatte; 2 Fertigform; 3 Zwischenform; 4 geöffnete Vorform; 5 geschlossene Vorform; 6 Drehwanne; a) Ansaugen des geschmolzenen Glases in Vorform; b) 1. Vorblasen; c) 2. Vorblasen; d) Kübel wird nach Öffnen der Vorform an Zwischenform übergeben; e) Weiten des Kübels in Zwischenform; f) Fertigformung

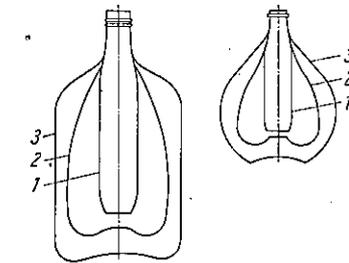


Bild 3.11. Uniformstufen der BB-Maschine

1 Kübel bei Übergabe aus Vorform; 2 Kübel nach Zwischenform; 3 endgültige Artikelform

Nachfolgeentwicklungen anderer Hersteller (z.B. Typ KS 6/60 der Berliner Maschinenbau AG, vorm. Schwartzkopf, s. Tafel 3.7) haben wesentliche Konstruktionsmerkmale der Owens-Maschine beibehalten. Saugblasmaschine Typ BB der Fa. Roirant (Tafel 3.8) ist einzige Maschine ihrer Art zur mechanischen Herstellung von Behältern bis 60 l Inhalt. Sie hat neben Vor- und Fertigform noch eine Zwischenform. Bewegung des Vorformträgers erfolgt diskontinuierlich. Verarbeitungsablauf s. Bild 3.10, Umformstufen Bild 3.11.

In der Industrie werden Saugblasmaschinen zur Herstellung von Behälterglas in immer größerem Maß durch Speiserblasmaschinen ersetzt. Grund ist die höhere Produktionsleistung und die durch vollautomatische Speiserregelung nahezu gleichwertige Konstanz der Tropfenmasse gegenüber der angesaugten Glasmenge.

3.4.2. Speiserblasmaschinen

Diese werden durch Tropfenspeiser beschickt. Nach Anordnung der Stationen unterscheidet man *Karussell-* und *Reihenmaschinen*. Bei Karussellmaschinen erfolgt Zuführung des Tropfens überwiegend im freien Fall. Bei Reihenmaschinen wird Tropfen über Leitrinnen zugeführt. Karussellmaschinen können mit Einfach- oder Doppelformen, Reihenmaschinen mit Einfach-, Doppel- oder Dreifachformen ausgerüstet werden.

Bekannte Karussellmaschine ist Typ R 7 der Firma Hanrez, Belgien (Bild 3.12, Tafel 3.9).

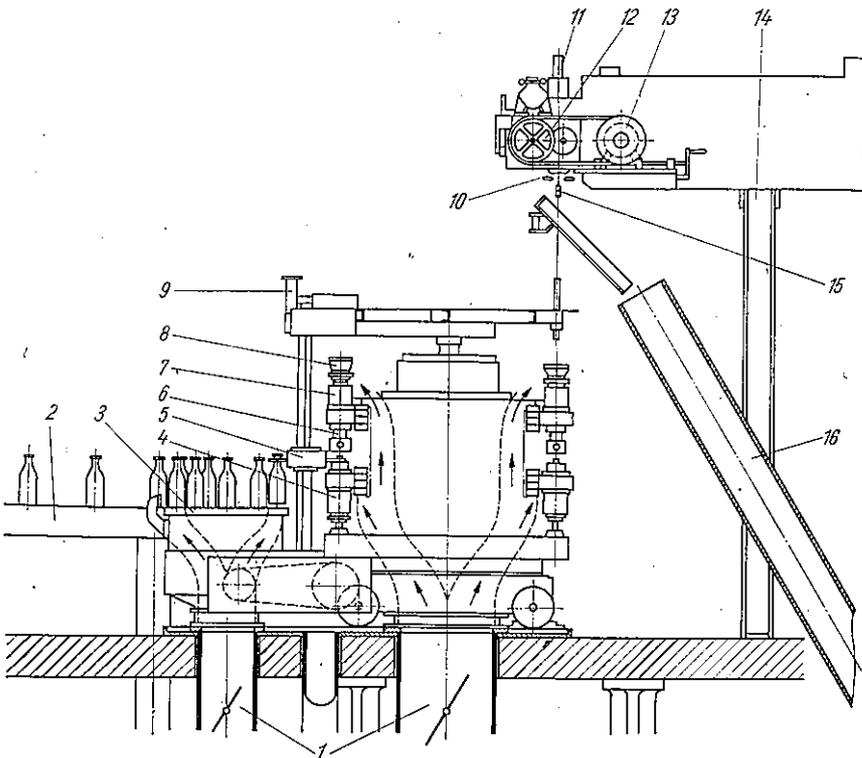


Bild 3.12. Speiserblasmaschine - Typ R 7

1 Kühlluftzuführung; 2 Transportband; 3 Absetzteller; 4 Fertigform; 5 Abnehmer; 6 Mündungsform (drehbar für Umsetzen des Kübels); 7 Vorform; 8 Trichter; 9 Vakuum- und Druckluftanschluß; 10 Tropfring; 11 Plunger; 12 pneumatische Synchronkupplung; 13 Speiserantriebsmotor; 14 Speisergerüst; 15 Tropfen; 16 Ableitrinne

Vor- und Fertigform sind vertikal übereinander angeordnet. Maschine dreht sich kontinuierlich. Vorform erhält drei fallende Tropfen. Kübel wird mit Mündungsform um 180° in Fertigform geschwenkt. Rotierende Abnehmer entnehmen fertigen Artikel. Kühlluftzuführung erfolgt durch Hüftenflur. Kühldüsen laufen mit Formen um. Maschine ist i. allg. mit mechanischem Speiser gekoppelt. Er hat von Maschine unabhängigen mechanischen Antrieb. Synchronisation von Speiser und Maschine erfolgt über pneumatische Eintourenkupplung; Impuls durch Maschinensteuerung. Alle wesentlichen Mechanismen der Maschine werden mechanisch betätigt; dadurch sind konstante Funktionszeiten gewährleistet. Formenträger bewegt sich um ruhende Mittelsäule mit Kurvonscheiben (Bild 3.13). Verarbeitungsablauf s. Bild 3.14. Füllen der Mündungsform und Weiten des Kübels in Fertigform erfolgen durch Vakuum. Höhe des Vakuums für Fertigform kann während eines Umlaufs variiert werden. Bei Verwendung von Vakuum entfällt sonst üblicher Blaskopf. Dadurch verringert sich Abstand zwischen Vor- und Fertigform und gleichzeitig Schwenkradius des Kübels.

Karussellmaschinen anderer Hersteller, z.B. Typ U8 G 12 B (Tafel 3.10) und U6 G 22 B (Tafel 3.11) des VEB Glasmaschinenbau Freital, haben ähnlichen Aufbau. Maschinen werden über stufenlos verstellbare Getriebe angetrieben und überwiegend mit pneumatischem Speiser gekoppelt. Stationen können komplett ausgewechselt werden.

Auf Spezialmaschinen, z.B. der Fa. Olivotto, werden nahtlose, dünnwandige Hohlgläser für überwiegend technische Zwecke (Glühlampen, Thermoskolben) oder dünnwandiges Wirtschaftsglas hergestellt. Kübel wird frei hängend vorgeblasen. Während Aufblasens in Fertigform dreht sich Kübel.

Tafel 3.9. Technische Daten der Speiserblasmaschine R 7 mit 7 Stationen

Tropfenmasse	g	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Produktionsleistung	St./min									
Einfachform		50	50	43	38	34	30	28	26	24
Doppelform		90	75	67	60	—	—	—	—	—
Artikelabmessungen	mm									
Maximale Höhe		375								
Maximaler Außendurchmesser		125								
Medienbedarf										
Druckluft	m ³ /h	100 ... 144 mit 2,2 bar								
Vakuum	m ³ /h	960 mit 865 mbar								
Kühlluft	m ³ /h	21600 mit 27 mbar								
Antriebsleistung einschließlich										
Speiser	kW	4,5								
Gesamtanschlußwert	kW	64								

Tafel 3.10. Technische Daten der Speiserblasmaschine U 8 G 12 B mit 8 Stationen

Tropfenmasse	g	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Produktionsleistung	St./min										
Einfachform		69	57	49	43	38	33	29	26	24	22
Artikelabmessungen	mm										
Maximale Höhe		400									
Maximaler Außendurchmesser		125									
Medienbedarf											
Druckluft	m ³ /h	156 mit 2,5 bar									
Kühlluft	m ³ /h	26400 mit 26 mbar									
Vakuum	m ³ /h	960 mit 798 mbar									
Antriebsleistung	kW	2,2									

Tafel 3.11. Technische Daten der Speiserblasmaschine U 6 G 22 B mit 6 Stationen

Tropfenmasse	g	30	40	60	80	100	120	140	160
Produktionsleistung	St./min	93	80	64	52	43	36	32	30
Artikelabmessungen	mm								
Maximale Höhe		185							
Maximaler Außendurchmesser		60							
Medienbedarf									
Druckluft	m ³ /h	90 mit 2,5 bar							
Kühlluft	m ³ /h	6000 mit 25 mbar							
Vakuum	m ³ /h	360 mit 212 mbar							
Antriebsleistung	kW	2,5							

Tafel 3.12. Technische Daten von Reihenmaschinen

Artikelabmessungen (mm) der Hartford-Reihenmaschine

	Einfachform	Doppelform	Dreifachform
Blas-Blasverfahren			
Maximale Höhe	344	355	279,4
Maximaler Körperdurchmesser	178,0	111	85,7
Maximaler Mündungsdurchmesser	38	48	48
Preß-Blasverfahren			
Maximale Höhe	280	279	228,6
Maximaler Körperdurchmesser	178,0	111	85,7
Maximaler Mündungsdurchmesser	120,0	90	70

Medienbedarf einer 6-Stationen-Reihenmaschine

	Einfachform	Doppelform	
Blas-Blasverfahren			
Druckluft	m ³ /h	710	710 mit 2,5 bar
Kühlluft	m ³ /h	25000	25000 mit 40 mbar
Preß-Blasverfahren			
Druckluft	m ³ /h	870	820 mit 2,5 bar
Kühlluft	m ³ /h	30000	30000 mit 40 mbar
Antriebsleistung	kW	3,5	3,5 (ohne Kühlluftgebläse)

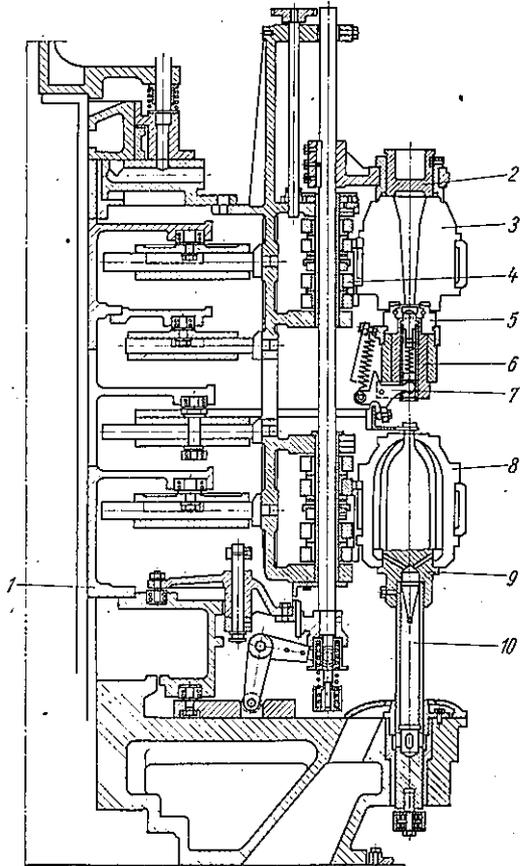


Bild 3.13
Querschnitt einer Station - Typ R 7 [3.4]
1 Kurventräger; 2 Setzkopf; 3 Vorform-
hälfte; 4 Formgelenk; 5 Mündungsform-
hälfte; 6 Schwenksegment mit Pegel-
mechanismus; 7 Pegelantrieb;
8 Fertigformhälfte; 9 Bodenform;
10 Vakuumanschluß

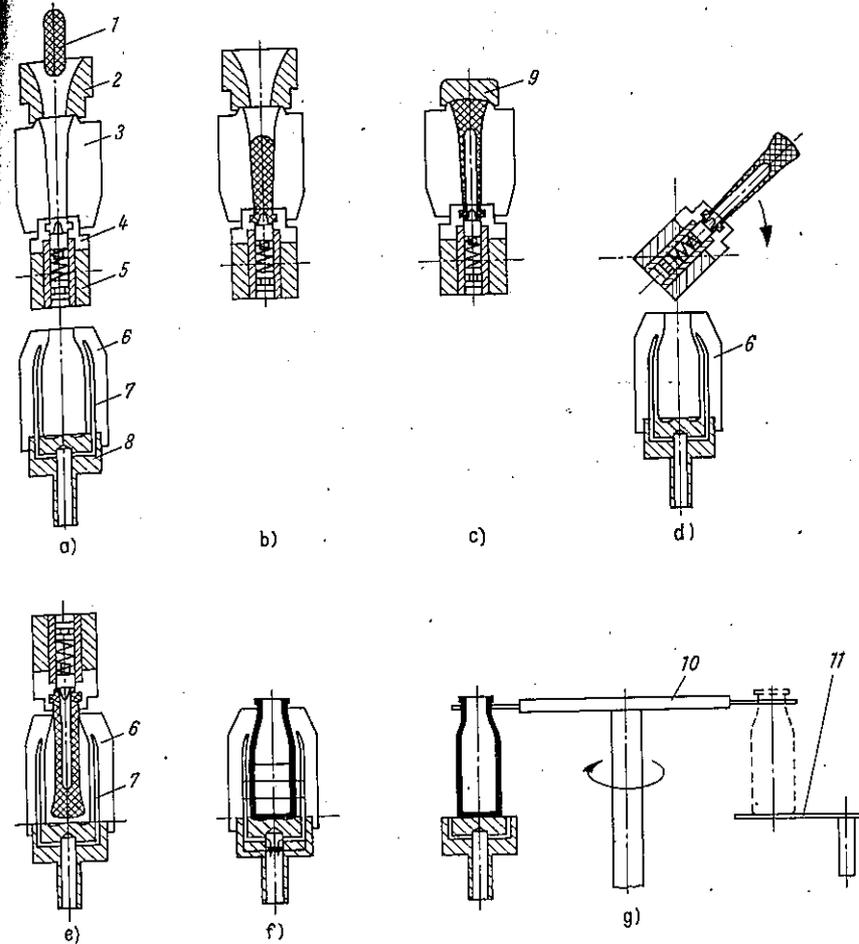


Bild 3.14. Verarbeitungsablauf bei Typ R 7

1 Tropfen; 2 Trichter; 3 Vorformhälfte; 4 Mündungsformhälfte; 5 Schwenksegment mit Pegelmechanismus; 6 Fertigformhälfte; 7 Saugkanäle; 8 Bodenform; 9 Setzkopf; 10 Abnehmer; 11 Absetzteller
a) Tropfen fällt durch Trichter in Vorform; b) Glas wird in Mündungsform gesaugt, Pegel eingeschoben;
c) Trichter schwenkt aus, Setzkopf verschließt Form nach oben, Pegel wird zurückgezogen und Tropfen vorgeblasen; d) Setzkopf ist abgehoben, Mündungsform öffnet sich, Schwenksegment dreht Kühlbel um 180° in geöffnete Fertigform; e) Fertigform schließt, Mündungsform öffnet und wird durch Schwenksegment in Ausgangslage zurückgedreht; f) Kühlbel wird durch Evakuieren der Form aufgeblasen, nach abgeschlossener Verfestigung öffnet sich Fertigform; g) Behälter wird vom Abnehmer erfaßt und auf Absetzteller übergeben

Bei Reihenmaschinen sind Stationen in einer geraden Reihe angeordnet. Vor- und Fertigformen liegen in einer Ebene hintereinander oder sind in gleicher Teilung auf Kreis angeordnet (Lynch 44). Wesentliche Vorteile der Reihenmaschine sind feststehende Stationen, die einen Eingriff erlauben, ohne die anderen Stationen stillzusetzen, und die Möglichkeit, im Blas-Blas- oder Preß-Blas-Verfahren zu arbeiten.

Bekannte Reihenmaschine ist die Hartford-IS (Bild 3.15). Darüber hinaus werden von verschiedenen Herstellern ähnliche Maschinen gefertigt, die in den Grundabmessungen, technologischem Regime und den Artikelabmessungen nur unwesentlich von der Hartford-IS abweichen (Tafel 3.12). Reihenmaschinen werden mit zwei, vier, sechs

oder acht Stationen gefertigt. Sie können mit Einfach-, Zweifach- oder Dreifachformen betrieben werden. Tropfen wird der Vorform über ein Rinnensystem zugeführt. Verarbeitungsablauf s. Bild 3.16. Tropfenleitung erfordert Glasspiegelhöhen von etwa 3000 ... 4000 mm über Hüttenflur. Höhe ist notwendig, um ausreichende Gleitgeschwindigkeit des Tropfens auch für äußere Stationen zu gewährleisten.

Jede Station einer Reihenmaschine ist eine unabhängige Einheit (Bild 3.17). Durch Programmwalze wird Bewegungsablauf der Mechanismen gesteuert. Antrieb der Mechanismen erfolgt ausschließlich über pneumatische Arbeitszylinder mit gekoppelten Festkörpermechanismen. Zu beiden Seiten der Vorform sind schwenkbare Arme für Trichter und Setzkopf angeordnet. In Mitte der Station liegt Kübelschwenkmechanismus. Mündungsformträger sind auf Welle in axialer Richtung verschiebbar, um Mündungsform öffnen zu können. Drehbewegung des Schwenkmechanismus durch pneumatischen Arbeitszylinder und Zahnstangentrieb. Neben Fertigform befindet sich schwenkbarer Arm für Blaskopf und der Abnehmer.

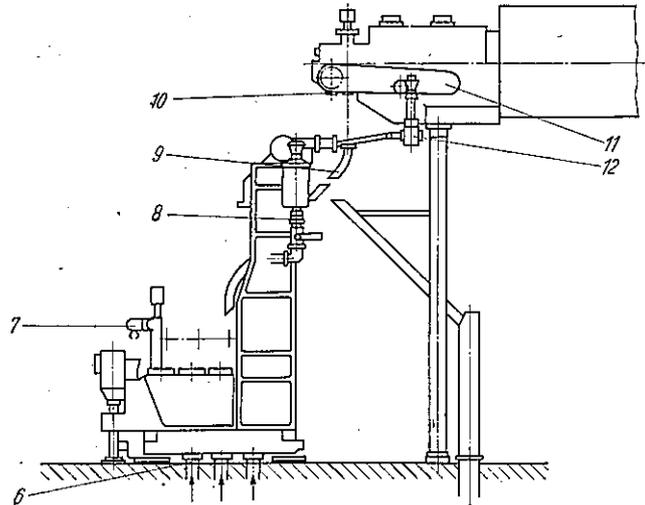
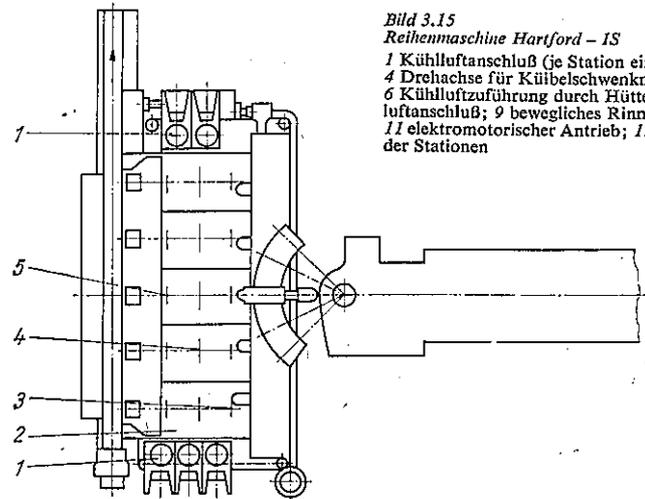


Bild 3.15
Reihenmaschine Hartford - IS

1 Kühlluftanschluß (je Station ein Rohr); 2 Station; 3 Vorform; 4 Drehachse für Kübelschwenkmechanismus; 5 Fertigform; 6 Kühlluftzuführung durch Hüttenflur; 7 Abnehmer; 8 Druckluftanschluß; 9 bewegliches Rinnensegment; 10 Tropfingmitte; 11 elektromotorischer Antrieb; 12 Abtrieb für Programmspeicher der Stationen



Bei Reihenmaschine Lynch 44 (Tafel 3.13) erfolgt Antrieb vollhydraulisch. Vorform und Fertigform sind in gleicher Teilung auf Kreis angeordnet. Mündungsformen 2, 7, 10 werden intermittierend bewegt. Dadurch wird Verlustzeit gesenkt, und Artikelöffnung verbleibt bis Entnahme in gleicher Halterung. Luft zur Formen Kühlung wird durch Formarme geleitet. Formen werden dadurch von gerichteter Luft umströmt. Hoher Kühleffekt durch konstante Verhältnisse bei geöffneter und geschlossener Form. Umbau von Enghals- auf Weithalsfertigung ist in kurzer Zeit möglich. Alle wesentlichen Zusatzaggregate sind in der Maschine ständig eingebaut. Tropfenzuführung und Artikelabtransport erfolgen wie bei übrigen Reihen-

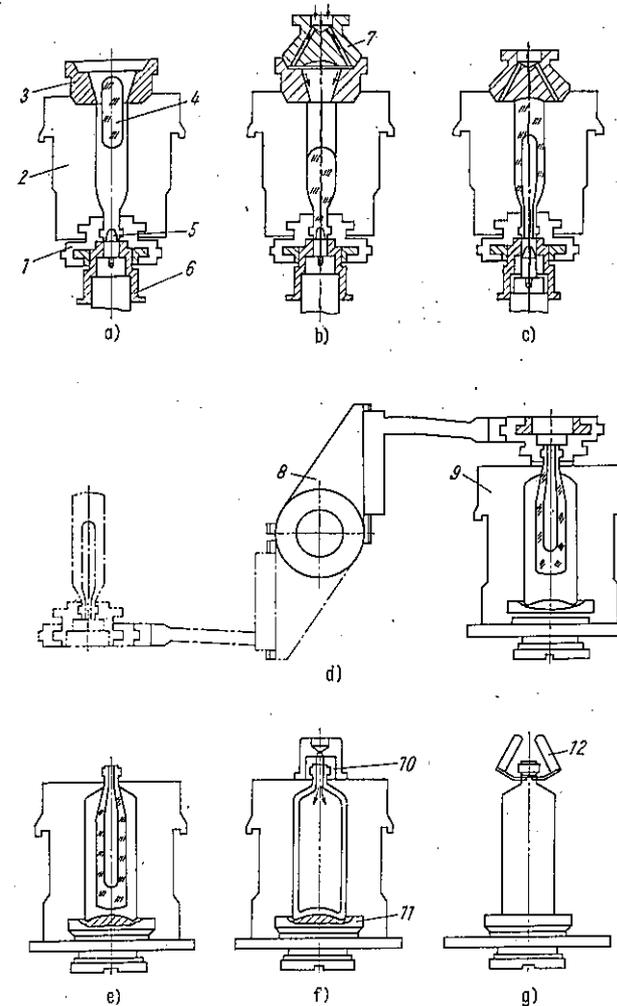


Bild 3.16. Verarbeitungsablauf bei Reihenmaschine

1 Mündungsformhälfte; 2 Vorformhälfte; 3 Trichter; 4 Tropfen; 5 Pegel; 6 Pegelhülse; 7 Blaskopf (anschließend als Setzkopf verwendet); 8 Schwenkmechanismus; 9 Fertigformhälfte; 10 Blaskopf; 11 Bodenform; 12 Abnehmerzange

a) Tropfen fällt durch Trichter in Vorform; b) Blaskopf setzt sich auf Trichter, Druckluft drückt Glas in Mündungsform; c) Blaskopf hebt ab, Trichter wird ausgeschwenkt, Blaskopf setzt erneut auf und übernimmt Funktion des Setzkopfs, Pegel wird zurückgezogen, Glasmenge wird aufgeblasen; d) nach abgeschlossener Vorformung schwenkt Blaskopf aus, Vorform öffnet, Schwenkmechanismus dreht Kübel um 180° nach Fertigform; e) nach Schließen der Fertigform öffnet Mündungsform und wird nach Vorform zurückgeschwenkt, Kübel hängt frei in Fertigform; f) Blaskopf setzt auf, Druckluft bläst Kübel auf; g) nach abgeschlossener Verfestigung öffnet Fertigform, Abnehmerzange erfaßt Artikel und schwenkt Behälter kreisbogenförmig aus

maschinen. Lynch 44 wird mit zwei bis vier Stationen geliefert. Jede Station kann bis 45 mechanische Arbeitspiele/min ausführen. Produktionsleistung ist niedriger und hängt von Viskositätsverlauf des Glases, Artikelgestaltung und weiteren technologischen Einflußgrößen ab. Kombination von zwei gegenüberliegenden 4-Stationen-Maschinen zu einem Aggregat ist möglich. Hydraulischer Antrieb gewährleistet harmonischen und konstanten Bewegungsablauf aller Mechanismen auch bei hoher Maschinengeschwindigkeit. Reihenmaschinen weiterer Hersteller sind bezüglich Aufbau und Funktion der Hartford-IS ähnlich.

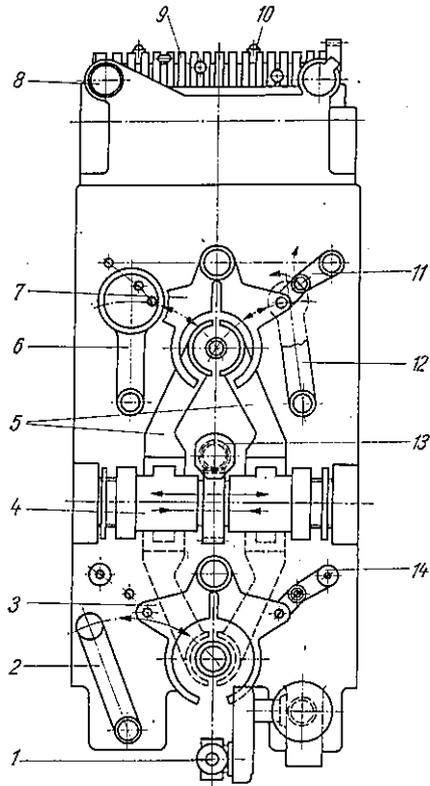


Bild 3.17
Station einer Reihenmaschine
1 Abnehmer; 2 Blaskopfform; 3 Fertigformhalter;
4 Kübelschwenkmechanismus; 5 Mündungsform-
träger; 6 Trichterarm; 7 Vorformhalter; 8 Druck-
luftanschluß; 9 Programmwalze; 10 Steuernocken;
11 Mechanismus für Öffnen und Schließen der Vor-
form; 12 Setzkopfform; 13 Zahnstangentrieb
für Schwenkmechanismus; 14 Mechanismus für
Öffnen und Schließen der Fertigform

Tafel 3.13. Technische Daten der Speiserblasmachine Lynch 44 mit 4 Stationen

Produktionsleistung je Station	St./min		
Einfachform	12 ... 25		
Doppelform	15 ... 30		
Artikelabmessungen	mm		
Enghalsbehälter		Einfachform	Doppelform
Maximale Höhe (ohne Mundstück)		368,3	304,8
Maximaler Körperdurchmesser		165,1	101,6
Maximaler Mündungsdurchmesser		120,0	89,0
Weithalsbehälter			
Maximale Höhe (ohne Mundstück)		247,65	215,9
Maximaler Körperdurchmesser		165,1	101,6
Maximaler Mündungsdurchmesser		120,0	89,0
Medienbedarf bei 4 Stationen			
Druckluft	m ³ /h	70 mit 2,8 bar	
Kühlluft	m ³ /h	50160 mit 43 mbar	
Vakuum	m ³ /h	280 mit 912 mbar	
Wasser bei Preß-Blasverfahren	l/min	9 mit 2,5 ... 6,2 bar	
Hydraulikflüssigkeit		Wasser-Glykol-Lösung, feuersicher und giftfrei	
Druck im Hochdruckkreislauf		55 bar	

3.4.3. Preßblasmachines

Preßblasmachines sind Spezialmaschinen in Karussell- und Reihenbauweise zur Herstellung von Weithalsbehältern. Verarbeitungsablauf geschieht nach Bild 3.18.

Bei Karussellmaschinen wird Tisch intermittierend durch Malteserkreuz oder pneumatischen

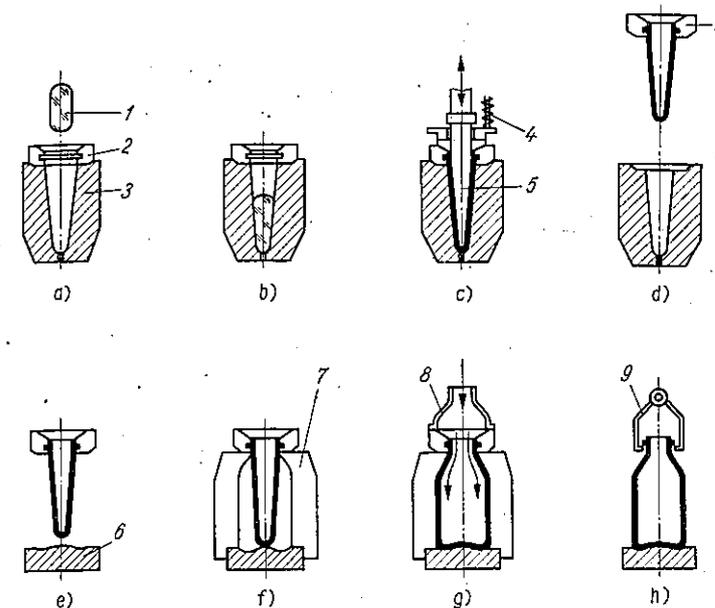


Bild 3.18. Verarbeitungsablauf bei Preßblasmachine

1 Tropfen; 2 Mündungsformhälfte; 3 Vorform; 4 Federkorb mit Abschlußring; 5 Preßstempel; 6 Bodenform; 7 Fertigformhälfte; 8 Blaskopf; 9 Abnehmerzange
a) Tropfen fällt durch geteilte Mündungsform in ungeteilte Vorform; b) gefüllte Vorform wird von Füll- zur Preßstation bewegt; c) von oben eingeführter Preßstempel verformt Tropfen zu Kübel; d) Vorform 3 wird abgesenkt, Kübel hängt frei in Mündungsform; e) Fertigformboden 6 wird eingeschoben; f) Fertigform 7 schließt; g) Blaskopf 8 setzt auf Mündungsform auf, Kübel wird aufgeblasen; h) Fertigform geöffnet, Artikel durch Abnehmerzange ausgetragen

Arbeitszylinder bewegt, da nur eine stationäre Preßstation vorhanden ist. Antrieb des Preßstempels durch pneumatischen Arbeitszylinder. Vorformabschluß durch elastischen Federkorb. Tropfen wird über Leitrinne in Vorform geführt. Stationenanzahl 10 bis 12. Maschinen werden in der Perspektive durch Reihenmaschinen ersetzt.

Ihr Formgebungsprinzip gleicht dem der Karussellmaschinen. Reihenmaschinen ermöglichen allerdings durch austauschbare Baugruppen Fertigung von Eng- und Weithalsbehältern.

3.5. Preßmaschinen

Sie stellen topfförmige und massive Glasartikel beliebiger Querschnittsform her.

Umformung und Verfestigung des geschmolzenen Glases erfolgen in einer Form ohne zeitliche Unterbrechung. Formen sind ein- und mehrteilig ausgeführt. Verfahren wird manuell und mechanisch angewendet.

3.5.1. Manuell bediente Preßmaschinen

Verarbeitungsablauf für manuelles Verfahren zeigt Bild 3.19. Für manuelles Verfahren werden Maschinen mit mechanischem (Kurbelmechanismus), hydraulischem oder pneumatischem Preßstempeltrieb eingesetzt. Je Maschine werden ein bis drei Formen verwendet. Glasmengendifferenzen wirken sich in veränderlicher Wanddicke aus. Für komplizierte Artikel sind mehrteilige Formen notwendig. Teilebenen können horizontal oder vertikal liegen.

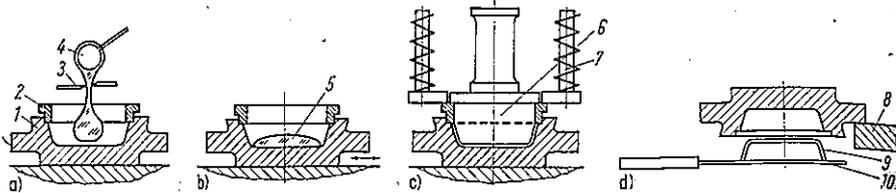


Bild 3.19. Verarbeitungsablauf bei manuell bedienter Preßmaschine

1 Form; 2 Anschlußring; 3 Handschere; 4 Anfangeisen; 5 eingeschnittene Glasmenge; 6 Preßstempel; 7 Federkorb; 8 Pressentisch; 9 geformter Artikel; 10 Auflage

a) manuell angefangenes Glas läuft vom Anfangeisen in Form ab, Trennen des Glases durch Handschere; b) Form mit Anschlußring wird auf Pressentisch unter Preßstempel geschoben, Anschläge fixieren Lage der Form zum Preßstempel; c) Federkorb und Preßstempel werden der Form entgegen bewegt, nach Auflegen des Federkorbs verdrängt Preßstempel eingeschnittenes Glas in vorgegebenen Hohlraum der Form, nach abgeschlossener Verfestigung löst sich zuerst Preßstempel vom Glas, anschließend Federkorb vom Anschlußring; d) Form wird vorgezogen, Anschlußring abgenommen und Form gewendet, Artikel fällt auf bereitgehaltene Auflage

Manuelles Verfahren wird überwiegend für farbiges Wirtschaftsglas und in der Kleinserienfertigung technischer Gläser angewendet. Artikelabmessungen betragen bis 500 mm Dmr. und 400 mm Höhe. Produktionsleistung im Durchschnitt 5 St./min.

3.5.2. Mechanische Preßmaschinen

Sie werden zur Herstellung von Massenartikeln für Industrie und Haushalt verwendet.

Prinzip des vollmechanisierten Verarbeitungsablaufs gleicht dem im Bild 3.19.

Tropfenspeiser führt geschmolzenes Glas über Rinne oder vorteilhafter im freien Fall der Form zu, weil dadurch einseitige Abkühlung des Tropfens vermieden wird. Tropfen muß unmittelbar vor Preßstation in die Form eingelegt werden.

Pneumatischer oder hydraulischer Arbeitszylinder erzeugt Preßkraft von 5 ... 1200 kN.

Formenzahl beträgt je nach Einsatzgebiet und Pressenkonstruktion 6 bis 16; Tischdurchmesser 1 ... 2,5 m. Intermittierender Antrieb des Tisches erfolgt durch Malteserkreuz, räumliche Kurve oder pneumatischen Arbeitszylinder [3.5].

3.6. Ziehmaschinen

Unter diesem Sammelbegriff versteht man maschinelle Ausrüstungen zur Herstellung verschiedenartiger Endprodukte nach Ziehverfahren.

3.6.1. Flachglasziehmaschinen

Flachglas ist mit oder ohne Düse gezogenes transparentes Glas von 0,8 ... 8,0 mm Dicke und 1400 ... 3600 mm Breite. In Europa überwiegt Düsenziehverfahren nach *Fourcault*, in Übersee *Pittsburgh*- und *Libbey-Owens*-Verfahren.

Fourcault-Ziehmaschine (Bild 3.20). Sie ist auf Ziehkammer 5 aufgesetzt. In dieser schwimmt Düse 1 aus feuerfestem Werkstoff in Glasschmelze. Lage der Düse mit Austrittsöffnung unter-

halb des Glasspiegels ist arretiert. Infolge hydrostatischen Druckausgleichs wird Glas durch Düse gedrückt. Abzugswalzen 8 ziehen das sich bildende Glasband 7 stetig ab. Bortenhalter 4 zu beiden Seiten der Düse verhindern Einlaufen des Glasbands. Zwischen Düse und erstem Walzenpaar wird Glasband durch Wärmeentzug verfestigt (Wasserkühler 6). In 5 ... 6 m hohem Ziehschacht sind 12 bis 25 Walzenpaare angeordnet; Walzendurchmesser 130 bis 170 mm. Stahlkern der Walzen ist mit Asbest überzogen. Erstes Walzenpaar wird von innen mit Wasser gekühlt. Lagerung unterer Walzenpaare in Kunstkohlelagern, übrige in Wälzlagern. Eine Walzenreihe ist angetrieben. Gegenüberliegende Reihe wird durch Gewichte elastisch angedrückt. Übertragung der Drehbewegung auf getriebene Walzen i.allg. über Schneckengetriebe. Antrieb durch Gleichstromverstellmotor; erforderliche Effektivleistung 0,2 ... 0,3 kW; Verstellbereich 1 : 18. Ziehgeschwindigkeit ist von Glasbanddicke abhängig (Bild 3.21); übliche Bandbreite 1400, 1800, 2300, 2700 mm. Glasbanddicke wird durch Veränderung von Abzugsgeschwindigkeit und Eintauchtiefe der Düse eingestellt; Düsenschlitzbreite meist 35 ... 40 mm; bei hohen Ziehgeschwindigkeiten bis 60 mm.

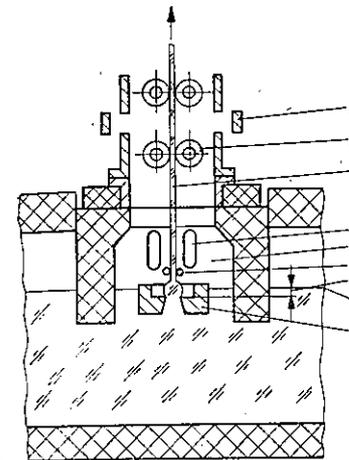


Bild 3.20. Fourcault-Ziehmaschine

1 Düse; 2 Glasspiegel; 3 Abstand Glasspiegel zu Oberkante Düse; 4 Bortenhalter; 5 Ziehkammer; 6 Wasserkühler; 7 Glasband; 8 Abzugswalzen; 9 Regelklappen am Ziehschacht

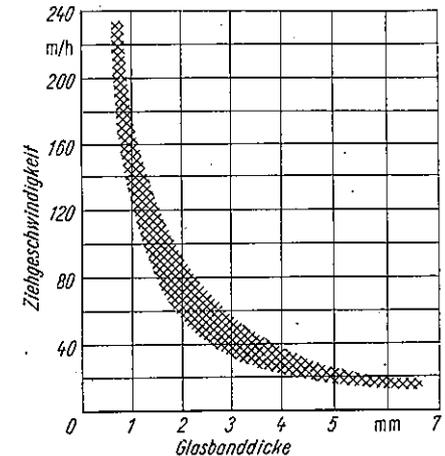


Bild 3.21. Ziehgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Glasbanddicke [3.4]

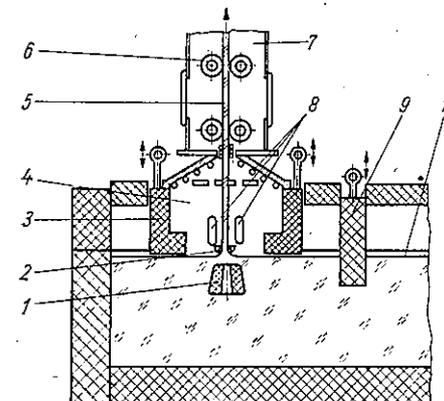


Bild 3.22. Pittsburgh-Ziehmaschine

1 Profilstein; 2 Bortenhalter; 3 Schamottebrücke; 4 Ziehkammer; 5 Glasband; 6 Abzugswalzen; 7 Ziehschacht; 8 Wasserkühler; 9 Schieber; 10 Glasspiegel

Pittsburgh-Ziehmaschine (Bild 3.22). Glasband wird ohne Düse direkt vom Glasspiegel abgezogen; dadurch wird bessere Qualität erzielt, da störende Einflüsse von Düse fehlen. Empfindlichkeit gegenüber Schwankungen der Betriebsverhältnisse (Glasstand und Temperatur in Schmelze und Ziehkammer) ist wesentlich größer als beim Fourcault-Verfahren. Ziehkammer wird von Schamottebrücken begrenzt; Abstand zum Glasspiegel 3 ... 4 mm. Profilstein unterhalb des Glasspiegels richtet die Glasströmung. Einlaufen des Glasbands wird durch halbkugelförmige Bortenhalter verhindert. Wasserkühler führen Wärme ab. Kappe der Ziehkammer ist ebenfalls wassergekühlt. Abzug des Glasbands erfolgt wie beim Fourcault-Verfahren. Ziehschacht ist infolge höherer Ziehgeschwindigkeit bis 12 m lang und nimmt 30 Walzenpaare auf; Walzendurchmesser 190 mm; Bandbreite bis 3200 mm; Glasbanddicke 2 bis 8 mm. Verfahren ist ungeeignet für Glasdicke < 2 mm, Ziehgeschwindigkeit ist $\approx 100\%$ höher als beim Fourcault-Verfahren.

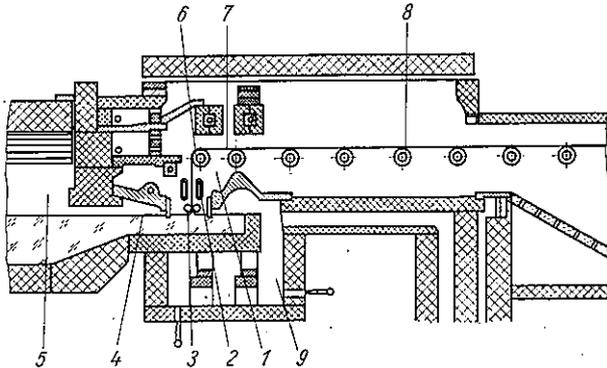


Bild 3.23. Libbey-Owens-Ziehmaschine

1 Ziehkammer; 2 Wasserkühler; 3 Bortenwalzen; 4 Glasspiegel; 5 Wanne; 6 Umlenkwalze; 7 Glasband; 8 Walze; 9 Ziehkammerheizung

Libbey-Owens-Ziehmaschine (Bild 3.23). Glasband wird wie beim Pittsburgh-Verfahren abgezogen. Glastiefe in Ziehkammer beträgt 150 ... 200 mm. Borten werden durch geriffelte Walzen unmittelbar oberhalb des Glasspiegels gebildet. Etwa 700 mm oberhalb des Glasspiegels befindet sich polierte, von innen luftgekühlte Umlenkwalze aus hitzebeständigem Stahl.

Glasband wird durch 60 m langen Kanal mit etwa 200 Walzen geführt. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist großer Bereich der Glasbanddicke: 0,6 ... 30 mm; maximale Glasbandbreite 3600 mm; maximale Ziehgeschwindigkeit bei 270 m/h.

3.6.2. Rohr- und Stabziehmaschinen

Rohre und Stäbe werden auf Danner- und Schuller-Maschinen hergestellt. Bei Fertigung von Stäben entfällt das Einblasen von Luft in den Kern des Stranges.

Danner-Ziehanlage (Bild 3.24, Tafel 3.14). Sie stellt im horizontalen Verfahren endlose Röhren und Stäbe her. Gesamte Anlage besteht aus Strangformmaschine, Kühlbahn und eigentlicher Ziehmaschine.

Formgebendes Element ist Pfeife der Strangformmaschine. Pfeife besteht aus Stahlrohr mit Schamottemantel und wird von innen wassergekühlt. Sie befindet sich in beheizter Muffel. Geschmolzenes Glas wird über Auslaufspeiser kontinuierlich am Ende der Pfeife zugeführt. Während stetiger Rotation fließt Glas nach der Pfeifenspitze und wird als Rohr oder Stab abgezogen. Bei Rohrfertigung wird Blasluft durch Mittenbohrung der um $15 \dots 20^\circ$ geneig-

Tafel 3.14. Technische Daten der Danner-Ziehanlage

Produktionsleistung	m/min	10 ... 200 abhängig vom Durchmesser
Artikelabmessungen	mm	
Durchmesser bei Röhren		1,5 ... 60
Wanddicke bei Röhren		0,6 ... 1,5
Durchmesser bei Stäben		1,0 ... 6
Pfeifendrehzahl	U/min	3 ... 9 stufenlos verstellbar
Medienbedarf		
Kühlwasser	m ³ /h	1
Blasluft	m ³ /h	900 mit 300 mbar
Antriebsleistung	kW	
Strangformmaschine		$\approx 0,5$
Ziehmaschine		$\approx 1,0$

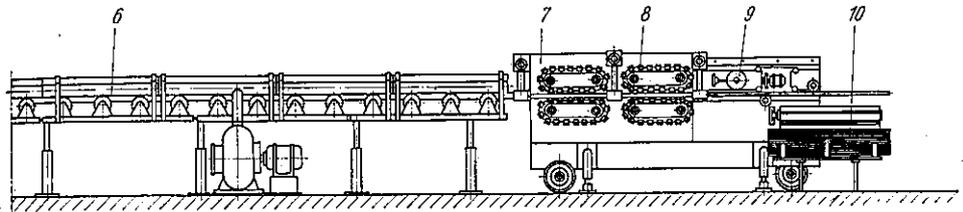
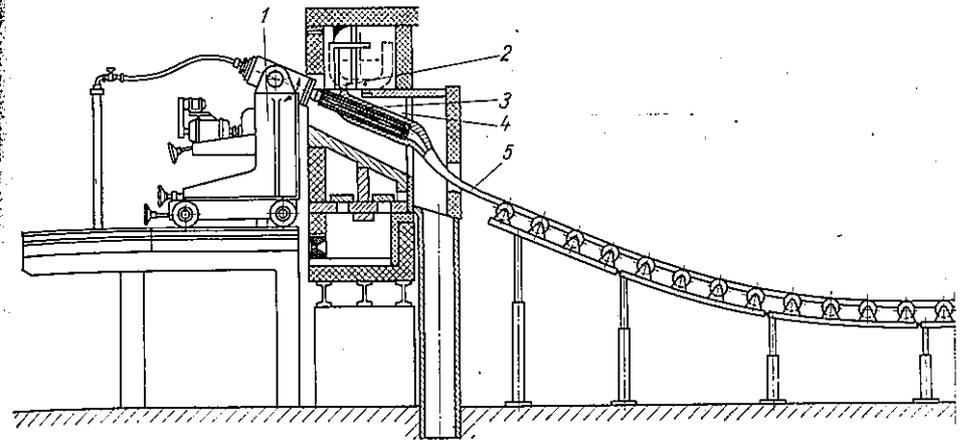


Bild 3.24. Danner-Ziehanlage

1 Strangformmaschine; 2 Glaszufluß (Auslaufspeiser); 3 Pfeife; 4 Muffel; 5 Rohr; 6 Kühlbahn; 7 Ziehmaschine; 8 Zugketten; 9 Schneidstein; 10 gebrochene Rohre

ten Pfeife zugeführt. Konstante Glasverhältnisse und konstante Temperatur in der Muffel sind für gute Produktion notwendig. Glastemperatur am Abzug der Pfeife beträgt etwa 1173 K. Rohr wird aus geneigter Richtung mit Rollen in die Horizontale gelenkt. Neigung der Pfeife ist ohne wesentlichen Einfluß auf Veränderung der Wanddicke. Rollen aus Kohle oder Metall mit Asbestumhüllung führen das Rohr durch 40 ... 80 m lange Kühlbahn. An deren Ende wird Rohr oder Stab durch Ziehmaschine abgezogen, wobei Zugkette oder Rollen durch Reibung die Ziehkraft auf Rohr oder Stab übertragen. Konstante Ziehgeschwindigkeit ist Voraussetzung für hohe Qualität. Im Anschluß an Ziehvorgang wird Ziehgut auf bestimmte Länge getrennt, indem es durch rotierenden Schneidstein geritzt und durch abgefederter Rolle gebrochen wird. Vorteilhaft ist Heißabschneidverfahren: Geteilte Brenner umschließen das Rohr, bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit und durchschmelzen die Rohrwand.

Schuller-Ziehmaschine (Bild 3.25). Sie fertigt im vertikalen Verfahren endlose Röhren und Stäbe. Wesentliche Elemente der Maschine sind Drehschüssel, Düse und Drehrohr. Schüssel und Drehrohr laufen mit gleicher Geschwindigkeit um. Blasluft wird durch Düsenbohrung geführt. Verarbeitungsablauf s. Bild 3.26.

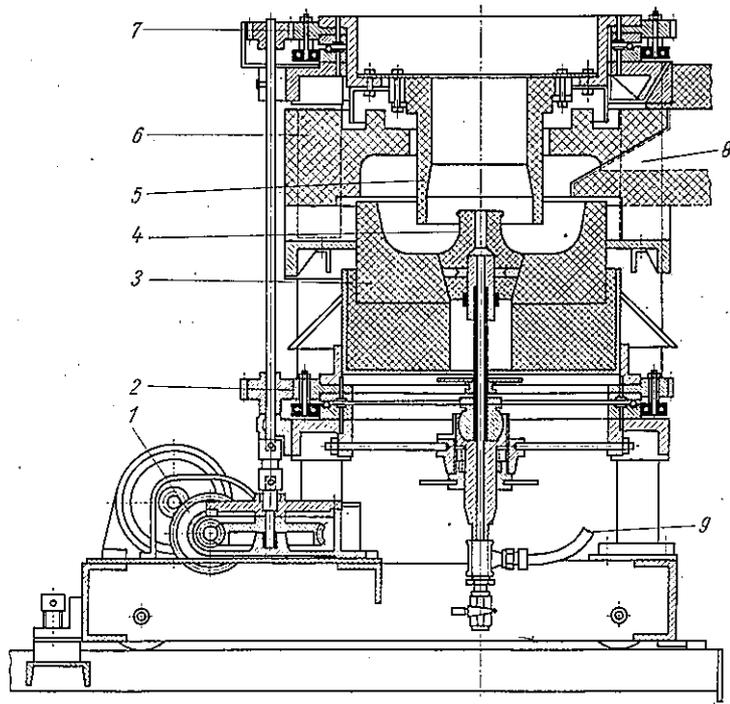


Bild 3.25. Schuller-Ziehmaschine [3.4]

1 Antriebsmotor und Getriebe; 2 Drehschüsselantrieb; 3 Drehschüssel; 4 Düse; 5 Drehrohr; 6 Abdeckung; 7 Drehrohrantrieb; 8 Glasfuß; 9 Blasluftzufuhr

Glas wird über Rinne in Drehschüssel geleitet. Aus parabelförmigem Glasstock wird durch Verstrecken Rohr oder Stab geformt. Bei Rohrfertigung wird Blasluft durch Düsenbohrung zugeführt. Kühlluft aus Ringdüse verfestigt geformtes Profil. Zugkraft wird durch Rollen übertragen. Ziehgeschwindigkeit 240 ... 1020 m/h; Durchmesser der gefertigten Rohre 3 bis 50 mm; Qualität der Erzeugnisse ist besser als beim Danner-Verfahren. Mit Spezialvorrichtungen ist es möglich, Röhren bis 200 mm Außendurchmesser herzustellen. Bekannt ist auch das sog. Vello-Verfahren, bei dem Rohr oder Stab nach unten abgezogen werden.

3.6.3. Glasfaserzieh Anlagen [3.6]

Glasfaser ist Sammelbegriff für *Glasseide* (Faser endloser Länge) und *Glaskurzfasern* (Faser endlicher Länge).

Herstellung nach verschiedenen Verfahren möglich. Allen Verfahren ist Verstrecken des geschmolzenen Glases gemeinsam; daher ist Zusammenfassung unter Zieh Anlagen möglich. Wichtigste Verfahren sind Düsenziehverfahren für Glasseide und TEL-Verfahren für Glas-

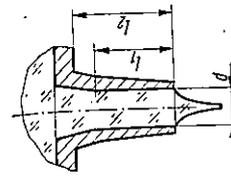


Bild 3.28. Düsenform

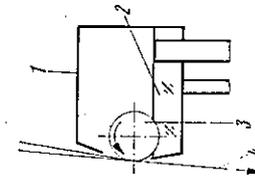


Bild 3.29. Schmelzvorrichtung
1 Gehäuse; 2 Schmelzmittel;
3 Glasfuß; 4 Sammelkäden

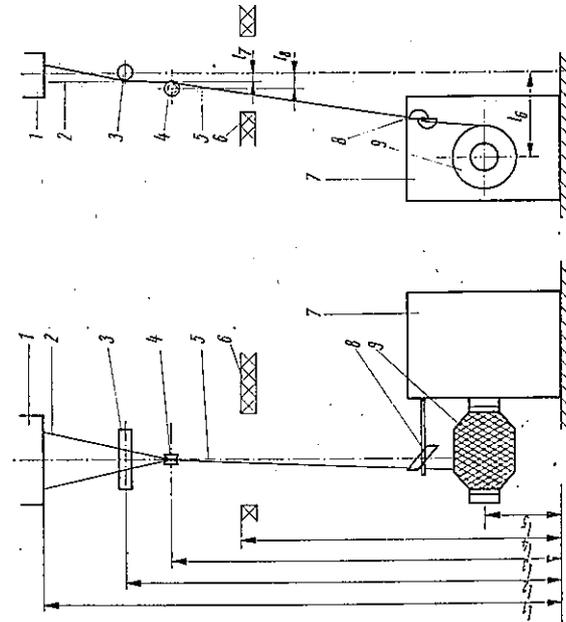


Bild 3.27. Düsenzieh Anlage

1 Düsenwanne mit geschmolzenem Glas; 2 Einzelfäden (102 bis 2040 St.);
3 Schmelzvorrichtung; 4 Gleitrollen; 5 Sammelkäden; 6 Zwischendecke;
7 Aufwickelmaschine; 8 Fadenverlegung; 9 Wickeltrommel mit aufgewickelter
Glasseide (l_1 bis l_9 s. Tafel 3.15)

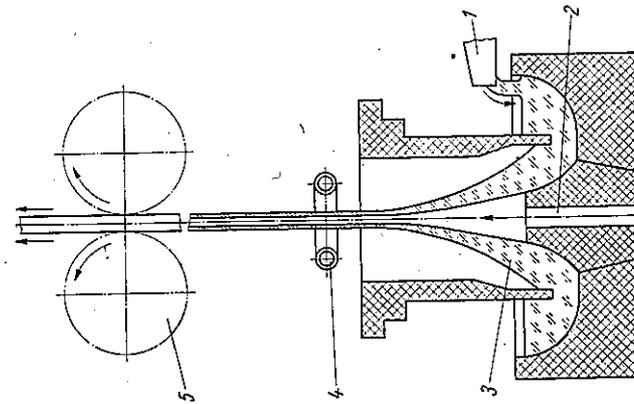


Bild 3.26. Verarbeitungsablauf bei Schuller-Ziehmaschine

1 Glasfuß; 2 Düsenbohrung für Blasluft;
3 Glasstock; 4 Ringdüse zur Kühlung;
5 Abzugrollen

TEL-Maschine (Bild 3.33, Tafel 3.17). Sie dient zur hochproduktiven Herstellung von Glasfasern begrenzter Länge.

Verstrecken erfolgt durch Zentrifugalkräfte und strömende Gase. Aus Wanne fließt geschmolzenes Glas durch Platindüse (10 mm Dmr.) im Boden aus. Unterhalb der Düse ist Antriebsmotor mit Schleuderagregat. Glasstrahl fließt durch Hohlwelle des Motors auf planen Schleuderteller mit Verteiler. Geschmolzenes Glas wird an den Mantel des Schleuderaggregats gedrückt, in dem sich in mehreren Reihen bis 6000 Bohrungen von 0,8 ... 1,2 mm Dmr. befinden. Nach Passieren der Bohrung wird Faser durch heiße Flammengase um 90° nach unten gelenkt und gleichzeitig weiter verstreckt. Fasern fallen in Form eines Schlauches ab. Motor und Brennergehäuse sind flüssigkeitsgekühlt. Brennerdüse ist ringförmig ausgebildet. Konstante Strömungsgeschwindigkeit über gesamten Düsenumfang ist notwendig.

Tafel 3.17. Technische Daten der TEL-Maschine

Produktionsleistung	kg/h	250
Faserdicke	μm	1 ... 6
Mittlere Faserlänge	mm	500
Motordrehzahl	U/min	3000
Energieverbrauch für Brenner	J/s	350000
Antriebsleistung	kW	2,2

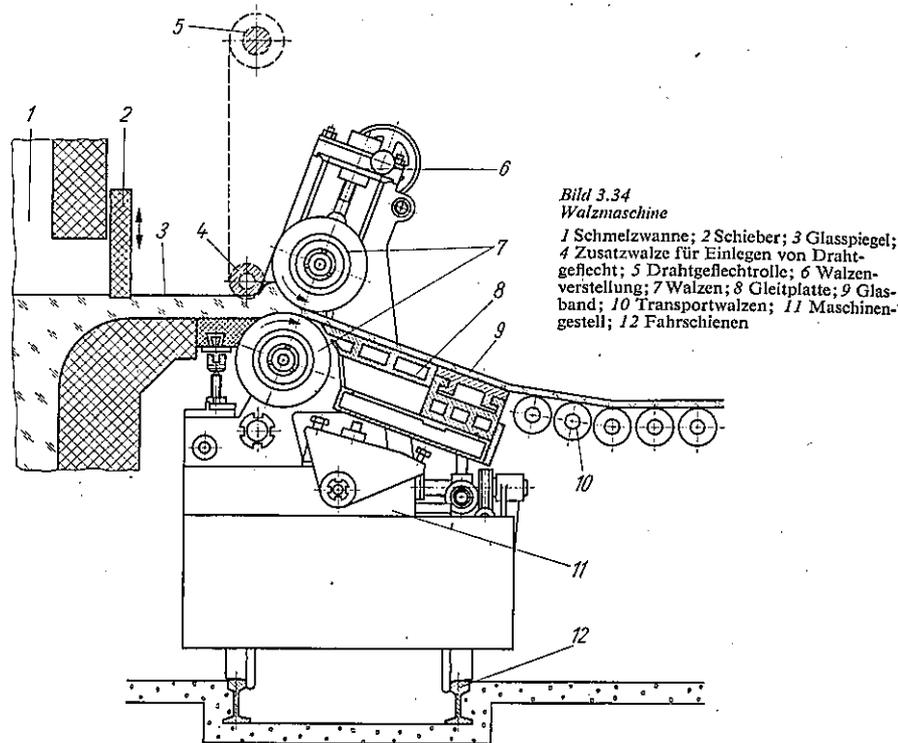
Tafel 3.18. Technische Daten der Walzmaschine

Produktionsleistung	m/min	0,8 ... 4
Glasbanddicke	mm	3 ... 25
Bandbreite	mm	2000
Medienbedarf		
Kühlwasser	m ³ /h	≈ 50
Kühlluft	m ³ /h	≈ 500 mit 120 mbar
Antriebsleistung	kW	2,0

3.7. Walzmaschinen

Mit Walzmaschine (Bild 3.34, Tafel 3.18) gleicher Grundausführung wird Flach-, Draht- und Ornamentglas hergestellt.

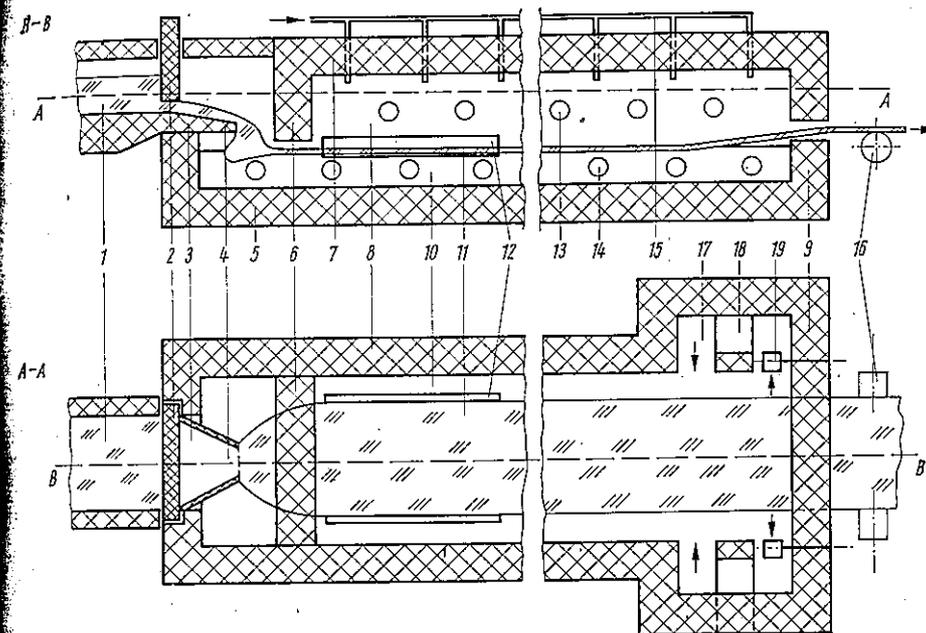
Von Wanne nachfließendes geschmolzenes Glas wird von gegenläufig bewegten Walzen zu Flach-



glas geformt. Walzenabstand bestimmt Glasbanddicke. Verwendung einer gravierten Arbeitswalze ergibt *Ornamentglas*. Beim Herstellen von *Drahtglas* wird obere Walze nach vorn geschwenkt und über Zusatzwalze Drahtgeflecht eingeführt. Ausgewalztes Glasband wird über stationäre Gleitplatte und Transportwalzen in den Kühllofen bewegt. Beide Arbeitswalzen sind wassergekühlt; Durchmesser 130 mm. Drehzahl der Walzen ist über Gleichstrommotor stufenlos einstellbar. Gesamte Walzmaschine kann senkrecht zum Glasband ausgefahren werden. Durch Spezialeinrichtung ist schmales Glasband unmittelbar nach Walzenmaschine durch Rollen zu *Profilglas* formbar; Querschnitt ist meist U-förmig.

3.8. Gießanlagen

Begriff Gießanlage bezieht sich im vorliegenden Zusammenhang auf maschinelle Ausrüstung zur Durchführung des Floatverfahrens. *Floatkammer für Flachglas* (Bild 3.35): Geschmolzenes Glas fließt aus Vorherd 1 über Regelschieber 2 und Auslauf 3 mit Lippe 4 in Floatkammer, die aus Boden 5, Vorderwand 6 mit Einlaß, Decke 7, Seitenwänden 8 und Hinterwand 9 mit Auslaß besteht. Kammer wird etwa 30 cm hoch mit Schmelze 10 aus Zinn oder Zinnlegierung gefüllt. Forderungen an Schmelze: Dichte > 2,5 g/cm³; Schmelzpunkt 873 K; Dampfdruck bei 1273 K möglichst niedrig; Schmelze und Glas dürfen bei 1273 K nicht miteinander reagieren. Lippenform sowie Beheizung von Regelschieber und Lippe garantieren, daß das Glas, das mit Feuerfestmaterial während der Zuführung in Kontakt war, nicht an die Unterseite des sich auf der Schmelze ausbreitenden Glasbands 11 gelangt. Regeleinrichtungen 13 bzw. 14 für Temperatur der Kammeratmosphäre bzw. der Schmelze gestatten kontinuierliches Er-



starren des Glasbands. Transport zum Kühllofen nach Abheben von der Schmelze durch Austragewalzen 16. Ohne Steuereinrichtung 12 ist nur Glasband mit „Gleichgewichtsdicke“ herstellbar; sie ist abhängig von Dichte des Glases und Schmelze, der Viskosität und Oberflächenspannung des Glases sowie der Zusammensetzung der Atmosphäre. Gleichgewichtsdicke beträgt für Natronglas etwa 7 mm. Herstellung von Dickglas erfordert Behinderung der Glasausbildung; Dünnglas dagegen Auseinanderziehen des Glasbands. Reaktion zwischen Glas und Schmelze wird durch oxydationsfreie Atmosphäre in Floatkammer vermieden. Über Rohrleitungssystem 15 wird Schutzgas (etwa 90% N, 10% H) zugeführt. Leicht erhöhter Gasdruck in der Floatkammer erzeugt Strömungen nach außen an Einlaß und Auslaß; dadurch ist Abdichtung gegen äußere Atmosphäre möglich. Vor dem Auslaß befinden sich Seitenkanäle 17 mit Reinigungskammern 18. Ihnen wird durch Strömungen, erzeugt durch die Walzen 19, verunreinigte Schmelze zugeführt. Schlacke wird abgezogen und elektrochemisch zu wiederverwendbarer Schmelze aufbereitet.

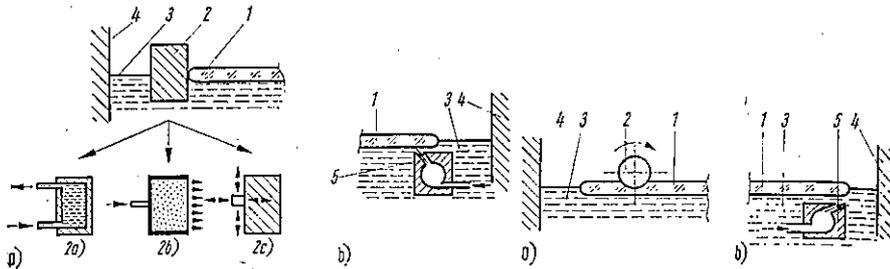


Bild 3.36. Herstellung von Dickglas

a) mit Randleisten; b) mit Querströmung der Metallschmelze
1 Glasband; 2 Randleiste, 2a mit Kühlkreislauf, 2b mit porösem Material und Schutzgasaustritt, 2c mit beliebig orientierbarem mechanischem Schwingungsgenerator;
3 Metallschmelze; 4 Seitenwand; 5 Düse für ausströmende Metallschmelze

Bild 3.37. Herstellung von Dünnglas

a) mit Randrollen; b) mit Querströmung der Metallschmelze
1 Glasband; 2 Randrolle; 3 Metallschmelze;
4 Seitenwand; 5 Düse für ausströmende Metallschmelze

Tafel 3.19. Technische Daten der Floatkammer

Produktionsleistung	t/Tag	etwa 500 ... 600
Oberfläche Schmelze	m	
Breite		5 ... 8
Länge		40 ... 60
Glasbandbreite	m	3 ... 4
Glasbanddicke	mm	2 ... 20
Schutzgasverbrauch	m ³ /h	≈ 1000

Herstellung von Dickglas (Bild 3.36): Seitliches Ausbreiten des geschmolzenen Glases wird durch Randleisten oder querströmende Schmelze behindert. Glas darf nicht an Randleisten kleben; deshalb werden sie gekühlt, aus porösem Werkstoff gefertigt und von Schutzgas durchströmt oder in Schwingungen versetzt.

Herstellung von Dünnglas (Bild 3.37): Geschmolzenes Glas wird durch mechanische Elemente (i. allg. Randrollen) oder querströmende Schmelze seitlich auseinandergezogen [3.7]. Technische Daten der Floatkammer, soweit bekannt, s. Tafel 3.19.

3.9. Nachbereitungsmaschinen

3.9.1. Maschinen zum Trennen von Glas

Absprengen. Das meistverbreitete Trennverfahren für Hohlgläser beruht auf thermischer Erzeugung von Zugspannungen im Bereich der Trennlinie. Entspannter Glaskörper wird in möglichst schmaler Zone entlang vorgesehener Trennlinie am Umfang durch Drehen vor einem

Brenner erhitzt. Der durch geringe Wärmeleitfähigkeit entstehende Temperaturgradient verursacht Druckspannungen an heißer Außenwand und Zugspannungen an Innenwand. Bei Abkühlung an beliebigem Punkt der erwärmten Zone entsteht Zugspannung, die die Zugfestigkeit des Glases überschreitet. An diesem Punkt beginnender Sprung läuft in erwärmter Zone nach beiden Seiten weiter. Beide Sprungfronten treffen sich bei normalem Sprungverlauf an der dem Ausgangspunkt gegenüberliegenden Stelle des Umfangs.

Bei einigen Glasarten wird vor dem Erhitzen die Glasoberfläche entlang der Trennlinie angerissen. Dies bewirkt Verringerung der mechanischen Festigkeit durch Störung des Oberflächengefüges. Zugspannungen führen deshalb in dieser Zone oft schon beim Erwärmen zur Trennung.

Zur Erwärmung dienen Spezialbrenner [3.8]. Wichtig ist Erzeugung spitzer Flammen (Andersbrenner) oder durch Düsen gerichtete Ströme heißer Verbrennungsgase (Gabelbrenner mit innerer Verbrennung).

Vorwiegend bei technischem Glas wird Glaskörper mit elektrisch erhitztem Widerstandsdraht umschlungen. Neuerdings auch Anordnung des Drahtes in einer Kapsel aus Werkstoff guter Wärmeisolierung, durch die ein Luftstrom geleitet, erwärmt und durch Düsen auf den Glaskörper gerichtet wird. Erwärmung mit Laser ist ebenfalls möglich, nach [3.9] gegenwärtig aber noch unwirtschaftlich.

Abkühlung (Abschrecken) wird durch Berührung der erhitzten Zone mit einem Metallkörper, z.B. einem Keil, oder durch Besprühen mit Flüssigkeit [3.10] erreicht.

Gute Wirkung entsteht bei niedriger Temperatur, die bei festem Kühlkörper z.B. mit einem Peltierelement erzeugt werden kann.

Einfluß auf die Absprengzeit und Qualität der Trennflächen nehmen bei Einsatz eines Gasbrenners:

Brennerart. Brenner soll großen Teil des Glaskörperumfangs für gleichmäßigen Spannungsaufbau erfassen und nur schmale Zone erwärmen. Bei Wanddicken ≤ 2 mm sind Brenner mit Innenverbrennung, bei dickwandigen Glaskörpern solche mit Außenverbrennung (Flamme wirkt direkt auf den Glaskörper) günstiger.

Wirkungsrichtung der Flamme (Brenneranordnung). Flamme soll senkrecht auf Glasoberfläche treffen (bei Rasotherm-Glas tangential). Anordnung mehrerer Brenner erfordert hohen Justieraufwand, um notwendige Übereinstimmung der Brennebenen zu erzielen.

Brennstoffart, Brennstoffmenge. Verwendete Brennstoffe sind Leuchtgas, Propangas und Benzindämpfe. Art und Menge bestimmen die dem Glas zugeführte Wärmemenge. Sie ist in Verbindung mit Heizzeit so zu wählen, daß Glaskörper an der dem Heizmedium ausgesetzten Oberfläche etwa 970 K nicht überschreitet und an der entgegengesetzten, gewöhnlich inneren Glasoberfläche 430 ... 470 K beträgt.

Heizzeit. Trennflächenqualität ergibt in Abhängigkeit von der Heizzeit meist ein Optimum (Bild 3.38), dessen Lage alle Parameter des Absprengvorgangs beeinflussen.

Bei einigen Glasarten (z.B. Rasotherm) besteht konstante Trennflächenqualität zwischen unterer und oberer Heizzeit (t_{hu} und t_{ho}). Unter Beachtung der Brennstoffkosten bildet in diesem Fall die untere Heizzeit das Optimum.

Drehzahl des Glaskörpers. Hohe Drehzahl des Glaskörpers bewirkt gleichmäßigen Spannungsaufbau am Umfang. Führungsgenauigkeit des Glaskörpers bildet obere Drehzahlgrenze.

Temperatur des Kühlkörpers. Kürzeste Absprengzeit bei guter Trennflächenqualität entsteht

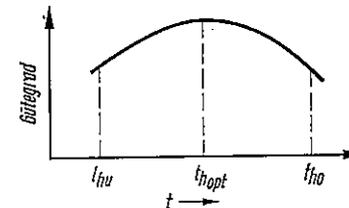


Bild 3.38. Trennflächenqualität in Abhängigkeit von der Heizzeit

t_{hu} untere Heizzeit; t_{ho} obere Heizzeit;
 t_{opt} optimale Heizzeit

bei Temperaturen wenig > 273 K. Aus der Luft kondensiertes Wasser muß von der Wirkstelle des Kühlkörpers abgeleitet werden. Temperaturen < 273 K führen zu störender Reifbildung. **Werkstoff und Form des Kühlkörpers.** Wirksame Kühlung erfordert gute Wärmeleitfähigkeit des Kühlkörpers (Werkstoff) und guten Wärmeübergang zwischen Kühlkörper und Glas (Werkstoff und Form).

Zuordnung von Kühlkörper und Brenner. Bei Trennung im zylindrischen Teil eines Glaskörpers muß Kühlkörper in der Brennebene wirken. In der Nähe von Absätzen (Durchmesseränderungen z.B. an Formschultern) kann Abkühlung 1 ... 2 mm neben der Ebene, in der die Flamme wirkt, notwendig sein.

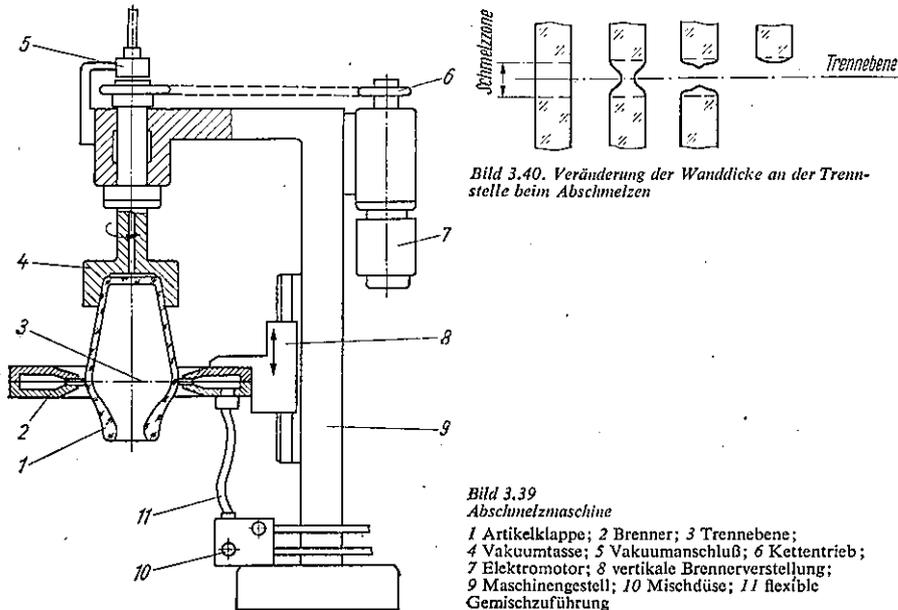
Spannungszustand des Glaskörpers vor dem Absprengen. Restspannungen im Glaskörper dürfen im Polarisator einen Gangunterschied von höchstens $10^4 \mu\text{m/m}$ erzeugen. Größere Restspannungen führen zu ungenügender Trennflächenqualität oder zum Bruch bei Wärmeinwirkung.

Glasart. Physikalische Glaseigenschaften (c , λ , α) bestimmen die Absprengneigung und den technologischen Ablauf.

Abmessungen des Glaskörpers. Sie beeinflussen Absprengzeit und technologischen Ablauf. Bei Verdoppelung des Durchmessers steigt die optimale Heizzeit um 50 ... 100%, bei Verdoppelung der Wanddicke um 100 ... 200%, wenn zugeführte Wärmemenge und übrige Parameter konstant sind. Wanddickenunterschiede an der Trennstelle beeinträchtigen die Trennflächenqualität. Bedingung für gute Trennflächenqualität: $s_{\text{max}}/s_{\text{min}} \leq 1,3$.

Anreißen. Diamant ist geeignetes, wegen hoher Kosten und Stoßempfindlichkeit jedoch nur selten verwendetes Anreißwerkzeug. Meist werden Hartmetallschneiden benutzt. Anzustrebender schwacher Riß entsteht bei scharfem Werkzeug. Tiefes Anreißen und stumpfes Werkzeug führen zu seitlichen Muschelbrüchen, die sich bei Flammeneinwirkung vergrößern; Trennflächenränder brechen aus. Für die Rißlänge existiert Optimum. Beste Trennflächenqualität entsteht, wenn etwa $1/3$ des Glaskörperumfangs, und kürzeste Absprengzeit, wenn gesamter Umfang angerissen wird.

Moderne Absprengmaschinen sind Karussellmaschinen mit Einrichtungen zum Schleifen der



Trennfläche. Karussell hat mehrere, meist pneumatisch wirkende Halteköpfe (z.B. 24 Stationen bei Typ DF 24 B der Fa. Guilhon und Barthelemy, Frankreich), in denen die Gläser meist hängend aufgenommen und zentriert sind. Glaskörper wird rotierend an feststehendem Werkzeug und Brenner vorbeigeführt. Abgetrenntes Teil fällt ab, während der Artikel im Haltekopf bleibt. Karusselldrehung kontinuierlich oder intermittierend (Maltetrieb im Ölbad). Automatische Eingabe und Abnahme der Gläser möglich. Produktionsleistung bis 3600 Gläser/h. Ein anderer Absprengautomat ist in [3.10] beschrieben.

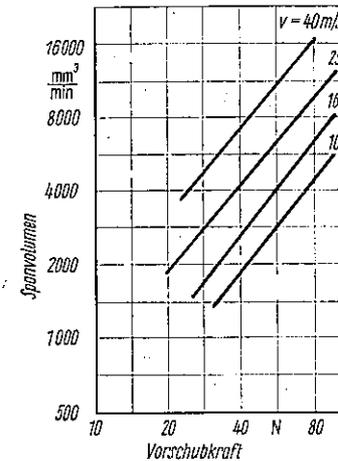
Abschmelzen. Glasartikel (meist Wirtschaftsglas und dünnwandige technische Gläser) lassen sich im warmen Zustand durch Abschmelzen trennen (Bild 3.39). Mit heißer Flamme wird Wandung in Trennebene durchgeschmolzen. Durch Schwerkraft zieht Kappe des vertikal angeordneten Artikels nach unten (Bild 3.40).

Auseinanderziehen des Artikels durch eine besondere Vorrichtung mindert Entstehung eines Tropfens (an der Stelle größter Wanddicke) und einer Wulst. Wulst- und Tropfengröße sowie Ebenheit der Trennfläche sind wichtigste Qualitätsmerkmale. Rotation des Glasartikels (genauer Rundlauf erforderlich) bei stationärem Ringbrenner hat konstruktive Vorteile, erschwert aber das Abziehen der Kappe. Außerdem führt Taumelbewegung des Artikels zur Erwärmung einer breiteren Zone. Als Folge entsteht eine dickere Wulst. Daher wird auch kinematisch umgekehrtes Prinzip (rotierender Brenner) angewendet, obwohl Brennerabdichtung und Einführung des Artikels in den Ringbrenner schwierig sind. Brenner müssen robust sein und kurze Flamme hoher Heizkraft erzeugen. Dabei werden Wasserstoff und Propan mit Sauerstoff verbrannt. Maschinen, ausschließlich karussellförmig, haben 8 bis 30 Stationen (Tafel 3.20).

Trennschleifen. Dabei wird Werkstoff mit Hilfe dünner Schleifkörper von großem Durchmesser durchgeschliffen. Als Schleifkörper dient kreisförmige Stahlscheibe mit Schneidbesatz aus Diamantkörnern, in Sinterbronze eingebettet, die unregelmäßig geformte Schneiden bil-

Tafel 3.20. Technische Daten der Abschmelzmaschine, System Eldred mit 30 Stationen

Produktionsleistung	St./min	75 bei 1,5 mm Wanddicke
Artikelabmessungen	mm	
Maximaler Durchmesser		100
Maximale Höhe		165
Medienbedarf		
Vakuum	m ³ /h	350 mit 700 mbar
Gas	m ³ /h	abhängig vom Heizwert mit 0,2 bar
Sauerstoff	m ³ /h	2,5/1000 Becher mit 0,25 ... 0,3 bar



Weitere wichtige Einflußgrößen sind Schleifgeschwindigkeit (6 ... 10 m/s) und Schleifdruck (0,005 ... 0,04 N/mm²).

Schleifmaschinen zur Veredlung von *Flachglas* arbeiten kontinuierlich oder diskontinuierlich. Kontinuierliches Bandverfahren ist am produktivsten. Flachglastafeln werden auf Transportwagen gekittet und unter planen Schleifferrassen in Gruppen mit unterschiedlichem Schleifdruck bewegt, und zwar für Anschliff mit 0,005 N/mm², Grobschliff mit 0,04 N/mm², Feinschliff mit 0,005 ... 0,01 N/mm².

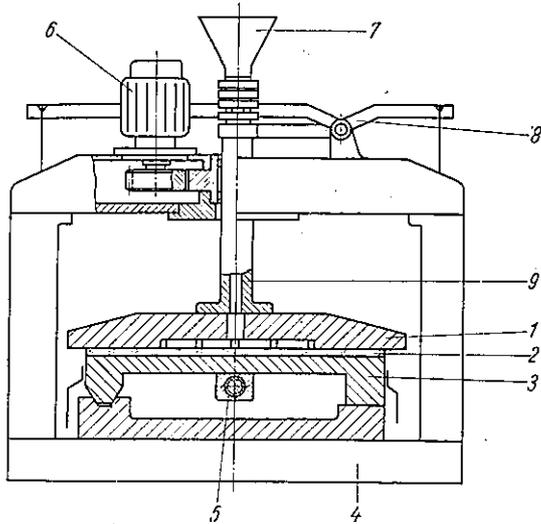


Bild 3.43
Schleifmaschine

1 Schleif-Ferrasse; 2 Schleifgut;
3 Transporttisch; 4 Grundgestell;
5 Antriebsspindel für Transporttisch;
6 Ferrassenantrieb; 7 Schleifmittel-
zuführung; 8 Reguliergestänge für
Schleifdruck; 9 Hohlspindel

Einzelantrieb der Schleifferrassen wird bevorzugt. Zuführung des Schleifmittels erfolgt durch Bohrung der Schleifspindel. Schleifdruck wird über pneumatische Entlastungszylinder oder Massestücke verstellt. Antrieb der Transportwagen mit variabler Vorschubgeschwindigkeit von 0,8 ... 2 m/min.

Durch Anwendung des Floatverfahrens kann der aufwendige Schleif- und nachfolgende Polierprozeß umgangen werden (s. Abschn. 3.8.).

Gebundenes Korn an Schleifbändern und Schleifscheiben wird verwendet zur Randbearbeitung von Wirtschaftsglas, technischem Glas und Flachglas sowie für Dekorationsschliffe an Hohlgläsern. Trotz hoher Kosten setzt sich bei Schleifscheiben Diamantkorn, in einen Trägerwerkstoff eingebettet, gegenüber Korund u. a. durch. Mit Diamantschleifscheiben wird gegenüber Keramikscheiben bei wesentlich höherer Standzeit etwa 4fache Schleifleistung erzielt. Außerdem genügt ein Arbeitsgang, weil Korngröße so klein gewählt werden kann, daß ausreichend glatte Oberfläche entsteht.

Zwischen Korngröße und Oberflächenrauhentiefe besteht proportionaler Zusammenhang. Schleifgeschwindigkeit (Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe) hat einen optimalen Wert (Bild 3.44), abhängig von Glasart und Schleifkorn. Bei Keramikscheiben liegt er für Bleiglas zwischen 6 und 10 m/s, für Wirtschaftsglas und für technisches Glas zwischen 10 und 12 m/s [3.14]. Bei Diamantschleifscheiben ist optimale Schleifgeschwindigkeit zwischen 30 und 40 m/s. Ähnliche Charakteristik wie Schleifvolumen hat auch die Schnittkraft (Drehmoment an der Schleifspindel) in Abhängigkeit von der Schleifgeschwindigkeit. Bei Keramikscheiben liegt Maximum bei 10 m/s [3.14].

Für Dekorschliffe werden manuell zu bedienende Einspindelmaschinen sowie Schleifautomaten eingesetzt. Diese sind meist mit vier oder acht reihenförmig angeordneten Stationen ausgerüstet. Entsprechende Anzahl von Gläsern wird gleichzeitig mit gleichem Dekor ver-

sehen. Jede Station besteht aus einem schwenkbaren Schleifkopf, der die Schleifscheibe trägt, und dem Haltearm, der schwingend auf einem allen Stationen gemeinsamen Wagen gelagert ist (Bild 3.45). Pneumatischer Arbeitszylinder preßt Glaskörper an Schleifscheibe an. Glasvorschub, Glasdehnung und Schleifkopfschwenkung werden von Kurvenmechanismen oder Antriebseinheiten, bestehend aus Elektromotor, Getriebe, Kupplung und Elektromagnetbremse, erzeugt. Gemeinsame Antriebe für alle Stationen.

Schleifvorgang läuft, nachdem Artikel manuell auf Haltearm gesteckt und pneumatisch gehalten werden, selbsttätig über eine Programmsteuerung ab. Trend zur Numeriksteuerung, die größere Dekorvielfalt ermöglicht und durch kurze Umrüstzeiten bei Programmänderung dem Maschinenschliff kleinere Artikelserien erschließt. Voraussetzung sind dezentralisierte elektrische Antriebe für Artikeldrehung, Artikelvorschub und Schleifscheibendrehung.

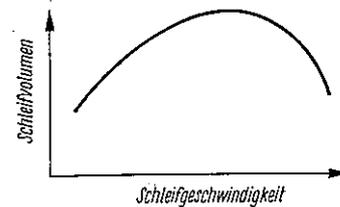


Bild 3.44. Schleifvolumen in Abhängigkeit von der Schleifgeschwindigkeit

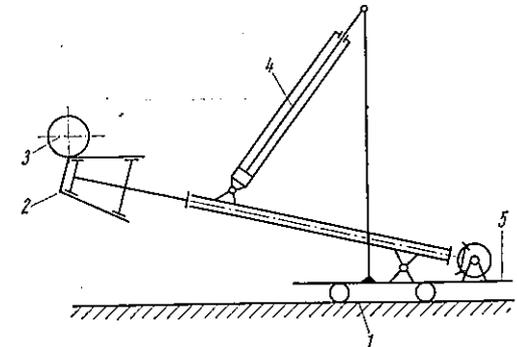


Bild 3.45. Glashaltearm eines Schleifautomaten
1 Maschinengestell; 2 Glasartikel; 3 im Schleifkopf gelagerte Schleifscheibe; 4 pneumatischer Arbeitszylinder; 5 rollengelagerter Wagen

3.9.5. Poliermaschinen

Polieren von Glas wird ähnlich dem Schleifen durchgeführt. Statt Scheifferrasse aus Grauguß verwendet man Scheiben mit Filz- oder Pechbelag. Poliermittel ist meist Eisenoxid (Polierrot); Korngröße $\approx 0,2 \mu\text{m}$. Poliereffekt entsteht durch Überlagern mechanischer Vorgänge mit chemischen Reaktionen zwischen Poliermittel, Polierwerkzeug und Glas. Polierleistung in Abhängigkeit vom Polierrotverbrauch s. Bild 3.46.

Beim Überschreiten des optimalen Wertes sinkt Polierleistung. Qualität des Poliermittels wird durch Konzentration in wäßriger Suspension bestimmt; optimale Konzentration bei Eisenoxid 0,001 g/mm³.

Relativgeschwindigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück beim Polieren ist ähnlich wie beim Schleifen; Polierdruck meist höher als Schleifdruck. Druck wird gleichfalls über pneumatische Zylinder oder Massestücke verändert. Höherer Druck erfordert höheren Antriebe und insgesamt kompakte Ausführung der Maschine. Konstruktion von Poliermaschinen ähnelt der von Schleifmaschinen.

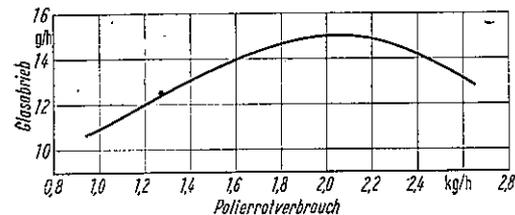


Bild 3.46
Polierleistung in Abhängigkeit vom Polierrotverbrauch

6. Dreh- und Fräsmaschinen

hen und Fräsen von Glas sind auf Metallbearbeitungsmaschinen möglich. aussetzungen sind gute Entspannung des Glaswerkstücks und geeignete Parameter der Bearbeitungsmaschine.

Schneidwerkzeug wird Hartmetall (Wolfram-Kobalt-Legierung) verwendet. Besondere ferungen werden an die geometrische Form der Schneide, an die Schnittgeschwindigkeit das Kühlmittel gestellt. Für große Standzeit des Schneidwerkzeugs und geringe Rauhtiefe bearbeiteten Fläche ist hohe Schnittgeschwindigkeit bei geringem Vorschub erforderlich. h [3.15] beträgt die günstige Schnittgeschwindigkeit 100 ... 140 m/min.

ignete Kühlfüssigkeiten sind Terpentin und Kerosin, sonst entsteht hoher Werkzeugchleiß und schlechte Qualität der Bearbeitungsfläche.

Schnitttiefe bei 0,5 ... 5 mm ohne Einfluß auf Oberflächenqualität ist, sollte Werkstoffag in einem Durchgang angestrebt werden.

zeugverschleiß steigt mit der Härte der zu bearbeitenden Gläser.

7. Bohrmaschinen

ren von Glas ist mit Bohrmaschinen der Metallbearbeitung möglich. Bedingung: stufen- Drehzahlsteuerung und Vorschub mit konstanter Vorschubkraft (keine zwangläufige schubbewegung). Verwendet werden Bohrer mit Hartmetallschneiden oder Diamant- tz. Für hohe Standzeit des Werkzeugs und hohe Schneidleistung ist Zuführung von Flüssig- (Petroleum, Terpentin oder Benzol) notwendig.

rungen mit kleinstem Durchmesser von 0,1 mm werden auch durch Gemisch aus feini- gem Pulver und Trägergas erzeugt, das aus Druckkammer mit einem Überdruck von 7 bar durch Düsen auf das Glas geleitet wird. Austrittsgeschwindigkeit des Strahles bet 300 ... 400 m/s [3.16].

8. Verschweißmaschinen

artikel mit gleichen physikalischen Eigenschaften lassen sich durch Schweißen verbinden . große Elektronenröhren oder Einzelteile für chemischen Apparatebau). Verschweiß- onen (8 bis 30) sind auf diskontinuierlich bewegten, kreisförmigen Tischen angeordnet. abe und Abnahme manuell oder mechanisch.

artikel wird gegenüber Brennern bewegt. Radialverstellung der Brenner bei rechteckigen enständen während Rotation ist notwendig. Verbindungsflächen werden durch gasbeheizte ner oder elektrisch auf Schmelztemperatur gebracht und unter leichtem Kontaktdruck mmengeführt. Elektrische Erwärmung wird bei dickwandigen Artikeln bevorzugt, da hmäßiges Durchwärmen über gesamten Querschnitt in kürzester Zeit möglich ist. Strom über leitfähiges Gas einer Brennerflamme an die Verbindungsflächen geleitet. Durch beheizung wird zunächst Leitfähigkeit des Glases erhöht. Anschließend Widerstands- rmung bringt Verbindungsflächen in 10 ... 15 s auf Schmelztemperatur von etwa 1670 K. hteilig sind aufwendige Sicherheitsvorkehrungen wegen Spannungen > 10000 V. Energie- rf schwankt in großem Bereich, da er von Glasart, Größe der Verbindungsfläche usw. ab- ig ist.

ratur

- Booth, F.; Bourne, D.E.; Harrison, M.C.*: Calculations of the temperature distribution in glass in the sheet drawing process (Berechnung der Temperaturverteilung im Glas beim Ziehen von Flachglas). *Glass Technol.* 13 (1972) 1, S. 22-26.
Smrček, A.: Věda a výzkum v průmyslu sklářském (Wissenschaft und Forschung in der Glasindustrie, Band IX). Praha: Účelový náklad ministerstva spotřebního průmyslu 1967.

- [3.3] *Piwowarsky, E.*: Hochwertiges Gußeisen (Grauguß). Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1958.
 [3.4] *Giegerich, W.; Trier, W.*: Glasmaschinen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1964.
 [3.5] *Kiper, G.*: Drehtischantriebe für Glasverarbeitungsmaschinen. Fachausschußber. Nr. 54 Dt. Glastechn. Gesellsch. Frankfurt (Main): Verlag Dt. Glastechn. Gesellsch. 1955.
 [3.6] *Loewenstein, K.L.*: The manufacturing technology of continuous glass fibres (Technologie zur Herstellung von Glasseide). Amsterdam, London, New York: Elsevier sci. publishing Co. 1973.
 [3.7] *Zager, L.*: Float-Verfahren zur Herstellung von Spiegelglas. *Sprechsaal* 105 (1972) 12, S. 509-515.
 [3.8] *Pešek, K.*: Tepelné pochody y prvotním opracování dutého skla (Thermische Vorgänge in der Primärbearbeitung von Hohlglas). *Spáček, J.; Pešek, K.*: In: Zdobení a zuselechování skla v huti (Verzieren und Veredeln des Glases in der Hütte). Praha: SNTL 1971, S. 95-125.
 [3.9] *Götze, K.H.; Hoffmann, H.J.*: Probleme bei der Einführung der Laser-Absprengtechnik an maschinellen Wirtschaftsglas-Produktionslinien. Weißwasser, Ing.-Schule Glastechnik, Ing.-Arb. 1973.
 [3.10] Genaues Absprengen bei hoher Leistung. *Angew. Meß- u. Regeltechnik* 6 (1966) 16, S. a 161-a 162.
 [3.11] *Pahlitzsch, G.*: Neue Forschungsergebnisse beim Sägen von Glas. *Sprechsaal* 99 (1966) 23, S. 1044-1060.
 [3.12] *Schettler, E.*: Trennschleifmaschine für Verfahrensforschung. *Fertigungstechnik u. Betrieb* 16 (1966) 11, S. 690-694.
 [3.13] An automatic cut-off machine for glass tubes (Eine automatische Abschnidemaschine für Glasrohre). *Ind. Diamond Rev.* (1966) 306, S. 201-204.
 [3.14] *Bremer, B.*: Schleifparameter. TU Dresden, Sektion 16, Großer Beleg, 1966.
 [3.15] *Fedotow, W.A.*: Režimy rezanija pri tokarnoj obtocke i frezerovanii stekla (Die Schnittgeschwindigkeit beim Drehen und Fräsen von Glas). *Steklo i keramika* 13 (1956) 3, S. 9-13.
 [3.16] Bohren von Keramik und Glas. *Sprechsaal* 100 (1967) 9, S. F 34-F 35; H. 11, S. F 42; H. 15, S. F 58-F 59.

4. Keramikmaschinen

von Dipl.-Ing. H. Schilling (verst.), Dipl.-Ing. W. Gernlein, Ing. E. Steffens,
Dipl.-Ing. K. H. Eisenhardt

4.1. Formgebungsmaschinen	207
4.1.1. Schneckenpressen	207
Aufbau und Arbeitsweise – Ausführungsbeispiele	
4.1.2. Stempelpressen	213
Verdichtungsverfahren – Arbeitsdiagramm – Ausführungsbeispiele	
4.1.3. Drehmaschinen	218
Arbeitsverfahren – Ausführungsbeispiele	
4.1.4. Trocknung	222
Trocknungsprozeß – Verhalten des Guts – Einflußgrößen – Ausführungsbeispiele	
4.1.5. Randbearbeitung von Geschirrtteilen	228
4.1.6. Fertigungslinie für Flachgeschirr	228
4.2. Glasiermaschinen	229
Arbeitsverfahren – Anforderungen an Maschinen – Ausführungsbeispiele	
4.3. Schleifmaschinen	233
4.4. Transportanlagen für die Grobkeramikindustrie	234
4.4.1. Lattentechnik	234
Aufbau und Arbeitsweise – Ausführungsbeispiele	
4.4.2. Palettentechnik	241
Aufbau und Arbeitsweise – Ausführungsbeispiele	
Literatur	244

Formelzeichen

<i>a</i>	Achsabstand	<i>p_{DL}</i>	Partialdruck des Flüssigkeitsdampfes im Trockenmittel
<i>b</i>	Breite		
<i>C</i>	Betriebsfaktor	<i>p_{DO}</i>	Partialdruck des Flüssigkeitsdampfes unmittelbar über der Gutoberfläche
<i>c</i>	Maßstabskonstante		
<i>d</i>	Durchmesser		
<i>d_s</i>	Schneckendurchmesser	<i>s</i>	Hub
<i>F</i>	Kraft	<i>t</i>	Zeit
<i>g</i>	Trocknungsgeschwindigkeit	<i>v</i>	Geschwindigkeit
<i>i</i>	Übersetzungsverhältnis	<i>w</i>	Gutfuchtigkeit, bezogen auf feuchte Gutmenge, Arbeit
<i>l_t</i>	Formlingsträgerlänge		
<i>l_s</i>	Schnittlänge, Schwindung	<i>x</i>	Feuchtegehalt des Trockenguts, bezogen auf völlig trockenen Stoff
<i>M</i>	Moment		
<i>m_G</i>	Masse des feuchten Guts		
<i>m_{Go}</i>	Masse der Trockensubstanz	<i>x_{G1}</i>	Gutfuchtigkeit im Beharrungszustand (Gleichgewichtsfeuchte)
<i>n</i>	Drehzahl		
<i>n_H</i>	Hubzahl		
<i>n_s</i>	Schneckendrehzahl	<i>θ_G</i>	Temperatur des Trockenguts
<i>n_{sp}</i>	Arbeitsspindeldrehzahl	<i>δ</i>	Ungleichförmigkeitsgrad
<i>P</i>	Leistung	<i>φ</i>	Drehwinkel
<i>p</i>	Flächenpressung	<i>ω_s</i>	Schalter-Winkelgeschwindigkeit

4.1. Formgebungsmaschinen

4.1.1. Schneckenpressen

Schneckenpressen (TGL 22-166) sind Formgebungsmaschinen, die im Strangpreßverfahren Zwischenerzeugnisse der Grob- und Feinkeramikindustrie sowie der technischen Keramikindustrie kontinuierlich herstellen (Tafel 4.1). Es werden steinfreie, aufbereitete keramische Werkstoffe mit 14 ... 26% Feuchtigkeitsgehalt bei einem Deformationsverhältnis nach TGL 18887 von 1,4 bis 2,8 verarbeitet. Bei Schneckenpressen mit Vakuumkammer wird der keramische Werkstoff vor dem Preßvorgang entlüftet. Beim Einsatz der Schneckenpressen für Heißformgebung wird dem Werkstoff im Mischer oder in der Vakuumkammer Dampf zugeführt.

Tafel 4.1. Einteilung und Anwendung der Schneckenpressen

	Maschine	Zylinderinnen-durchmesser mm	Anwendung	Herstellungsprodukt	
Horizontalpressen	Einschneckenpresse mit oder ohne Vakuumherzeugung	200	Grobkeramik	Voll- und Hohlstränge, Verarbeitung gut aufbereiteter Massen	
		250			
		350	Feinkeramik	Homogenisierung und Entlüftung von Drehmassen, Voll- und Hohlhubeln	
		450			
	Zweischneckenpresse mit oder ohne Vakuumherzeugung	100, 200,	Grobkeramik	blasenfreier, homogener Strang, Herstellung von Hohlsträngen	
		250, 350,			
		450, 560,	Feinkeramik	Drehmassen, Voll- und Hohlhubel	
		630, 750			
	Dreischneckenpresse mit oder ohne Vakuumherzeugung	450	560	technische Keramik	Voll- und Hohlhubel
				Grobkeramik	blasenfreier, homogener, steifplastischer Strang, vorteilhafte Herstellung von Hohlsträngen
			technische Keramik	steifplastischer Strang, Voll- und Hohlhubel	
Einschneckenpresse mit Vakuumherzeugung	350	450	Grobkeramik	Kanalisationssteinezeug mit oder ohne Muffe, Nennweite 100 ... 1000 mm, Baulänge bis 2000 mm, Formstücke	
					630
Zweischneckenpresse mit Vakuumherzeugung	350	450	Grobkeramik	Voll- und Hohlhubel, Profilstränge	
					630
Dreischneckenpresse mit Vakuumherzeugung	1200	1600	technische Keramik	Voll- und Hohlhubel, Strang-durchmesser bis 2000 mm	

Aufbau und Arbeitsweise. Mischer ist in Einwellen- oder Doppelwellenausführung in gleicher Anordnung wie Schneckenpresse oder wahlweise entsprechend örtlichen Verhältnissen um 90° gedreht zu dieser aufstellbar (Bild 4.1).

Um Brückenbildung zu verhindern, hat der Einschüttrumpf (Bild 4.2) eine den keramischen Werkstoff abweisende Auskleidung. Glatte Ausführung der Gehäuseinnenwand mindert Festsetzen des keramischen Werkstoffs. Bei Doppelwellenmischer laufen zwei Mischwellen gegenläufig. Werkstoffeinzug in Preßschnecke wird durch eine oder zwei glatte oder geriffelte Speisewalzen, Speisehaspeln oder Einräumer verbessert. Antrieb durch Elektromotor über Keilriemen, ausrückbare Kupplung und Stirnradgetriebe auf Mischwellen.

Vakuumkammer wird bei Zwei- und Dreischneckenpressen zwischen Misch- und Preßeinheit

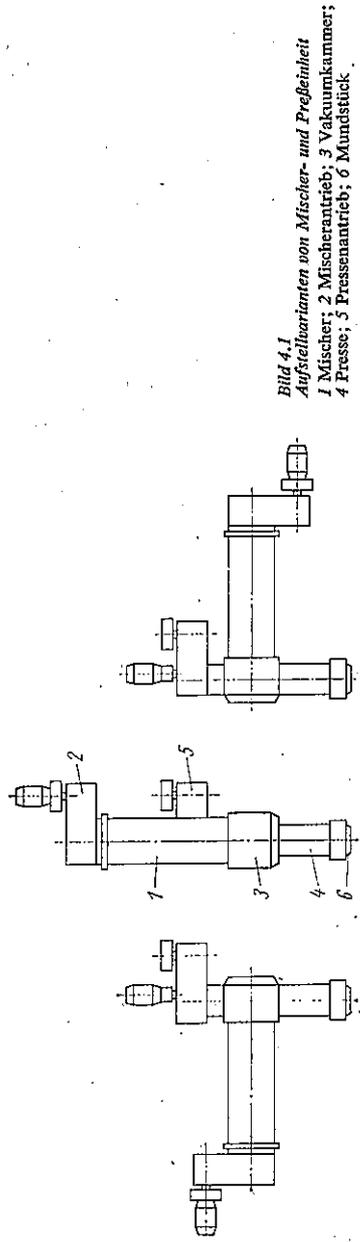


Bild 4.1
Aufstellvarianten von Mischer- und Preßeinheit
1 Mischer; 2 Mischerantrieb; 3 Vakuumkammer;
4 Presse; 5 Pressenantrieb; 6 Mundstück

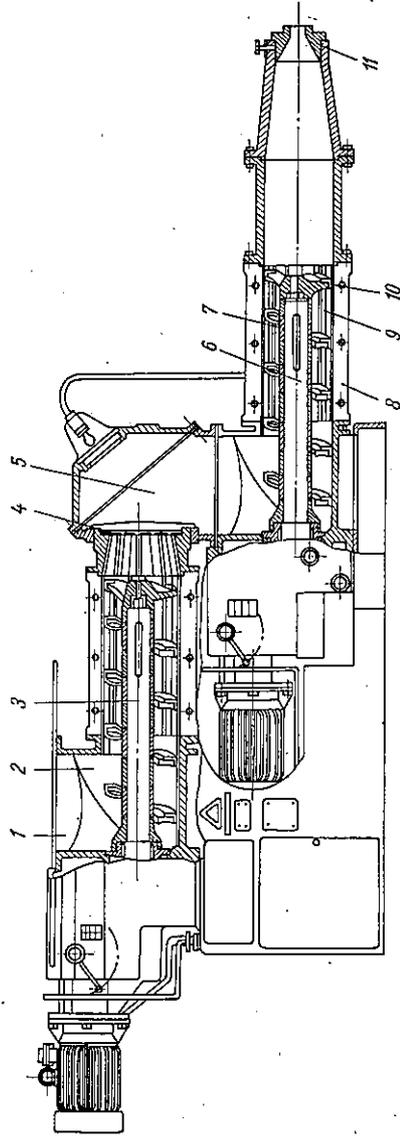


Bild 4.2. Vakuumpresse
Hersteller: VEB Keramikmaschinen Görlitz
1 Einschüttrumpf; 2 Einräumer; 3 Zuführschnecke; 4 Schlitzplatte; 5 Vakuumkammer; 6 Preßschnecke; 7 Flügelnabe; 8 aufklappbarer Zylinder;
9 genuteter Zylindereinsatz; 10 Endmesser; 11 Mundstück

angeordnet (Baukastensystem); Zuführschnecke des Mixers drückt den keramischen Werkstoff durch Siebkorb, Schlitzplatte oder Schnitzmesser in die Vakuumkammer (Schlitzplattenöffnungen 40 mm × 12 mm für Mauerziegel, 30 mm × 8 mm für Dachziegel). Der in Vakuumkammer fallende zerschnittelte keramische Werkstoff (große Oberfläche) wird entlüftet. Vakuum (70 ... 95 %) wird durch Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen erzeugt und über Vakuummeter an Vakuumkammer kontrolliert. KleinfILTER in Absaugleitung scheiden Werkstoff und Wasserteilchen aus Absaugluft aus. Kühlwassertemperatur der Pumpe nicht > 15 °C. Die Abdichtung zwischen Vakuumkammer und offenem Mischertrog erfolgt über sich aufbauendes Polster aus keramischem Werkstoff (Werkstoffdicke 20 ... 100 mm).

Preßschnecken für gleichbleibendes Fördervolumen sind zylindrisch oder keglig, ein- oder mehrgängig mit konstantem, besser variablem Steigungswinkel und Nabendurchmesser; Preßschneckenlänge mindestens $(1,5 \dots 2,5) d_s$, $d_s = 20 \dots 1600$ mm, günstiger Steigungswinkel 20 ... 24°. Schneckendrehzahl 1,5 ... 35 U/min, je nach Eigenschaft des keramischen Werkstoffs, Form und Abmessungen der Schnecke sowie gefordertem Durchsatz. Drei verschiedene Drehzahlen entsprechen bei Schneckendurchmesser ≥ 200 mm den Einsatzbedingungen bezüglich Masseregulierung und optimaler Strangqualität. Schneckenwelle, als Profilhülse zur formschlüssigen Befestigung der einzelnen Flügelnaben ausgebildet, ist in Wälzlagern gelagert. Preßschnecke wird aus mehreren Viertel-, Halb- oder Vollnaben zusammengesetzt. Aufschraubbare Verschleißbeläge werden als Gußteile aus Manganhartstahl oder Chrom-Nickel-Legierungen hergestellt. Verschleißbeläge müssen radial verschiebbar sein, um Rückstau zu verhindern (erforderlicher Abstand zwischen Preßzylinderinnenwand und Schneckenrand < 10 mm). Es werden auch oberflächenverfestigte Schnecken ohne Belag eingesetzt. Haspelwellen oder Einzugwalzen drücken den keramischen Werkstoff in die darunter rotierende Preßschnecke. Mitumlaufen des keramischen Werkstoffs infolge Schneckendrehung wird durch Gegenmesser und gelochte, genutete oder gedrahte Einsätze im Preßzylinder vermieden. Die Schnecke preßt den keramischen Werkstoff durch Zylinder, Preßkopf und Mundstück, wo er als Strang austritt. Zwei- oder mehrflügelige Endmesser beeinflussen Texturbildung. Antrieb der Schneckenwelle erfolgt von Elektromotor über Schaltkupplung und Getriebe. Axialkräfte an Schneckenwelle werden über Axial-Pendelrollenlager abgeleitet.

Preßzylinder einteilig, vorteilhafter zweiteilig aufklappbar und überwiegend zylindrisch, zur besseren rückwärtigen Entlüftung keglig ausgeführt. Stufenzylinder ermöglichen hohen Preßdruck (für Dachziegel, Steinzeugrohre) und beeinflussen Rückstau. Zylindereinsätze ermöglichen leichtes Auswechseln bei Verschleiß.

Preßköpfe werden für gleichmäßigen Strangvortrieb, Beruhigung des keramischen Werkstoffs und für ein- und mehrfachen Strangaustritt ausgebildet. Lange Preßköpfe ohne toten Raum sind zu bevorzugen.

Mundstücke aus Holz, Plast, Stahl oder Leichtmetall, ohne und mit Bewässerungseinrichtung, werden den herzustellenden Erzeugnissen und Eigenschaften des keramischen Werkstoffs entsprechend gestaltet. Fette bildsame Preßmassen benötigen Mundstücklänge 30 ... 50 mm, magere keramische Werkstoffe bis 200 mm. Hohlwaren erfordern im Mundstück Kerne aus verschleißfestem Stahl, Sinterkorund u. ä. Vor dem Mundstück befestigte Kernbügel werden, um Strukturbildung zu vermeiden, entsprechend aufgeraut.

Strukturzerstörer sind axial oder radial schwingende Gitter oder Schwingscheiben, Frequenz 20000 Hz, angetrieben durch hohle Schneckenwelle.

Vertikalpresse unterscheidet sich von horizontaler Ausführung durch vertikal angeordnete Preßschnecke und horizontal liegende Zuführschnecke. Die Strangabstützung übernehmen mechanische, hydraulische oder pneumatische Absenktische.

Ausführungsbeispiele. *Vakuumpresse* (Bild 4.2) als Zweischneckenhorizontalpresse im Baukastenprinzip. Anordnung von Zuführ- und Preßschneckeneinheit auch um 90° versetzt zueinander möglich. Schaltgetriebe erwirkt unterschiedliche Drehzahl der Zuführ- und Preßschnecke. Dreiflügeliges Endmesser der Preßschnecke beeinflusst Strukturbildung. Aufklappbare Preßzylinder ermöglichen einfachste Wartung. Vakuumzeugung durch eingebaute Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe. Zylinder $d = 250$ mm; Zuführschnecke $d_s = 247$ mm; Einschüttrumpfoffnung 365 mm × 365 mm; Einräumer $d = 190$ mm; $n_s = 14, 18, 22$ U/min; $P = 7,5$ kW; Schlitzplattenöffnungen 30 mm × 4 mm; Preßzylinder $d = 250$ mm; Preßschnecke $d_s = 247$ mm; $n_s = 18, 22, 26$ U/min; $P = 15$ kW;

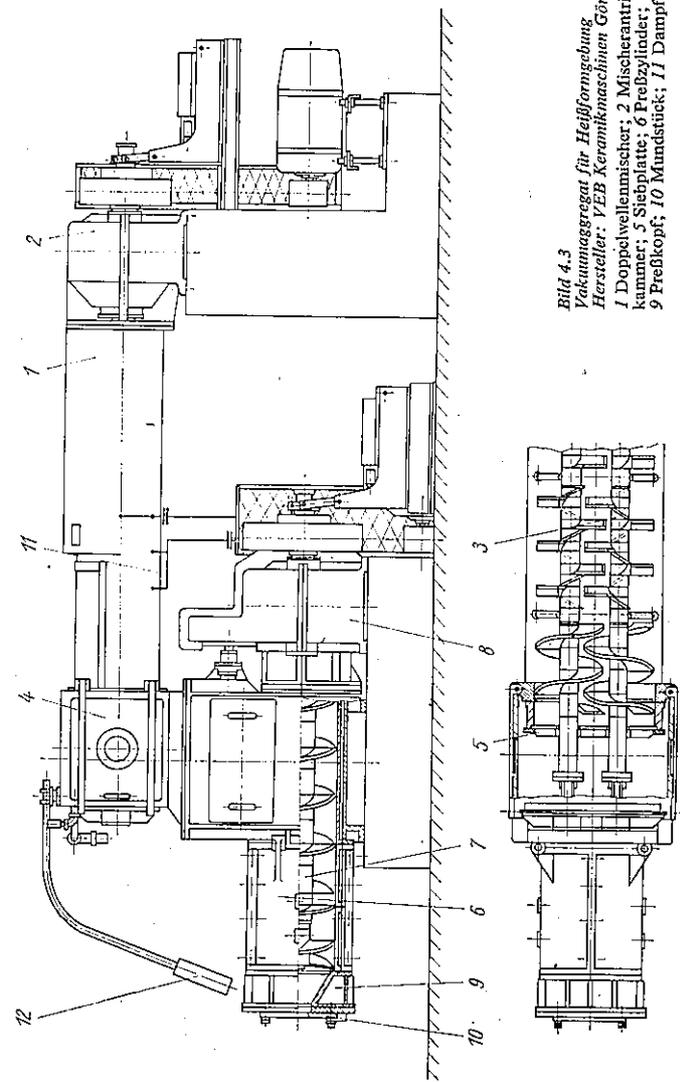


Bild 4.2
 Vakuumaggregat für Heißformgebung
 Hersteller: VEB Keramikmaschinen Görlitz
 1 Doppelwellenmischer; 2 Mischerantrieb; 3 Mischwellen; 4 Vakuum-
 kammer; 5 Siebplatte; 6 Preßzylinder; 7 Preßschnecke; 8 Pressenantrieb;
 9 Preßkopf; 10 Mundstück; 11 Dampfzuleitung; 12 Schalttafelbau

Tafel 4.2. Abhängigkeit des Durchsatzes eines vertikalen Vakuumaggregats von Rohrenweite

Rohr- nenn- weite mm	Länge mm	Durchsatz (bei 17 ... 19 % Feuchtigkeitsgehalt des Rohstoffes) St./h
100	1000	150 ... 300
150	1000	130 ... 240
200	1500	100 ... 170
250	1500	90 ... 150
300	1500	80 ... 130

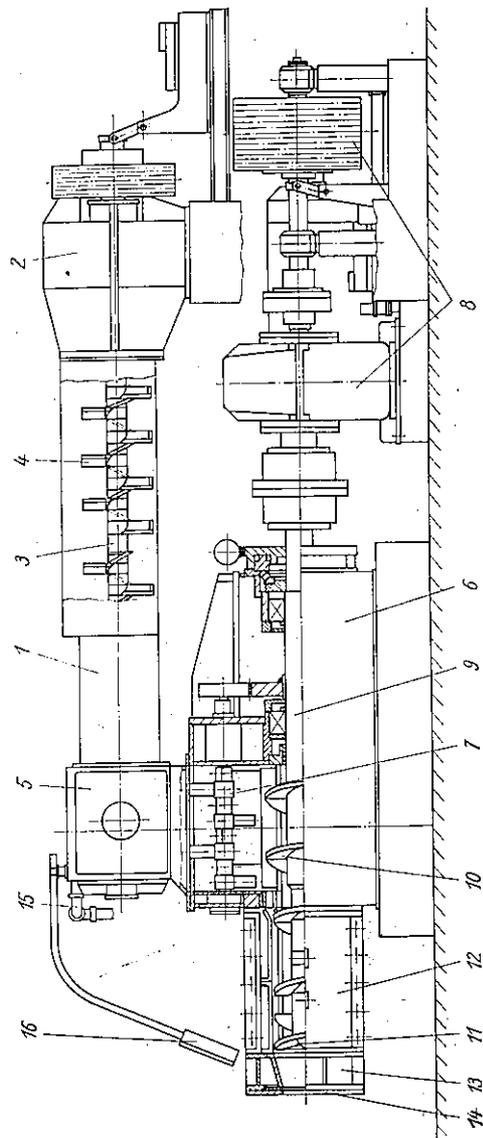


Bild 4.4
 Vakuumaggregat für steif-
 plastische Formgebung
 Hersteller: VEB Keramik-
 maschinen Görlitz
 1 Doppelwellenmischer
 2 Mischerantrieb
 3 Mischwellen
 4 Mischflügel
 5 Vakuumkammer
 6 Presse
 7 Haspelwelle
 8 Pressenantrieb
 9 Schneckenwelle
 10 Schneckenflügel
 11 Doppelschnecken-
 flügel
 12 Preßzylinder
 13 Preßkopf
 14 Mundstück
 15 Vakuumleitung
 16 Schalttafelbau

Tafel 4.3. Stempelpressen für keramische Massen

Verfahren (Feuchtegehalt der Masse)	Maschinenart	Preßkraft kN	Anwendung
Trockenpressen (5 ... 10%)	Kniehebel- verbundpressen	900 ... 2000 bis 5000	Wand- und Fußbodenfliesen, Mosaik Feuerfesterzeugnisse
	Spindelpressen	bis 2400	Wand- und Fußbodenfliesen, Mosaik, Feuerfesterzeugnisse
	Drehstrichpressen hydraulische Pressen	bis 800 bis 20000	Wand- und Fußbodenfliesen, technische Keramik Feuerfesterzeugnisse, Wand- und Fußboden- fliesen, Mosaik
Naßpressen (10 ... 14%)	Kurvenpressen	bis 100	Kleinteile der technischen Keramik
Plastisches Pressen (15 ... 30%)	hydraulische Pressen	bis 100	Feuerfesterzeugnisse (Kanalarsteine mit Nut und Feder, mit und ohne Steigloch)
	Kurbelpressen	bis 15	Feuerfesterzeugnisse, Blumentöpfe, Dachziegel

Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe $P = 3 \text{ kW}$; Vakuum 94%; Tonstrang $d_{\text{max}} = 220 \text{ mm}$; Durchsatz 5,5 t/h; Eigenmasse 2,7 t.

Vakuuaggregat für Heißformgebung (Bild 4.3) mit Doppelwellenmischer als Dreischneckenhorizontalpresse im Baukastenprinzip (Austausch mit Einwellenmischer möglich). Dampfzuführung in Mischermulde über Düsen. In Dampfzuleitungen eingebaute Absperrschieber, Kondensstoppf und Magnetventil. Reibscheibenkupplung durch hydraulische Schalteinrichtung ausdrückbar. Anordnung von Mischer- und Preßeinheit auch um 90° versetzt zueinander möglich. Einfache Wartung durch aufklappbaren Preßzylinder.

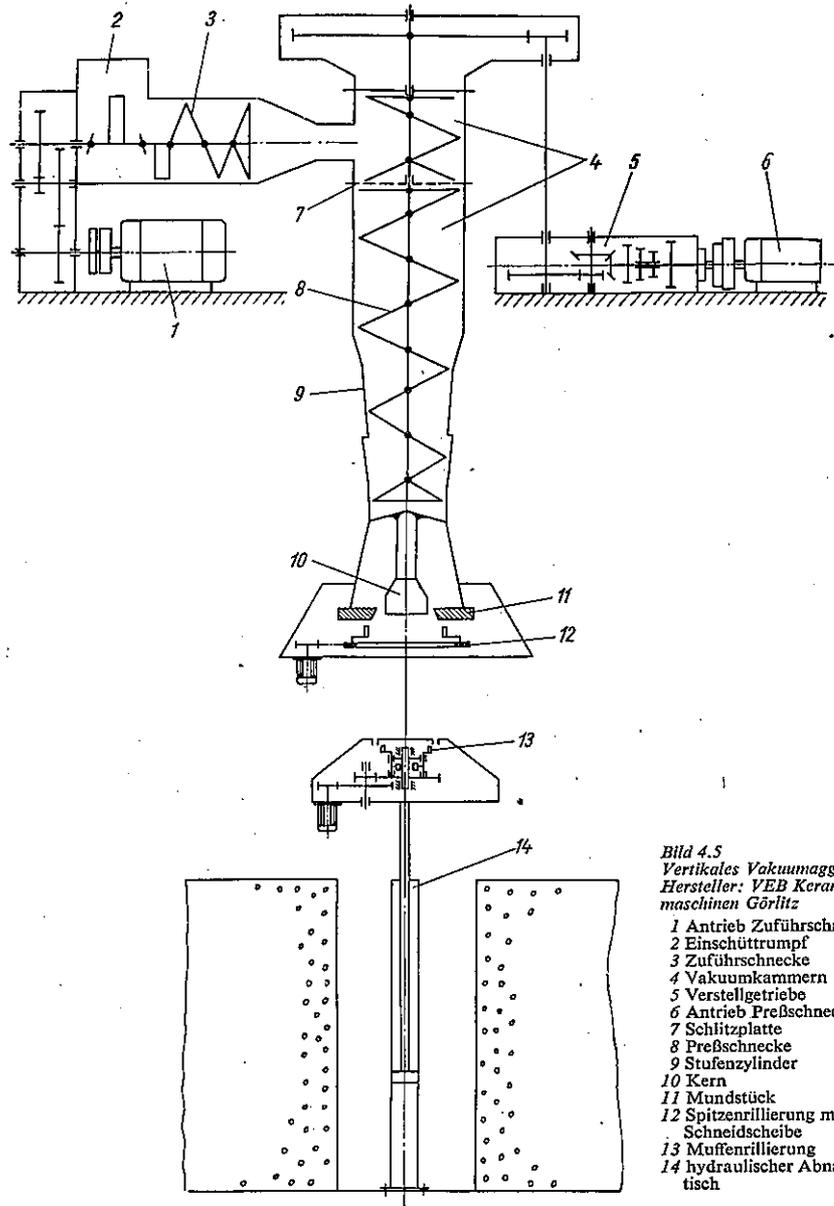


Bild 4.5
Vertikales Vakuuaggregat
Hersteller: VEB Keramik-
maschinen Görlitz

- 1 Antrieb Zuführschnecke
- 2 Einschüttrumpf
- 3 Zuführschnecke
- 4 Vakuumkammern
- 5 Verstellgetriebe
- 6 Antrieb Preßschnecke
- 7 Schlitzplatte
- 8 Preßschnecke
- 9 Stufenzylinder
- 10 Kern
- 11 Mundstück
- 12 Spitzenrillierung mit
Schneidscheibe
- 13 Muffenrillierung
- 14 hydraulischer Abnahme-
tisch

Mischerzylinder $2 \times d = 475 \text{ mm}$, $a = 320 \text{ mm}$, Mischer- und Zuführschnecken $d_s = 460 \text{ mm}$, Dampfdruck 2 bis 6 bar, Dampftemperatur $130 \dots 160^\circ\text{C}$, Dampfmenge $0,5 \dots 1 \text{ t/h}$, $n_s = 24 \text{ U/min}$, $P = 45 \text{ kW}$; Siebplattenbohrungen $d = 25 \text{ mm}$; Preßzylinder $d = 560 \text{ mm}$, Preßschnecke $d_s = 552 \text{ mm}$, $n_s = 19 \text{ U/min}$, $P = 75 \text{ kW}$, Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe $P = 15 \text{ kW}$, Vakuum 85 ... 90%, Durchsatz 50 t/h, Eigenmasse 14 t.

Vakuuaggregat für steifplastische Formgebung (Bild 4.4) als Dreischneckenpresse. Um 90° versetzte Anordnung von Mischer und Preßeinheit ebenfalls möglich. Entlüftung des Materials erfolgt in Vakuumkammer. Es wird Tonmaterial mit 14 ... 18% Feuchtigkeit verpreßt.

Mischerzylinder $2 \times d = 475 \text{ mm}$, $a = 320 \text{ mm}$, Mischer- und Zuführschnecken $d_s = 460 \text{ mm}$, $n_s = 30 \text{ U/min}$, $P = 100 \text{ kW}$, Siebplattenbohrungen $d = 25 \text{ mm}$; Preßzylinder $d = 560 \text{ mm}$, Preßschnecke $d_s = 552 \text{ mm}$, $n_s = 19 \text{ U/min}$, $P = 75 \text{ kW}$, $n_s = 26 \text{ U/min}$, $P = 160 \text{ kW}$, Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe $P = 17 \text{ kW}$, Vakuum 85 ... 90%, Preßschneckenwellenaxialkraft max. 1600 kN, Durchsatz 40 t/h, Eigenmasse 23 t.

Vertikales Vakuuaggregat (Bild 4.5) als Zweisechneckenvertikalpresse. Horizontale Zuführschnecke mit vertikal angeordneter Preßschnecke; zwei Vakuumkammern ermöglichen doppelte Evakuierung der keramischen Masse. Abnahmetisch wird elektrisch-hydraulisch gesteuert und verriegelt. Elektrische Steuerung der Spitzen- und Muffenrillierung einschließlich Abschneidevorrichtung. Feuchtigkeit des keramischen Werkstoffs 17 ... 19%.

Zylinder der Zuführschnecke $d = 490 \text{ mm}$, Zuführschnecke $d_s = 486 \text{ mm}$, $n_s = 29 \text{ U/min}$, $P = 22 \text{ kW}$, Schlitzplattenöffnungen $40 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$; Preßzylinder $d = 395 \text{ mm}$, Preßschnecke $d_s = 390 \text{ mm}$, $n_s = 18$ und 21 U/min , $P = 75 \text{ kW}$, Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe $P = 5,5 \text{ kW}$, Vakuum 85 ... 95%, Durchsatz hängt von Masseigenschaften und Rohrnennweite ab (Tafel 4.2), Eigenmasse 8,5 t.

4.1.2. Stempelpressen

Sie dienen der Formgebung von Erzeugnissen aus plastischen und pulverförmigen Massen (Tafel 4.3).

Verdichtungsverfahren (Bild 4.6). *Einsseitiges Pressen*: Nur Oberstempel bewegt sich gegenüber ruhendem Rahmen; dadurch von oben nach unten geringer werdende Verdichtung des Preßlings. Verfahren ist geeignet für flache Preßlinge (Wand- und Bodenfliesen) oder für dickere Teile aus pulverförmigen Preßmassen mit hohem Anteil plastischer Bestandteile. Nachteilig ist großer Verschleiß der Seitenwände des Matrizenrahmens.

Zweiseitiges Pressen bei feststehendem Matrizenrahmen begünstigt Verdichtung; dadurch sind auch dickere Teile mit annähernd gleicher Dichte herstellbar. Nur selten angewendet, da Unterstempel bei komplizierten Matrizen nicht bewegt werden kann.

Einsseitiges Pressen mit gefedertem Matrizenrahmen, der durch Reibungskräfte bewegt wird und Relativbewegung gegenüber Ober- und Unterstempel ausführt; dadurch wird annähernd Effekt doppelseitiger Pressen erreicht.

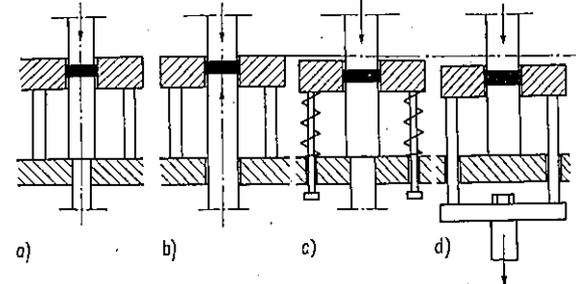


Bild 4.6
Verdichtungsverfahren

- a) einseitiges Pressen; b) zwei-
seitiges Pressen; c) einseitiges
Pressen mit gefedertem Matrizen-
rahmen; d) einseitiges Pressen
mit gesteuertem Matrizenrahmen

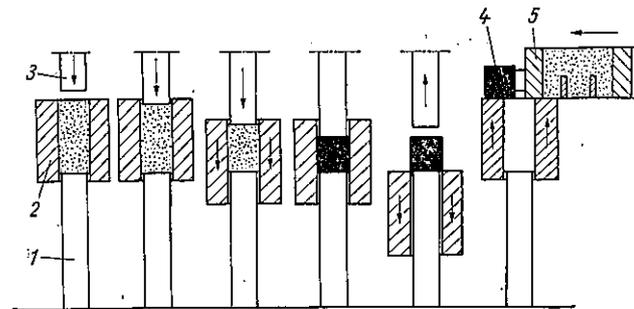


Bild 4.7
Preßvorgang mit gesteuertem
Matrizenrahmen

- 1 Unterstempel; 2 Matrizen-
rahmen; 3 Oberstempel;
4 Preßteil; 5 Füllschieber

Einseitiges Pressen mit gesteuertem Matrizenrahmen (Bild 4.7) vermindert Dichteunterschiede auch bei sehr dicken Teilen auf Mindestmaß.

Arbeitsdiagramm (Bild 4.8). Bei einigen Massen und zu pressenden Gegenständen können Vorpresen und Entlüften entfallen. Oberstempel wird nur bei Fliesenfertigung automatisch geputzt, sonst von Hand. Ölzusatz zur Masse verhindert Kleben.

Massezuführung bei Trockenpreßmassen erfolgt aus Blechsilos entweder direkt (Bild 4.9a) oder durch beweglichen Schlauch (Bild 4.9b) in Füllschieber, der Masse in Matrize schiebt und glattstreicht (Volumendosierung). Naßpreßmassen erfordern Silos mit eingebautem Lockerungsmischer (Bild 4.9c), wodurch Masse rollfähig bleibt; Massezuführung im Überschuß Plastische Massen werden vorgeformt und von Hand oder durch hydraulische Schubvorrichtungen aufgegeben.

Nach dem Preßvorgang (Bild 4.10) werden Preßteile hydraulisch, mechanisch oder hydraulisch-

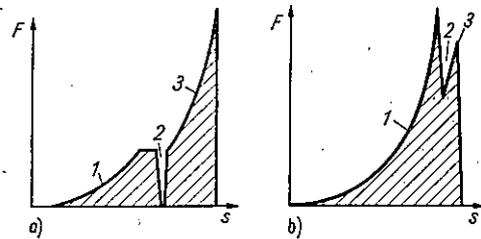


Bild 4.8
Arbeitsdiagramm
1 Vorpressekraft; 2 Entlüftung;
3 Hauptpressekraft
a) für schwer zu entlüftende
Massen; b) für leicht zu entlüftende
Massen

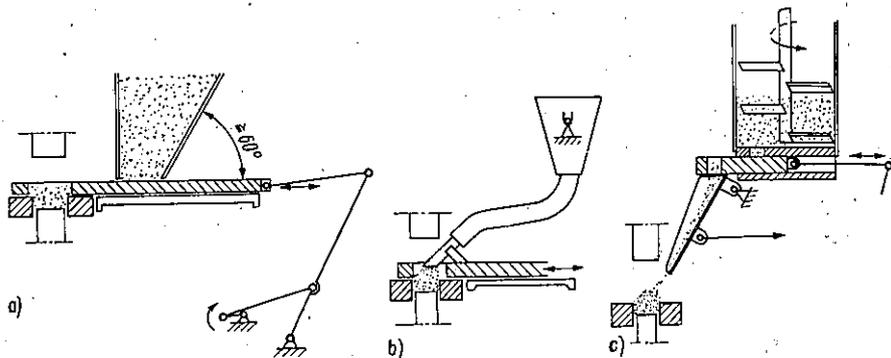


Bild 4.9. Massezuführung und Füllvorgang
a) und b) bei Trockenpreßmasse; c) bei Naßpreßmasse

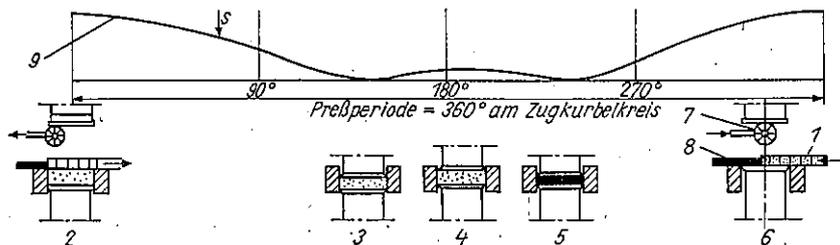


Bild 4.10. Arbeitsprogramm automatisch arbeitender Pressen
1 Massezuführung; 2 Füllvorgang; 3 Vorpresen; 4 Entlüften; 5 Hauptpressen; 6 Ausstoßen aus der Matrize;
7 Oberstempelputzen; 8 Ausheben oder Ausschleiben aus der Presse; 9 Hubkurve für Oberstempel

mechanisch ausgestoßen und durch Füllschieber aus dem Preßbereich auf Transportband geschoben oder durch Greifer erfaßt, angehoben, behutsam aus dem Preßbereich gebracht und abgesetzt.

Ausführungsbeispiele. Kniehebelpressen sind vorteilhaft, wenn am Ende des Preßvorgangs große Kräfte erzielt werden sollen. Charakteristisch ist durch Strecklage gehender Kniehebel, durch den zwei kurz hintereinanderfolgende Pressungen und der dazwischenliegende Entlüftungshub entstehen.

$$\text{Füllhöhenverhältnis} = \frac{\text{Füllhöhe}}{\text{Höhe des Formlings}} = \frac{2}{1}$$

Spezifische Preßdrücke 250 ... 450 bar.

Gleichung der Preßkurve:

$$F = \cosh cs$$

$$c = \frac{\text{arcosh } F_{\max}}{s_{\max}} \quad \text{Maßstabkonstante;}$$

F_{\max} größte Preßkraft (gegeben),

s_{\max} größter Preßweg (gegeben).

Zum Pressen erforderliche Arbeit ist

$$W = \int_{s=0}^{s=s_{\max}} \cosh cs \, ds \quad (4.1)$$

Leistung des Elektromotors:

$$P = \frac{W_D n_H}{\eta_{ges} 612} \left[\frac{P}{\text{kW}} \left| \frac{W}{\text{N} \cdot \text{m}} \right| \frac{n}{\text{U/min}} \right] \quad (4.2)$$

W_D Arbeit während Vor- und Hauptpressung,

n_H Hubzahl,

η_{ges} Maschinenwirkungsgrad (0,5 ... 0,7).

Schwungradberechnung s. Bd. 1/II und Bd. 3/II, mit Ungleichförmigkeitsgrad $\delta = 0,25$ für langsam laufende Pressen, $\delta = 0,1$ für Automaten.

Kniehebelpressen für keramische Massen (Bild 4.11) nach TGL 15532 als Trockenpressen B 125 und B 200.

Ständer ist aus Unter- und Oberteil und zwei Seitenteilen zusammengesetzt und durch vier warm eingezogene Dehnanker starr verbunden. Konstruktion und Einbau der Dehnanker nach TGL 2780. Elektromagnet-Einflächenkupplung mit Betriebsfaktor $C = 2$ ausgelegt; $M_{\text{Kuppel}} = 2 M_{1, \text{max}}$.

Auf Kurbel 6 beiderseits sitzende Stirnräder und die Ritzel des Stirnradvorgeleges sind derart eingebaut, daß Verdrehung der Welle des Stirnradvorgeleges bei Belastung berücksichtigt ist und dadurch im Maschinenleerlauf die Räderpaare gegeneinander verspannt sind. Während des Preßvorgangs wird durch Verdrehen der Stirnradvorgelegewelle gleichmäßige Räderbelastung erreicht und Stoß beim Durchlauf des Kniehebels durch Strecklage gedämpft.

Verstellen des Entlüftungshubs durch Drehen der exzentrischen Lagerbuchse (Kurbel 7 auf Kurbel 6). Lagerung der Schwinge 8 in Tonnenlagern (Sicherheitsfaktor $C_{\text{stat}}/F_{\text{max}} = 1,2$; Passung J6/m6) oder Gleitlagern (Bild 4.12), Lagermetall G-CuPb22Sn (TGL 8110), Welle flammgehärtet und poliert (min. HRC 52), Lagerverhältnis $b/d = 1/2$, relatives Lagerspiel $2,7 \cdot 10^{-3}$, Schmiermittel Ceritol bzw. THA 4 (TGL 14819) mit 4% MoS₂-Zusatz, Schmier-

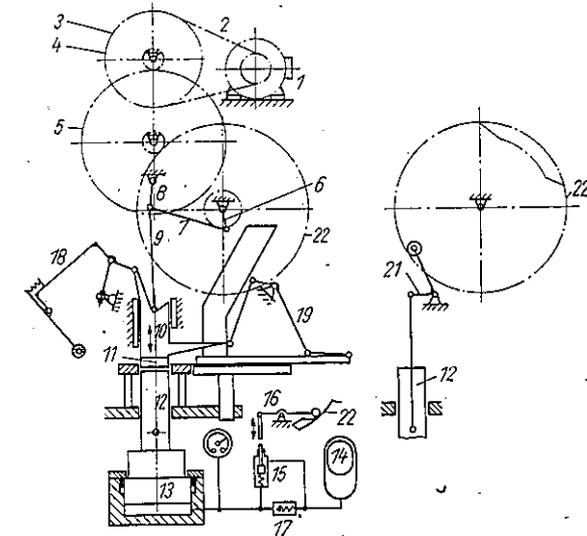


Bild 4.11
Schema der Kniehebelpresse mit obenliegendem Antrieb
Hersteller: VEB Thuringia Sonneberg
1 Elektromotor; 2 Keilriemenantrieb; 3 Schwungscheibe; 4 Elektromagnet-Einflächenkupplung; 5 Stirnradvorgelege; 6 Kurbelwelle; 7 Koppel; 8 Schwinge; 9 Stößel; 10 Querhaupt; 11 Werkzeugoberteil; 12 Werkzeugunterteil; 13 hydraulischer Topf; 14 Druckspeicher; 15 gesteuertes Absperrventil; 16 Gestänge für die Steuerung des Ventils 15; 17 Überdruckventil; 18 Oberstempelputzvorrichtung; 19 Füllschieberantrieb; 20 Füllschieber; 21 Ausstoßhebel; 22 (22') Zahnrad mit Steuerkurve für Absperrventil (für Ausstoßhebel)

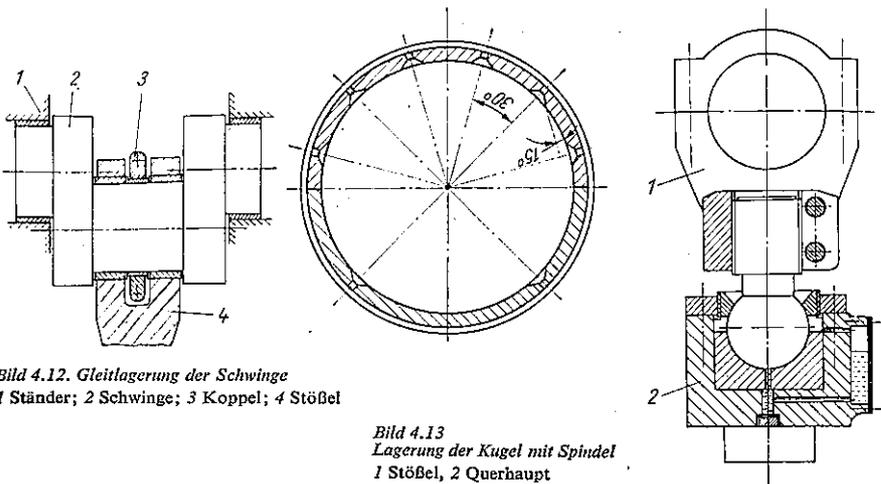


Bild 4.12. Gleitlagerung der Schwinge
1 Ständer; 2 Schwinge; 3 Koppel; 4 Stößel

Bild 4.13. Lagerung der Kugel mit Spindel
1 Stößel, 2 Querhaupt

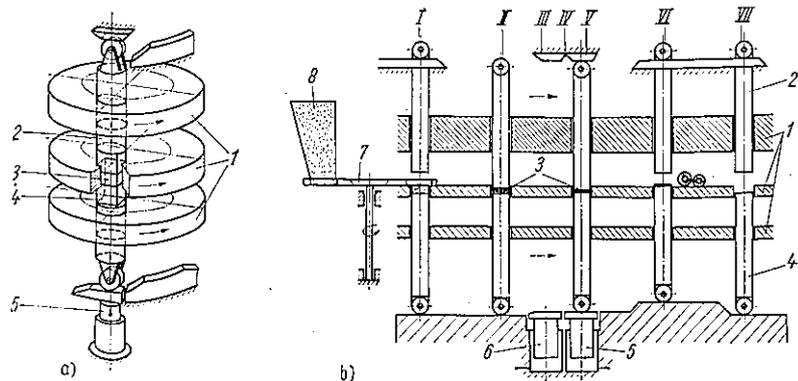


Bild 4.15. Drehtischpresse

a) Arbeitsprinzip; b) Arbeitsprogramm
1 Drehtisch; 2 Oberstempel; 3 Preßling; 4 Unterstempel; 5 Kolben für Hauptpreßkraft; 6 Kolben für Vorpreßkraft; 7 Füllschieber; 8 Silo
I Füllen; II erstes Vorpressen; III zweites Vorpressen; IV Entlüften; V Nachpressen; VI Ausstoßen; VII Reinigen

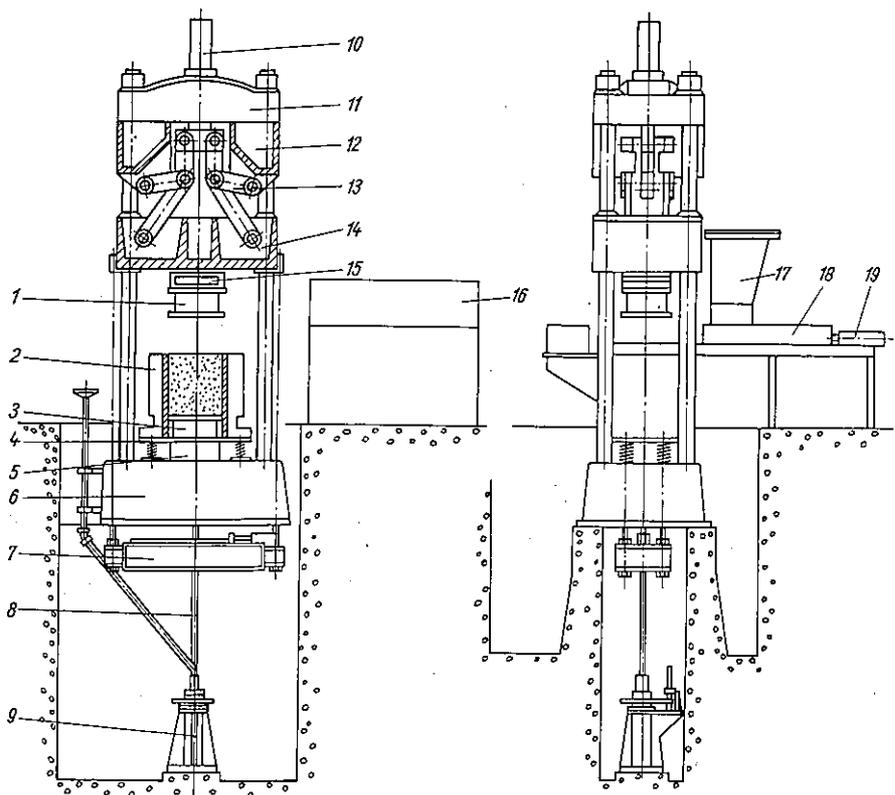


Bild 4.14. Kniehebelverbundpresse
Hersteller: VEB Ebawe Eilenburg

1 Oberstempel; 2 Form; 3 Unterstempel; 4 Aufspannplatte; 5 Amboß; 6 Unterholm; 7 Ausstoßtraverse; 8 Ausstoßstange; 9 Füllverstellung; 10 Preßzylinder; 11 Oberholm; 12 Zwischenholm; 13 Kniehebelsystem; 14 Querhaupt; 15 Feineinstellung; 16 Steuerpult; 17 Silo; 18 Füllwagen; 19 Füllzylinder

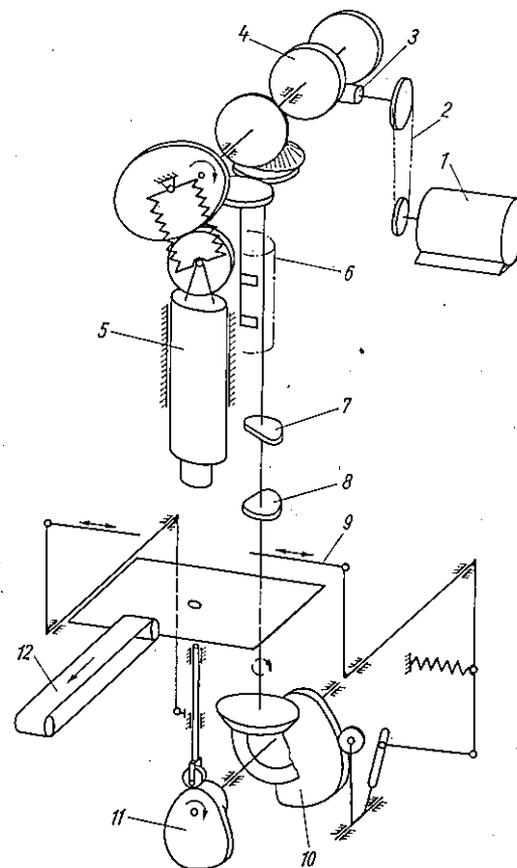


Bild 4.16. Naßpresse

1 Elektromotor; 2 verstellbarer Keilriemenantrieb; 3 Schneckengetriebe; 4 Rutschkupplung; 5 Stößel; 6 Silo mit dem Lockerungsmischer; 7 Kurve für Füllschieber; 8 Kurve für Greifereinrichtung; 9 Seitenschieber; 10 Kurve für Seitenschieber; 11 Ausstoßkurve; 12 Transportband

nuten in 30°-Teilung 15° auslaufend, Flächenpressung bis 40 N/mm² bei Dreischichtbetrieb, Wärmeabführung durch Kühlmittel.

Einbauhöhe des Werkzeugs wird mit Kugelschraube des Stößels 1 (Bild 4.13) verändert. Nach jeder Verstellung Gewinde verspannen, um Stoß beim Pressen zu vermeiden. Kugel 20MnCr5 oberflächengehärtet und geschliffen. Kugelpfanne: Perlitguß oder 20MnCr5, oberflächengehärtet und geschliffen. Zulässige Flächenpressung bei Paarung mit Perlitguß $p = 50 \text{ N/mm}^2$, bei Paarung mit gehärteter Kugelpfanne $p = 100 \text{ N/mm}^2$. Schmierung durch ständigen Ölumlaufl; Abrieb wird in Ölschauglas gespült und bei Ölwechsel entfernt.

Querhaupt 10 (s. Bild 4.11) mit Werkzeugoberteil hat nachstellbare Führung. Werkzeugunterteil 12 ist im Ständerfisch und durch hydraulischen Topf 13 geführt. Füllhöhe ist durch Verstellen des Kolbenanschlags stufenlos einstellbar. Vorpresse: Ventil 15 geöffnet, Vorkprekraft durch Druckspeicher 14 bestimmt. Hauptpressen: Ventil 15 geschlossen. Hauptpreßkraft durch Überdruckventil 17 bestimmt. Preßkraft 2000 kN, Hubzahl 14 ... 18/ min, größte Füllhöhe 30 mm, Anschlußwert 10,5 kW, Eigenmasse 9 t.

Trockenpresse (TGL 15532). Antrieb und Kniehebelsystem liegen in Flurhöhe. Traverse überträgt Hubbewegung auf Gegendruckanlage des Oberstempels (im Gegensatz zum Bild 4.11). Matrizenrahmen wird zwangsläufig gesteuert.

Preßkraft 400 kN, Preßhub 70 mm, Füllhub 120 mm, Abzughub 70 mm, Antriebsleistung 3,5 kW, Hubzahl 4 ... 12/min, Eigenmasse 4,2 t.

Kniehebelsystem (Bild 4.14) als Vertikal-Viersäulen-Einformpresse. Erzeugung des Druckflüssigkeitsstroms durch Radialkolbenpumpe. Nennförderstrom 225 l/min, maximaler Druck 250 bar, Antriebsleistung 87 kW. Preßzylinder 10 ist am Oberholm 11 gelagert, Übersetzung der Kolbenkraft durch Kniehebelsystem 13, Preßkraft maximal 5000 kN, Format maximal 500 mm x 600 mm bei größter Füllhöhe von 660 mm. Hubzahl einstellbar zwischen 1 und 5/min. Kniehebelsystemlagerung im Zwischenholm 12. Verschleißausgleich im Preßmechanismus durch Feineinstellung 15. Nachstellmöglichkeit 10 mm. Unterholm 6 trägt gefederte Aufspannplatte 4 zur Formkastenbefestigung. Ausstoßtraverse 7 über Zuganker mit Querhaupt 14 verbunden. Mittels Verschiebeplatte, Ausstoßstange 8 und Unterstempel 3 erfolgt Preßlingsaushub durch Ausstoßtraverse 7. Formfüllung volumetrisch durch hydraulisch angetriebenen Füllwagen 18. Verschiedene Füllwagensätze für unterschiedliche Formate. Elektrohydraulische Steuerung des Arbeitsablaufs. Eigenmasse 35 t.

Spindelpresse. Antrieb durch Reibscheiben oder Reibrollen; kinetische Energie des Schwungrads wird über Spindel auf Preßling übertragen. Steuerung nach vorgegebenem Arbeitsprogramm durch elektrische Impulse und hydraulische Betätigung.

Drehtischpresse (Bild 4.15) mit kontinuierlich umlaufendem Karussell; am Umfang vier bis sechs Ober- und Unterstempel, die mit Rollen auf ringförmigen, feststehenden Kurvenbahnen laufen. Vor- und Hauptpreßdruck werden hydraulisch erzeugt.

Hydraulische Pressen. Grundaufbau gleicht den Pressen des Werkzeugmaschinenbaus, jedoch Zusatzeinrichtungen für Massezuführung und Entstaubung.

Naltpresse (Bild 4.16, TGL 14920). Stößelbetätigung über Kurve, die entsprechend der Preßkurve ausgelegt ist; Pressen komplizierter Teile erfordert Seitenschieber.

Preßkraft 63 kN, Hubzahl 12 ... 32/min, Preßhub 180 mm, Seitenschieberkraft 20 kN, Hub der Seitenschieber 5 ... 50 mm, Antriebsleistung 2,5 kW.

4.1.3. Drehmaschinen

Sie dienen zur Herstellung rotationssymmetrischer Erzeugnisse aus keramischer Masse mit 19 ... 24% Feuchtegehalt. Masse wird auf Vakuumstrangpressen entlüftet, homogenisiert und zu zylindrischen Strängen (Hubeln) vorgezogen. Einteilung der Maschinen und Anwendungsbereich s. Bild 4.17.

Arbeitsverfahren. Rollende Formgebung erfolgt durch rotierende Werkzeuge, die in ihren Konturen (Bearbeitungsflächen) den zu fertigenden Teilen entsprechen. Bei größerem, kom-

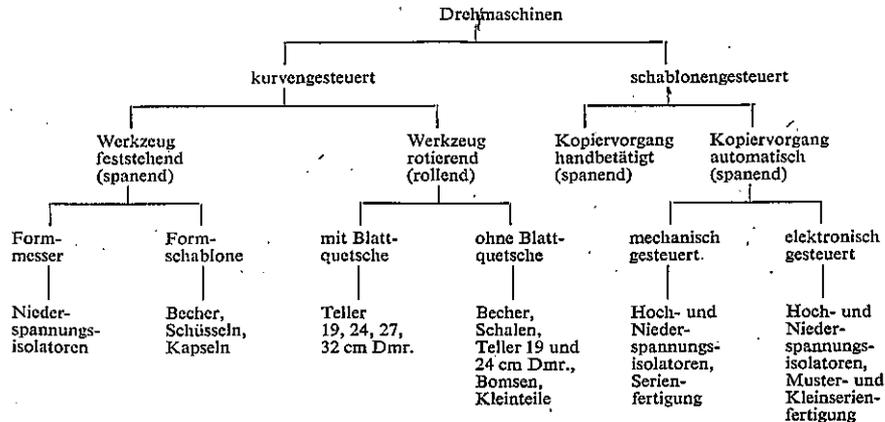


Bild 4.17. Einteilung und Anwendung der Drehmaschinen

pliziertem und qualitativ hochwertigem Flachgeschirr wird das Ausformen der Rohlinge in Vorformen („Blattquetschen“) und Endformgebung aufgeteilt. Roller (Bild 4.18a) formt auf Gipsform ein Blatt aus. Da in Mitte Gipsform und Roller (Punkt A) Geschwindigkeit $v = 0$ ist, wird keine verzahnende Verbindung der Masseteilchen erreicht; Tellerböden neigen zur Wölbung nach unten („Durchgehen“). Beheiztes Werkzeug verhindert Kleben; Oberfläche des Erzeugnisses wird dadurch teilweise getrocknet, während Kern weich bleibt. Bei Endformgebung werden diese trockenen Oberflächenbestandteile mit weichem Kern verbunden; Gefahr der Ribbildung.

Quetschwerkzeug (Bild 4.18b) formt Blatt an rotierender Scheibe mit haftminderndem Überzug aus, von der es auf Gipsform übertragen wird. Dieses Quetschwerkzeug läßt nur kleinen Quetschbereich zu.

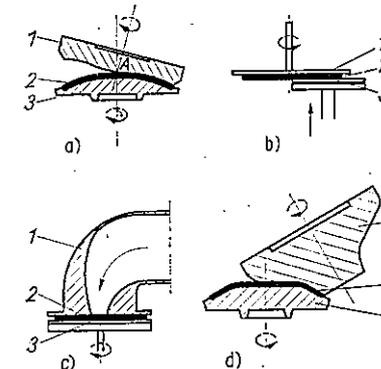


Bild 4.18

Werkzeuge zum rollenden Vorformen

- a) Roller (beheizt)
1 Roller; 2 Masseblatt; 3 Gipsform
- b) Quetschwerkzeug
1 Scheibe mit haftminderndem Überzug an der Unterseite; 2 Masseblatt; 3 Quetschwerkzeug
- c) rotierendes Quetschwerkzeug
1 Mundstück der Vakuumpresse; 2 Masseblatt; 3 Quetschwerkzeug
- d) Roller (unbeheizt)
1 Roller; 2 Masseblatt; 3 Gipsform

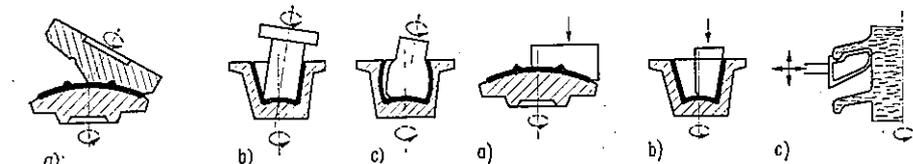


Bild 4.19. Werkzeuge für rollende Endformgebung

- a) Roller für Flachgeschirr; b) Roller für Becher;
- c) Roller für bauchige Becher

Bild 4.20. Werkzeuge für spanende Formgebung

- a) Schablone für Flachgeschirr; b) Schablone für Becher; c) Formmesser für Isolatoren

Rotierendes Quetschwerkzeug mit Hartmetallschneide (Bild 4.18c) formen Blatt während der Masseförderung an dem als Kreisringscheibe ausgebildeten Mundstück der Vakuumpresse aus; gute Verzahnung der Masseteilchen. Bei unbeheiztem Roller (Bild 4.18d) wird in der Mitte maximale Formgebungsgeschwindigkeit erreicht, und Texturen werden beseitigt. Werkzeuge für Endformgebung (Bild 4.19): Roller nach Bild 4.19a für Flachgeschirr werden über stufenlos verstellbaren Keilriementrieb angetrieben, während Werkzeuge für Becher (Bilder 4.19b und c) durch Reibung in der Form angetrieben werden und notwendige Differenzgeschwindigkeit durch Abbremsen des Werkzeugs erreicht wird. Drehzahl für Erzeugung von Flachgeschirr nach Tafel 4.4. Günstigste Formgebungsgeschwindigkeit $v = 5 \text{ m/s}$, bezogen auf Außenrand.

Erzeugnis	Tafel 4.4. Drehzahl für Flachgeschirr		
	Spindel U/min	Roller U/min	Faktor der Differenzgeschwindigkeit
Schalen	600	450	1,33
19-cm-Teller	540	380	1,42
24-cm-Teller	360	280	1,28

Spanende Formgebung durch feststehende Werkzeuge (Schablonen), deren Konturen (Bearbeitungsfläche) den zu fertigenden Teilen entsprechen (Bild 4.20). Anwendung der Schneid-schablonen für Flachgeschirr, Schüsseln, Becher. Zur Formgebung von Isolatoren sind Formmesser als Rahmen ausgebildet (gute Spanabfuhr), Freiwinkel 5° , Spanwinkel 70° .

Ausführungsbeispiele. Tellerdrehmaschine (Bild 4.21), ausgerüstet mit Rollerwerkzeug zum Vorformen (Rechtsdrehung) und Fertigformen (Linksrotation), stufenlos einstellbar zwischen 200 ... 300 U/min über Breitkeilriemenantrieb. Drehzahl der Arbeitsspindel des Vorrollers 320, 360, 420 U/min; Drehzahl der Arbeitsspindel des Fertigrollers zwischen 220 ... 550 U/min stufenlos einstellbar, Linksdrehung. Beheizter Fertigroller (3,5 kW) hat automatische Temperaturregelung. Drehtisch mit sechs Aufnahmen für Gipsformen wird während des Weiterschaltens durch Malteserkreuzmechanismus über kurvgesteuerten Hebel angehoben. Steuerung der Werkzeugbewegung, des

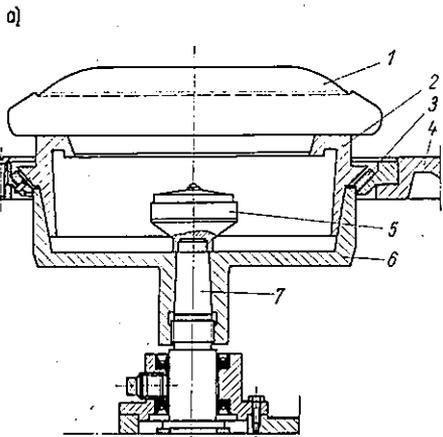
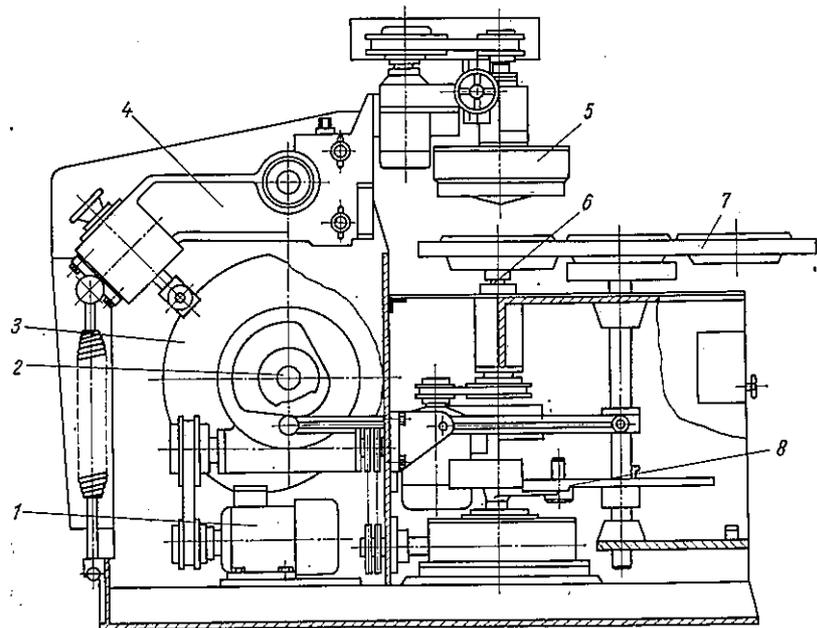


Bild 4.21
Tellerdrehmaschine
Hersteller: VEB Thuringia Sonneberg

- a) Gesamtansicht
1 Antriebsmotor für Steuerwelle und Drehtisch;
2 Steuerwelle; 3 Ausformkurve; 4 Ausformhebel;
5 Ausformwerkzeug; 6 Arbeitsspindel; 7 Drehtisch;
8 Malteserkreuzmechanismus
b) Aufnahme der Gipsform
1 Gipsform; 2 Aufnahmeering; 3 Bremsbelag;
4 Drehtisch; 5 Filter; 6 Aufnahmetopf; 7 Arbeitsspindel

Tischhub und der Vakuumventile über Kurvenscheiben der Steuerwelle. Kurvenkonstruktion gemäß Weg-Zeit-Diagramm. Gipsformen mit Formling werden während Ausformvorgangs zusätzlich mit Vakuum in Spindelaufnahme gehalten. Durchsatzmenge 450, 550, 650 St./h; Antriebsleistung: Steuerkurve mit Tischantrieb 1,1 kW, Arbeitsspindel $2 \times 0,8$ kW, Formwerkzeuge $2 \times 0,4$ kW, Vakuumpumpe 2,2 kW; Eigenmasse 2,4 t. Becherdrehmaschinen haben gleichen Aufbau.

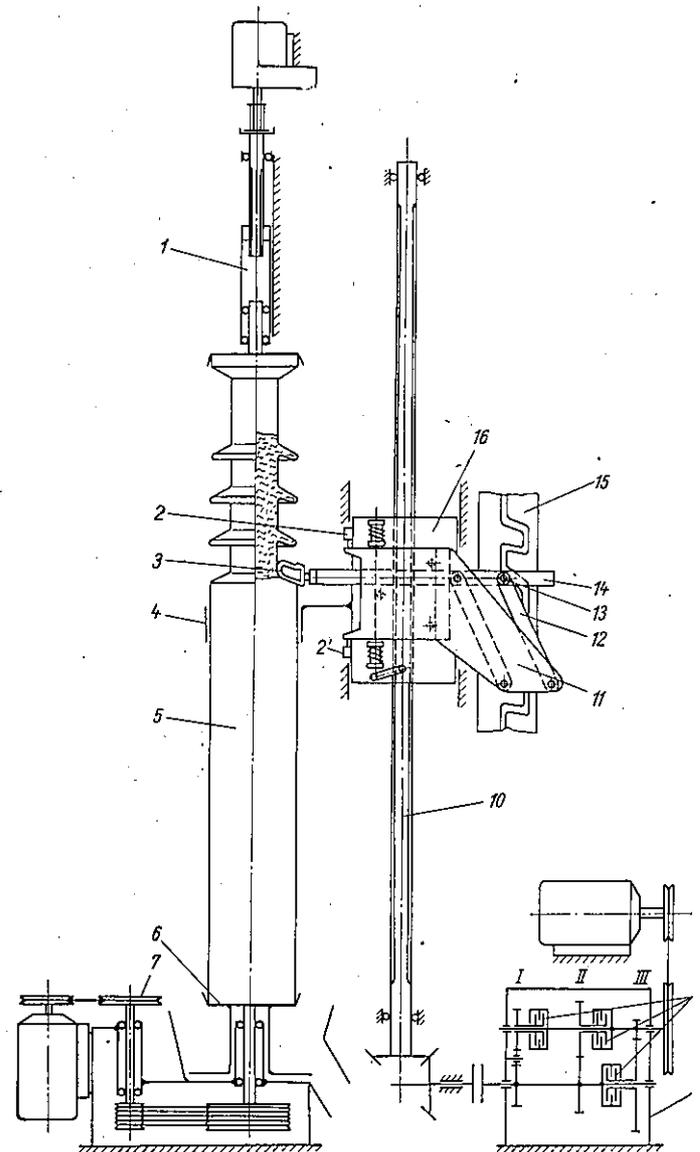


Bild 4.22. Automatische Senkrechtnachformdrehmaschine

- 1 Gegenhalter; 2 und 2' Endschalter; 3 Formdrehmeißel; 4 Schirmhalter; 5 Isolator; 6 Planscheibe mit Ausräumvorrichtung; 7 Spänentrichter; 8 Vorschubgetriebe (I Nachformen, abwärts; II Egalisieren, aufwärts; III Nachformen, aufwärts); 9 Elektromagnetkupplung; 10 Leitspindel; 11 Gehäuse; 12 Parallelogrammschlepphebel; 13 Nachformfinger; 14 Nachformhebel; 15 Schablone; 16 Support

Automatische Senkrechtnachformdrehmaschine (Bild 4.22) zur Fertigung von Hochspannungsisolatoren bis 100 mm Dmr., 2000 mm Länge und 100 mm maximaler Schirmhöhe des Isolators (TGL 15531). Drehzahl der Planscheibe 6 einstellbar von 74 ... 444 U/min. Massespäne (etwa 50% des Hobelvolumens) werden durch Ausräumvorrichtung abgeführt. Vorschubgeschwindigkeit des Supports 16 stufenlos einstellbar:

- um Egalisieren (schnell aufwärts) 5 ... 45 mm/s,
- um Nachformen (normal abwärts) 2 ... 20 mm/s,
- um Nachformen (langsam aufwärts) 1 ... 10 mm/s.

Während des Nachformvorgangs gleitet Nachformfinger 13 in Schablone 15. Bei Punkt A wird Laufrichtung abwärts gehemmt, Gehäuse 11 verschiebt sich gegenüber Support 16 und betätigt Endschalter 2, der über Elektromagnetkupplung 9 Drehrichtungsumkehr der Leitspindel 10 einleitet. Nachformfinger 13 gleitet bis Punkt B - neues Umschalten durch Endschalter 2'. Installierte Leistung 2,25 kW; Eigenmasse 2,4 t.

Isolatordrehmaschine mit Drehtisch (Bild 4.23). Arbeitstisch mit sechs Arbeitsspindeln ($n_{sp} = 272 \dots 420$ U/min) und Gegenhalter wird über Malteserkreuz periodisch angetrieben ($P = 0,63$ kW).

Im Stillstand des Arbeitstisches treibt Antriebsmotor ($P = 1,6$ kW) über Keilgkupplung eine Arbeitsspindel an; Keilriemen übertragen Drehbewegung auf weitere Spindeln (Bild 4.23 b). Werkstücke werden durch kurvengesteuerte Formmesser in maximal fünf Stufen bearbeitet. Kurvenscheibenwelle wird über neunstufiges Schaltgetriebe angetrieben ($P = 0,4$ kW). Abführung der Massespäne zentral über Mitte des Drehtisches auf Austragförderband ($P = 0,4$ kW). Ausstoß 80 ... 240 St./h; Eigenmasse 1,8 t.

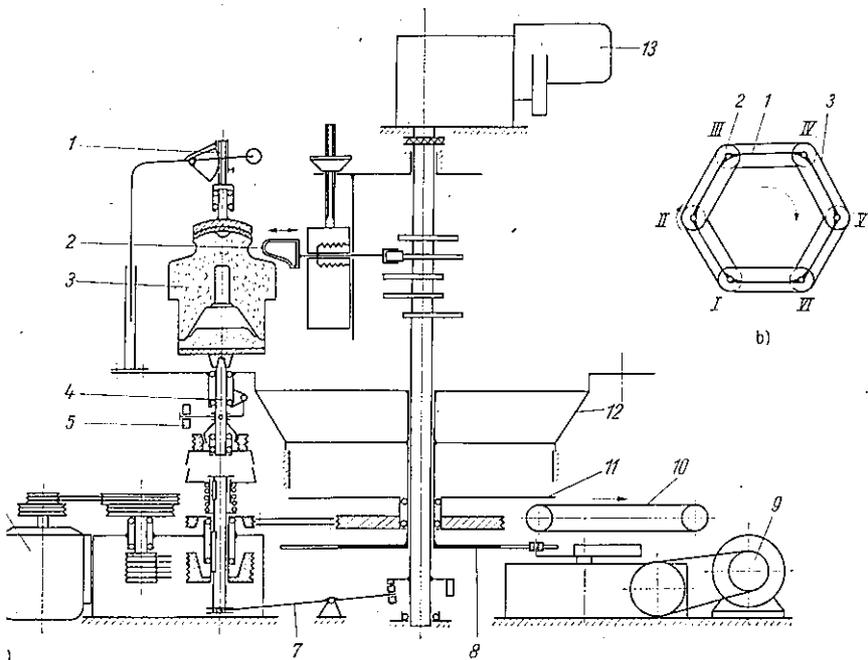


Bild 4.23. Isolatordrehmaschine mit Drehtisch

Prinzipskizze der Maschine
 1 Gehäuse; 2 Formmesser; 3 Isolator; 4 Arbeitsspindel; 5 Kupplungshebel zum Stillsetzen der Arbeitsspindel an der Aufgabestation; 6 Antrieb für Arbeitsspindel und Ausräumvorrichtung; 7 Kupplungshebel für Antriebsmotor; 8 Malteserkreuzmechanismus; 9 Drehtischantrieb; 10 Austragförderband; 11 Ausräumvorrichtung; 12 Drehtisch; 13 Antrieb für Kurvenscheibenwelle
 Antriebsmotor
 Aufgabestation (Spindel in Ruhe); II bis VI Spannungsstationen, Antrieb aller Arbeitsspindeln von Station II; Verschwammstation
 Drehtisch; 2 Arbeitsspindel; 3 Keilriemengetriebe

1.4. Trocknung

Trocknungsprozess. Beim Trocknen erfolgt Wärme- und Stoffaustausch. Gutfeuchte wird durch Wärmezufuhr in den dampfförmigen Zustand übergeführt und als Wasserdampf vom Trockner abgeführt. Für Trocknung keramischer Formlinge wird vorwiegend Verdunstungstrock-

nung angewendet. Wärmezufuhr erfolgt durch Konvektion mit Luft als Wärmeträger und Trockenmittel. Konvektive Trocknung ist meist angewandte Trocknungsart für Geschirrtrockner. Auch Strahlungstrocknung durch Infrarotstrahler mit Gas oder Elektroenergie für Flachgeschirrtrockner oder Hochfrequenz durch Mikrowellentrockner für Flach- und Hohlgeschirrtrockner möglich.

Feuchtigkeitsbindung. Wasser tritt in keramischen Formlingen auf als Porenwasser in Kapillaren, Hüllenwasser an der Oberfläche der festen Teilchen und Quellwasser in feinsten, kolloidalen Bestandteilen des Werkstoffs.

Anteil der einzelnen Bindungsarten ist abhängig von der Rohstoffzusammensetzung. Feuchtegehalt zur Verarbeitung kommender Werkstoffe:

$$w = \frac{x}{1+x} (\% \text{ rel.}) \text{ mit } x = \frac{m_G - m_{G0}}{m_{G0}} (\% \text{ abs.});$$

w = 20 ... 25% Porzellan, 22% Steingut, 20 ... 22% Vitreous China.

Verhalten des Guts. Unterschiedliche Feuchtigkeitskonzentration im Formling führt zu Zug- und Druckspannungen bei Trockenschwindung (Rißbildung). Ursache der unterschiedlichen Feuchtigkeitskonzentration liegt in der Inhomogenität keramischer Werkstoffe und in den bei

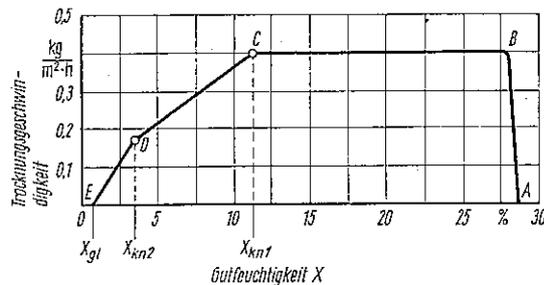


Bild 4.24. Trocknungskurve

plastischer Formgebung aus den Texturen entstehenden Spannungen. Kapillares Gefüge bestimmt Trocknungs- (Bild 4.24) und Schwindungsverlauf. Von A bis B erfolgt Guterwärmung auf Kühlgrenztemperatur, Trocknung danach in drei Abschnitten:

1. Trocknungsgeschwindigkeit annähernd konstant (B-C) und maßgebend beeinflusst von Partialdruckdifferenz $P_{D0} - P_{DL}$. Verdunstung an Oberfläche; Flüssigkeit wird durch kapillare Feuchtebewegung an Austauschfläche nachtransportiert.
2. Trocknungsgeschwindigkeit wird langsam kleiner (C-D) und maßgebend beeinflusst von Diffusionswiderstand des Trockenguts; Trocknungsspiegel weicht in Gutinneres zurück, Dampf diffundiert durch trockene Gutschicht zur Oberfläche.
3. Trocknungsgeschwindigkeit sinkt auf Null ab (D-E). Austreiben der Feuchtigkeitsreste bis zum Zustand hygroskopischen Ausgleichs.

Schwindungsverlauf (Bild 4.25). Schwindung erfolgt im ersten Trocknungsabschnitt in zwei Phasen:

1. Volumenabnahme annähernd gleich der ausgetauschten Flüssigkeitsmenge - annähernd idealer Schwindungsverlauf,
2. abnehmende Schwindungsgeschwindigkeit - nicht ideale Schwindung.

Einflußgrößen. Lufttemperatur. Im ersten Trocknungsabschnitt wird Trocknungsgeschwindigkeit vor allem durch Partialdruckunterschied ($P_{D0} - P_{DL}$) bestimmt. Größe des Dampfdrucks hängt ab von Temperatur der Feuchtigkeit an Gutoberfläche (Kühlgrenztemperatur); Steigerung der Lufttemperatur vergrößert Partialdruckdifferenz und damit Trocknungsgeschwindigkeit.

keit. Auch im zweiten Trocknungsabschnitt wird der Trocknungsvorgang durch Temperatursteigerung des Guts beschleunigt. Diffusionswiderstand, Verdunstungsgeschwindigkeit im Gut und Molekularstrom sind stark temperaturabhängig. Für den dritten Abschnitt ist die mit der Guttemperatur zunehmende Molekulardiffusion entscheidend.

Relative Luftfeuchtigkeit. Relative Feuchte der Umgebungsluft beeinflusst Partialdruckdifferenz; daher besonders großer Einfluß im ersten Abschnitt, weniger groß im zweiten; im dritten Abschnitt, in dem hygroskopisches Verhalten des Trockenguts maßgebend ist, hat die relative Luftfeuchte wieder großen Einfluß.

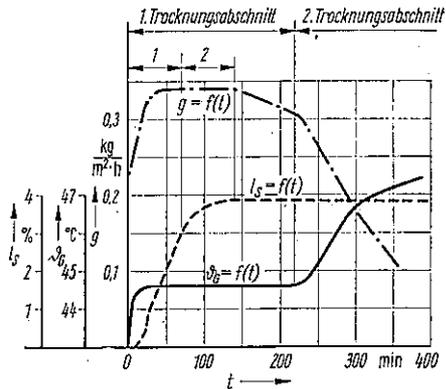


Bild 4.25 Temperatur- und Schwindungsverlauf
1 ideale Schwindung; 2 nichtideale Schwindung

Luftgeschwindigkeit. Die Luftgrenzschicht am Gut setzt eindringender Wärme und austretender Feuchtigkeit Widerstand entgegen, der direkt von der Luftgeschwindigkeit abhängig ist. Stärkster Einfluß im ersten Trocknungsabschnitt, in dem Luftgrenzschicht den einzigen Widerstand für Wärme und Dampf darstellt. Nach Überschreitung des Knickpunktes nimmt Anteil dieses Widerstands zugunsten des Diffusionswiderstands der Gutschichten ab, so daß Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf Trocknungsgeschwindigkeit zurückgeht.

Scherbendicke des Formlings. Bei Oberflächentrocknung des ersten Abschnitts ist Trocknungsgeschwindigkeit unabhängig von Scherbendicke. Da Feuchtegehalt proportional der Scherbendicke ist, nimmt Trockenzeit proportional mit Scherbendicke zu. Im zweiten Abschnitt ist Diffusionswiderstand ausschlaggebend und Trocknungsgeschwindigkeit umgekehrt proportional zur Scherbendicke. Im dritten Abschnitt steigt bei noch größerem Einfluß des Diffusionswiderstands in dicken Gutschichten die Trockenzeit etwa mit dem Quadrat der Scherbendicke an.

Anführungsbeispiele. Trockner sind überwiegend Schaukelrockner mit konvektiver Trocknung, Heizmittel: Dampf 1,5 ... 3,0 bar; Heißwasser mindestens 150/90°C oder Gas. Um- oder Überströmen des Trockengutes ist bei Taktstraßen und Fließbahnen durch Anströmen (Düsentrocknung) ersetzt.

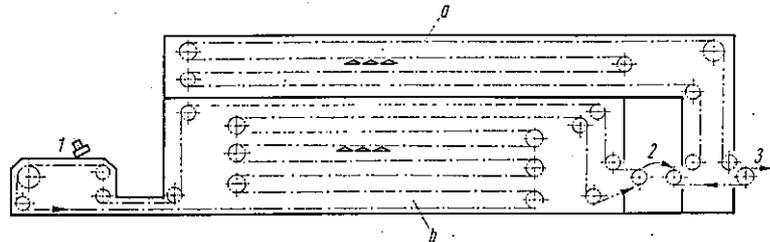


Bild 4.26. Lederhart- und Weißrockner für Flachgeschirr
1 Formgebung; 2 Umsetzer; 3 Entnahme
a Weißrockner; b Lederhartrockner

Flachgeschirr. Bei Einsatz von Taktstraßen wird Trocknung unterteilt in „Lederhart“- (auf der Arbeitsform bis Schwundsende) und „Weiß“-Trocknung (nach Abnahme von Gipsform bis Restfeuchte $\leq 2\%$). Lederharttrocknung bei 70 ... 90°C und Trockenzeit < 30 min; Weißtrocknung bei 100 ... 150°C und 20 ... 40 min Trockenzeit. Beide Trockner als getrennte Baueinheiten (Bild 4.26). **Schaukelrockner** sind dann auch mit Düsentrocknung und zu Gruppen zusammengefaßten unterschiedlichen Luftaustrittsöffnungen, um Heißluftstrahlen möglichst entsprechend dem Scherbenquerschnitt auf den Teller zu richten, ausgerüstet (Bild 4.27). **Hohlgeschirr:** Aus technologischen Gründen wird in zwei Abschnitten getrocknet, bis zum Erreichen der Garnierfeuchte (14 ... 15%) im Lederhartrockner, nach dem Henkelgarnieren im Weißrockner. Bei Verwendung von Düsentrocknern wird Luftführung durch geometrische Form des Trockenguts unterstützt (Bild 4.28). **Lederhartrockner** arbeiten mit Heißluft von 60 ... 100°C und 1,5 ... 5 min Trockenzeit; Transport durch Formenaufnahmekette. **Weißrockner** sind meist **Schaukelrockner** mit Bedüsung der Formlinge an der Gesamtoberfläche. Lufttemperatur 90 ... 110°C, Trockenzeit 20 min, Restfeuchte 2% (Bild 4.29).

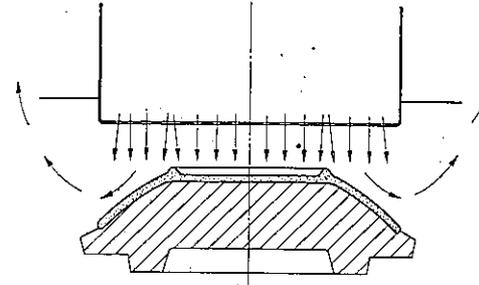


Bild 4.27 Prinzip der Düsentrocknung für Flachgeschirr (überformt)

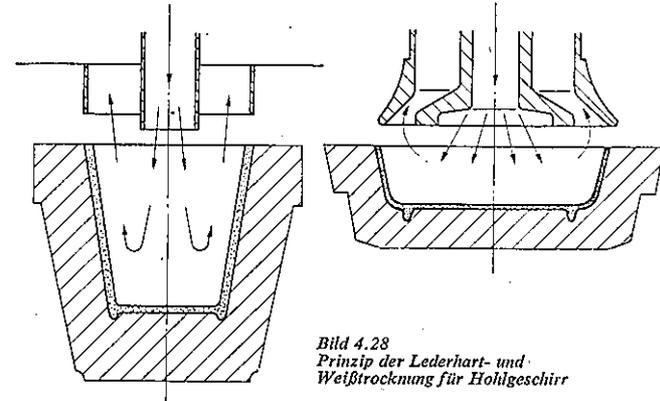


Bild 4.28 Prinzip der Lederhart- und Weißtrocknung für Hohlgeschirr

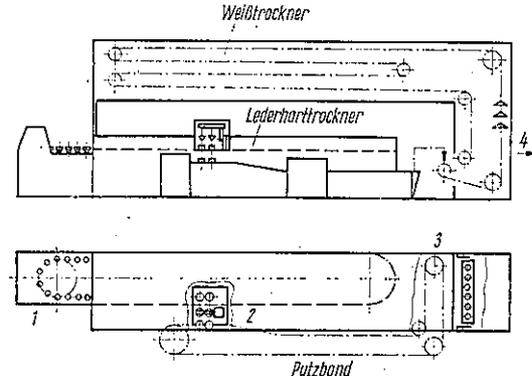


Bild 4.29 Prinzip der Düsentrocknung für Hohl- und Flachgeschirr (eingesamt)
1 Formgebung; 2 Umsetzer I; 3 Umsetzer II; 4 Entnahme

4.1.5. Randbearbeitung von Geschirrtellen

Die weißgetrockneten Teller werden nach dem Trocknen von einer *Verputzmaschine* übernommen, in der sie auf einem Rundtisch *Zentrier-, Entgrat- und Verschwammstationen* durchlaufen (Bilder 4.30 und 4.31).

Das *Umsetz- und Verputzaggregat* für Flachgeschirrartikel (Bild 4.32) besteht aus einem Grundgestell, in dem Antrieb, Lagerung des Drehtisches, Kurvensteuerung und Spindeltrieb untergebracht sind. Der periodisch geschaltete Drehtisch hat sechs Wendegetriebe mit Arbeitsspindeln für die Aufnahme der zu verputzenden Flachgeschirrartikel. Auf dem Grundgestell sind die Stationen zum Zentrieren, Entgraten und Verschwammen angeordnet und im Zentrum des Drehtisches die Vakuumsteuerung. Sie bewirkt die Übernahme der zu verputzenden Flachgeschirrartikel.

4.1.6. Fertigungslinie für Flachgeschirr

Sie dient zur mechanisierten Herstellung von Tellern. Die zu verarbeitenden Werkstoffe (20 ... 24% Feuchtegehalt) werden aufbereitet, auf *Vakuumstrangpressen* entlüftet und zu Strängen vorgearbeitet. Maschinen und Ausrüstung der verschiedenen Arbeitsstufen werden gegenstandsspezialisiert zu Fertigungslinien zusammengesetzt und so angeordnet, daß Instandhaltungsmaßnahmen im Baugruppen-Ersatzverfahren mit geringer Ersatzteilhaltung und Reparaturzeit durchgeführt werden können. Die Anordnung kann in loser (die einzelnen Maschinen und Aggregate durch Arbeitskräfte verbunden) oder in fester Verkettung (die einzelnen Maschinen und Aggregate durch Verkettungseinrichtungen verbunden) erfolgen (Bild 4.33).

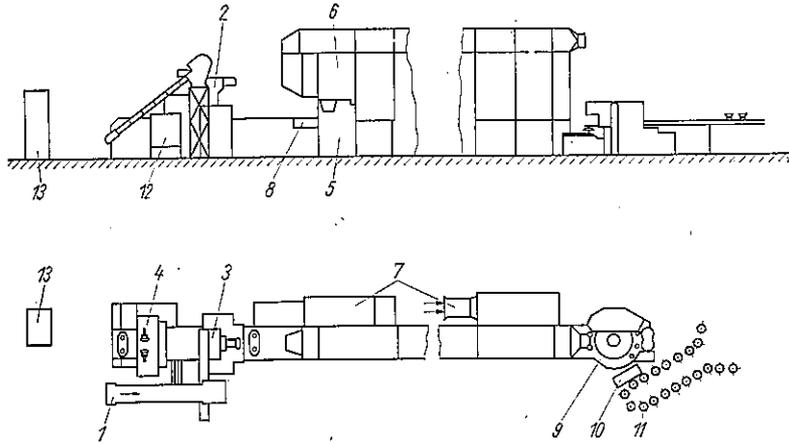


Bild 4.33. Fertigungslinie für Flachgeschirr (Teller 21 ... 24 cm Dmr.)

1 Aufgabeband; 2 Verteilerband; 3 Vakuumschneckenpresse; 4 Ausformstation; 5 Lederharttrockner mit Arbeitsformen (erster Trockenabschnitt); 6 Weißtrockner (zweiter Trockenabschnitt ohne Arbeitsformen); 7 Ventilatoren und Heizbatterien; 8 Umsetzer zwischen Lederharttrockner und Weißtrockner; 9 Umsetz- und Verputzaggregat; 10 Umsetzer; 11 Kettenband; 12 Hydraulikanlage; 13 Elektroanlage

Arbeitsgänge: Massedosierung, Blattquetschen, Ausformen, Trocknung, Umsetzen der fertiggetrockneten Teller und weiterer Umsetzvorgang zur Verputzmaschine, Umsetzer zum Kettenband und Transport zum Elevator bzw. Schrühbrandofen sind mechanisiert. Hubel werden mit Transportband der Vakuumpresse zugeführt, darin homogenisiert und entlüftet. Mundstück als Blattquetschvorrichtung ausgebildet, Steuerung über Fotozelle. Glattschnittenes Blatt fällt auf Gipsform und wird angelegt. Nach Ausformen mit Roller wandern überformte

Teller durch erste Stufe des Trockenschrankes. Lederhartgetrocknete Teller werden durch Umsetzer von der Gipsform abgenommen und im zweiten Trockner (Weißtrockner) abgesetzt. Am Ende des *Weißtrockners* erfolgt Übernahme durch *Umsetz- und Verputzaggregat*, auf dem die Teller am Rand entgratet und verschwammt werden. Durch einen weiteren Umsetzer erfolgt Übergabe weißgetrockneter Teller auf Kettenband, das die Teller zum Elevator oder zur Aufgabe am Schrühbrandofen transportiert. Fertigungslinie arbeitet mit hohem Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad. Leistung beträgt je nach Flachgeschirrartikel 700 ... 1200 St./h; Leistungsbedarf 55 kW.

4.2. Glasiermaschinen

Sie dienen zum teilweisen oder vollständigen Glasieren großer Mengen gleichartiger, einfach geformter keramischer Erzeugnisse.

Arbeitsverfahren. Tauchen. Zu glasierender Gegenstand wird in Glasur getaucht. Nicht zu glasierende Stellen sind vorher abzudecken (Paraffin) oder hinterher abzuputzen. Anwendung: Flach- und Hohlgeschirr, Nieder- und Hochspannungsisolatoren, Steinzeugrohre.

Spritzen. Glasur wird mit Druckluft durch Düsen auf rotierenden Gegenstand gespritzt. Glasurstrahl ist so gerichtet und begrenzt, daß nicht zu glasierende Stellen nicht getroffen werden. Anwendung: Sanitärerzeugnisse, technische Keramik, Wandfliesen.

Begießen (Bild 4.34). Gegenstände bewegen sich geradlinig oder auf Kreisbahn, evtl. mit zusätzlicher Rotationsbewegung, unter kontinuierlichem Glasurstrahl hindurch. Anwendung: Flach- und Hohlgeschirr, Baukeramik.

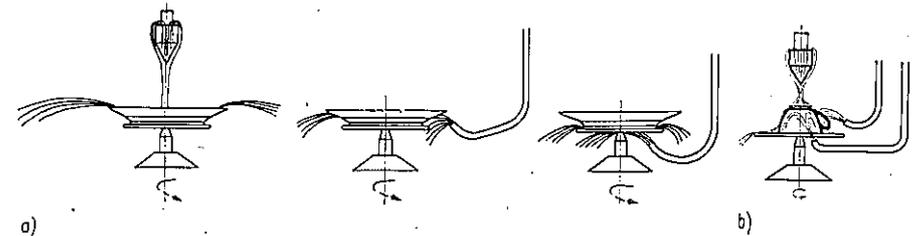


Bild 4.34. Glasierverfahren

a) Begießen eines Tellers; b) Begießen einer Tasse

Glasurdicke wird bestimmt durch Saugfähigkeit des keramischen Gegenstands, Viskosität der Glasur, Zeit des Glasierens. *Wahl* des Verfahrens ist abhängig von Anforderungen an Glasuroberfläche, Erzeugnisform und Wirtschaftlichkeit bei maschineller Anwendung.

Anforderungen an Maschinen. Sichere Aufnahme des zu glasierenden Erzeugnisses ist oft schwierig zu erfüllen, da vorgebrannte Erzeugnisse geringe Festigkeit haben, dünnwandige Teile zu Bruch neigen und bei Vollglasur die Artikelaufnahme (Spanndrähte, Greifer) keine Glasurverdickung und möglichst wenig glasurfremde Stellen hinterlassen darf.

Bewegung der Erzeugnisse beim Glasieren muß so erfolgen, daß Glasur gleichmäßig aufgetragen wird und überschüssige Glasur aus vorhandenen Vertiefungen abfließen kann oder weggeschleudert wird. Glasur im Vorratsbehälter ist *ständig zu mischen* (Rührwerk, Druckluft), um Sedimentation zu vermeiden, besonders bei Majolikaglasuren; sonst entstehen unerwünschte Farbnuancen.

Nichtkorrodierende Werkstoffe (Ms, Silumin, PVC-hart, Al) für alle glasurberührenden Teile verwenden, besonders wichtig bei weißen Glasuren für Geschirr, Wandfliesen. Konstruktion muß *leichte Reinigungsmöglichkeit* durch Abspritzen mit Wasser gewährleisten; „tote Stellen“ vermeiden (Glasuransammlung), Ablaufrinnen vorsehen. Lager und Führungen im Bereich

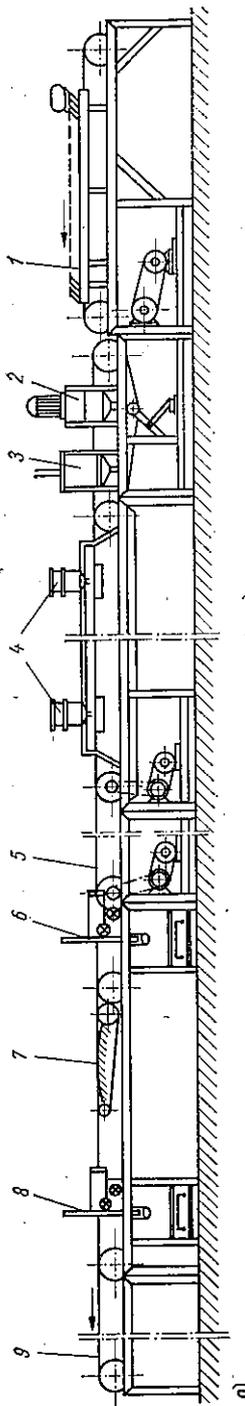


Bild 4.36
Begießglasermaschine für Wandfliesen
Hersteller: Fa. Dorst, Kochel (Oberbayern)

- a) Gesamtansicht
1 Plattenaufgabe; 2 Putzbürste; 3 Benetzung; 4 Glasiereinrichtung;
5 Trockenstrecke; 6 Glasurabputzvorrichtung; 7 Plattendreh-
vorrichtung; 8 Glasurabputzvorrichtung; 9 Abnahmeband
b) Glasurabputzvorrichtung
1 Führungsrollen; 2 Spannarme für Führungsrollen; 3 Handrad
zum Schrägstellen der Putzriemen; 4 Zustellung der Putzriemen

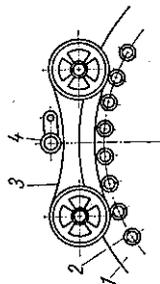


Bild 4.35. Glaserspritzautomat
für Kleinteile (Glaserspindelantrieb)
1 Drehtisch; 2 Glaserspindeln;
3 Keilriemen; 4 Spannrolle

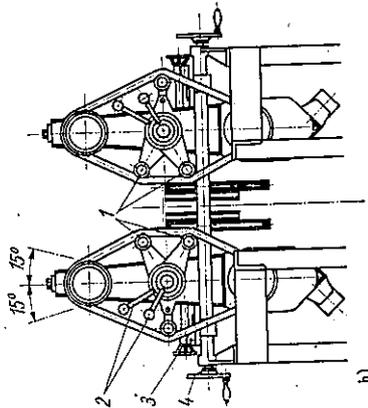
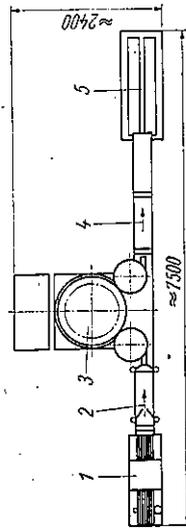


Bild 4.37
Glasierlinie für Geschirr
Hersteller: VEB Thüringia Sonneberg
1 Abstaubkabine; 2 Zulaufband; 3 Begieß-
glasermaschine; 4 Ablaufband; 5 Glasur-
abputzmaschine



der Glasur sind sorgfältig abzudichten (Spritzbleche, Gummischürzen, Labyrinthdichtung). Rückführung überschüssiger Glasur in den Vorratsbehälter. Aufbau der Maschine muß kurzfristigen Sortimentswechsel ermöglichen.

Ausführungsbeispiele. **Glaserspritzautomat für Kleinteile** bis 80 mm Dmr. und 70 mm Höhe (Bild 4.35). In Kugellringlaufbahn gelagerter Drehtisch 1 mit 36 Glaserspindeln 2 wird periodisch über Kurvenscheibe bewegt ($P = 0,63 \text{ kW}$, $n_{\text{Drehtisch}} = 19 \text{ U/min}$). Vom Motor werden gleichzeitig Steuerkurvenwelle für Auslöseventile der Spritzpistolen und Friktiontrieb für Glaserspindeln 2 angetrieben. Spindeln durchlaufen Vorwärmkanal (Heizleistung 1,6 kW) zur Verbesserung des Haftgrunds der Teile. Spindelrehzahl in Spritzkabine beträgt 144 U/min. Glasurbehälter (15 l) mit Rührwerk ($P = 0,4 \text{ kW}$) ist oberhalb der Spritzkabine angebracht. Benötigte Luftmenge für zwei Spritzpistolen etwa $30 \text{ m}^3/\text{h}$, Luftdruck 4 ... 6 bar; abzusaugende Luftmenge $50 \dots 75 \text{ m}^3/\text{h}$; Eigenmasse 1,12 t. **Begießglasermaschine für Wandfliesen** (Bild 4.36a). Auf dem Aufgabeband 1 ($P = 0,75 \text{ kW}$) hochkant gestellte Fliesen bewegen sich mit $v_1 = 0,013 \dots 0,025 \text{ m/s}$ vorwärts und werden beim Überlauf auf schneller laufende Keilriemen ($v_2 = 1,0 \dots 2,0 \text{ m/s}$, $P = 2 \times 0,75 \text{ kW}$) in waagerechte Lage gebracht; Zentrierung durch seitliche Leitbahnen. Rotierende Putzbürste 2 ($P = 0,75 \text{ kW}$) säubert Fliesenoberfläche. Fliesen durchlaufen Glasurschleier 4 auf Profilkeilriemen, die im Rücklauf durch Wasserstrahl von anhaftender Glasur gereinigt werden. Glasurschleier wird durch Auslauf der Glasur aus verstellbarem (0,15 ... 3 mm breit) Mundstück des Begießbehälters erzeugt; Leistung der Glasurpumpe 1,5 kW. Länge der anschließenden Trockenstrecke 5 ist so gewählt, daß Glasur gleichmäßig antrocknet. Glasurabputzvorrichtung 6 (rotierende Gummirundriemen (Bild 4.36b, $P = 4 \times 0,25 \text{ kW}$) entfernt an Fliesenkanten anhaftende Glasur. Fliesen werden um 90° in Horizontalebene durch zwei parallele Keilriemen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit gedreht. Durchsatzmenge bei Fliesen (Format 150 mm \times 150 mm) maximal 10000 St./h. Weitere Ausrüstung: Abgratvorrichtung, Benetzung, Tupfvorrichtung für Majolika-Wandfliesen.

Glasierlinie für Geschirr (Bild 4.37). Abstaubkabine 1 arbeitet nach Durchlaufprinzip; Lederrundriemen transportieren die Erzeugnisse. Luftstrahl tritt ständig über verstellbare Düsen ein. Abgeblasener Staub wird nach unten abgesaugt. Steuerung der Dosiereinrichtung erfolgt durch Glasiermaschine. Zulaufband 2 besteht aus plastbeschichteter Leinwand. Unterglasurdekoration erfordert zusätzliche Dosiereinrichtung.

Begießglasermaschine 3: Drehtisch ($n = 17 \dots 51 \text{ U/min}$ stufenlos stellbar) mit acht Spindeln mit flachen, siebartigen Aufnahmen. Friktionstrieb der Spindeln ($n_{\text{sp}} = 80 \dots 240 \text{ U/min}$) im Glasierbereich, nachfolgendes Auf- und Abwischen des Tellerrands, um Tropfenbildung am Teller zu vermeiden. Glasiereinrichtung besteht aus mehreren einstellbaren Rohren, Glasur wird aus Glasurbehälter durch Elektrotauchpumpen mit Schlauchleitung zugeführt. Glasurmenge ist unabhängig voneinander eingestellt. Überschüssige Glasur fließt nach Reinigung in Glasurbehälter zurück.

Von Transportband kommend, werden Teller auf die Aufnahme gesetzt und nach Glasiervorgang von der Telleraufnahme auf Transportband aufgesetzt. Produktionsleistung: Schalen bis 2000 St./h, Teller 19 cm bis 1800 St./h.

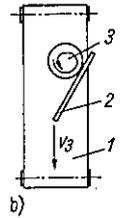
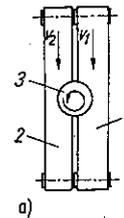


Bild 4.38
Glasurabputzband

- a) mit unterschiedlicher Geschwindigkeit
($v_1 = 0,16 \text{ m/s}$, $v_2 = 0,43 \text{ m/s}$)
1 Band I; 2 Band II; 3 Erzeugnis
b) konstante Geschwindigkeit und Leitlineal
($v_3 = 0,25 \text{ m/s}$)
1 Band; 2 Leitlineal; 3 Erzeugnis
 $P = 2,23 \text{ kW}$; Masse = 0,185 t

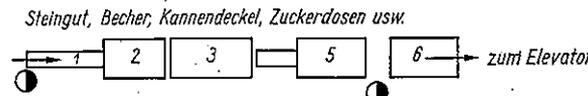
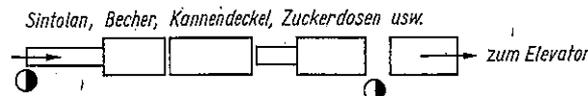
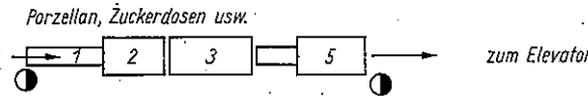
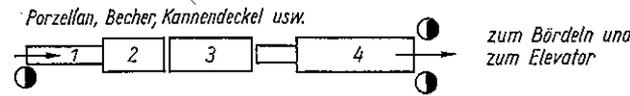


Bild 4.39
Glasierlinien für Becher
1 Aufgabeband
2 Abstaubmaschine
3 Becherglasiermaschine
4 Glasurabputzmaschine
5 Nachglasurband
6 Glasurabputzmaschine für Hohlgeschirr
7 Becherglasiermaschine für Einbrandbecher
8 Glasurabputzband mit Vibrator
1 Bedienungsperson

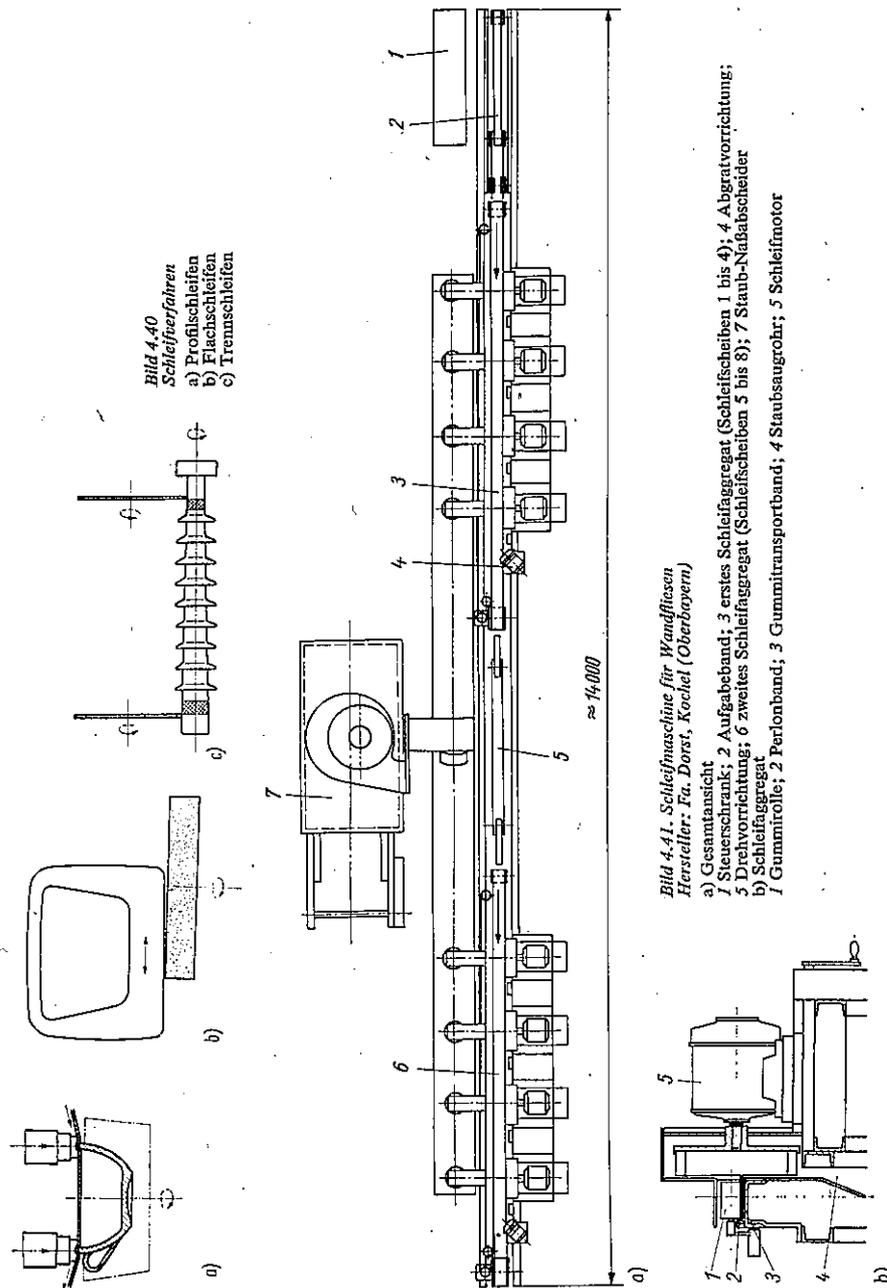


Bild 4.41. Schleifmaschine für Wandfliesen
Hersteller: Fa. Dorst, Kochel (Oberbayern)

- a) Gesamtansicht
1 Steuerschrank; 2 Aufgabeband; 3 erstes Schleifaggregat (Schleifscheiben 1 bis 4); 4 Abgratvorrichtung;
5 Drehvorrichtung; 6 zweites Schleifaggregat (Schleifscheiben 5 bis 8); 7 Staub-Naßabscheider
b) Schleifaggregat
1 Gummitrolle; 2 Perltonband; 3 Gummitransportband; 4 Staubsaugrohr; 5 Schleifmotor

Teller 24 cm bis 1200 St./h, Teller 27 cm bis 1000 St./h, Teller 30 cm bis 800 St./h, Anschlußwert 2,23 kW, Eigenmasse 1,775 t.
Schwammgummibänder (Bild 4.38) der Glasurabputzmaschine 5 werden im Rücklauf mit Wasser gereinigt und anschließend ausgedrückt.
Glasierlinien für Becher, Kannendeckel, Zuckerdosen und ähnliche Hohlgeschirrtelle s. Bild 4.39. Becher werden von Hand auf Aufgabeband gesetzt. Glasiervorgang erfolgt vollautomatisch. Geschirrtelle durchlaufen auf Rundriemen Glasierstation mit stufenlos einstellbarer Geschwindigkeit. In Vertiefung des Becherbodens angesammelte Glasur wird mit Druckluft ausgeblasen, Glasiereinrichtung und Düse für den Druckluftstrahl sind unabhängig voneinander einstellbar.

4.3. Schleifmaschinen

Sie dienen zur Nachbearbeitung (Glattschleifen und Polieren, Herstellen der Maßhaltigkeit, Fehlerbeseitigung) vor- und fertiggebrannter Erzeugnisse. Ausführung als Einzweckmaschinen für Trocken- oder Naßschleifen; Flachsleifen (Flachgeschirr, Isolatoren, Sanitärwaren,

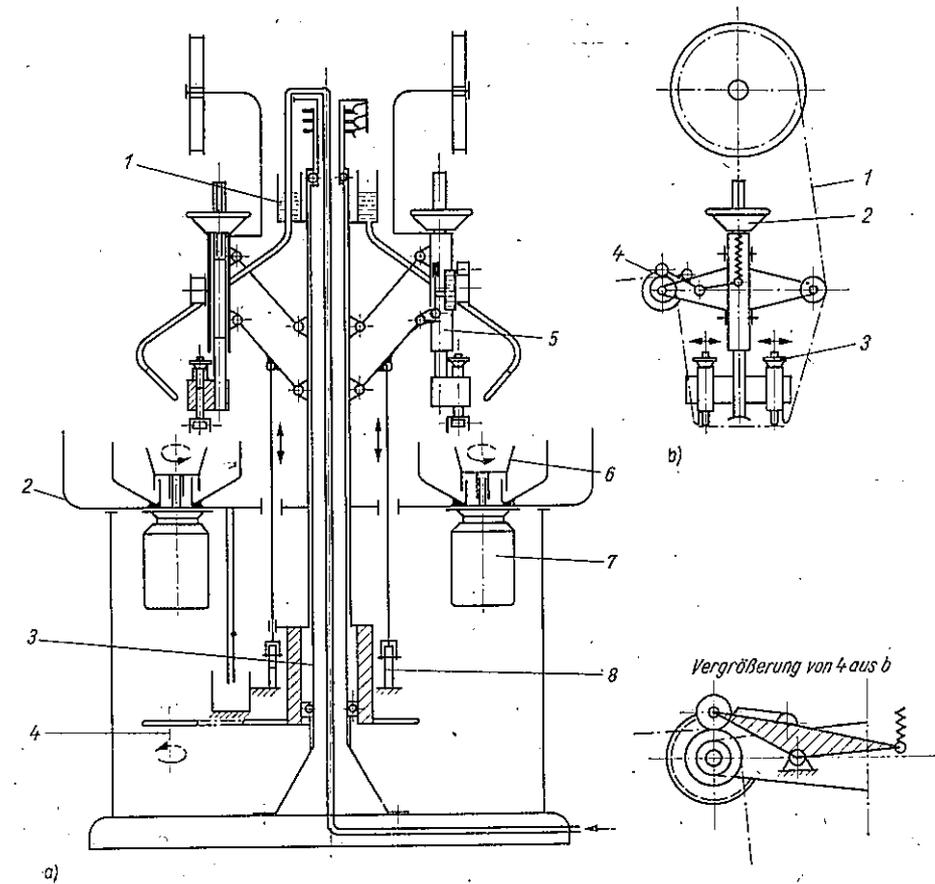


Bild 4.42. Teller- und Bechernaßschleifautomat – Hersteller: Fa. Zeidler, Selb (Bayern)

- a) Gesamtansicht
1 Wasserringkanal; 2 Drehtisch; 3 Tragachse; 4 Drehtischantrieb; 5 Schleifeinrichtung; 6 auswechselbare Aufnahme für Becher oder Teller; 7 Schleifmotor; 8 Hubkurve für Schleifeinrichtung
b) Schleifeinrichtung
1 Schleifband; 2 Höheneinstellung; 3 Einstellung des Schleifdrucks; 4 Klinkenschaltmechanismus mit Spanner

Fliesen, Kacheln), Profilschleifen (Becher, Flachgeschirr), Trennschleifen (Isolatoren) (Bild 4.40). Schleifmittelträger: Schleifscheiben, Schleifbänder, Schleifpaste.

Ausführungsbeispiele. *Schleifmaschinen für Wandfliesen* (Bild 4.41). Fliesen werden wie bei Begieglasiermaschine (s. Bild 4.36a) für Wandfliesen aufgegeben.

Schleifaggregat: Fliesenvorschub durch endloses Gummitransportband ($P = 2 \times 4 \text{ kW}$) an Aufgabeseite und durch Perlonband an Stirnseite; federnde Gummirollen drücken Fliesen auf Unterlage. Selbsttätige Nachstellung der Schleifmotoren ($P = 8 \times 4 \text{ kW}$) mit Ringschleifscheibe, eingeleitet durch Meßkontakte nach jedem Motor; Schleifmotoren stehen im Winkel von $1 \dots 5^\circ$ zur Längsachse des Transportbands, so daß nur eine Seite der Scheibe benutzt wird. Geschwindigkeit des Transportbands $0,3 \dots 0,5 \text{ m/s}$, $\approx 6000 \dots 10000$ Fliesen/h (Format $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$). Schleifscheiben 1 bis 4 und 5 bis 8 schleifen mit unterschiedlicher Spantiefe (maximal $1,7 \text{ mm}$) Fliesen an zwei Seiten vom Roh- auf Fertigmaß; Schleifscheiben 1, 2, 5, 6 Körnung 46, Schleifscheiben 3, 7 Körnung 60, Schleifscheiben 4, 8 Körnung 80, Abratscheibe Körnung 60. Abgratvorrichtung ($P = 2 \times 0,35 \text{ kW}$): schräg zur Längsachse des Transportbands angeordneter Schleifmotor mit stumpfkegelförmiger Schleifscheibe. Tastrolle auf den Fliesen hält Motor in richtiger Höhe.

Drehvorrichtung: Drehen in der Ebene um 90° durch zwei parallele Keilriemen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Absaugung: Ventilator, Staub-Naßabschneider. Eigenmasse Schleifmaschine einschließlich Staub-Naßabschneider etwa $8,3 \text{ t}$.

Teller- und Bechernaßschleifautomat (Bild 4.42). Kontinuierlich umlaufender Drehtisch mit vier von Kurvenscheibe ein- und umschaltbaren Arbeitsspindeln und vier Schleifeinrichtungen, über Kurvenscheibe und Stößel heb- und senkbar. Stromzufuhr über Schleifringe. Wasser wird über Verteilerbehälter und Schläuche zu Arbeitsstellen geleitet, in Drehtischwanne gesammelt, über Ringkanal abgeführt. Schleifaggregat: Höhen- und Seiteneinstellung für Mittelstück und Formen, Schleifdruck durch Federn. Aufgewickeltes Schleifband wird bei jeder Abwärtsbewegung durch Klinkenschaltmechanismus um einstellbares Maß abgerollt, so daß jeweils neues Korn schleift. Erzeugnisaufnahme: Gummi, auswechselbar entsprechend den zu bearbeitenden Formen. Je nach Anforderung Fertigschliff auf einer Spindel oder mit Spindeln 1 und 3 vorschleifen (Kantenbrecher) und mit Spindeln 2 und 4 polieren. Schleifbänder: Körnung $100 \dots 220$. Durchsatzmenge max. 2700 St./h , Antriebsleistung $0,8 \text{ kW}$, Eigenmasse $0,31 \text{ t}$. Vorgeschaltete *Abstaubmaschine* arbeitet im Durchlaufprinzip. Lederrundriemen transportieren die Becher. Luftstrahl tritt ständig über verstellbare Düsen ein. Abgeblasener Staub wird nach unten abgesaugt. Antriebsleistung $0,25 \text{ kW}$, Eigenmasse 90 kg , Luftmenge max. $500 \text{ m}^3/\text{h}$, Druckluft max. 6 bar .

Nachgeschaltetes Glasurabputzband mit Vibrator, Reinigung des Schwammgummibands durch Wasser im Rücklauf und anschließendem Ausdrücken. Antriebsleistung $0,43 \text{ kW}$, Eigenmasse $0,2 \text{ t}$.

Bei Bechern aus Werkstoff Sintolan oder Steingut wird Glasurabputzband von anhaftender Glasur nicht abgeputzt, sondern zusätzlich Glasur durch spezielles Nachglasierband aufgetragen. Bild 4.39 zeigt Anordnung der Becher-glasierlinien für Porzellan, Sintolan und Steingut.

4.4. Transportanlagen für die Grobkeramikindustrie

4.4.1. Lattentechnik

Transportausrüstung besteht aus Abschneide-, Förder- und Stapelanlagen (TGL 22-190), Umlade- und Förderanlagen und Flurfördergeräten. Es sind Einrichtungen, die steuerungsmäßig zu einer Gesamtanlage verkettet, den aus der Schneckenpresse austretenden Tonstrang zu Formlingen abschneiden, auf Formlingsträger (Latten) fördern, stapeln und den entsprechen-

Tafel 4.5. Abschneidverfahren

Verfahren	Maschine	Anwendung
Bügelschnitt	Bügelabschneider mit bogenförmiger oder gerader Schneidrahtbewegung	Voll- und Hohlziegel, Drainrohre (Bündelverfahren), Kabelabdeckhauben, Nachpreßformlinge (Kacheln, Kanalsteine, Dachziegel)
Zwickerschnitt	Abschneider mit Zwickerschnitt	Spaltplatten, Kacheln (Strangpreßverfahren), Formlinge mit grafreiem Schnitt
Umlaufschnitt	Umlaufabschneider	Voll- und Hohlziegel, Drainrohre, Kabelabdeckhauben, Nachpreßformlinge
Fassonschnitt (Einzel- und Kolonnenschnitt)	Dachziegelabschneider Abschneider für Gerad- und Kurvenschnitt	Voll- und Hohlziegel, Drainrohre, Kabelabdeckhauben, Dachziegel Nachpreßformlinge, Hourdis, großformatige Wand- und Deckenziegel
Harfenschnitt	Kolonnenabschneider	Voll- und Hohlziegel, Drainrohre, Kabelabdeckhauben, Nachpreßformlinge

den Prozessen zuführen. Anschließend Entstapeln, Trennen der Formlinge von Formlingsträgern, Transport der Formlinge zu anderen Prozessen und Rückführung der Formlingsträger (Bild 4.43).

Aufbau und Arbeitsweise. *Abschneider* trennen im Ein- oder Mehrfachschnitt den aus Mundstück der Schneckenpresse austretenden Tonstrang in Formlinge. Gerad- und Fassonschnitt sind ausführbar (Tafel 4.5). Endloses Transportband mit hohem Reibwert zur Erzeugung

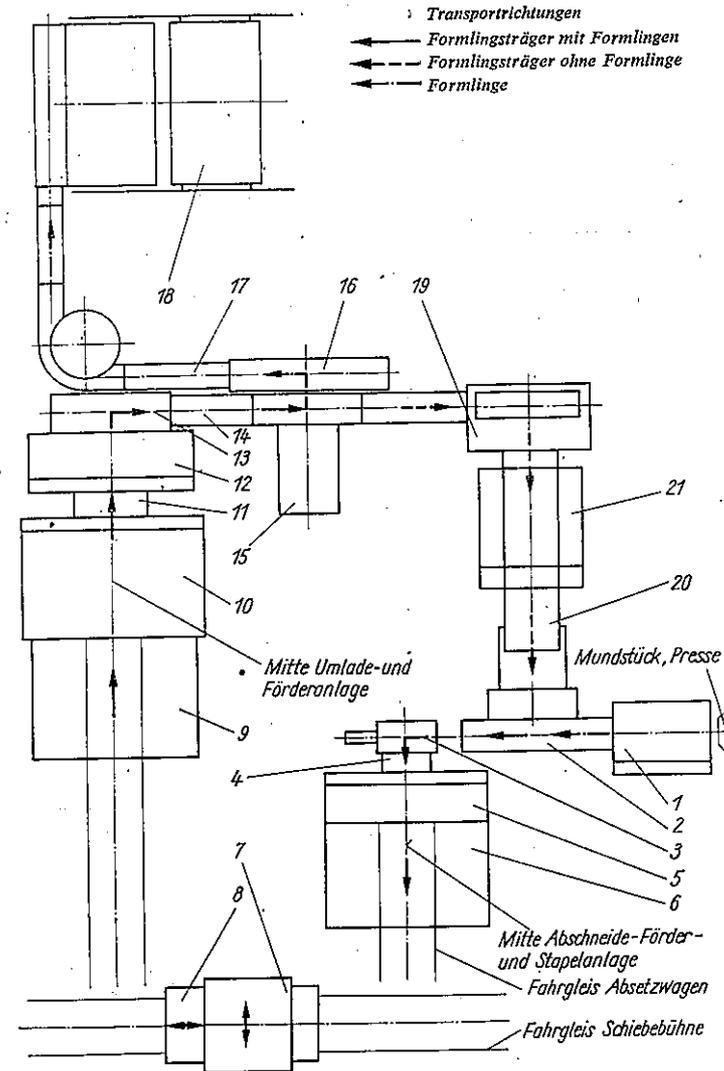


Bild 4.43. Transportanlage mit Einsatz der Lattentechnik

1 Abschneider; 2 Formlingsträgerbahn; 3 Rollenbahn; 4 Quertransporteur; 5 Senkrechtförderer; 6 Belademaschine; 7 Absetzwagen; 8 Schiebebühne; 9 Speichergerät; 10 Umladegerät; 11 Quertransporteur; 12 Senkrechtförderer; 13 Umsetzmaschine; 14 Walzenrollenbahn; 15 Entlade- und Umsetzvorrichtung; 16 Plattenbandbeschicker; 17 Plattenbandförderer; 18 Setzmaschine; 19 Abförderer; 20 Kettenquertransporteur; 21 Lattenspeicher

großen Steuerdrehmoments überträgt Stranggeschwindigkeit auf Meßwalze. Vom Strang über Transportband und Meßwalze erzeugtes Drehmoment wird zur Schnittausslösung und zum Antrieb der Abzugbänder verstärkt durch Hilfsantrieb und Rutschkupplung. Kurbeltrieb gewährleistet Schlitten- und Schneidrahtbewegung. Mehrere Schneidrahtanordnungen sind möglich (Bild 4.44).

Formlingsträgerbahn wird über Kettentrieb vom Abscheider gesteuert. Formlinge werden nach Schnitt von Transportbändern der Zuführeinrichtung übernommen und Sammelbändern übergeben. Anzahl und Abstand der Formlinge je Gruppe durch austauschbare Kettenräder oder stufenlos stellbare Kettengetriebe einstellbar. Durch Zählvorrichtung und Endschalter wird periodisch angetriebener Teil der Formlingsträgerbahn eingeschaltet; Formlinge werden von Formlingsträgern (TGL 18 194) übernommen und nachfolgendem Gerät zugeführt. Einschub der Formlingsträger erfolgt vom Trommelmagazin rechts oder links zum Stranglauf (Bild 4.45). Formlinge größerer Abmessungen sowie Drainrohre erfordern Kipp- oder Drehvorrichtung zwischen Abscheider und Formlingsträgerbahn.

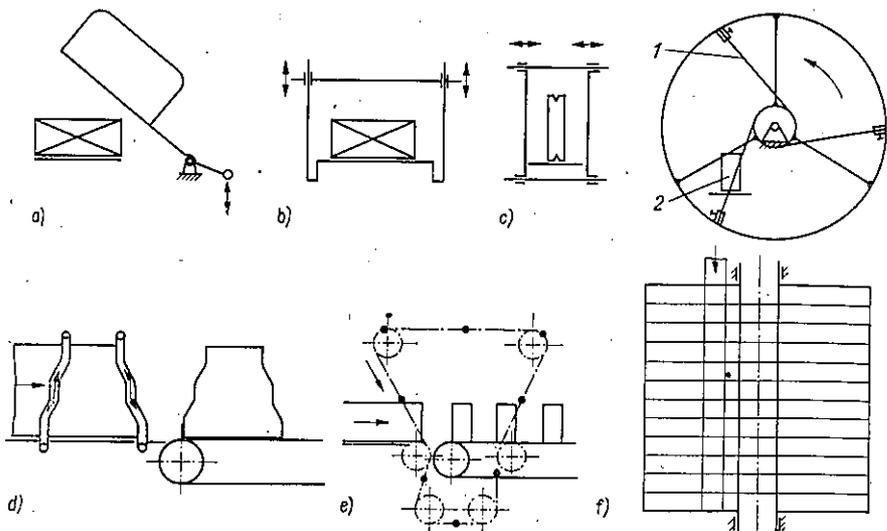


Bild 4.44. Schneidrahtanordnung

a) und b) Bügelschnitt; c) Zwickerschnitt; d) Fassonschnitt; e) Umlaufschnitt; f) Harfenschnitt
1 Schneiddrähte; 2 Formling

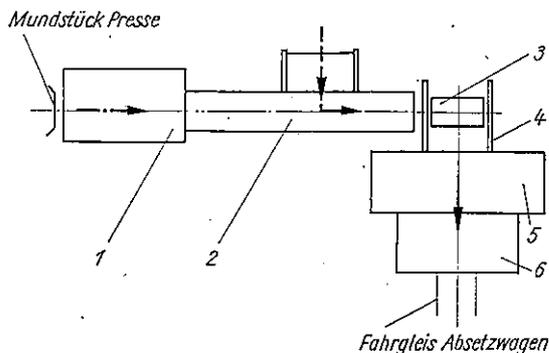


Bild 4.45
Aufstellvariante einer Abscheide-
Förder- und Stapel-Anlage

1 Abscheider; 2 Formlingsträger-
bahn; 3 Rollenbahn; 4 Quer-
transporteur; 5 Senkrechtförderer;
6 Belademaschine

Rollenbahn (heb- und senkbar) wird elektrohydraulisch angetrieben. Sie übernimmt kontinuierlich mit Formlingen belegtes Formlingsträgerpaar.

Quertransporteur übernimmt diese Formlingsträgerpaare durch zwei umlaufende Ketten, die periodisch durch Bremsmotor angetrieben werden. Quertransporteure sowie nachgeschaltete Geräte können rechts oder links zum Stranglauf angeordnet werden (Bild 4.45).

Senkrechtförderer übernehmen durch diskontinuierlich umlaufende Kette mit Auflagen die mit Formlingen belegten Formlingsträgerpaare vom Quertransporteur und stapeln sie in technologisch festgelegter Anzahl übereinander. Kettenantrieb über Schneckengetriebe und Elektromagnetkupplung mit Bremse oder über Bremsmotor; Steuerung elektromechanisch durch Endschalter.

Belademaschinen haben heb- und senkbares sowie hin- und herbewegbares Gerüst mit zwei-seitig angeordneten Formlingsträgerauflagen. Hub- und Fahrbewegungen werden durch kombinierten Kurven-Kurbeltrieb oder vollhydraulisch ausgeführt und sind in ihrer Länge verstellbar. Hubgerüst übernimmt stoßweise Formlingsträger mit Formlingen aus Senkrechtförderer und speichert sie. Belademaschinen sind für Doppel- oder Vielfachstoßtechnologie ausgelegt.

Absetzwagen bestehen aus Fahrgestell mit Tragarmgerüst. Sie entnehmen zwei oder mehrere Stöße belegter Formlingsträgerpaare aus Belademaschine, sind schienengebunden und haben stufenweise stellbaren elektromechanischen Fahrantrieb für Vor- und Rücktransport. Handsteuerung löst elektrohydraulischen Hubantrieb aus. Stromzufuhr von Batterie oder über Schleppkabel von Schiebebühne.

Schiebebühnen haben auf Fahrgestell ein Aufnahmegleis für Absetzwagen oder ziehen Anhänger mit mehreren Auf- und Abfahrgeleisen. Fahrantrieb ermöglicht schienengebundenen Vor- und Rücktransport, Stromzuführung von Oberleitung über Stromabnehmer. Schiebebühnen transportieren Absetzwagen mit preßnassen Formlingen von Abscheide-, Förder- und Stapelanlage (Naßseite) zur Trockneranlage. Nach erfolgtem Trockenprozeß wird Transport der getrockneten Formlinge zur Umlade- und Förderanlage (Trockenseite) durchgeführt.

Speichergeräte haben verfahrbares Gerüst mit starren Auflagen; sie gewährleisten diskontinuierliches Übernehmen der Formlingsträger mit Formlingen vom Absetzwagen und übergeben kontinuierlich kompletten Besatz an nachgeschaltete Maschine.

Umladegeräte sind mit diskontinuierlich vertikal umlaufenden Auflagen ausgerüstet (an zwei Transportkettenpaaren angelenkt), die Formlingsträger aufnehmen. Antrieb erfolgt durch Drehstrommotor über Elektromagnetkupplung, Keilriemenantrieb, Schneckengetriebe auf Transportketten; Steuerung elektromechanisch.

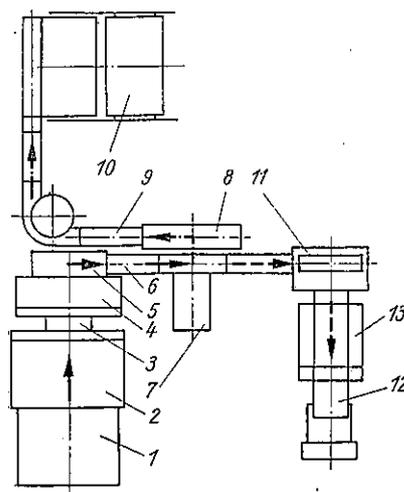


Bild 4.46
Aufstellvariante einer Umlade- und Förderanlage

1 Speichergerät; 2 Umladegerät; 3 Quertransporteur;
4 Senkrechtförderer; 5 Umsetzmaschine; 6 Walzen-
rollenbahn; 7 Entlade- und Umsetzvorrichtung;
8 Plattenbandbeschicker; 9 Plattenbandförderer;
10 Setzmaschine; 11 Abförderer; 12 Kettenquer-
transporteur; 13 Lattenspeicher

Quertransporteur übernimmt mit Formlingen belegte Formlingsträgerpaare schichtenweise vom Umladergerät und fördert sie mit umlaufendem Kettentrieb weiter (Aufbau analog Naßseite). Senkrechtförderer stapeln in einem Stoß die vom Quertransporteur geförderten Formlingsträgerpaare (Aufbau analog Naßseite).

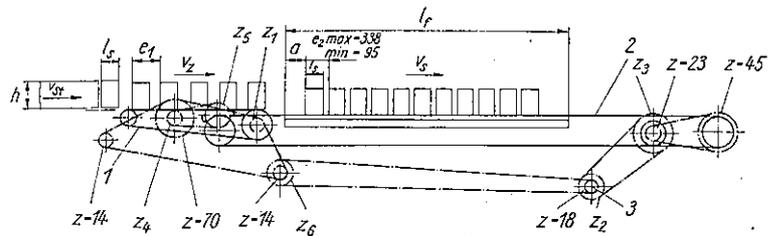


Bild 4.47. Antriebsprinzip einer Formlingsträgerbahn
Hersteller: VEB Keramikmaschinen Görlitz

1 Zuführband; 2 Sammelband; 3 Regulierkupplung
a freier Abstand am Formlingsträgerende; e_1 Abstand der Formlinge auf Zuführband; e_2 Abstand der Formlinge auf Sammelband; h Tonstranghöhe; l_f Formlingsträgerlänge; l_s Schnittlänge des Formlings; l_b Formlinghöhe bei Kippvorgang; l_b Formlingsbreite bei Drehvorgang; v_s Geschwindigkeit des Sammelbands; v_1 Geschwindigkeit des Tonstrangs; v_2 Geschwindigkeit des Zuführbands; z Zähnezahl der Kettenräder

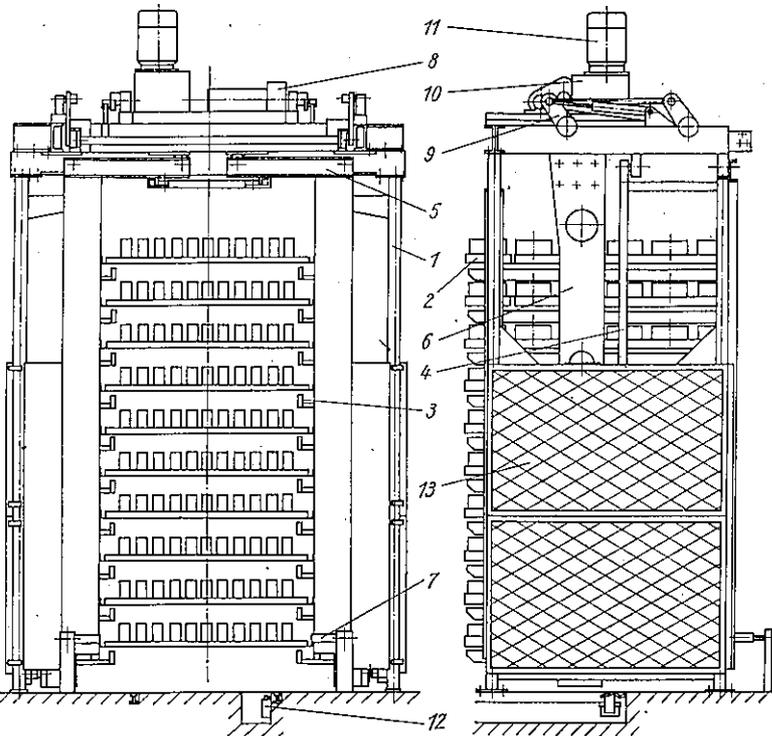


Bild 4.48. Belademaschine mit Speicher
Hersteller: VEB Keramikmaschinen Görlitz

1 Gerüst; 2 feste Auflage; 3 Speicherauflage; 4 Speicherrahmen; 5 Rollenbahnträger; 6 Hubkorb; 7 Speicherinlage; 8 Fahrtrieb; 9 Hubantrieb; 10 Ölbehälter; 11 Zahnradpumpenkombination; 12 Gleisschalter; 13 Schutzgitter

Umsetzmaschine hat heb- und senkbaren sowie hin- und herbewegbaren Umsetzschlitten. Antrieb durch Bremsmotor über Stirnradgetriebe, Schub-Kurbelmechanismus. Sie entnimmt jeweils ein Formlingsträgerpaar aus Senkrechtförderer und setzt auf Rollenbahn ab. Walzenwollenbahn besteht aus Gerüst mit Tragrollen. Antrieb durch Getriebemotor über Kettentrieb. Transportrichtung abhängig von Projekt nach rechts oder links von Umsetzmaschine möglich (Bild 4.46).

Entlade- und Umsetzvorrichtung übernimmt durch angetriebene Rollen die mit getrockneten Formlingen belegten Formlingsträgerpaare; Antrieb durch Getriebemotor über Keilriemenantrieb. Elektrohydraulischer Hubantrieb und periodischer Schubantrieb durch Getriebemotor bewirken Trennen der Formlinge von Formlingsträger.

Plattenbandbeschicker haben elektrohydraulischen Hubantrieb, der jeweils eine Schicht Formlinge auf Gleitblech von Entlade- und Umsetzvorrichtung übernimmt und auf zwei umlaufende Transportketten absenkt.

Plattenbandförderer hat endlose Transportkette mit eingehängten Platten aus Kunststoffstoffen. Antrieb durch Drehstrommotor über Getriebe, Keilriemen- und Kettentrieb. Transportrichtung zum Setzergleis kann über Bogenstücke variabel gestaltet werden. Formlinge werden von Platten übernommen und zur Setzstelle transportiert.

Setzmaschinen haben elektromechanisches oder elektrohydraulisches Hub- und Fahrwerk mit mechanisch, hydraulisch oder pneumatisch arbeitendem Greifersystem. Vorgruppierte Formlinge werden gegriffen und schichtweise entsprechend Setzschemata zu Stapeln auf Brennwagen gesetzt. Steuerung elektromechanisch oder elektronisch.

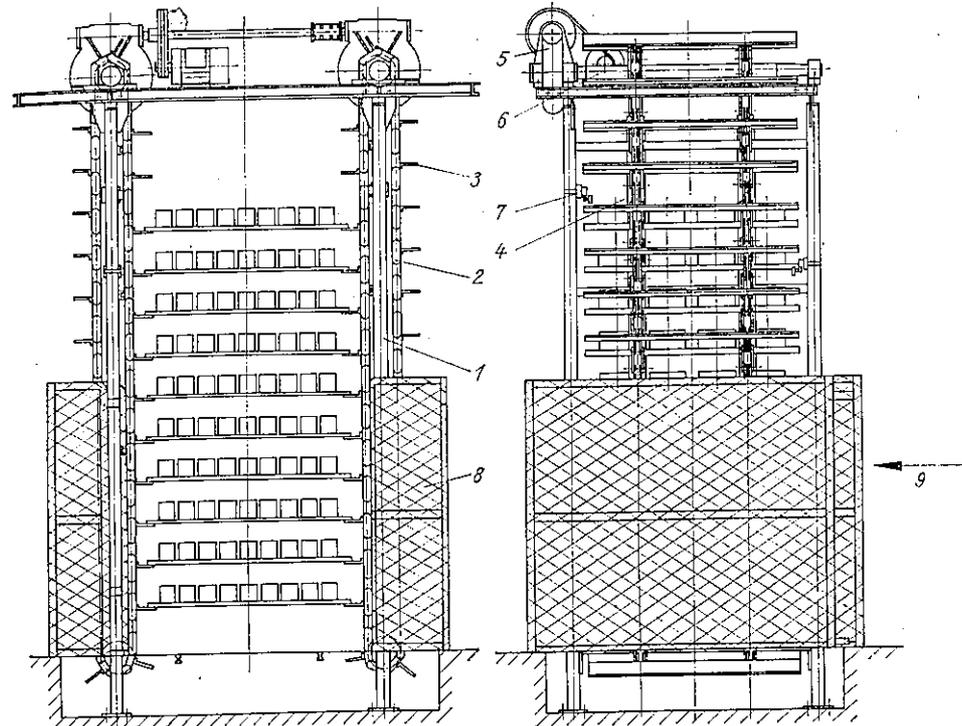


Bild 4.49. Umladergerät für Vielfachstoß
Hersteller: VEB Keramikmaschinen Görlitz

1 Gerüst; 2 Doppelkette; 3 Auflage; 4 Kettenführung; 5 Antrieb; 6 Antriebswelle; 7 Endschalter; 8 Schutzgitter; 9 Einfahrt Absetzwagen

Großraumspeicher für Formlingsträger gewährleisten Pufferung und Synchronlauf zwischen Naß- und Trockenseite der Transportanlage durch vertikal in beiden Richtungen sich bewegende Transportketten mit Auflagen. Kapazität im wesentlichen von Geschoßhöhe abhängig. Antrieb über Schneckengetriebe auf Transportketten; Steuerung elektromechanisch. Formlingsträger werden nach Trennen von Formlingen in Entlade- und Umsetzvorrichtung über Rollgänge oder Bandbahnen in Speicher transportiert und können nach Bedarf gespeichert oder sofort der Formlingsträgerbahn auf Naßseite zugeführt werden.

Ausführungsbeispiele. Formlingsträgerbahn (Bild 4.47). Antrieb der Transportbänder erfolgt kontinuierlich in Abhängigkeit von Tonstranggeschwindigkeit; Formlingsträgeraufgabe und -abtransport periodisch mit konstanter Drehzahl.

Formlingsträger $l_f = 1340 \dots 1540$ mm, Querschnitt $50 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$; Belastung eines Formlingsträgerpaars max. 800 N ; Abtransport $v = 0,65 \text{ m/s}$, $P = 2,2 \text{ kW}$, Durchsatz 720 Formlingsträgerpaare/h, Eigenmasse $1,05 \text{ t}$.

Belademaschine mit Speicher (Bild 4.48). Anzahl der Auflagen 7 bis 10 , Auflagenabstand $240 \dots 330$ mm, Abstand von Oberkante Schiene bis erste Auflage in der Trockenkammer $300 \dots 400$ mm, Formlingsträgerlänge 1340 bis 1540 mm, vertikaler Hub 70 mm, horizontaler Hub $300 \dots 400$ mm; Nutzlast je Auflagenpaar $2,5 \text{ kN}$, Gesamtnutzlast 25 kN ; Zahnradpumpenkomination nach TGL 10859, $P = 5,5 \text{ kW}$, Eigenmasse $2,1 \text{ t}$.

Umladegerät für Vielfachstoß (Bild 4.49). Auflagenabstand $280 \dots 360$ mm, Abstand von Oberkante Schiene bis erste Auflage in der Trockenkammer $300 \dots 400$ mm, Formlingsträgerlänge $1340 \dots 1540$ mm, nutzbare Auflagenbreite 121 mm, Auflagenbreite bei Einsatz eines Speichergeräts 58 mm; Fördergeschwindigkeit $v = 0,1 \text{ m/s}$; Nutzlast je Auflagenpaar 4 kN , Gesamtnutzlast 40 kN ; 2 Schneckengetriebe $i = 45:1$, $P = 5,5 \text{ kW}$, Eigenmasse $2,5 \text{ t}$.

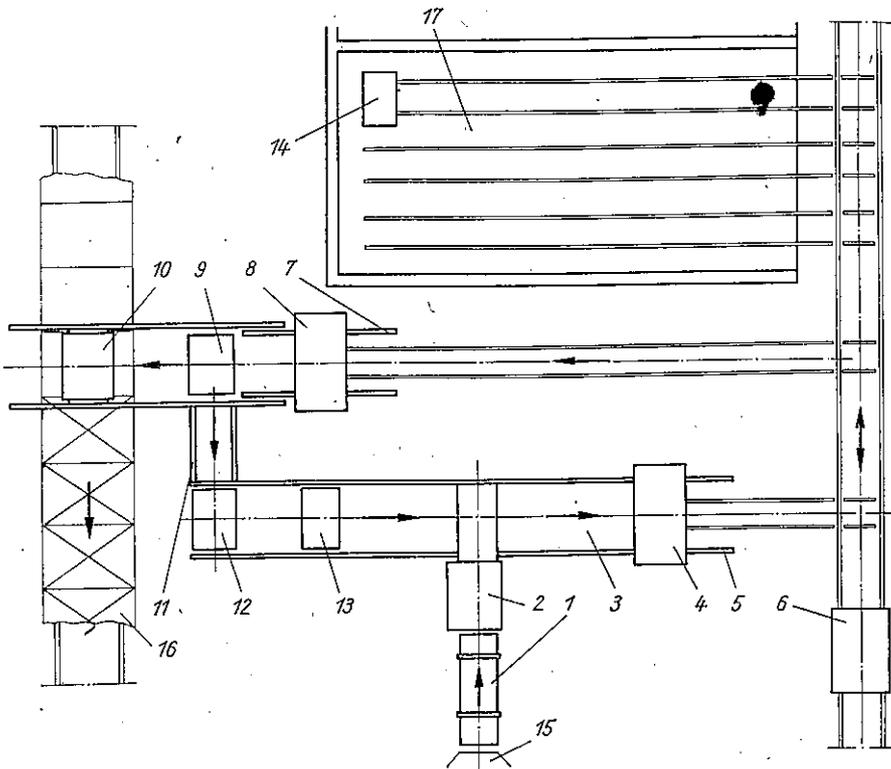


Bild 4.50. Transportanlage mit Einsatz der Palettentechnik und Kammertrocknung

1 Blockabschneider; 2 Blocktrenn- und -setzeinrichtung; 3 Rollenbahn mit Förderer; 4 Stapelvorrichtung; 5 Kettenförderer; 6 Palettenwagen; 7 Kettenförderer; 8 Entstapelvorrichtung; 9 Hubbühne; 10 Setzmaschine; 11 Rückföhrbahn; 12 Rollenbahn; 13 Speicher; 14 Palette; 15 Mundstück der Presse; 16 Tunnelofenwagen; 17 Großraumkammertrocknung

4.4.2. Palettentechnik

In Anlagen für Produktion großformatiger Formlinge werden große Transporteinheiten in Form von Stapelpaletten eingesetzt. Entsprechend Formlingshöhe kann Palettenhöhe variiert werden. Sie umfassen Einrichtungen zum Schneiden des Tonstrangs, zum Fördern, Stapeln, Setzen der Formlinge, Rückführen der Paletten und sind steuerungs-technisch zur Gesamtanlage verkettet. Man unterscheidet Transportanlagen für Einsatz bei Kammertrocknung (Bild 4.50) und bei Durchlauftrocknung (Bild 4.51).

Aufbau und Arbeitsweise (Kammertrocknung). Blockabschneider schneidet den aus Mundstück der Presse austretenden Tonstrang zu einem Block von max. 2000 mm Länge ab. Blockhöhe max. 325 mm, Blockbreite $190 \dots 300$ mm. Antrieb erfolgt über Getriebemotoren.

Blocktrenn- und Setzeinrichtung übernimmt Block und trennt ihn durch eingespannte Schneiddrähte gleichzeitig in max. 16 Formlinge. Vakuumgreifer erfassen geschnittene Formlinge und transportieren sie auf bereitstehende Palette. Vakuumgreifer werden entlüftet und setzen Formlinge ab.

Durch vorhandenes zweites Greifersystem werden parallel bereits Formlinge des nächsten getrennten Blocks angesaugt. Beim Transport zur Palette erfolgt automatisch Abstandsänderung der Formlinge entsprechend Setzschemata auf Palette (4.52).

Rollenbahn mit Förderer besteht aus Palettenzuführer, Schrittförderer, Palettentransporteur und -arretierung. Antrieb elektromechanisch durch Getriebe- und Getriebemotoren. Fördergeschwindigkeit periodisch mit $v = 0,25 \text{ m/s}$. Wartungsfreie Lagerung der Laufrollen durch eingesetzte Sprelfallobuchsen. Schrittförderer bringt Palette jeweils um eine Reihenbreite weiter.

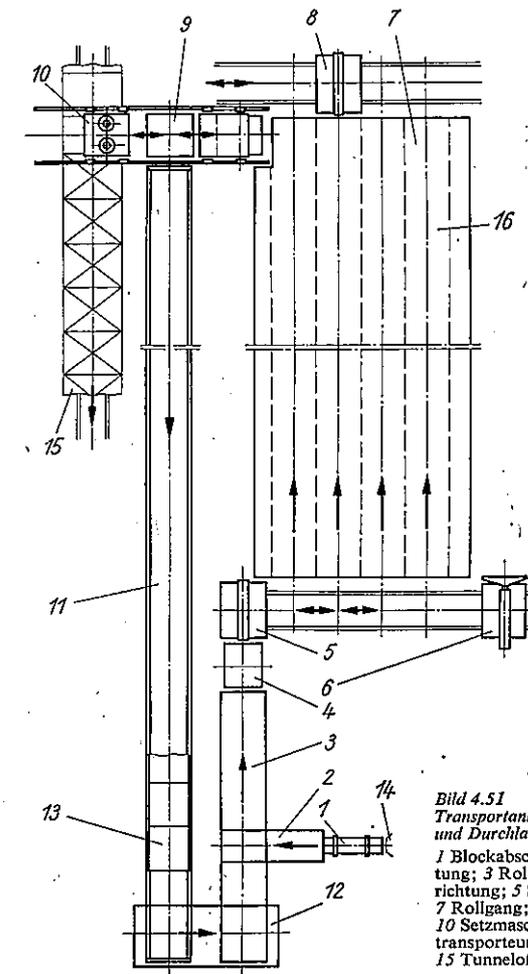


Bild 4.51
Transportanlage mit Einsatz der Palettentechnik und Durchlauftrocknung

1 Blockabschneider; 2 Blocktrenn- und -setzeinrichtung; 3 Rollenbahn mit Förderer; 4 Stapelvorrichtung; 5 Schiebebühne; 6 Schubmaschine; 7 Rollgang; 8 Schiebebühne; 9 Hubbühne; 10 Setzmaschine; 11 Rückföhrbahn; 12 Quertransporteur; 13 Palette; 14 Mundstück der Presse; 15 Tunnelofenwagen; 16 Durchlauftrockner

Stapelvorrichtung hat elektrohydraulisches Antriebsaggregat. Sie übernimmt von Rollbahn mit Formlingen belegte Paletten und bildet Stapel von unten nach oben.

Kettenförderer der Naßseite von Getriebebremsmotor angetrieben. Fördert Palettenstapel aus Bereich der Stapelvorrichtung heraus und stellt ihn für Abtransport bereit.

Palettenwagen hat zwei schienengebundene Fahrsysteme und ein Hubwerk. Antrieb erfolgt elektrohydraulisch, Bedienung durch eine Arbeitskraft. Palettenwagen hebt vom Kettenförderer Palettenstapel ab und fährt auf Hauptgleis der Kammertrocknung (Bild 4.53). Auf Schienenkreuzung erfolgt Umspuren auf zweites Fahrwerk und anschließend Fahrt zum Gleis der zu belegenden Trockenkammer. Erneutes Umspuren auf anderes Fahrwerk und Einfahrt in Kammer sowie Absetzen des mit preßnassen Formlingen belegten Palettenstapels. Auf Rückfahrt wird aus zu entleerender Trockenkammer ein mit getrockneten Formlingen belegter Palettenstapel transportiert.

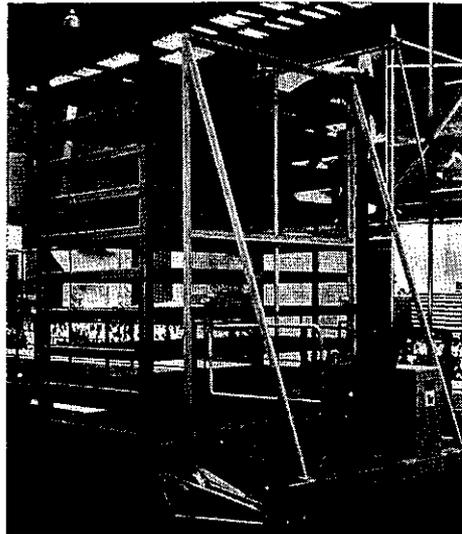


Bild 4.52
Blocktrenn- und -setzeinrichtung
Hersteller: VEB Keramikmaschinen Görlitz
1 Rahmen; 2 Rollenbahn; 3 Tragrolle;
4 Führungsrolle; 5 Schneidwagen; 6 Hub-
balken; 7 elektrohydraulisches Betätigungs-
gerät; 8 Saugplatte; 9 zu belegende Palette;
10 geschnittene Formlinge

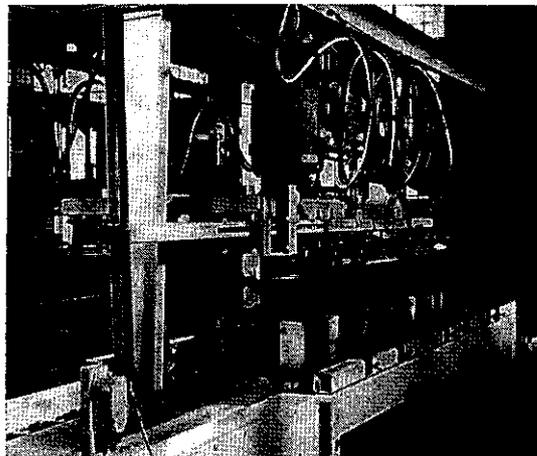


Bild 4.53
Palettenwagen
Hersteller: VEB Keramikmaschinen
Görlitz
1 Rahmen; 2 Laufrad des Längsfahr-
werks; 3 Laufrad des Querfahrwerks;
4 Schwinge; 5 Fahrersitz; 6 Steuer-
schrank; 7 Schutzgitter; 8 Paletten-
stapel; 9 Laufschiene

Kettenförderer der Trockenseite zum Absetzen des Palettenstapels durch Palettenwagen. Er fördert kompletten Stapel zum nachgeschalteten Gerät.

Entstapelvorrichtung hat analogen Aufbau wie Stapelvorrichtung auf Naßseite. Es erfolgt Trennung der einzelnen Palette aus Stapel und Weitertransport.

Hubbühne besteht aus Übergabe- und Hubstation. Antrieb der Übergabestation mit Rollenbahn durch Getriebebremsmotor. Antrieb der Hubstation mit Zahnradpumpenkombination nach TGL 10856. Auf Hubbühne erfolgt Bereitstellung der Formlinge zum Setzen.

Setzmaschine hat elektronisch gesteuerten Gleichstromantrieb für Fahr- und Hubwerk, Hydraulikantrieb für Greifer, Greiferabstands- und Reihenabstandsänderung sowie Drehstromantrieb für Drehbewegung der Greifer. Formlingsbesatz der von Hubbühne bereitgestellten Palette wird von Greifern aufgenommen, angehoben, abgefahren und anschließend auf Tunnelofenwagen abgesetzt. Beim Heben erfolgt gleichzeitig Drehen des Besatzes entsprechend Setzschemata. Reihen- und Mittenabstandsänderung der Greifer für Stapelbildung während der Fahrt möglich (Bild 4.54).

Rückföhrbahn wird durch Getriebebremsmotor elektromechanisch angetrieben. Es erfolgt Abtransport der leeren Paletten aus Bereich Setzmaschine in Richtung Naßseite.

Rollenbahn (heb- und senkbar) hat elektrohydraulischen Antrieb durch zwei Betätigungsgeräte. Einlauf der Palette mit Spurweite 1400 mm, Absenken auf Rollenbahn mit Spurweite 2600 mm.

Fahrtrichtungswechsel beträgt 90°.

Speicher hat elektrohydraulischen Antrieb über Zahnradpumpenkombination. Durch heb- und senkbaren Hubtisch Palettenstorage möglich. Wenn Speicherung nicht erforderlich, durchläuft leere Palette das Gerät auf Rollenbahn mit Förderer. Kreislauf zur Naßseite geschlossen.

Palette ist Schweißkonstruktion und besteht aus Stahlleichtbauprofilen; Abmessungen 2600 mm × 1400 mm, Höhe 250, 300 oder 375 mm.

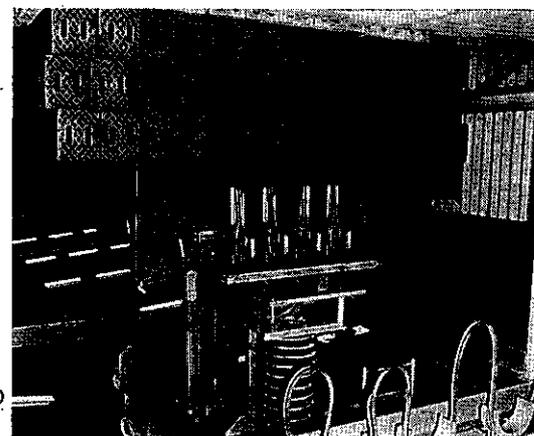
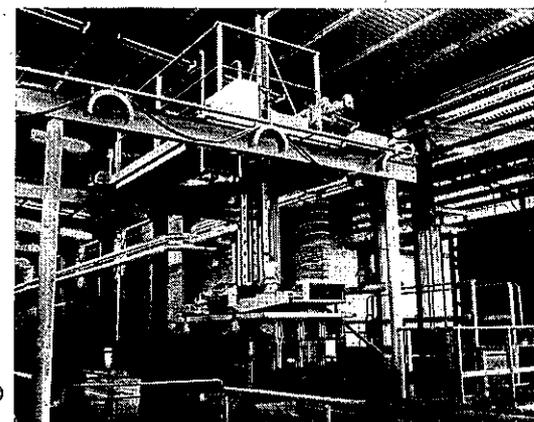


Bild 4.54
Setzmaschine
Hersteller: VEB Keramikmaschinen
Görlitz

- a) Gesamtansicht
1 Wagenbahn; 2 Wartungswagen;
3 Hubsäule; 4 Greiftraverse;
5 Hubantrieb; 6 Schaltschrank;
7 Steuerschrank; 8 Steuerleitung;
9 entstapelte Palette; 10 Leerpalette
b) Greifersystem bei Stapelbildung
1 Greiftraverse; 2 Greiferrahmen;
3 Greifelement; 4 Steuertaster;
5 Fahrwerksrahmen; 6 Fahrtrieb;
7 gesetzte Stapel; 8 Tunnelofenwagen

Ausführungsbeispiele. Blocktrenn- und Setzeinrichtung (Bild 4.52) trennt eingelaufenen Block in einem Arbeitsspiel in einzelne Formlinge. Anzahl der Schneiddrähte entsprechend Formlingslänge einstellbar. Maschine hat zwei im Wechsel arbeitende Greifersysteme. Geschnittene Formlinge werden von elektrohydraulisch betätigten Vakuumgreifern angesaugt und durch Kettentrieb zur Palette transportiert und nach Enflüften abgesetzt. Anzahl Vakuumgreifer abhängig von Anzahl geschnittener Formlinge (einstellbar). Saugplatte der Greifer wird durch Saugfläche der Formlinge bestimmt.

Blocklänge 1500 ... 2000 mm, Blockhöhe 90 ... 325 mm, Blockbreite 190 ... 300 mm, Förderweg 2800 mm, Schneidweg 580 mm, Hublänge 60 mm, Anzahl der Schneiddrähte max. 16; Nutzlast je Block max. 2 kN, $P = 7,6$ kW, Eigenmasse 1,75 t.

Palettenwagen (Bild 4.53) hat zwei Fahrsysteme, die unabhängig voneinander mit je einem Hydromotor (TGL 10860) angetrieben werden. Heb- und Senkvorang wird durch vier Arbeitszylinder (TGL 10906) bewirkt. Antriebe haben gemeinsame Hydropumpeneinheit. Auf Schienenkreuzungen erfolgt Umspuren des Palettenwagens.

Stapelhöhe max. 3000 mm, Hublänge 60 mm, lichte Höhe unter Palettenstapel 500 mm, lichte Weite zwischen Palettenauflagen in Trockenkammer 2400 mm, Spurweite in Trockenkammer 2120 mm, Spurweite auf Hauptgleis vor Trockenkammern 1400 mm; Fahrgeschwindigkeit in Kammer $v_{max} = 1,2$ m/s, Fahrgeschwindigkeit auf Hauptgleis $v_{max} = 1,33$ m/s; Nutzlast max. 8 t; $P = 7,5$ kW, Eigenmasse 1,8 t.

Setzmaschine (Bild 4.54) hat auf Wagenbahn Fahr- und Hubwerk angeordnet. An Hubsäule befinden sich zwei Greifersysteme. Formlingsbesatz wird in hydraulisch betätigten Greifern gegriffen und von Hubwerk angehoben. Gleichzeitig kann Drehen in beliebiger Richtung erfolgen. Fahrwerk ermöglicht Transport zum bereitgestellten Tunnelofenwagen. Hub- und Fahrwerk haben elektronisch geregelten Gleichstromantrieb. Reihen- und Greifmittlenabstandsänderungen automatisch auf Fahrstrecke. Anordnung der Greifer nach Setzschemata. Gesamtsteuerung der Setzmaschine programmiert.

Wagenbahnhöhe 3700 mm, Spurweite 3200 mm, von Greifern erfaßte Bereitstellfläche 2600 mm x 1400 mm; max. zwei Bereitstellflächen möglich, max. fünf Stapel können nebeneinander gebildet werden; Stapelhöhe max. 1800 mm; Anzahl der Greifer 2, Greiferabstand 1280 mm, Greiferabstandsänderung max. +200 mm, Formlingsreihenabstandsänderung insgesamt max. 250 mm; Drehrichtung der Greifer beliebig, Drehwinkel jeweils 90°; Nutzlast 8 kN, Fahrgeschwindigkeit $v = 1,5$ m/s, Fahrbeschleunigung $1 \dots 1,2$ m/s², Hubgeschwindigkeit $v = 0,4$ m/s, Hubbeschleunigung $0,7 \dots 1,3$ m/s²; $P = 22,6$ kW, Eigenmasse 3 t.

Literatur

- Ballof, A.: Die hydraulischen Preßautomaten für Wand- und Bodenplatten aus Steingut und Steinzeugmassen. *Keram. Z.* 15 (1963) 10, S.621-624.
- Bothge, R.D.: Das Glasieren von Wandplatten. *Euro-Ceramic 10* (1960) 11, S.338-340; 12, S.368-370.
- Brand, H.: Einsatz mechanischer Pressen in der feuerfesten Industrie. *Keram. Z.* 15 (1963) 3, S.134-143.
- Bulawin, J.A.: Maschinen zur Herstellung von Feinkeramik. Moskau: Maschgis 1962.
- Charkov, P.N.; Salogub, M.P.: Fließlinie zum Glasieren von Massenartikeln. Ref. Inf. Ser. *Keram. Prom.* (1974) 7, S.16-18.
- Entelis, F.S.: Untersuchung der Prozesse der plastischen Formänderung. *Steklo i Keramika* (1963) 10, S.14-20.
- Entelis, F.S.; Scheinina, M.J.: Das Formen hohler keramischer Erzeugnisse mit umlaufendem Werkzeug. *Steklo i Keramika* (1964) 5, S.21-24.
- Faulwetter, J.: Die Entwicklung von Naßpreßvollautomaten für die technische Keramik. *Silikattechnik 11* (1960) 5, S.224-226.
- Fischer, E.: Einrichtungen zur wirtschaftlichen Herstellung von Formteilen durch Pressen und Sintern. *Sprechsaal 97* (1964) 24, S.701-710.
- Fischer, W.; Jarzak, K.; Kuchler, H.; Storm, W.: Technisch-ökonomische Analyse der feinkeramischen Formgebungstechnologie. *Silikattechnik 24* (1973) 10, S.329-332.
- Häillier, M.: Verfestigen und Trocknen keramischer Massen in der Geschirrporzellanindustrie - Beschreibung von Nutzen und wirtschaftlichen Ergebnissen der Anwendung von Mikrowellen. *L' ind. ceram.* (1975) 684, S.327-329.
- Automatische Gießanlage zum Formen von Keramikartikeln. *Keram. Zeitschrift*, 27 (1975) 1, S.23-24.
- Vollautomatische Fliesenpresse für Wand- und Bodenplatten. *Keram. Zeitschrift*, 26 (1974) 11, S.650.
- Herd, K.-H.; Bergholz, A.: Temperatur- und Schwindungsverhalten trockenender keramischer Massen und Tone. *Silikattechnik 16* (1965) 12, S.375-379.
- Herd, K.-H.: Untersuchungen über das Trocknungsverhalten keramischer Massen und Tone - Dissertationsreferat. *Silikattechnik 17* (1977) 11, S.370.
- Hofferbert, P.: Vollautomatische Fliesenpressen. *Keram. Z.* 15 (1963) 10, S.625-628.
- Leupolz, V.: Praktische Anwendung der Heißaufbereitung und -verformung in der Ziegelindustrie. *Keram. Z.* 16 (1964) 6, S.353-361.
- Lewizky, G.D.: Mathematische Analyse des Betriebes der Schneckenflügel der Vakuumstrangpresse. *Steklo i Keramika* (1963) 8, S.31-38.
- Lewizky, G.D.: Untersuchung der Preßfähigkeit des Schneckenmechanismus. *Steklo i Keramika* (1964) 10, S.26 bis 32.
- Mage, H.: Automatisierung der Formgebung in der feinkeramischen Industrie. *Silikat-Journal*, 14 (1975) 3, S.81 bis 92.
- Murray, M.; Tauber, A.: Anwendung der Trocknungstheorie beim Entwurf von Trocknern für die Grobkeramik (franz.). *L'ind. ceram.* (1975) 681, S.93-96.
- Nentwig, H.: Der Stand der Technik auf dem Gebiet der Vakuumstrangpressen. *Silikattechnik 14* (1963) 4, S.122 bis 125.
- Plaul, Th.: Technologie der Grobkeramik. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1964.
- Rogowoi, M.P.: Wege zur Verbesserung der Ziegelqualität. *Die Ziegelind.* (1964) 17/18, S.631-634.
- Seanor, J.G.: Laminations-what causes them in clay (Part III) (Ursachen der Ribildung in Tonerzeugnissen. Teil III). *Brick a. Clay 142* (1963) June, S.64-67.
- Selfert, B.: Ein Schritt auf dem Wege zur Automatisierung von Ziegeleien. *Keram. Z.* 17 (1965) 3, S.155-157.
- Widmann, H.: Hydrostatische Pressen. *Glas-Email-Keramo-Technik 16* (1965) 9, S.337-341.

5. Holzverarbeitungsmaschinen

von Dipl.-Ing. W. Schmutzler

- 5.1. Entwicklungsrichtung 247
- 5.2. Energetische und kinematische Kenngrößen 247
- 5.2.1. Hauptschnittkraft und Verschleiß 247
- 5.2.2. Kreisförmig drehende Schnittbewegung 249
- 5.2.3. Umlaufende, geradlinige Schnittbewegung 254
Bandsägen - Bandschleifen
- 5.2.4. Geradlinig hin- und hergehende Schnittbewegung 260
- 5.3. Sägemaschinen 262
- 5.3.1. Senkrechtgatter 262
Arbeitsweise - Ständer - Sägerahmen - Vorschubsteuerung - Konstruktion - Sägeblattspannvorrichtungen - Zu- und Abtransporteinrichtungen
- 5.3.2. Sägen mit umlaufender Hauptbewegung 268
Blockbandsägen - Trennbandsägen
- 5.3.3. Sägen mit kreisförmig drehender Hauptbewegung 272
Doppelbesäumskreissägen - Leistenkreissägen - Querkreissägen - Formatkreissägen
- 5.4. Fräsmaschinen 274
- 5.4.1. Abrichtfräsmaschinen 274
- 5.4.2. Dickenfräsmaschinen 275
- 5.4.3. Unterfräsmaschinen 275
- 5.4.4. Oberfräsmaschinen 278
- 5.4.5. Kettenfräsmaschinen 278
- 5.4.6. Maschinenkombinationen 278
Bearbeitungseinheiten - Vorschubeinrichtungen für Profilfräsmaschinen - Vorschub- und Druckeinrichtungen für Doppellendprofiler - Verkürzung von Hilfszeiten - Lage von Planfräswerkzeugen
- 5.5. Dübellochbohrmaschinen 283
- 5.6. Schleifmaschinen 284
- 5.6.1. Furnierschleifmaschinen 284
Zylinder- und Breitbandkontaktschleifmaschinen - Normalbandschleifmaschinen
- 5.6.2. Dickenschleifmaschinen 287
- 5.6.3. Schleifzylinder 287
Geradbespannungszylinder - Spiralbespannungszylinder - Kontaktwalzen - Kontaktschuhe
- 5.6.4. Steuerung für Breitschleifbänder 289
- 5.6.5. Hauptkräfte im Schleifbandtrieb 290
- 5.7. Maschinen zum Zerkleinern 290
- 5.7.1. Hackschnitzler 292
Werkzeuge - Angetriebener Vorschub - Einzugsbeschickung - Planschnitzler
- 5.7.2. Zerspanungsmaschinen 294
Werkzeuge - Vorschubeinrichtungen
- 5.7.3. Mühlen, Raffineure, Messerringzerspaner 298
Hammermühlen, Schlagkreuzmühlen - Zahnscheibenmühlen - Pralltellermühlen - Stahlscheibenraffineure - Messerringzerspaner

5.8. Rotoreintrindungsmaschinen	300
5.9. Maschinen zur Herstellung von Furnieren	301
5.9.1. Furnierrundschalmaschinen	301
Arbeitsweise – Blockeinspannung – Messer- und Druckbalken – Schnittwinkleinstellung – Furnierdickengetriebe – Hauptantrieb – Leistung – Zentrier- und Beschickleinrichtungen – Exzentrisch-schalvorrichtungen	
5.9.2. Furnierflachschalmaschinen	305
Bauarten und Arbeitsweise – Gestell – Tisch – Blockspannung – Furnierdickenschaltgetriebe – Werkzeugschlitten – Antriebe	
5.10. Maschinen zum spanlosen Formen	308
5.10.1. Furnierfugenverklebemaschinen	308
5.10.2. Heißpressen	308
Gestelle – Heizplatten – Wärmeisolation – Hydraulischer Antrieb – Beschickung und Entleerung	
5.10.3. Maschinen zum Schneiden	315
Furnierklipper – Furnierpaketscheren	
5.11. Maschinen zum Beschichten	315
5.11.1. Schmalflächenbeschichtungsmaschinen	315
5.11.2. Lackgießmaschinen	316
5.11.3. Lackauftragmaschinen	316
5.12. Lärmbekämpfung	317
Literatur	319

Formelzeichen

<i>A</i>	Fläche, Konstante	<i>m</i>	Poissonsche Zahl
	Spanquerschnitt	<i>n</i>	Drehzahl
<i>a</i>	Beschleunigung, Dicke	<i>P</i>	Leistung
<i>b</i>	Breite, Spanbreite	<i>p</i>	Druck
<i>C</i>	Federsteife, Konstante	<i>Q</i>	Flüssigkeitsstrom
<i>c</i>	Gaußsches Krümmungsmaß, Proportionalitätsfaktor, Steifigkeit	<i>r, R</i>	Radius
		<i>S</i>	Schärfmaß
		<i>s</i>	Strecke, Vorschub, Weg
<i>d, D</i>	Durchmesser	<i>t</i>	Teilung
<i>E</i>	Elastizitätsmodul	<i>T</i>	Temperatur
<i>e</i>	Eingriffsgröße	<i>u</i>	Vorschubgeschwindigkeit
<i>F</i>	Kraft	<i>V</i>	Volumen
<i>f</i>	Frequenz	<i>v</i>	Schnittgeschwindigkeit
<i>G</i>	Gleitmodul	<i>W</i>	Arbeit
<i>H</i>	Hub	<i>z</i>	Zähnezahl,
<i>h</i>	Höhe, Spandicke		spezifische Produktivität
<i>i</i>	Anzahl	α	Freiwinkel, Kurbelwinkel,
<i>J</i>	Massenträgheitsmoment		Umschlingungswinkel
<i>K</i>	Konstante	β	Keilwinkel, Kerbverhältnis
<i>k</i>	Korrekturfaktor, Knotenanzahl, spezifische Kraft	γ	Spanwinkel
		δ	Schnittwinkel,
			Ungleichförmigkeitsgrad
<i>l, L</i>	Länge	ϵ	Hubverlustfaktor, Beiwert
<i>M</i>	Moment	η	Wirkungsgrad

λ	Schubstangenverhältnis, Verdrehwinkel	Indizes	
μ	Reibungszahl	b	Biegung
ρ	Dichte	u	Umfang
ρ'	Auflockerungsfaktor	w	Wechsel
		z	Zug

5.1. Entwicklungsrichtung

Allgemeine Entwicklungsschwerpunkte sind Steigerung der Arbeitsproduktivität, Genauigkeit, Betriebssicherheit und Schutzgüte, Verringerung der Schnittverluste.

Hohe *Arbeitsproduktivität* wird erzielt durch angetriebenen Vorschub, gleichzeitiges Ausführen mehrerer Arbeitsgänge, Aufgabe- und Abnahmevorrichtungen, Verkettung, Automatisierung, schnelles Umstellen der Maschine auf andere Abmessungen und Formen, kurze Haupt- und Hilfszeiten (besonders durch Schnellspannen und -wechseln des Werkzeugs) sowie selbsttätige Kontrolleinrichtungen.

Voraussetzung für *Arbeitsgenauigkeit* sind steife Gestelle, Tische, Supporte und Werkzeugspindeln, lange spielarme Führungen, spielarme Werkzeugspindellagerungen. Genauigkeitsgrenzen werden durch Holz und Holzwerkstoffe selbst gesetzt. Beim Fräsen und Schleifen ist Arbeitsgenauigkeit von IT 10 erreichbar.

Holz- und Holzwerkstoffe verlangen hohe Spangeschwindigkeit. Formsteife und Schwingungsverhalten bestimmen Aufbau schnelllaufender Maschinen; das ist besonders bei Schweißkonstruktionen zu beachten.

Lärminderung ist wichtig bei Spindeldrehzahlerhöhung und beim Zusammenfassen mehrerer Bearbeitungseinheiten zu automatisierten Maschinen, wobei Lärmbewertungszahl auf N 100 nach TGL 10687 steigt (s. a. S. 317).

Umweltschutz verlangt verbesserte Erfassung von Stäuben und Spänen an der Anfallstelle und mehrstufige Abscheidesysteme bei der pneumatischen Förderung zur Begrenzung der Emissionen auf die gesetzlichen Normative [5.1].

5.2. Energetische und kinematische Kenngrößen

5.2.1. Hauptschnittkraft und Verschleiß

Für Festlegung von Leistungskenngrößen müssen Größt- und Mittelwerte von Drehmoment und Leistung am Werkzeug bekannt sein. Von der am Werkzeug angreifenden Schnittkraft hat dabei nur leistungsführende Teilkraft F_h (Hauptschnittkraft) in Richtung der Schnittgeschwindigkeit v Bedeutung. Da Vorschubgeschwindigkeit u klein gegen Schnittgeschwindigkeit, ist Momentangeschwindigkeit eines Schneidenspunkts relativ zum Werkstück etwa gleich Schnittgeschwindigkeit.

Hauptschnittkraft [5.2]:

$$F_h = F_t + F_d + F_r \quad (5.1)$$

$$F_h = k_s A = k_s h b; \quad (5.2)$$

F_t	Trennkraft, trennt Werkstoff aus dem Zusammenhang.
F_d	Deformationskraft, deformiert Span während des Trennens und der Fortbewegung zwischen Schneidkante und Spanfläche.
F_r	Reibungskraft zwischen Span und Spanfläche, Schneidkante und Schnitt- und Arbeitsfläche.
k_s	spezifische Hauptschnittkraft, s. a. Gl. (5.3) und (5.23).
A	Spanquerschnitt,
h	Spandicke,
b	Spanbreite.

k_s ändert sich mit Spandicke, und zwar häufig nach

$$k_s = k_{s1,1} h^{-m}; \quad (5.3)$$

$k_{s1,1}$ spezifische Hauptschnittkraft bei Spandicke 1 mm und Spanbreite 1 mm, lufttrockenem Holz und arbeits-scharfen Schneiden (Tafeln 5.1 und 5.2).

Bei feuchtem Holz und anderem Schneidenzustand muß $k_{s1,1}$ mit k_u für Holzfeuchtigkeit und k_a für Schneidenabstumpfung multipliziert werden (Tafeln 5.3 und 5.4).

k_s -Werte streuen bei Holz- und Holzwerkstoffen stark. Man begrenzt Streubereich mit zwei Linien, die 90% aller Werte einschließen, und rechnet mit höheren Werten, um Leistungskenngrößen zuverlässig vorzubestimmen.

Tafel 5.1. Werte für $k_{s1,1}$ und m beim Fräsen; $v = 38 \text{ m/s}$

Werkstoff	$k_{s1,1}$ N/mm ²	m	
Buchenspanplatte	15,3	0,38	
Buche	14,2	0,31	
Kiefer	parallel	11,8	0,33
	zur Faser	7,6	0,50
Pappel	7,6	0,50	

Tafel 5.3. Werte für k_u beim Sägen auf Senkrechtgatter; $v_m = 6 \text{ m/s}$

Holzfeuchtigkeit %	k_u
15	1,00
25 und 100	1,03
50 und 90	1,05
70	1,08

Tafel 5.2. Werte für $k_{s1,1}$ beim Sägen auf Senkrechtgatter; $v_m = 6 \text{ m/s}$; $m = 0,33$

Schnittwinkel, δ°	$k_{s1,1}$ in N/mm ²	
	Kiefer	Eiche
60	29,5	54,0
65	35,4	62,0
70	39,0	70,0
75	43,2	78,5
80	47,5	85,5

Tafel 5.4. Werte für k_a beim Sägen auf Senkrechtgatter; $v_m = 6 \text{ m/s}$

Arbeitszeit h	k_a
0,5	0,85
1	1,00
2	1,15
3	1,30
4	1,40

Scharf geschliffene Schneidkante verschwindet mit Einsetzen der Bearbeitung; anschließend erfolgt langsame Abstumpfung. Arbeitsscharf nennt man Werkzeug, das nach Schärfen kurze Zeit im Einsatz war und bezüglich Verschleiß und wirkender Schnittkräfte Beharrungszustand erreicht hat. Es ist stumpf, wenn infolge großen Schneidversatzes feinbearbeitete Arbeitsfläche nicht mehr erreicht wird. Verschleißverhalten der Schneide bestimmt Wirtschaftlichkeit des Spanens. Maß für Standzeitkriterium ist Schneidversatz SV, gemessen auf Schneiden-freifläche. Schneide verschleißt nahezu kreisbogenförmig; Span- und Freifläche tangieren Schneidenrundung

$$r = SV \tan \beta/2. \quad (5.4)$$

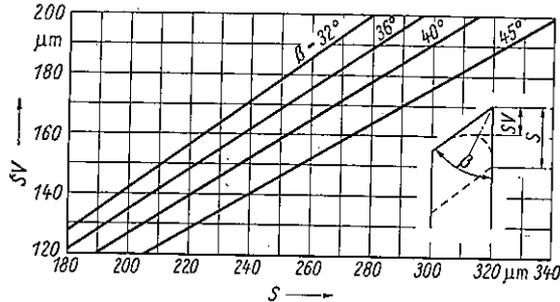


Bild 5.1
Schärffmaß S , abhängig vom Schneid-
versatz SV bei kreisbogenförmigem
Verschleiß der Schneidkante

Schärffmaß (Bild 5.1)

$$S = \frac{SV}{1 - \tan(\beta/2)}. \quad (5.5)$$

Verschleiß wird charakterisiert durch bezogenes Verschleißvolumen

$$\frac{V_v}{b} = r \left[SV - \frac{\pi r (180 - \beta)}{360} \right] \frac{V}{\text{mm}^3} \left| \frac{b; r; SV}{\text{mm}} \right| \frac{\beta}{^\circ}. \quad (5.6)$$

Standzeitkriterium beim Fräsen $SV = 90 \mu\text{m}$ bei Hartmetall, $SV = 175 \mu\text{m}$ bei legiertem Kaltarbeitsstahl und Schnellarbeitsstahl (Bild 5.2).

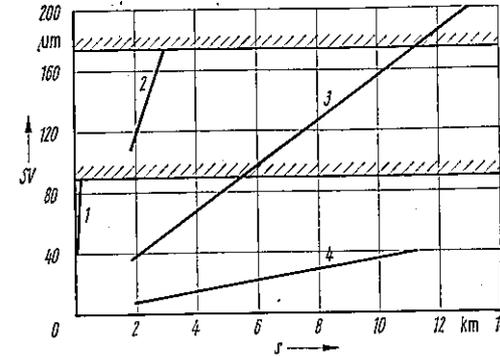


Bild 5.2
Abhängigkeit des Schneidversatzes SV
vom Schnittweg s
1 Schichtstoffplatte/Hartmetall HG 20;
2 Kiefernspanplatte, Schmalfläche/legierter
Werkzeugstahl; 3 Birkenspanplatte, Schmal-
fläche/legierter Werkzeugstahl; 4 Birkenspan-
platte, Schmalfläche/Hartmetall HG 20

5.2.2. Kreisförmig drehende Schnittbewegung

Veränderliche Hauptschnittkraft leistet über Wirkweg s_e mit Eingriffswinkel φ Arbeit

$$W_s = \int_0^\varphi F_h r d\varphi = F_{hm} r \varphi; \quad (5.7)$$

$$F_{hm} = \frac{1}{\varphi} \int_0^\varphi F_h d\varphi = h_m b k_s; \quad h_m = \frac{s_z e}{r \varphi}; \quad s_z = \frac{u}{nz},$$

bei $e \ll d$ wird

$$h_m = s_z \sqrt{e/d} \quad (\text{Bild 5.3});$$

e : Eingriffsgröße,
 s_z : Vorschub je Zahn,
 z : Zähnezahl.

Zum Spanen notwendige Leistung (Bilder 5.4 bis 5.8)

$$P_s = W_s n z = u e b k_s. \quad (5.8)$$

Bei Furnierrundschälmaschinen mit $z = 1$, $\varphi = 360^\circ$ ist (Bild 5.7)

$$P_s = F_h v. \quad (5.9)$$

Für Kreissägen gilt allgemeines Schnittkraftgesetz nach Gl. (5.2) nur für begrenzten Eingriffsgrößenbereich (Bilder 5.8 und 5.9).

Späneschluckvolumen der Zahnlücken begrenzt Vorschubgeschwindigkeit. Kritische, aus Zahnlücken errechnete Vorschubgeschwindigkeit wird bei Schnittbedingungen in Platten-, Möbel- und Holzbaubauindustrie nicht erreicht.

Geschränkte Zähne unterliegen störenden Einflüssen in Achsenrichtung, die von Ansträngwinkel der Freifläche δ_F und Vorschub/Zahn s_z abhängen.

Aus Vorschub/Zahn

$$s_z = (a - 2S) \tan \delta_F = \frac{ud\pi}{vz} \quad (5.10)$$

folgt Zähnezahl als Funktion von u und v

$$z = \frac{ud\pi}{v(a - 2S) \tan \delta_F}; \quad (5.11)$$

S Schränkmaß je Seite.

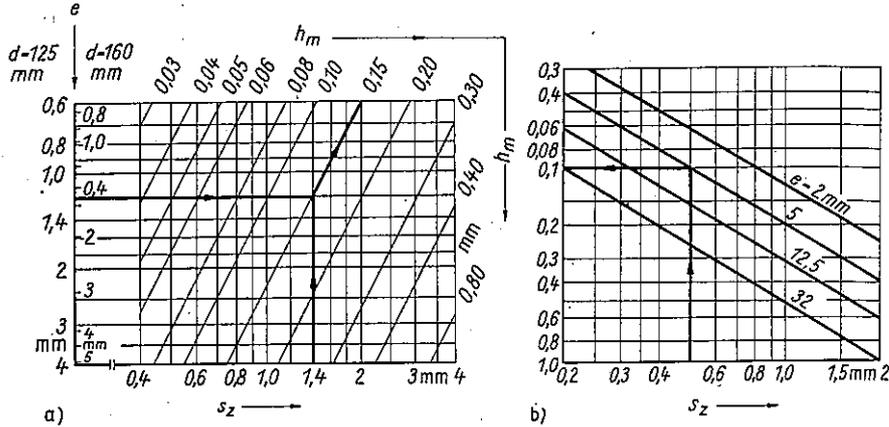


Bild 5.3. Mittlere Spandicke h_m

a) $h_m = s_z \sqrt{e/d}$; b) $h_m = s_z e / r \varphi$ mit $u = 6300$ U/min, $z = 4$, $r = 62,5$ mm

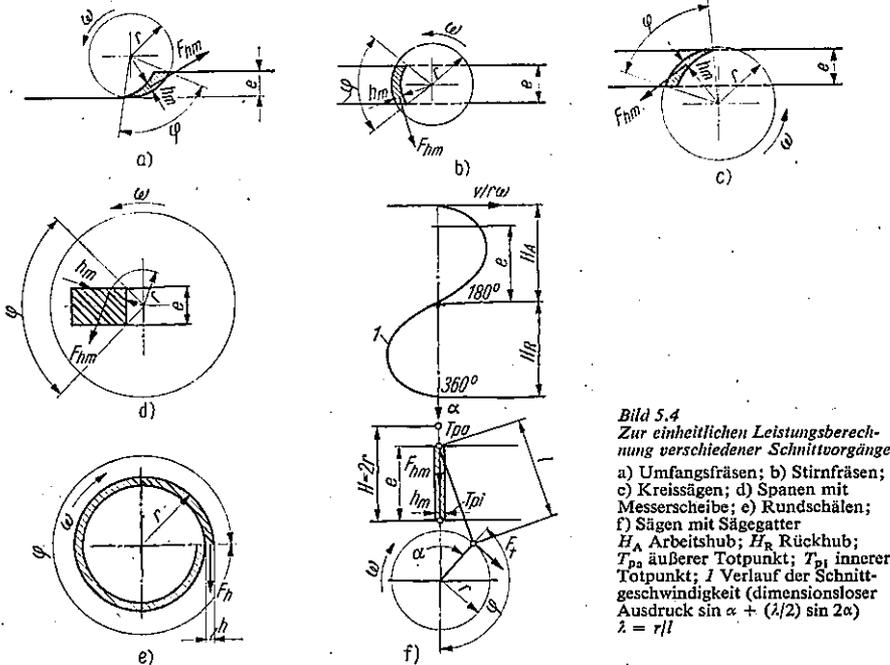


Bild 5.4 Zur einheitlichen Leistungsberechnung verschiedener Schnittvorgänge

a) Umfangsfräsen; b) Stirnfräsen; c) Kreissägen; d) Spanen mit Messerscheibe; e) Rundschalen; f) Sägen mit Sägegatter
 H_A Arbeitshub; H_R Rückhub;
 T_{p1} äußerer Totpunkt; T_{p2} innerer Totpunkt; l Verlauf der Schnittgeschwindigkeit (dimensionsloser Ausdruck $\sin \alpha + (l/2) \sin 2\alpha$)
 $z = r/l$

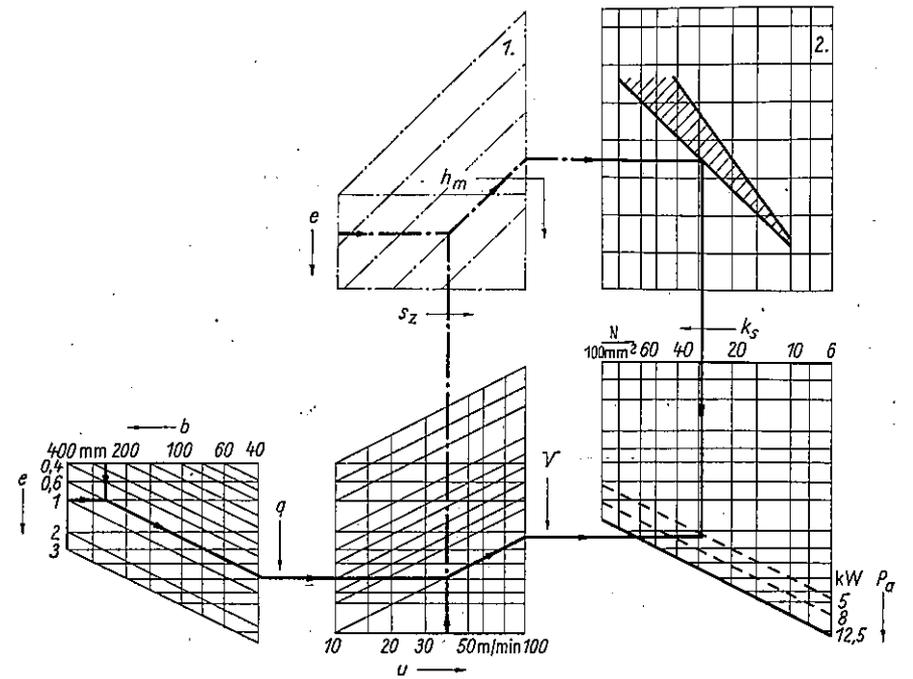


Bild 5.5. Grundkonstruktion für Leistungsschaubild

1 Hilfsnetz zur Bestimmung von h_m beim Umfangsfräsen; 2 gültig für Birke mit 12% Feuchtigkeit, Längspanen
 Werkzeugwinkel $\alpha = 17^\circ$, $\beta = 40^\circ$, $\gamma = 33^\circ$; Antriebsleistung $P_a = P_s/\eta$

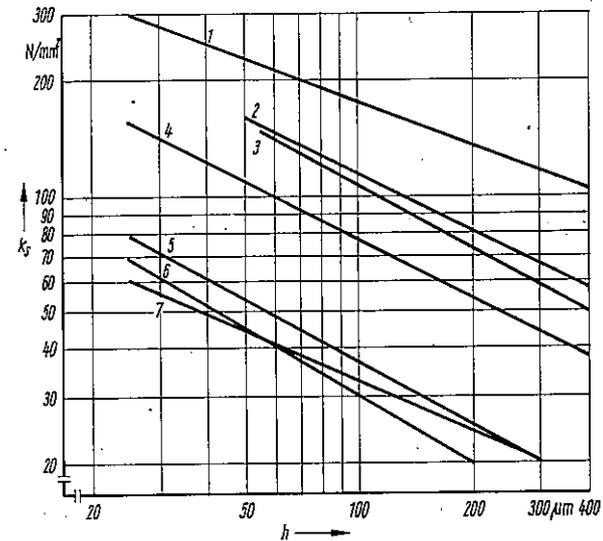


Bild 5.6. Spezifische Schnittkraft beim Umfangsfräsen

1 Prestofol; 2 Rotbuche, senkrecht zur Faserrichtung; 3 Faserplatte, Schmalfläche, $\rho = 0,90 \dots 0,99$ g/cm³;
 4 dreischichtige Spanplatte, Schmalfläche, $\rho = 0,63$ g/cm³; 5 Rotbuche, parallel zur Faserrichtung; 6 dreischichtige Spanplatte, Breitfläche, $\rho = 0,63$ g/cm³; 7 Kiefer, parallel zur Faserrichtung
 Werkzeugwinkel für 2, 5, 7 $\alpha = 17^\circ$, $\beta = 40^\circ$, $\gamma = 33^\circ$; für 3, 4, 6 $\gamma = 34^\circ$ bei $v = 36$ m/s

5.2.3. Umlaufende, geradlinige Schnittbewegung

Bandsägen. Geschwindigkeit eines Zahnes relativ zum Werkstück, wenn bei Schnittgeschwindigkeit v das Werkstück gleichzeitig mit Vorschubgeschwindigkeit u senkrecht zum Sägezahn bewegt wird, ist

$$v_e = \sqrt{v^2 + u^2}. \quad (5.14)$$

Jeder Zahn (Bild 5.11) zerspannt bei ideal gerader Zahnspitzenlinie konstant bleibenden Spanquerschnitt

$$A = bs_z = b \frac{tu}{v}. \quad (5.15)$$

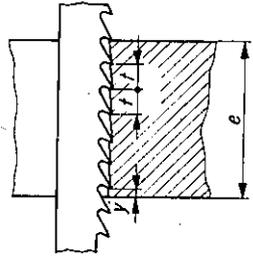


Bild 5.11
Zahneingriff bei geradliniger
Schnittbewegung

Bei Eingriffsgröße e ist zu zerspanendes festes Holzvolumen

$$V_H = Ae. \quad (5.16)$$

Beim Zerspanen wird festes Holzvolumen aufgelockert und nimmt je nach Holzart, Holz-zustand und Schnittbedingungen etwa 2,5- bis 5fachen Raum ein.

Auflockerungsfaktor:

$$q' = \frac{V_{Sp}}{V_H} = \frac{q_H}{q_{Sp}}; \quad (5.17)$$

V_{Sp} Raum der Späne,
 V_H Raum, den die Späne als festes Holz ausgefüllt haben.

Späneverteilung im Zahnlückenraum ist sehr unregelmäßig, so daß q' lediglich rechnerischen Mittelwert darstellt. q' ist für Abführung des zerspannten Holzes aus Schnittfuge von Bedeutung. Überfüllung des Zahnlückenraums V_1 stört einwandfreien Schnittvorgang.

$$V_1 = tfb - aA_2. \quad (5.18)$$

Nach vorhandenem Zahnlückenraum maximal mögliche Vorschubgeschwindigkeit ist (Bild 5.12)

$$u = \frac{V_1 v}{q' e b t}. \quad (5.19)$$

Anzahl der Zähne im Eingriff ist

$$z_e = e/t.$$

Sofern nicht ohne Rest teilbar, gilt

$$z_e = \frac{e - y}{t} + 1.$$

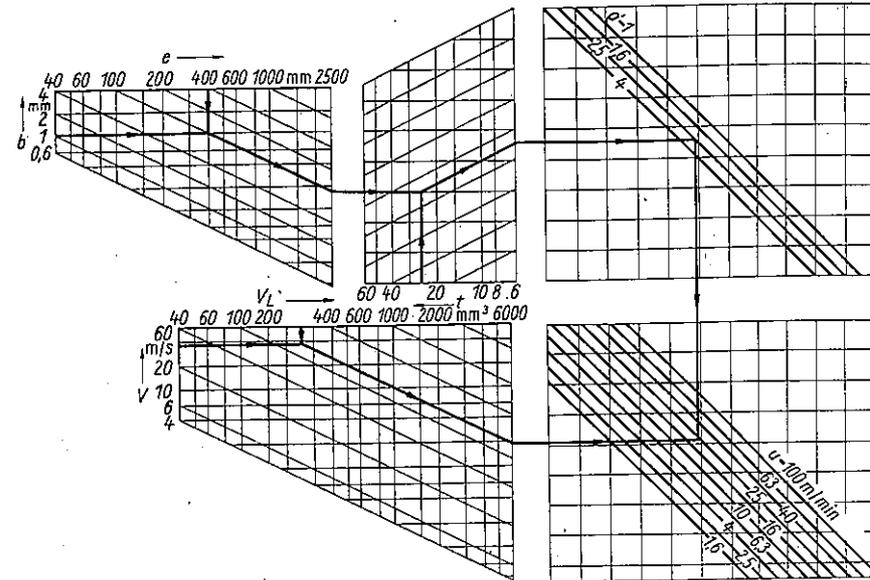


Bild 5.12. Nomogramm Gl. (5.19)

Angreifende Kraft je Zahn:
in Vorschubrichtung

$$F_{vz} = \frac{F_v}{z_e} = \frac{P_v}{u \left(\frac{e - y}{t} + 1 \right)}, \quad (5.20)$$

in Hauptschnittrichtung

$$F_{hz} = \frac{F_h}{z_e} = \frac{P_h}{v \left(\frac{e - y}{t} + 1 \right)}. \quad (5.21)$$

Als Vorschub- und Hauptschnittkraft je Zahn resultiert

$$F_{res} = \sqrt{F_{vz}^2 + F_{hz}^2}. \quad (5.22)$$

Bezieht man F_{hz} auf Spanquerschnitt A , so erhält man spezifische Hauptschnittkraft

$$k_s = \frac{F_{hz} v}{b t u}; \quad (5.23)$$

$k_s = 98 \text{ N/mm}^2$ für Weichholz,
 146 N/mm^2 für europäisches Hartholz.

Für Abstumpfung der Spitzen und Schneidkanten der Zähne ist neben Bearbeitungsbedingungen Gesamtschnittweg L_s maßgebend. Bei $u \ll v$ und i Umläufen je Sägezahn ist

$$L_s = i e = \frac{v s e}{z t u} \quad (5.24)$$

$$i = n_b \tau = v s / L_b u;$$

n_b Umlaufzahl des Sägebands,
 L_b Sägebandlänge, $L_b = z t$,
 τ Zeit für Durchlaufen der Schnittlänge s in Vorschubrichtung.

andschleifen (Bild 5.13). Bezogenes Abschliffvolumen ist

$$V = Au_n \tag{5.25}$$

ei ebener Eingriffszone ist

$$u_n = u \frac{e}{L_c} = \sin \delta u, \tag{5.26}$$

si zylindrischer Eingriffszone

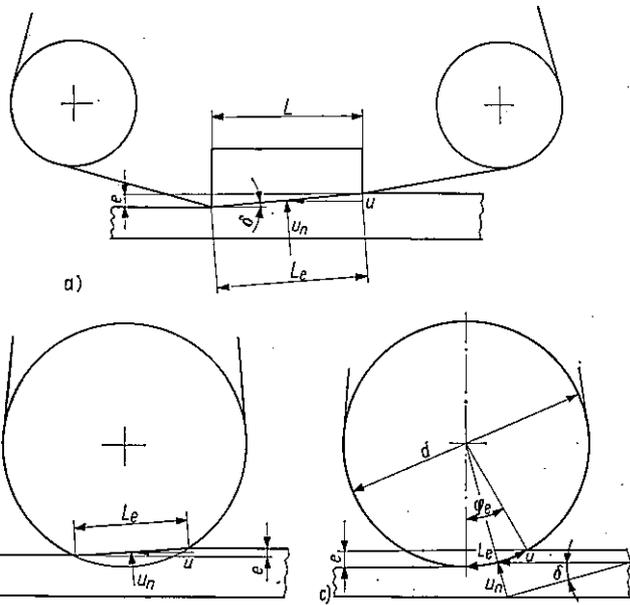
$$u_n = u \sqrt{\frac{e}{d}}. \tag{5.27}$$

ittlere spezifische Produktivität des Schleifkörpers (Tafel 5.5 und [5.3]) ist

$$z_m = 0,7 z_{m \max}$$

$$z_m = 42 \cdot 10^{-6} \frac{p}{\rho} \left(\frac{d_1}{0,14} \right)^{0,5} a_m a_{s2} a_{st} \frac{z_m}{\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{cm}} \frac{p}{\text{N}/\text{cm}^2} \frac{\rho}{\text{g}/\text{cm}^3} \frac{d_1}{\text{mm}}; \tag{5.28}$$

idealisierter Schleifkorndurchmesser,
Kontaktdruck, $p_{opt} = 0,98 \text{ N}/\text{cm}^2$,
Werkstoffdichte.



d 5.13. Eingriffsweg L_e beim Breitbandschleifen
Kontaktschuh; b) abgeplattete Kontaktwalze; c) harte Kontaktwalze

	a_m		a_{st}
rund	1,00	gravimetrisches Streuverfahren	1,00
izium-	1,33	elektrostatisches Streuverfahren	1,25
bid			
leifkörperzustand	scharf	mittlerer Verschleiß	abgestumpft
	1,33	1,00	0,80
	1,430	1,000	0,715

Tafel 5.5. Korrekturfaktoren:
Körnungsmaterial a_m ; Streuverfahren a_{st} ; Schleifkörperzustand a_{s1} und a_{s2}

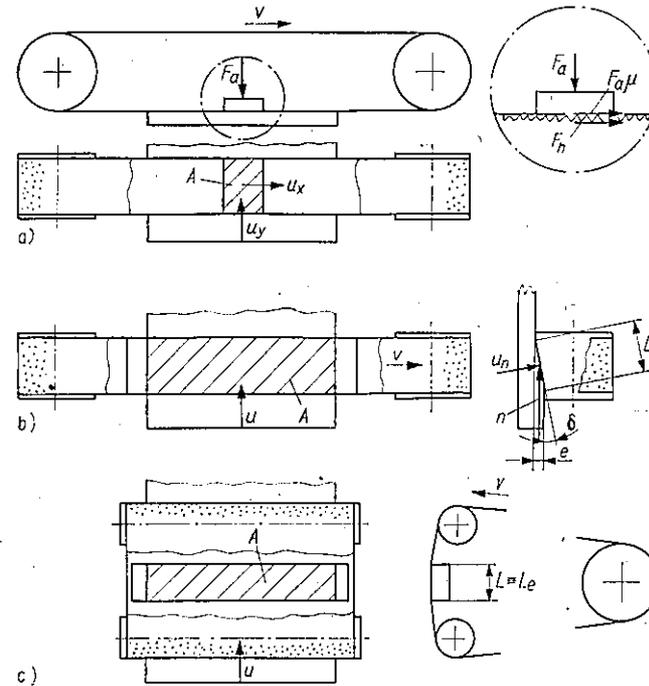


Bild 5.14. Eingriffsfläche A beim Bandschleifen

a) Normalband mit Druckschuh; b) Normalband mit Langdruckbalken; c) Breitband mit Kontaktschuh

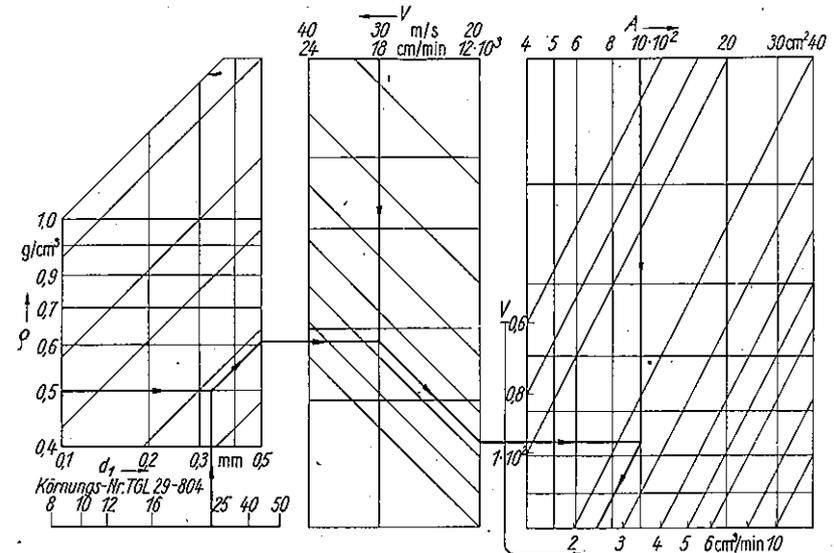


Bild 5.15. Nomogramm Gln. (5.28) und (5.29), $p = 0,98 \text{ N}/\text{cm}^2 = \text{const}$, $a_{s1} = a_{s2} = a_{st} = 1$
(d_1 soll sein d_1)

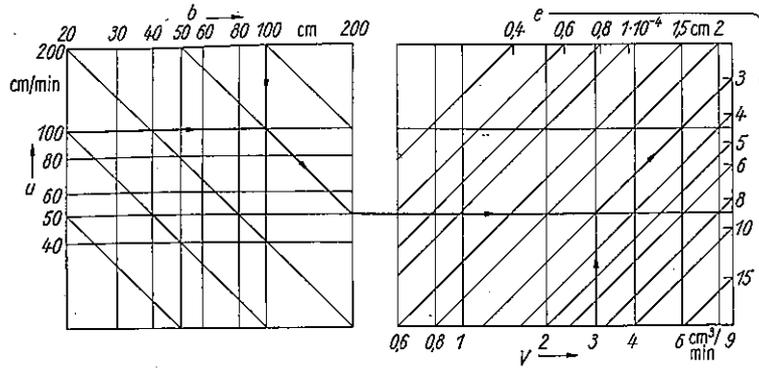


Bild 5.16. Nomogramm Gl. (5.30)

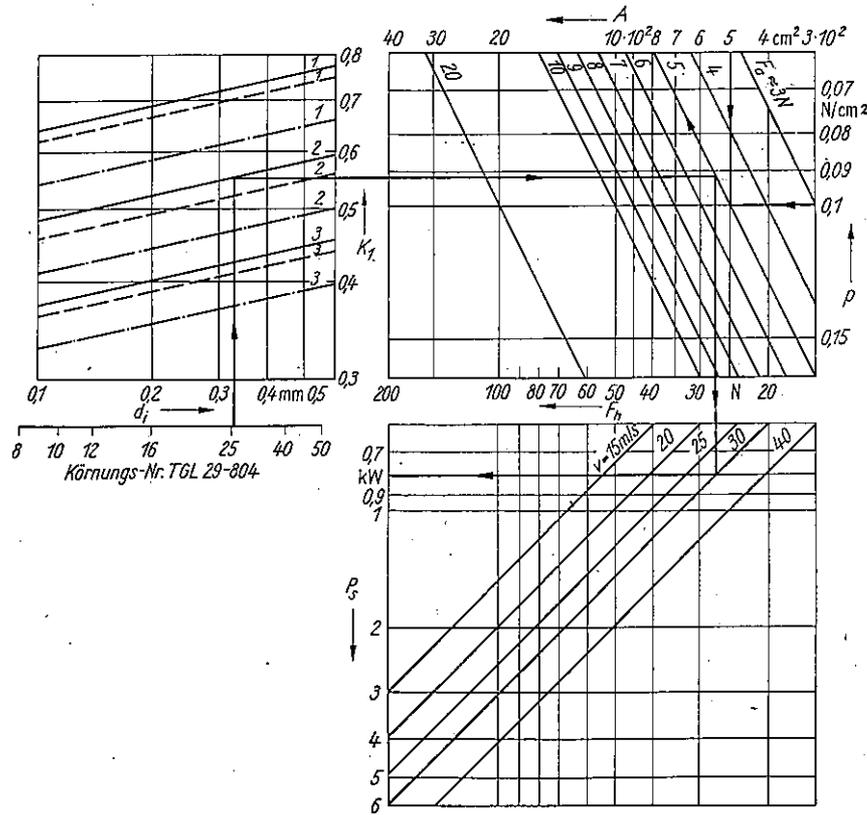


Bild 5.17. Nomogramm Gln. (5.31), (5.32) und (5.33)

Parameter im linken Feld:
 — Birke; - - - Kiefer; - · - - Eiche
 1 scharfes, 2 mittel abgestumpftes, 3 abgestumpftes Werkzeug

Bezogenes Abschiffvolumen ist von spezifischer Produktivität des Schleifkörpers abhängig (Bilder 5.14 und 5.15):

$$V = z_m v A \quad \frac{V}{\text{cm}^3/\text{min}} \left| \frac{z_m}{\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{cm}} \right| \left| \frac{v}{\text{cm}/\text{min}} \right| \left| \frac{A}{\text{cm}^2} \right| \quad (5.29)$$

Eingriffsgröße (Bild 5.16):

$$e = \frac{V}{A} t = \frac{V}{b v} \quad (5.30)$$

Bezogene Hauptschnittkraft (Bild 5.17, Tafel 5.6):

$$F_h = A p K_1 \quad (5.31)$$

$$K_1 = 0,63 d_i^{0,13} a_h s_{s1} \quad (5.32)$$

Holzart	Birke	Kiefer	Eiche
a_h	1,00	0,95	0,85

Tafel 5.6: Korrekturfaktoren für die Holzart a_h

Schnittleistung (Bild 5.17):

$$P_s = F_h v \quad (5.33)$$

Reibleistung (Bild 5.18):

$$P_r = F_r v = F_a \mu v; \quad (5.34)$$

F_a Anpreßkraft des Druckschuhs auf Schleifband,
 $\mu = f(F_a)$ Reibungskoeffizient Druckschuh/Schleifband.

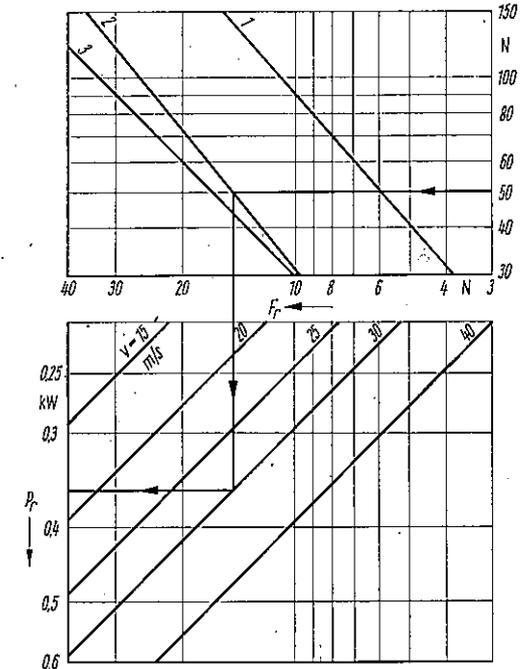


Bild 5.18
 Nomogramm Gl. (5.34)
 oberes Feld: $\mu = f(F_a)$
 1 Spezialbelag sander pad cover/Papier;
 2 Filz/Papier; 3 Grauguß/Papier

1. Geradlinig hin- und hergehende Schnittbewegung

Bauarten streben $v/u = \text{const}$ an. Daher kann mittlere Spandicke h_m etwa gleich Vor-
b/Zahn s_z gesetzt werden. Mittlere Schnittgeschwindigkeit während Arbeitshub ist

$$v_m = \frac{2rn}{30} \frac{v}{\text{m/s}} \left| \frac{n}{\text{U/min}} \right| \frac{r}{\text{m}} \quad (5.35)$$

uhl der Zähne im Eingriff:

$$z_e = \left(\frac{e-y}{t} + 1 \right) i \quad (5.36)$$

in $y \ll e$ und $elt \gg 1$ gilt

$$z_e \approx \frac{ei}{t}; \quad (5.37)$$

zahl der Sägeblätter.

ittleistung beträgt

$$P_s = ueb ik_s \frac{\alpha}{360} \quad (5.38)$$

00%iger Arbeitshubausnutzung ist $\alpha/360 = 0,5$.

ifische Schnittkraft ist

$$k_s = k_t + k_r; \quad (5.39)$$

spezifische Reibungskraft, $k_{t,1,1} s_z^{-m}$ spezifische Trennkraft; Index 1.1 bedeutet Spandicke 1 mm, Spanbreite 1 mm, $m = 0,33$ für Sägegatter.

gestauchte Zähne (Index Δ) und geschränkte Zähne (Index \wedge) ist spezifische Reibungskraft

$$k_{r\Delta; \wedge} = Ce/b \quad (5.40)$$

$$C_{\Delta} = 0,196 \text{ N/mm}^2, \quad C_{\wedge} = 0,245 \text{ N/mm}^2.$$

er betragen

$$s_z = \frac{ut}{Hn}; \quad (5.41)$$

b des Sägerahmens

$$F_h = \left[\left(k_{t,1,1} s_z^{-m} + \frac{Ce}{b} \right) k_a k_u \right] b s_z \quad (5.42)$$

$$P_s = \left[\left(k_{t,1,1} s_z^{-m} + \frac{Ce}{b} \right) k_a k_u \right] b u e i. \quad (5.43)$$

s. Erläuterung zu Gl.(5.3); Nomogramm s. Bild 5.19.

antrieb der Schnitt- und Vorschubbewegung durch Motor ist

$$P_a = P_s + P_v + P_l; \quad (5.44)$$

$F_v u z x / 360$ Vorschubleistung, Leerlaufleistung.

t genügt Berechnung der Antriebsleistung nach empirischer Formel

$$P_a = P_s / 0,75. \quad (5.45)$$

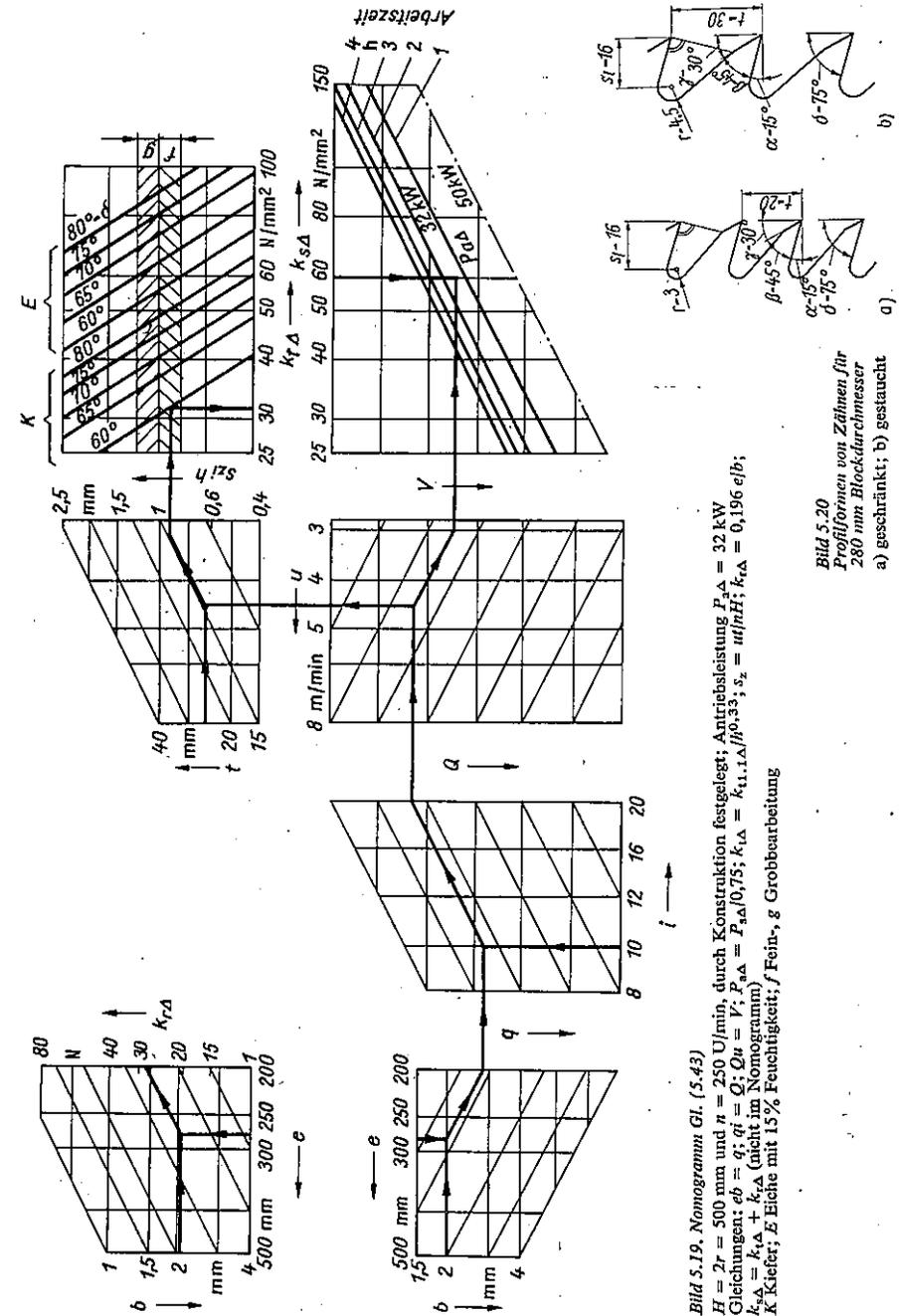


Bild 5.19. Nomogramm Gl. (5.43)
 $H = 2r = 500 \text{ mm}$ und $n = 250 \text{ U/min}$, durch Konstruktion festgelegt; Antriebsleistung $P_a \Delta = 32 \text{ kW}$
 Gleichungen: $eb = q; q_i = Q; Q_u = V; P_{a\Delta} = F_{a\Delta} / 0,75; k_{\Delta} = k_{t,1,1} s_z^{-m} / 0,33; s_z = ut / nH; k_{r\Delta} = k_{t,1,1} s_z^{-m} + C_{\Delta} / b$
 $k_{\Delta} = k_{t,1,1} s_z^{-m} + C_{\Delta} / b$ (nicht im Nomogramm)
 $k_{\wedge} = k_{t,1,1} s_z^{-m} + C_{\wedge} / b$
 k_{Δ} Kiefer; E Eiche mit 15% Feuchtigkeit; f Fein-, g Grobbearbeitung

Bild 5.20
 Profilformen von Zähnen für
 280 mm Blockdurchmesser
 a) geschränkt; b) gestauch

weckmäßig für nomografische Lösung ist Schreibweise für *Schnittleistungsbedarf je Sägeblatt*:

$$P_{s\Delta} = \left[\frac{k_{11.1\Delta} bh (Hh)^{0,33}}{t^{0,33}} \right] u^{0,67} + [0,02 h^2] u \quad (5.46)$$

$$P_{s\Lambda} = \left[\frac{k_{11.1\Lambda} bh (Hh)^{0,33}}{(b/s)^{0,33} t^{0,33}} \right] u^{0,67} + [0,025 h^2] u \quad (5.47)$$

$$P_s = P_a \eta / i \quad (5.48)$$

Vorschubgeschwindigkeit wird durch Späneschluckvolumen der Zahnlücken begrenzt, siehe Gl. (5.19). Optimale Zahnprofile (Bild 5.20) aus empirischen Gleichungen für Teilung t und Zahnlänge s_z nach [5.4].

$$t = C_t \sqrt{s_z h_{max}} \quad (5.49)$$

$C_t = 1,1$ bei geschränkten Zähnen,
 $C_t = 1,6$ bei gestauchten Zähnen,
 $s_z = 0,8 \dots 1,0$ mm bei erster Güte der Arbeitsfläche
 $s_z = 1,0 \dots 1,2$ mm bei zweiter Güte,
 h_{max} größte Schnitthöhe = Stammdurchmesser + 60 mm.

$$s_1 = \frac{C_s s_z h_{max} - 0,07 t^2}{t \tan \alpha (1 + \tan \alpha \tan \delta) \cos \delta} + 0,3 t \quad (5.50)$$

$C_s = 1$ bei geschränkten Zähnen,
 $C_s = 1,6$ bei gestauchten Zähnen.

3. Sägemaschinen

3.1. Senkrechtgatter (Bild 5.21, Tafel 5.7)

Arbeitsweise. Von Schubkurbel angetriebene Sägeblätter bewegen sich in Vertikalebene auf und ab. Sie sind im Rahmen eingespannt, der in Gleitführungen läuft. Kurbelwelle hat Pendellager. Holzvorschub in Maschine erfolgt durch Walzen, Holzzutransport und -abtransport durch Spannwagen.

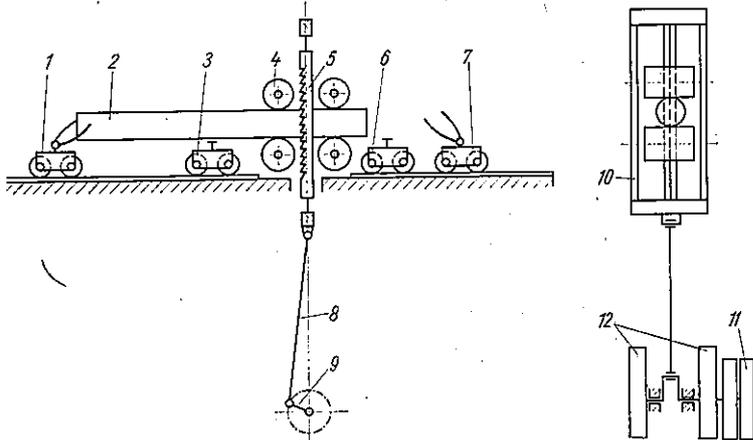


Bild 5.21. Senkrechtgatteranlage

Schnellspannwagen; 2 Block; 3 Hilfswagen zum Heben und Ausrichten des Blockes; 4 Vorschubwalze; Sägeblatt; 6 Hilfswagen für Empfang geschnittener Ware; 7 Spannwagen; 8 Schubstange; 9 Kurbelwelle; 10 Sägerahmen; 11 Antriebsseiben; 12 Schwungmasse

Tafel 5.7. Technische Daten von Senkrechtgattern

	mm	550	650	750	850
Sägerahmenweite	mm	500	600	700	800
Schnitthöhe	mm	560	560	560	560
Sägerahmenhub	mm	500	500	500	500
Kurbelwellendrehzahl	U/min	350	330	320	310
		400	390	380	370
Mittlere Schnittgeschwindigkeit	m/s	8,1	7,6	7,5	7,4
		6,6	6	5,8	5,6
Antriebsleistung	kW	50	60	80	90

Ständer (Bild 5.22). Er besteht aus Grundplatte (sie nimmt Kurbelwellenlagerung und Antrieb auf), aus Obergestell mit nachstellbarer Führung für Sägerahmen, Vorschubeinrichtung und Bedienungselementen. Damit durch Überspannung verformte Sägerahmen in den Gleitführungen nicht verklemmen und heißlaufen, werden sie senkrecht zur Hauptbewegung nur auf einer Rahmenseite in Prismen geführt. Für Gleitführungen verwendet man Grauguß (Gestell), evtl. auch Sinterbronze und Pockholz (Sägerahmen).

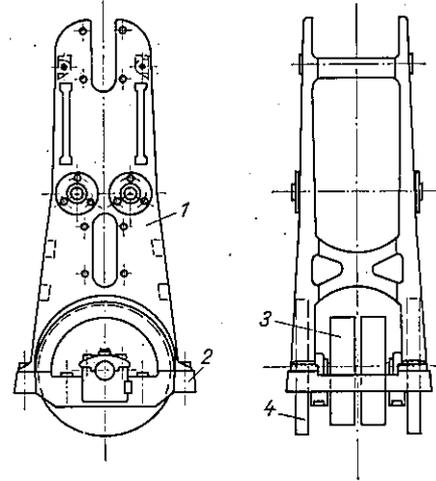


Bild 5.22. Gatterständer
 1 Obergestell; 2 Grundplatte; 3 Antriebsscheiben; 4 Schwungmasse

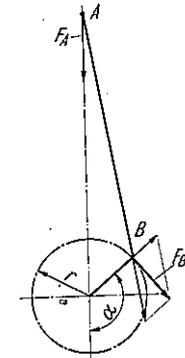


Bild 5.23. Kräfte am Kurbeltrieb

Maschinen mit kontinuierlichem Vorschub haben schwingende Führungen, die Sägeblätter am unteren Totpunkt von Schnittfläche abbewegen, wodurch Zahnschneiden beim Aufwärtshub Schnittfläche nicht streifen. Schwingrahmengatter werden durch Winkelhebel und Lemniskatenlenker geführt [5.5].

Sägerahmen. Er wird durch zentrische oder exzentrische Schubkurbel bewegt. Für zentrische Schubkurbel ist

$$v = r\omega \left(\sin \alpha - \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) \quad (5.51)$$

Nochmalige Differenzierung ergibt Beschleunigung a des Sägerahmens.

Massenkräfte. Für Berechnung der Kräfte in A und B werden Massen auf diese Punkte reduziert. Die auf- und abgehende Bewegung in y -Richtung bewirkt in A (Bild 5.23)

$$F_A = a (m_R + m_{STA}); \quad (5.52)$$

a Beschleunigung,
 m_R Sägerahmenmasse,
 m_{STA} Masseanteil der Schubstange vom Kurbelzapfen bis Schubstangenschwerpunkt.

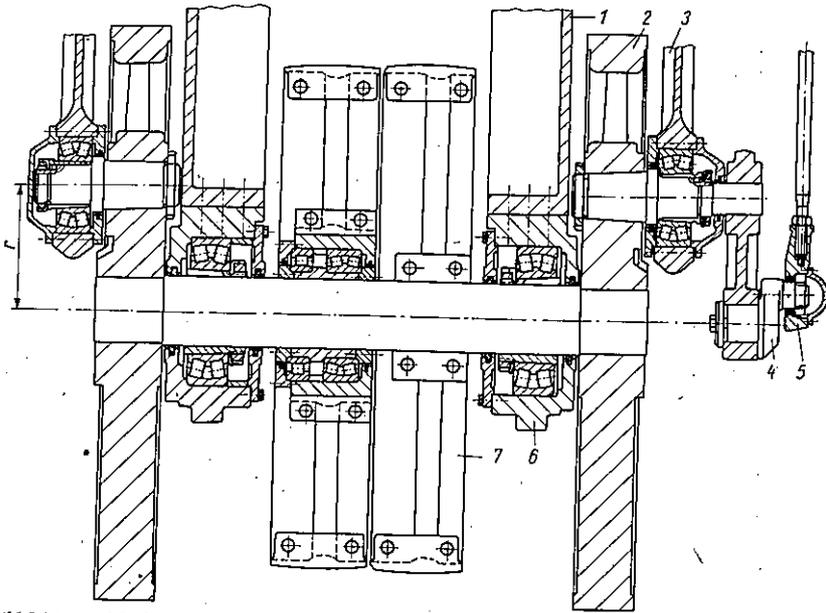


Bild 5.24. Antrieb eines Sägegatters (Schnitt)

1 Gatterständer; 2 Kurbel mit Schwungmasse; 3 Schubstange für Sägerahmen; 4 Vorschubkurbel; 5 Schubstange für Vorschub; 6 Lagerung; 7 Festscheibe

Umfangskraft in B

$$F_B = r\omega^2 m_{STB}; \quad (5.53)$$

m_{STB} Masseanteil der Schubstange von Schubstangenschwerpunkt zum Kurbelzapfen.

F_B kann durch zusätzlich rotierende Gegenmasse ausgewuchtet werden, dagegen mit α veränderliche Kraft F_A nur zu 40... 50%. Verhältnisse werden durch veränderliche Sägerahmenmasse noch komplizierter.

Drehbewegung der Kurbelwelle ist infolge der Massenkräfte ungleichförmig.

Schnitt durch Antrieb zeigt Bild 5.24.

Vorschubsteuerung. Hohe Mengenleistung erfordert bezüglich Vorschubsteuerung Schneiden über nahezu gesamten Arbeitshub, möglichst gleichbleibenden Vorschub je Zahn über Schnittweg, kein Streifen der Zahnsitzen an Schnittfläche beim Aufwärtshub.

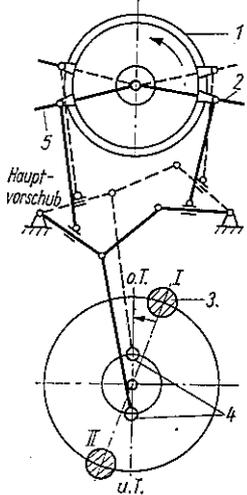


Bild 5.25. Vorschubantrieb (Schema)

1 Schubrad für Vorschubwalzen; 2 Schwinge für Überhangausgleichsvorschub; 3 Kurbelzapfen für Sägerahmen; 4 Kurbelzapfen für Vorschub; 5 Schwinge für Hauptvorschub

Vorherrschend sind Schubgetriebe, die während des Abwärtshubs arbeiten und während des größten Teils des Aufwärtshubs stillstehen (Bild 5.25). An Schwinge befestigtes Reibgesperre dreht periodisch Schubrad. Die an Schnittkurbel angelegte Vorschubkurbel bewegt Schwinge über Schubstange. Dem Schnittweg zugeordneter Vorschubweg weicht durch Massenkräfte, Gelenkspiel und Federung der Schubstange vom theoretischen ab.

Infolge Sägeüberhangs wird Vorschubbewegung bereits während des letzten Teils des Aufwärtshubs eingeleitet, um aus Sägeüberhang resultierenden Hubverlust klein zu halten. Jeder Vorschubgeschwindigkeit ist entsprechende Voreilstellung der Vorschubkurbel gegenüber Schnittkurbel zugeordnet.

Koordinaten des Zahn-Weg-Diagramms (Bild 5.26) sind mit Schubstangenverhältnis $\lambda = r/l$

$$x = \frac{s}{2} [1 - \sin(\alpha + \varphi)] \quad (5.54)$$

$$y = \frac{H}{2} \left(1 + \sin \alpha \pm \frac{\lambda}{2} \cos^2 \alpha \right); \quad (5.55)$$

(-) für Aufwärtsgang, (+) für Abwärtsgang des Rahmens.

Für Scheitelpunkt der Kurve ist bei Voreilverhältnis gleichzeitig $x = \psi s$, so daß sich über

$$\psi = \frac{1}{2} [1 - \sin(\alpha + \varphi)] \quad (5.56)$$

Voreilwinkel ergibt aus

$$\sin \varphi = (1 - 2\psi) \cos \alpha \pm 2 \sin \alpha \sqrt{\psi(1 - \psi)}. \quad (5.57)$$

Bei diesem Voreilwinkel ist Hubverlustfaktor ε für entsprechenden Kurbelwinkel α_ε , für Schubstangenverhältnis $\lambda = 1/10$ und Hub $H = 1$

$$\varepsilon = \frac{1}{2} (1 - \sin \alpha_\varepsilon). \quad (5.58)$$

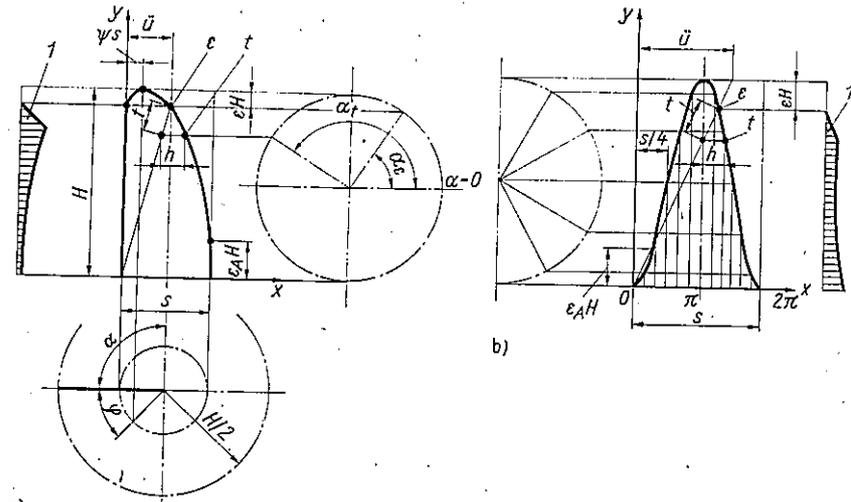


Bild 5.26. Zahn-Weg-Diagramme

a) periodisch arbeitendes Schubgetriebe; b) kontinuierlicher Vorschub
1 Verlauf der Spandicke h über 1 Kurbelumdrehung; H Hub; s Vorschubweg; t Zahnteilung; u Sägeüberhang; α Kurbelwinkel; ε Hubverlustfaktor; φ Voreilwinkel der Vorschubkurbel; ψ Voreilverhältnis; Punkt e Schnittpunkt; Punkt i Eingriff des zweiten Zahns

Änderung der Kantholzbreite umhängt werden müssen. Sie besteht aus zwei Angelkästenaaren, die sich im Leerlauf auf Sägerahmenjochen verschieben lassen.

Sägeblattspannvorrichtungen. Sie bringen bei Betriebstemperatur notwendige Zugspannungen von 117 ... 264 N/mm² auf, die von Sägeblattabmessungen, Vorschubgeschwindigkeit und Einschnittart abhängig sind.

Hydraulische Spannvorrichtung ist am oberen Sägerahmenjoch befestigt. Verschieben eines Kolbens mittels Gewindespindel erzeugt Spanndruck. Bei Temperaturänderung in Sägeblättern wirkt federbelasteter Ausgleichzylinder. Sägeblätter werden durch Keil oder Exzenter vorgespannt.

Zu- und Abtransporteinrichtungen. Angetriebene Rollen schieben geradegewachsene oder parallelbesäumte Hölzer unmittelbar.

Schnellspannwagen, auf dem Bedienungsmann arbeitet, enthält alle Steuerelemente für Bedienung des Schnellspannwagens von Blockpolter, für Drehen, Ausrichten und Heben des Blocks, Heben der oberen Vorschubwalze, Verändern der Vorschubgeschwindigkeit und Abtransport des Schnittholzes.

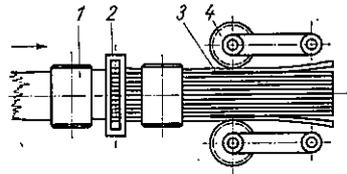


Bild 5.28
Abzugeinrichtung

1 Vorschubwalze; 2 Sägerahmen;
3 Führungsplatte; 4 Abzugwalze

Bei schwächeren Hölzern ist Einschnitt von zwei oder drei Blöcken/min möglich, wobei die Bedienstation auch ortsfest ist. Anstelle von Schnellspannwagen mit Spannvorrichtungen sind auch ortsfeste Wagen mit gleicher Ausrüstung üblich.

Beim Brettereinschnitt werden statt Schnellspann- und Hilfswagen zunehmend Abzugvorrichtungen mit einstellbaren Trennplatten für Einschnittware und Schwarten angebracht (Bild 5.28).

3.2. Sägen mit umlaufender Hauptbewegung

Blockbandsägen. Sie dienen zum Aufschneiden von Laubholzblöcken, Vorrichten von Blöcken für Furniermessermaschinen und zur Herstellung von Nadelholzschnittware aus Blöcken mit 450 mm Dmr. Sie haben gegenüber Senkrechtgatter geringere Schnittfugenbreite, höhere Nutzfläche der Arbeitsfläche und ermöglichen individuelle Blockaufteilung.

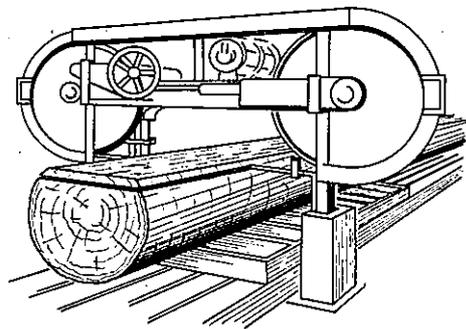
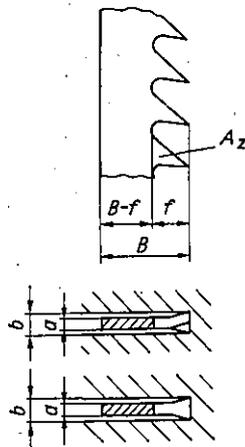


Bild 5.29. Horizontale Blockbandsäge

Bild 5.30
Geometrische Größen am Sägeband



Horizontale Bauart. Block wird auf Plattformwagen aufgespannt (auch krumme und mehrere Blöcke nebeneinander). Seitliche Wagenbewegung beeinflusst Brettstärke nicht. Dickere Bretter verursachen Klemmen des Sägebands. Bei Brettstärkeinstellung führt Sägebandzustellbewegung aus. Nach Beendigung des Schnitvorgangs wird Sägeband von Schnittfläche angehoben (Bild 5.29).

Beim Vorrichten von Blöcken für Furniermessermaschinen ist Plattformwagen mit Spann- und Drehvorrichtung (Drehen um Längsachse) ausgerüstet.

Vertikale Bauart. Block wird durch vertikale Spannbocke, die auf Blockwagen einzeln oder gemeinsam verschiebbar sind, gespannt. Zur Brettstärkeinstellung werden Spannbocke verschoben. Säge bleibt ortsfest und lässt sich daher ohne Schwierigkeiten erheblich größer als ein horizontaler Typ bauen.

Blockwagenbewegung erfolgt durch Zahnritzel und Zahnstange oder Teleskopzylinder, meist von 5 ... 50 m/min stufenlos einstellbar für Vorlauf und 80 m/min für Rücklauf. Durch Fernbedienung werden ausgeführt: Zustellbewegung, Rückzug der Blockspannbocke, Festspannen des Blocks, Brettstärkeinstellung. Hilfsbewegungen, wie Zubringen, Beladen, Drehen, Ausrichten, Spannen, Zentrieren, Anheben und Entspannen, sind weitgehend mechanisiert.

Sägebandrollen. Durchmesser ≤ 2000 mm bei horizontaler, ≤ 4000 mm bei vertikaler Bauart. Treibende Rolle ist scheibenförmig und schwerer als getriebene (meist Speichenrad). Durch Schwungradwirkung der treibenden Bandrolle wird vermieden, daß sich Sägeband beim Durchschneiden einer Aststelle entspannt. An Block- und Trennbandsägen ist Mantelfläche der Bandrolle bombiert, um Abwandern in Achsenrichtung auszuschließen. Bandrollen kleinerer Maschinen haben zylindrischen Mantel mit Gummibelag.

Sägebandspanneinrichtung. Zum Einstellen der Bandrollendistanz dienen Gewindespindeln, zum Spannen meist gewichtsbelastete Hebelsysteme. Arbeitszylinder zwischen Spannschindel und Bandrollenrahmen stellt Spannkraft ein und hält sie konstant. Mit ihm ist Kontaktmanometer verbunden, das Antriebsmotor für Spannschindel beim Erreichen der Spannkraft abschaltet.

Sturzeinstellung für Bandrolle. Sägebandverzahnung darf nicht auf Bandrollenmantel laufen. Um Fehler beim Verlöten oder bei Sägebandherrichtung auszugleichen, kann Lage des Sägebands auf den Bandrollen durch Achsneigung der getriebenen Bandrolle beeinflusst werden.

Kräfte und Spannungen im Sägebandtrieb. Äußere, über Bandrollen aufgebrachte Vorspannkraft ist entscheidend für einwandfreie Schnittführung. Einspannkraft $F_{0\text{ges}} = 2F_0$ ruft in jedem Trum des Sägebands (Bild 5.30) im Ruhezustand Zugspannung hervor:

$$\sigma_{z0} = \frac{F_0}{A} = \frac{F_0}{(B-f)a} \quad (5.68)$$

An Bandscheibenumfangsflächen tritt in der äußeren Bandfaser zusätzlich Biegespannung auf:

$$\sigma_b = \frac{E}{1 - (1/m^2)} \frac{a}{D_s + a} \quad (5.69)$$

E Elastizitätsmodul des Sägebandwerkstoffs,
 m Poissonzahl,
 D_s Bandscheibendurchmesser.

Spannung ist kurz vor Ablauf und kurz nach Auflauf des Bandes auf Scheiben am ziehenden Trum am größten; durch Kerbwirkung im Zahnlückengrund treten am Zahngrund Spannungshäufungen auf:

$$\sigma_{\text{max}} = \sigma_z \varepsilon_z + \sigma_b \varepsilon_b; \quad (5.70)$$

$$\varepsilon_z = 1,65, \quad \varepsilon_b = 1,26.$$

σ_z Spannung im ziehenden Trum.

Wechselbiegebelastung ist anzunehmen mit $\sigma_w = 0,4\sigma_b$; dabei wird Einfluß der Kerbung für Kerbverhältnis

$$\beta = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_b + \sigma_z} < 2,5$$

erücksichtigt:

$$\sigma_B > \frac{\beta \sigma_{max}}{0,4}$$

schnitt- und Vorschubkräfte verändern Gesamtspannung nicht wesentlich, weil sie gegenüber

erschubkräfte können Ausknicken des Sägebands und damit Ablaufen von Bandrollen be-
irken. Kritische Vorschubkraft, bei der Ausknicken erfolgt, ist

$$F_{v,krit} = 1,64 \frac{Ba^2 \sqrt{G\sigma_{z0}}}{l} \frac{F}{N} \left| \frac{a; B; l}{mm} \right| \frac{G; \sigma}{N/mm^2}; \quad (5.71)$$

Banddicke,
Bandbreite,
= $79 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$ Gleitmodul,
Achsabstand der Bandrollen bzw. Abstand der Bandführungen voneinander.

m Einfluß unterschiedlicher Erwärmung der Zahn- und Rückenzone entgegenzuwirken und
ugspannungen in diesen Zonen zu erhöhen (hier sind sie gegen Bandausknicken bedeutend
irksamer als in Mittelzone), wird Mittelzone des Sägebands gestreckt. Diese Vorbehandlung
hrt zu Längs- und Querkrümmung des uneingespannten Sägebands entsprechend dem Gauß-
hen Krümmungsmaß c , das bei beliebiger Verbiegung des Bandes unverändert bleiben muß:

$$c = \frac{1}{Rr} = \frac{8\Delta l_r}{B^2}; \quad (5.72)$$

Krümmungsradius in Längsrichtung,
Krümmungsradius in Querrichtung,
Längenzuwachs der Mittelfaser.

eilhöhe der Querkrümmung wird gewöhnlich zur visuellen Überprüfung des Spannungs-
stands herangezogen.

urch Vorschubkraft F , darf Sägeband nicht so weit auf Bandrollen zurückgeschoben werden,
ß Zahnspitzen auf Rollen laufen. Obere Bandrolle hat daher bombierten Mantel und zur
iteren Bandrolle geneigte Achse (s. S. 269). Um Sägeband von Lage 0 in Lage 1 (Bild 5.31)
if Bandrolle zurückzuschieben, ist Vorschubkraft F_{v1} notwendig:

$$F_{v1} = \frac{8EI}{ar} (\epsilon_1 - \epsilon_0). \quad (5.73)$$

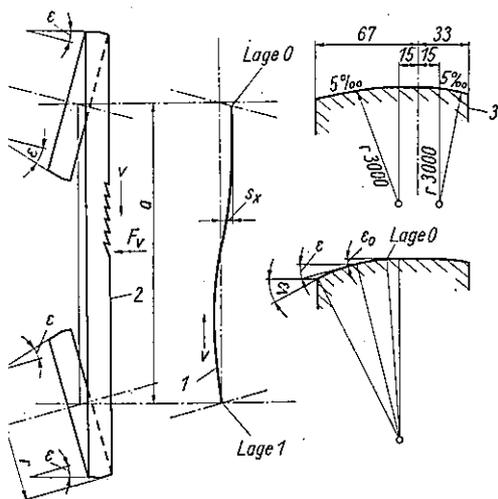


Bild 5.31
Konstruktive Einzelheiten an Bandsäge
mit geneigten Bandrollenachsen
1 rücklaufendes Trum; 2 vorlaufendes
Trum; 3 Zahnseite an bombierter Band-
rolle – treibende Bandrolle meist
zylindrisch, getriebene bombiert

Waagerechte Verschiebung s_x des Sägebands auf oberer Bandrolle, bezogen auf Achse des
Blattes auf unterer Bandrolle, ist

$$s_x = \frac{a^2}{6r} (\epsilon - 2\epsilon_0). \quad (5.74)$$

Größere Steifigkeit des Sägebands gegen Verschieben in Achsenrichtung kann bei gegebenem
Rollendurchmesser, Bandbreite und -dicke nur durch Vergrößern des Wertes $(\epsilon_1 - \epsilon_0)$, also
Erhöhung der Bombierung, erreicht werden. Nachteile: größere Beanspruchung, Gefahr von
Bandbrüchen. Daher werden breite Bandrollen gegenläufig neigbar und mit gleich bombierten
Mänteln ausgeführt (symmetrisches Bauprinzip von *Lombardi*). Steifigkeit verdoppelt sich
dadurch [5.6] [5.7].

In 0-Lage und in jedem Fall bei Leerlauf nimmt Sägeband unabhängig von Bandbreite und
Form der Bombierung auf beiden Bandrollen gleiche Lage ein. Patentiertes symmetrisches
Bauprinzip von *Lombardi* wird nicht allgemein angewendet. Sägeblattbreite $\geq 1/10$ Rollen-
durchmesser; Sägeblattdicke $\leq 1/1000$ Rollendurchmesser.

Trennbandsägen (Tafel 5.8). Sie dienen zum Vormodeln, Schwartenauftrennen, Auftrennen von
Brettern oder Kanthölzern in der Mitte und zum Brettereinschnitt.

Tafel 5.8. Technische Daten von Bandsägen

a) Tischlerbandsägen; b) Trennbandsägen; c) Blockbandsägen

a) Tischlerbandsägen

Rollendurchmesser	mm	400	630	800	1000	1250
Schnittgeschwindigkeit	m/s	32 ... 40				
Antriebsleistung	kW	1	2,5	3,5	4	5

b) Trennbandsägen

Rollendurchmesser	mm	1000	1100	1400
Schnittgeschwindigkeit	m/s	40 ... 45		
Vorschubgeschwindigkeit	m/min	5 ... 30	5 ... 50	5 ... 40
Antriebsleistung	kW	15	20	30

c) Blockbandsägen

Rollendurchmesser	mm	1000	1250	1600	1800
Schnittgeschwindigkeit	m/s	40 ... 50			
Vorschubgeschwindigkeit	m/min	5 ... 50			
Antriebsleistung	kW	30	35	45	55

Maschinen mit Zufuhrwagen. Zum Vormodeln und für Brettereinschnitt ist Holz auf Zufuhr-
wagen durch Klemmbügel gehalten. Vorschub erfolgt meist hydraulisch durch Teleskop-
zylinder.

Maschinen mit Pendelwalze. Zum Auftrennen von Schwarten und für Brettereinschnitt muß
Holz eine gesägte Anlagefläche haben. Vorschubeinrichtung (Bild 5.32) besteht aus zum Säge-
blatt einstellbarem Anschlag mit Rollen und am Pendelarm befestigter, angetriebener Walze,
die sich Unebenheiten des gewachsenen Umfangs anpassen kann.

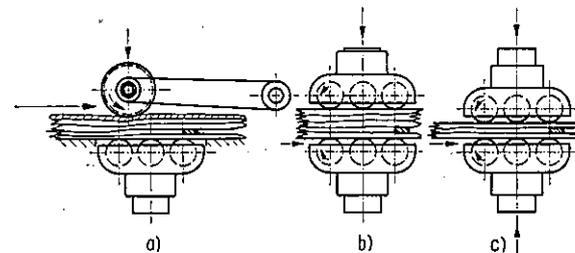


Bild 5.32
Vorschubeinrichtungen
an Trennbandsägen

a) mit Pendelwalze zum Schwartenauftrennen und für Brettereinschnitt; b) für Brettereinschnitt; c) zum Auftrennen in Werkstückmitte

Maschinen mit Mittelschnitteinrichtung. Mittelschnitt wird durch angetriebene, feder- oder gewichtsbelastete Vorschubrollen erreicht, die sich symmetrisch zum Sägeband bewegen können.

5.3.3. Sägen mit kreisförmig drehender Hauptbewegung

Sie dienen beim Sägen von Vollholz parallel zur Faserrichtung des Holzes zum Modeln von Rundholz, Trennen von Kantholz, Besäumen von Brettern und Aufschneiden zu Leisten; zum Ablängen senkrecht und schräg zur Faserrichtung und für Schräg- und Gehrungsschnitte. An Platten erfolgt Besäumen und Aufteilen.

Doppelbesäumkreissägen (Bild 5.33, Tafel 5.9). Sie dienen zum Parallelbesäumen von Brettern und Aufschneiden der Säumlänge zu Leisten. Auf angetriebener Welle sind eine ortsfeste und eine verschiebbare Sägebuchse angeordnet, in die Sägeblätter eingespannt werden. Vorschub geschieht durch Walzen.

Tafel 5.9. Schnittgeschwindigkeit und Antriebsleistung für Kreissägeblätter

Sägeblattdurchmesser	mm	250	320	400	450	500	630	800	1000
Schnittgeschwindigkeit	m/s	40 ... 70							
Vorschubgeschwindigkeit	m/min	10 ... 60							
Antriebsleistung	kW	2	2,5	4	4,5	5,5	6,5	9	12,5

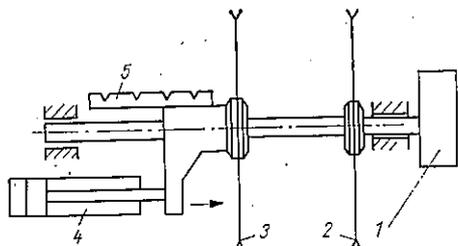


Bild 5.33 Doppelbesäumkreissäge (Schema)
1 Antriebsscheibe; 2 ortsfestes Sägeblatt;
3 verschiebbares Sägeblatt; 4 Arbeitszylinder;
5 Rastschiene

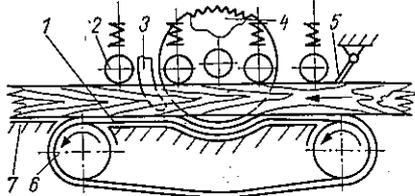


Bild 5.34. Leistenkreissäge
1 Vorschubkette; 2 Druckrolle; 3 Spaltkeil;
4 Sägeblatt; 5 Rückschlagsicherung; 6 Antriebskettenrad; 7 Tisch

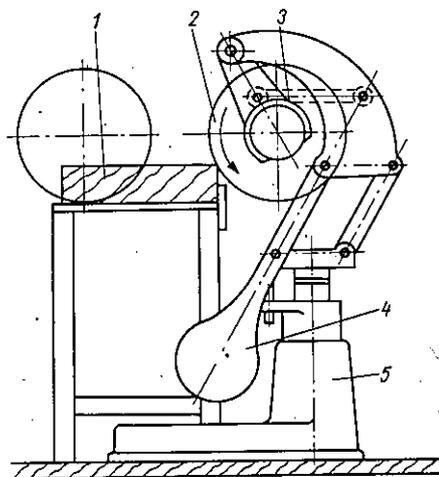


Bild 5.35
Querkreissäge für Handvorschub
1 Werkstück; 2 Sägeblatt; 3 Rückzugfeder;
4 Gegenmasse; 5 Ständer

Besäumbreiteneinstellung ist meist nach jedem zweiten einlaufenden Brett notwendig. Hydraulischer Antrieb verschiebt bewegliche Sägeblattbuchse schnell und klemmt Arbeitsstellung fest. Teilung der Rastschiene oft so, daß Schwinden beim Trocknen des Holzes berücksichtigt ist. Maschinen müssen Rückschlagsicherung haben.

Leistenkreissägen (Bild 5.34). Sie tragen auf der Sägewelle bis zu 20 durch Distanzbuchsen getrennte Kreissägeblätter. Vorschub durch umlaufende Kette oder Ein- und Abzugkette.

Querkreissägen. An Maschinen mit Handvorschub ist Sägewelle an Koppelgetriebe mit Geradföhrung befestigt (Bild 5.35). Bauarten mit angetriebenem Vorschub lassen Gehrungsschnitte zu und eignen sich mit Fräsworkzeugen anstelle des Kreissägeblatts für vielseitige Zimmereiarbeiten (Bild 5.36).

Formatkreissägen. Mit ihnen lassen sich Parallelbesäumen und Aufteilen von Platten durchführen.

Bauart mit umlaufenden Vorschubketten. Zur Breitereinstellung wird auf Prismenführung befestigter, Sägeblatt, Druckeinrichtung und Vorschubkette tragender Support seitlich verschoben. Arbeitet Maschine im Gegenlauf, müssen Vorschubkettenbahnen so weit vor-

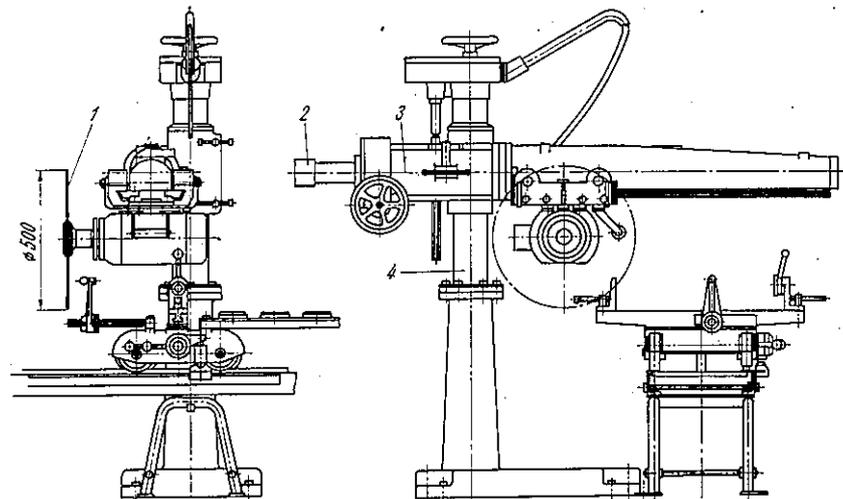


Bild 5.36. Querkreissäge
1 Werkzeug; 2 Arbeitszylinder für pneumostatischen Vorschub; 3 Rundführung für Schwenken um x-Achse;
4 Rundführung für Schwenken um y-Achse

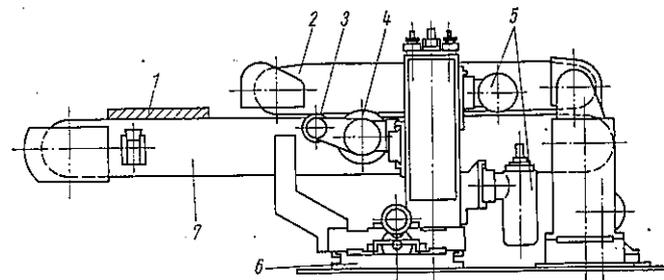


Bild 5.37. Formatkreissäge für Gegenlaufspanen
1 Werkstück; 2 Druckeinrichtung; 3 Ritzkreissäge; 4 Kreissäge; 5 zusätzliche Bearbeitungseinheit; 6 Bett;
7 Vorschubkettenbahn

gezogen sein, daß Platte vor Mitnehmer gelegt werden kann (Bild 5.37). Beim Gleichlaufarbeiten werden Werkstücke hinter Mitnehmer angelegt; Vorschubkettenbahn kann vorn kürzer ausgeführt werden. Formschlüssige Verbindung von Werkstück und Vorschubkette verhindert, daß Werkstücke hinten aus Maschine geschleudert werden (Bild 5.38). Obere Vorschubeinrichtung wird angetrieben und hat 1 ... 2% Voreilung gegenüber Vorschubkette, wodurch Werkstücke fest an Mitnehmern anliegen, bevor Werkzeuge zum Schnitt kommen. **Bauart mit Laufwagen, Querschnitt- und Aufsteleinrichtung.** Werkstück (auch mehrere ausgerichtet übereinander) wird auf einen von Rollen getragenen Laufwagen gelegt und Längsschnittsagen zugeführt. Laufwagenvorschub wird bei Querschnitt stillgesetzt. Druckrollen spannen Platten selbsttätig vor Beginn des ersten Schnittes fest. Nach letztem Schnitt ebenfalls selbsttätiges Entspannen.

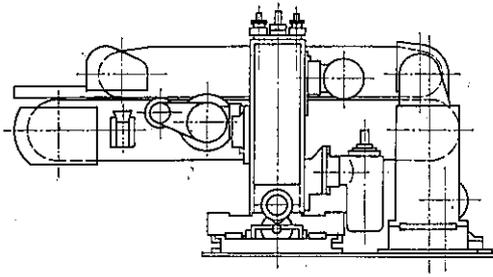


Bild 5.38
Formatkreissäge für Gleichlaufspanen

Höhere Schnittleistung wird erreicht, wenn Querschnittsäge auf Wagen montiert ist, der sich während des Querschnitts mit synchroner Geschwindigkeit zum Plattenvorschub bewegt. Querschnitt während des Plattenlängsvorschubs kann ausgeführt werden, wenn Führungsbahn für Querschnittsäge um $\alpha < 90^\circ$ (meist 30°) zur Längsvorschubrichtung schräggestellt ist. Zwischen Längs- und Querschnittvorschub muß konstantes Verhältnis bestehen:

$$u_q = u_L \tan \alpha.$$

Beim Sägenaustritt besteht Aussplittergefahr am Werkstück, die durch Ritzkreissägen und Gleichlaufzspanen beseitigt wird.

5.4. Fräsmaschinen

Aufgaben umfassen Abricht-, Dicke- und Profilfräsen mit walzenförmigen Werkzeugen, Zapfenfräsen meist mit Stirnfräsköpfen, Formfräsen, Langlochfräsen und Zinkenfräsen mit Schaftwerkzeugen und Langlochfräsen mit umlaufenden Fräsketten. Es gibt Grundmaschinen mit einer Bearbeitungseinheit für einen Bearbeitungsgang und Maschinenkombinationen mit mehreren Bearbeitungseinheiten, die Vielzahl von Bearbeitungen in einem Durchgang oder einer Aufspannung ausführen [5.8].

5.4.1. Abrichtfräsmaschinen (Tafel 5.10)

Konstruktionsmerkmale. Längenverhältnis von Vorder- zu Hintertisch 3 : 2, gleichbleibender Abstand von Schneidenkreis zu Vordertischlippe beim Einstellen der Eingriffsgröße und Vordertischschnellverstellung. Abrichtfräsen erfolgt fast ausschließlich manuell. Angetriebene,

Arbeitsbreite	mm	400	630
Messerwellendurchmesser	mm	125	
Vorschubgeschwindigkeit	m/min	3 ... 16	
Schnittgeschwindigkeit	m/s	30	
Antriebsleistung	kW	3	4

Tafel 5.10. Technische Daten von Abrichtfräsmaschinen

federbelastete Vorschubrollen vor Messerwelle verwendet, man bei kurzen stabilen Holzteilen und dünnen Teilen, die durch spätere Montage gerichtet werden (Bild 5.39). Mit angetriebenem Vorschub für abzurichtende Teile verbindet man zweckmäßigerweise Ausmittelvorrichtung, die Eingriffsgröße für jedes Werkstück nach seinem Verformungsgrad einstellt. Verformtes Werkstück darf von Vorschubeinrichtung nicht plan auf Vordertisch gedrückt werden.

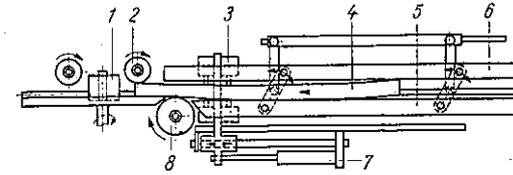


Bild 5.39
Abrichtfräsen mit Werkstückausmittlung und angetriebenem Vorschub [5.9]
1 Fügewelle; 2 Vorschubrolle; 3 Arbeitszylinder zum Halten von 4 in ausgemittelter Lage; 4 Werkstück; 5 Abrichttisch; 6 Platte; 7 Arbeitszylinder für Vorschub; 8 Abrichtwelle

5.4.2. Dickenfräsmaschinen (Bild 5.40, Tafel 5.11)

Konstruktionsmerkmale. Starrer Tisch, federbelastete Druckelemente vor und hinter Messerwelle. An Aufgabeseite ist Rückschlagschutzvorrichtung notwendig. Vorschubwalze und in Druckglieder aufgeteilter Druckbalken vor Messerwelle transportieren Werkstücke sicher beim Bearbeiten von Leisten. Antriebs Elemente verschleifen schnell bei unterschiedlicher Umfangsgeschwindigkeit der Vorschubwalzen. Ausgehobene Druckglieder der ersten Vorschubwalze müssen Umfangsgeschwindigkeit beibehalten.

Tafel 5.11. Technische Daten von Dickenfräsmaschinen

Arbeitsbreite	mm	400	630	800	1000	1320	1600
Messerwellendurchmesser	mm	125	125	140	160	160	224
Schnittgeschwindigkeit	m/s	40 ... 45					
Vorschubgeschwindigkeit	m/min	5 ... 20					
Antriebsleistung	kW	4	6	10	15	20	30

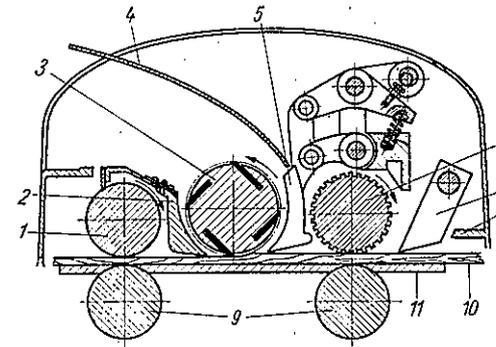


Bild 5.40
Dickenfräsmaschine - Bauart Fa. Böttcher und Geßner, Hamburg
1 Abzugwalze; 2 Druckbalken; 3 Messerwelle; 4 Späneleitblech; 5 Gliederdruckbalken; 6 Einzugwalze; 7 Rückschlagsicherung mit Gestellanschlag; 8; 9 Tischwalzen; 10 Werkstück; 11 Tisch

5.4.3. Unterfräsmaschinen (Bild 5.41)

Sie dienen hauptsächlich zum Profilfräsen. Frässupport hat Flachführung, mittig angeordnete Rundführung, zwei oder drei runde Führungssäulen. Starre Bauarten lassen bis 18000 U/min zu. Angestrebt wird stufenlose Drehzahlverstellung ab 2000 U/min. Ausgeführt wird stufenloser Verstellbereich von 1 : 6. Beim Stillsetzen der Frässpindel erfolgt selbsttätige Rückstellung des Getriebes und Bremsung der Frässpindel.

Frässpindel soll hohe Rundlaufgenauigkeit, spielarme Lagerung und lange Lebensdauer haben, damit Arbeitsgüte nicht beeinträchtigt wird. Dies bedingt hohe Herstellungsgenauigkeit und ausgesuchte Kugellager (Bild 5.42).

Lagergruppe an Werkzeugseite legt Werkzeugspindel axial fest. Zur Lagerspieleinstellung verschiebt Mikrometerschraube Kugellageraußenringe gegenüber Innenringen von außen. Axiale Verschiebung durch Gewinde erlaubt festsitzende Lageraußenringe, während Verschiebung durch Federkraft leicht verschiebbaren Lagersitz bedingt. Große Anzahl Kugellager verringert anteilige Belastung je Lager und erhöht Lebensdauer.

senkrecht, neigbare Frässpindel beeinträchtigt Steifigkeit der Maschine, ermöglicht aber Einsatz kleinerer und im Durchmesser ausgeglichenerer Werkzeuge; dadurch Werkzeuginsparungen, verminderte Unfallgefahr, technologisch günstiger Arbeitsablauf.

Kritisches Bauelement ist Fräsdorn, der infolge kritischer Drehzahl oft bricht (Bild 5.43).

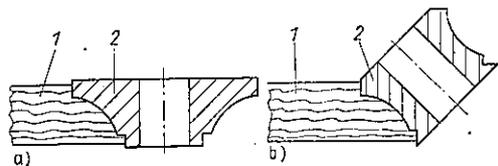


Bild 5.41. Fräsen auf Unterfräsmaschine (Schema)
a) mit vertikaler Werkzeugspindel; b) mit geneigter Werkzeugspindel
1 Werkstück; 2 Werkzeug

Bild 5.42
Werkzeugspindel

1 Spindel; 2 Werkzeug; 3 Hülse;
4 Support; 5 Mikrometerschraube

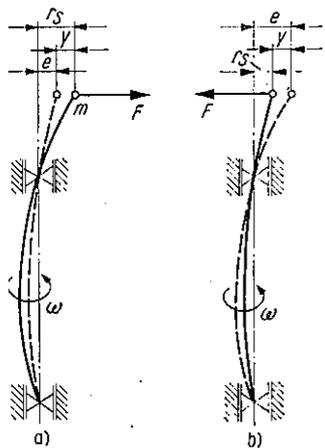
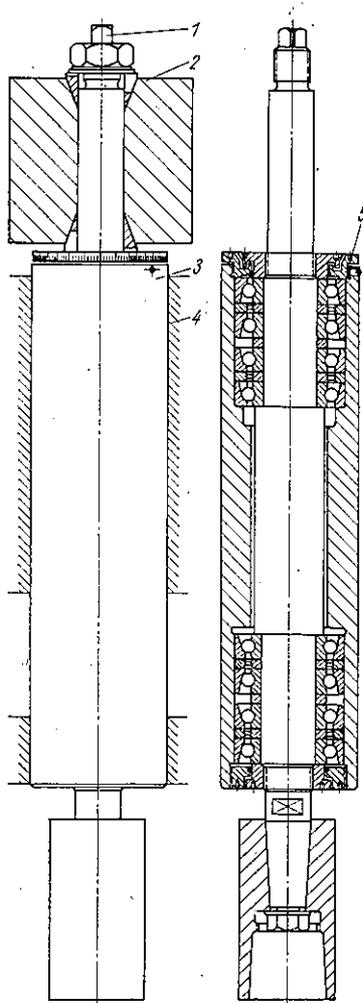


Bild 5.43. Auslenkung von Fräsdornen durch übermäßig angreifende Fliehkraft
a) unterkritischer, b) überkritischer Bereich
Erläuterungen s. Text



Zweifach gelagerter Fräsdorn trägt am fliegenden Ende aufgesetzte Masse m , deren Schwerpunkt im Abstand e von Lagerachse liegt. Bei Rotation mit Winkelgeschwindigkeit ω entsteht dadurch Fliehkraft

$$F = mr_s \omega^2 = m(y + e) \omega^2, \quad (5.75)$$

die Schwerpunkt zusätzlich um y auslenkt. Biegesteifigkeit c der Welle setzt dagegen Kraft

$$F_c = cy. \quad (5.76)$$

Aus Kräftegleichgewicht folgt bei Vernachlässigung von Dämpfungseinflüssen (z.B. innere Reibung)

$$y = \frac{e}{(c/m \omega^2) - 1}. \quad (5.77)$$

Bei $c/m = \omega^2$ wird y endlich groß (Resonanzfall), d.h., kritische Winkelgeschwindigkeit beträgt

$$\omega_{\text{krit}} = \frac{c}{m}. \quad (5.78)$$

Für Beanspruchung des Dorns durch Fliehkkräfte ergeben sich unterkritischer ($\omega/\omega_{\text{krit}} \ll 1$), kritischer ($\omega/\omega_{\text{krit}} \approx 1$) und überkritischer Bereich ($\omega/\omega_{\text{krit}} > 1$). Praktisch arbeiten Frässpindeln im unterkritischen Bereich. Nähert man sich Resonanz, wird r_s/y immer größer, z.B. für $\omega/\omega_{\text{krit}} = 0,95$ ist $r_s = 5,64y$. Bei einwandfrei eingespannten Fräsdornen und betriebsüblicher Unwucht ist $\omega = 0,8\omega_{\text{krit}}$ noch betriebssicher.

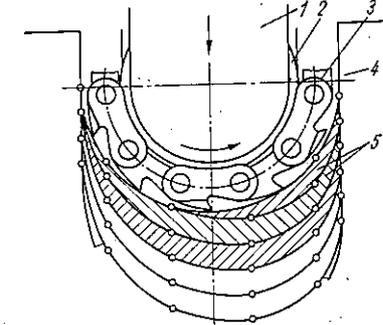
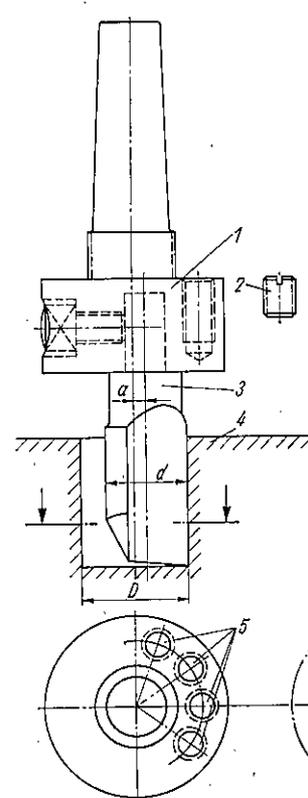


Bild 5.45. Kettenfräsen (Schema)
1 Gleitschiene; 2 Umlenkrad; 3 Fräskette;
4 Werkstück; 5 Spannungsquerschnitt

Bild 5.44
Fräsen auf Oberfräsmaschine (Schema)
1 Spannfutter; 2 Auswuchtmasse;
3 zylindrischer Fräser; 4 Werkstück;
5 Gewinde für 2
 a Exzentrizität; d Fräserdurchmesser;
 D Fräsdurchmesser

5.4.4. Oberfräsmaschinen (Bild 5.44)

Man verwendet sie hauptsächlich zum zweidimensionalen Formfräsen. Sie haben meist einschneidiges Werkzeug, das für freien Schnitt exzentrisch im Spannfutter befestigt und sorgfältig ausgewuchtet ist. Kleine Werkzeugdurchmesser und wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeiten bedingen Spindeldrehzahlen von 18000 ... 36000 U/min. Arbeitsspindel ist meist verstärkte und verlängerte Läuferwelle eines Drehstrom-Kurzschlußläufermotors, der seinen Strom vom Netz über Frequenzwandler erhält.

An neueren Bauarten bewegen Arbeitszylinder den Frässupport; Begrenzung zum Werkstück durch Revolveranschläge. Zur Führung von Aufspannschablonen dient gleichachsig zur Frässpindel im Tisch angeordneter Nachformstift.

5.4.5. Kettenfräsmaschinen (Bild 5.45)

Auf ihnen werden Zapfenlöcher mit parallelen oder keglig verlaufenden Flanken hergestellt. Sie arbeiten mit einer in senkrechter Ebene umlaufenden Gelenkgliederkette, deren Glieder Schneidzähne tragen. Wegen Verschleiß muß Kette stets merkliches Spiel zwischen Antriebsrad und der zur Führung dienenden Gleitschiene mit Umlenkrolle haben; daher keine hohen Genauigkeitsansprüche. Nur mit Tiefenvorschub sollte gearbeitet werden; seitliches Verschieben des Werkstücks bei eingefahrener Kette erhöht Verschleiß und setzt Lebensdauer des empfindlichen Werkzeugs herab. Bei angetriebenem Vorschub verschleißt Fräskette stark, so daß man auch noch Maschinen mit Handvorschub für Großserienfertigung einsetzt.

5.4.6. Maschinenkombinationen

Sie dienen für Vielzahl von Fräsarbeiten in einem Werkstückdurchlauf bzw. einer Werkstückaufspannung. Kombinationen mit Säge- und Bohreinheiten sind üblich. Hauptsächlichste Kombinationen sind Profilfräsmaschinen (Bild 5.46) und Doppelendprofiler (Bild 5.47), die gemeinsame Konstruktionsmerkmale der Bearbeitungseinheiten haben.

Bearbeitungseinheiten. Sie sind auf Kreuzsupport montiert und in zwei Ebenen zum Werkstück zustellbar. Verschiedene Anwendungsfälle erfordern Schwenken. Während des Arbeitens ist Spiel in Führungen durch Klemmeinrichtungen zu beseitigen. Werkzeugspindel ist meist verlängerte Läuferwelle eines Drehstrom-Kurzschlußläufermotors langgestreckter Bauart. Scheibenbremse an Lüfterseite des Motors setzt Werkzeug nach Ausschalten schnell still. Motordrehzahl für Fräsworkzeugantrieb beträgt 6000 ... 18000 U/min, je nach Schneidkreisdurchmesser, Leistung 1 ... 4 kW (Bild 5.48 a).

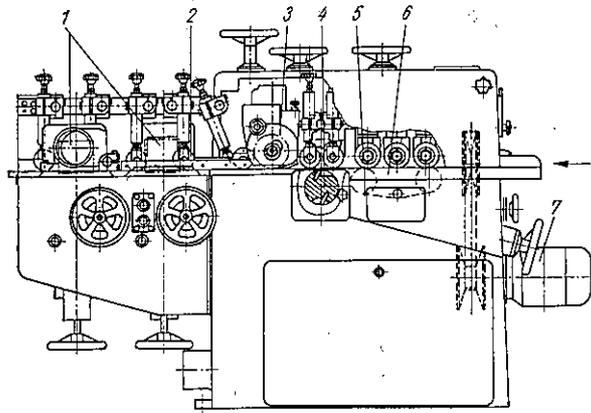


Bild 5.46
Profilfräsmaschine

1 vertikale Werkzeugspindel;
2 Druckrolle; 3 obere horizontale
Werkzeugspindel; 4 untere
horizontale Werkzeugspindel;
5 Vorschubrolle; 6 Vorschubkette;
7 Vorschubantrieb

Getrennte Anordnung von Werkzeugspindel und Antriebsmotor mit Riemengetriebe ermöglicht bessere Lagerung durch Benutzung von Werkzeugspindeln, deren Aufbau dem der Schleifspindeln entspricht. Bauart bedingt höheren Fertigungs- und Platzaufwand (Bild 5.48 b). Für aussetzenden Betrieb und Eckenabrundungen ist hydraulisch oder elektromagnetisch schwenkbare Zusatzinheit, die Werkzeug trägt, auf Bearbeitungseinheit montiert.

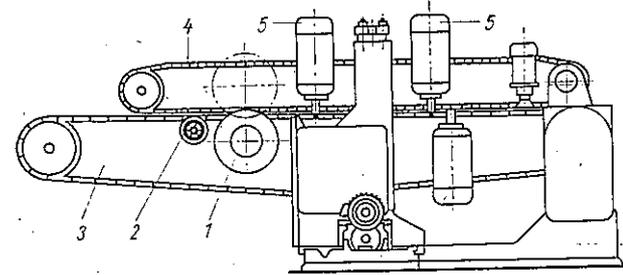


Bild 5.47
Doppelendprofiler
1 Sägeeinheit; 2 Ritzsäge-
einheit; 3 Vorschubketten-
bahn; 4 Druckeinrichtung;
5 Fräseinheit

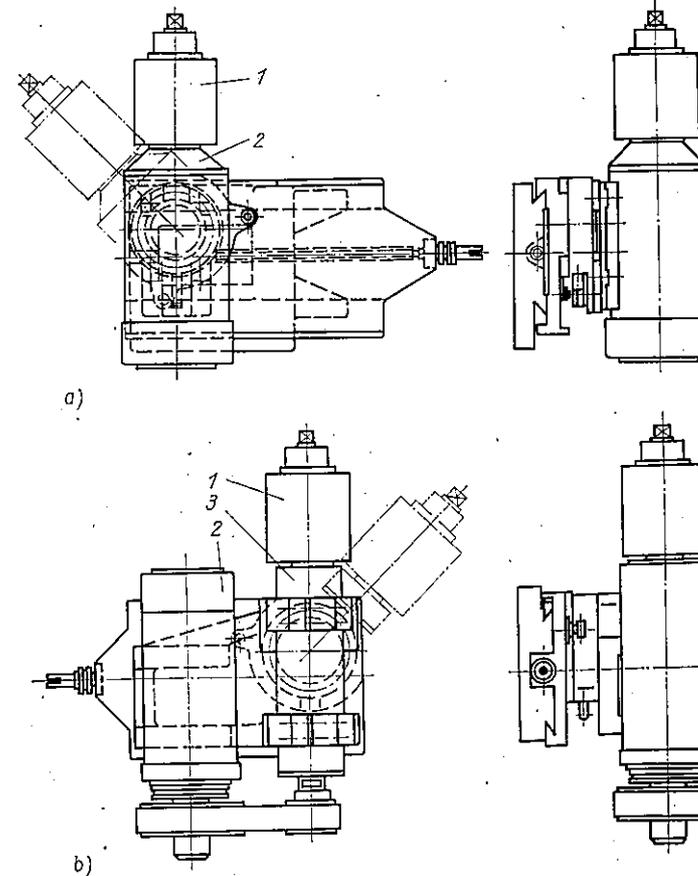


Bild 5.48
Bearbeitungseinheit
a) für direkten An-
trieb; b) für Rie-
menantrieb
1 Werkzeug
2 Antriebsmotor
3 Werkzeugspindel

Vorschubeinrichtungen für Profilfräsmaschinen. An modernen *Maschinen für Langseitenbearbeitung* führen angetriebene, federbelastete Rollen hinter den Werkzeugspindeln den Vorschub durch. Hat Maschine nur Einzugrollen, bleibt Werkstück bei unterbrochener Werkstückzufuhr in Maschine stecken; dadurch entstehen Schabespuren am Werkstück und schnelle Schneidenabstumpfung.

Bei *Maschinen mit Abricht- und Fügeinheit* läßt sich angetriebene Vorschubrolle vor Abrichteinheit abschwelen bzw. abnehmen, damit Abrichten von Hand (d.h. Zufuhr des Werkstücks, bis es erste angetriebene Vorschubrolle hinter Abrichteinheit sicher erfaßt) möglich ist. Für Abrichten mit angetriebenem Vorschub bringt man zusätzliche Vorschubeinheit mit angetriebenen Rollen an, die auf Werkstückschmalflächen wirken.

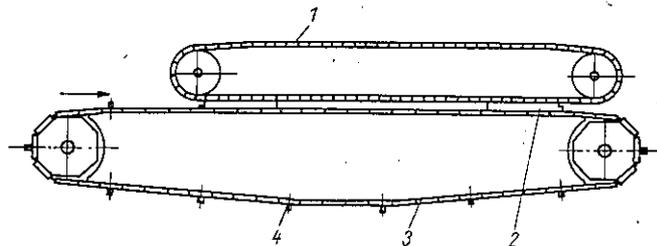


Bild 5.49. Vorschub- und Druckeinrichtung für Doppelendprofil
1 Druckeinrichtung; 2 Werkstück; 3 Vorschubkette; 4 Mitnehmer

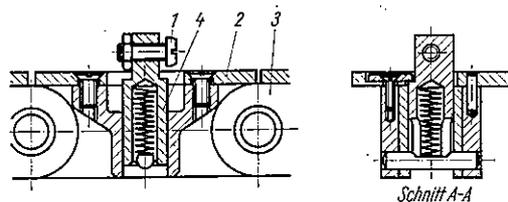


Bild 5.50
Vorschubkette mit versenkbaren Mitnehmern
1 Anschlagsschraube; 2 Deckplatte; 3 Kettenglied;
4 versenkbarer Mitnehmer

Vorschub- und Druckeinrichtungen für Doppelendprofil (Bild 5.49). Umlaufende Ketten mit Mitnehmern dienen zum Vorschub der von oben durch umlaufende Druckeinrichtungen eingespannten Werkstücke. Versenkbare Mitnehmer der Vorschubketten ermöglichen Aufnahme von Werkstücken, die breiter als Mitnehmerzwischenraum sind (Bild 5.50).

Beim *Gegenlaufspannen* werden Werkstücke vor Mitnehmer gelegt; Druckeinrichtung ist nicht angetrieben. *Gleichlaufspannen* erfordert Anlegen der Werkstücke hinter Mitnehmer und angetriebene Druckeinrichtung.

Beim Austritt der Schneiden aus Hirnholzwerkstücken besteht infolge geringer Holzfestigkeit die Gefahr der Ausplitterung, die sich mit zunehmender Spandicke erhöht. *Gleichlaufspannen* vermeidet Ausplittern, jedoch verschleifen Schneiden schneller. Beim *Gegenlaufspannen* wird Vorschubgeschwindigkeit beim Austritt der Schneiden herabgesetzt (Schongang-Vorschubgeschwindigkeit); Werkstückvorderkante gibt Impuls über Endschalter.

Beim Dübellochbohren steht Werkstück still, oder Bohreinheit wird auf Führungsbahnen mit Vorschubgeschwindigkeit verschoben.

Für aussetzenden Betrieb und Dübellochbohren durch Programmsteuerung setzt Werkstückvorderkante über Schaltnocken Werkstückvorschub still und löst Programmablauf aus. Einzusetzende Bearbeitungseinheiten werden auf Programmkarte abgesteckt.

Für umlaufende Druckeinrichtungen sind längsgerillte Profile aus nichtfärbendem Gummi notwendig, die Werkstücke sicher einspannen. Um Schichtstoffverbundplatten bearbeiten zu können, muß Haftreibung durch Gummistopfen in Vorschubkettenoberfläche erhöht werden.

Verkürzung von Hilfszeiten. Häufiger Werkzeugwechsel infolge starker Abrasivität neuerzeitlicher Möbelbauwerkstoffe und häufiges Umrüsten bei der Fertigung kleiner Stückzahlen erfordern Verkürzung der Hilfszeiten. Rückzug der Werkzeugsupporte in Werkzeugwechselstellung, Schieben in Bearbeitungsstellung und häufig auch Klemmen erfolgen durch hydraulische Arbeitszylinder. Revolveranschläge bestimmen Lage der Bearbeitungsstellung (Bild 5.51).

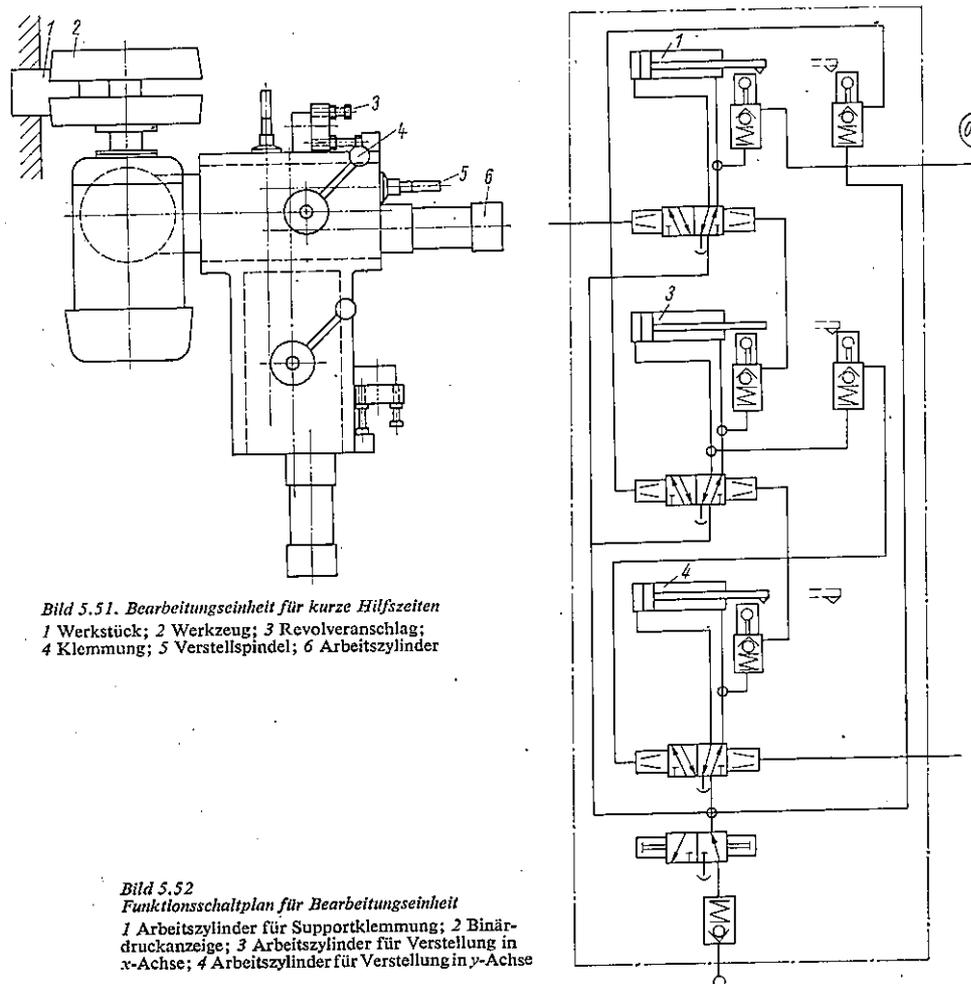


Bild 5.51. Bearbeitungseinheit für kurze Hilfszeiten
1 Werkstück; 2 Werkzeug; 3 Revolveranschlag;
4 Klemmung; 5 Verstellspindel; 6 Arbeitszylinder

Bild 5.52
Funktionsschaltplan für Bearbeitungseinheit
1 Arbeitszylinder für Supportklemmung; 2 Binärdruckanzeige;
3 Arbeitszylinder für Verstellung in x-Achse;
4 Arbeitszylinder für Verstellung in y-Achse

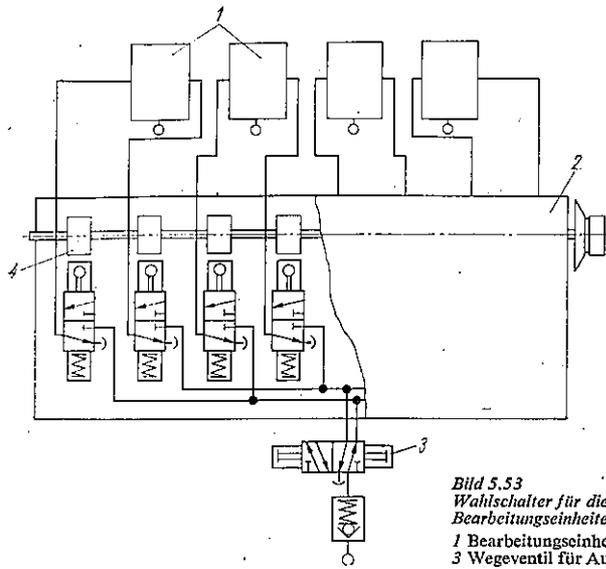


Bild 5.53
Wahlschalter für die Vorsteuerung von vier Bearbeitungseinheiten (Schema)
1 Bearbeitungseinheit s. Bild 5.51; 2 Wahlschalter; 3 Wegeventil für Aus- und Einschaltung; 4 Schaltknochen

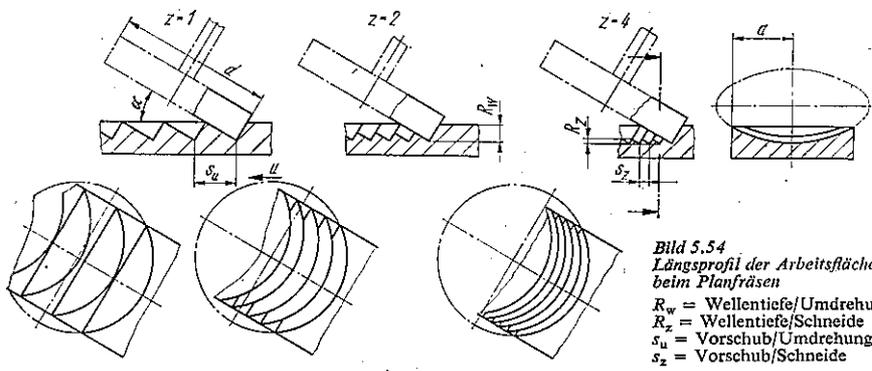


Bild 5.54
Längsprofil der Arbeitsfläche beim Planfräsen
 R_w = Wellentiefe/Umdrehung
 R_z = Wellentiefe/Schneide
 s_u = Vorschub/Umdrehung
 s_z = Vorschub/Schneide

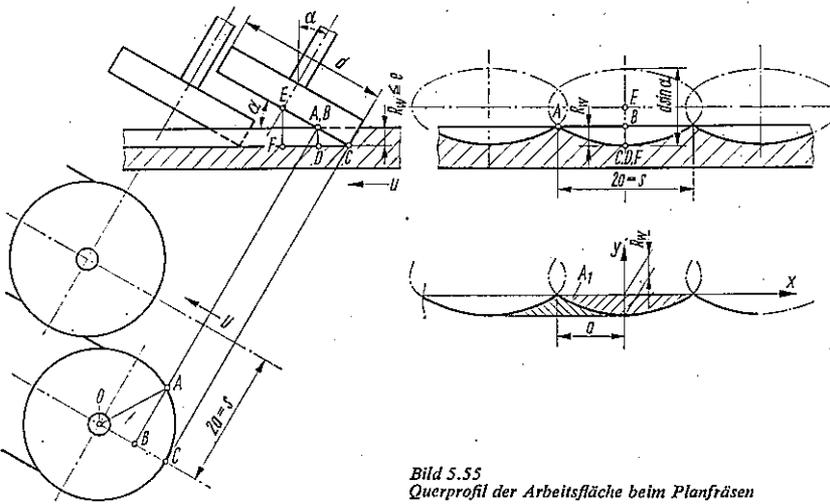


Bild 5.55
Querprofil der Arbeitsfläche beim Planfräsen

Durch Wahlschalter werden Bearbeitungseinheiten, die verstellt werden sollen, vorgesteuert (Bild 5.53). Folgesteuerung bewirkt Lösen, Rückzug und nach Werkzeugwechsel Schieben in Bearbeitungsstellung sowie Klemmen (Bild 5.52).

Lage von Planfräswerkzeugen. Beim Planfräsen von Breit- und Schmalflächen und beim Zapfenfräsen ist infolge Federung des Werkstücks Neigung der Werkzeugspindelachse zur Arbeitsfläche notwendig (Bild 5.54). Hierbei entstehen im Längsprofil die Wellentiefen

$$R_w = \left(\frac{d}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{d^2 - s^2} \right) \sin \alpha; \quad (5.79)$$

s s. Bild 5.55.

Fläche A_1 im Querprofil (Bild 5.55) ist

$$A_1 = 2 \int_{x=0}^a \int_{y=0}^{(R_w/a)\sqrt{a^2-x^2}} dx dy = \frac{\pi}{2} R_w a. \quad (5.80)$$

Beim Zapfenfräsen ist Strecke $\overline{EF} = 0,15$ mm notwendig.

5.5. Dübellochbohrmaschinen

Haupteinsatzgebiete sind Sitz- und Kastenmöbel. In einer Aufspannung bzw. einem Werkstückdurchlauf werden alle Dübellöcher gebohrt. Für Sitzmöbelteile sind Dreifachbohrköpfe ausreichend. Zum schnellen Zusammenstellen der Bohrbilder bei plattenförmigen Werkstücken sind Bohreinheiten mit einer Vielzahl (4 bis 10, 19 oder 21) in Reihe angeordneter Bohrspindeln üblich, die an Mehrseiterdübellochbohrmaschinen auf zwei Werkstückbreit- und

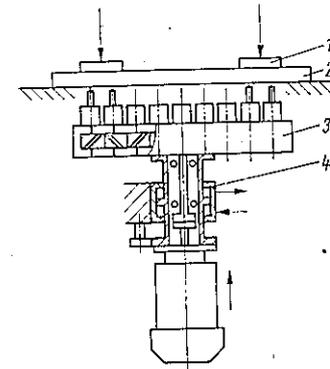


Bild 5.56. Dübellochbohrmaschine (Schema)
1 Spannvorrichtung; 2 Werkstück; 3 Bohreinheit; 4 Arbeitszylinder

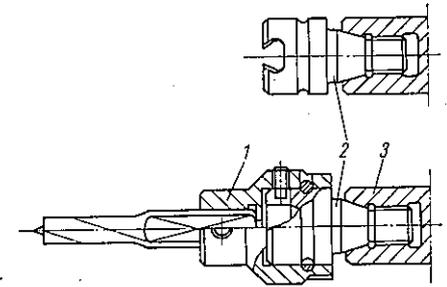


Bild 5.57. Schnellwechselfutter
1 Schnellwechselfutter; 2 Aufnahme- und Mitnehmerkegel; 3 Bohrspindel

-schmalflächen wirken (Bild 5.56). Vorwahrleinrichtung gestattet die zum Bohrbild benötigten Bohreinheiten vorzusteuern. Vorschub der Bohreinheiten und Spannen des Werkstücks erfolgt durch Druckluftarbeitszylinder. Zu- und Abtransport des Werkstücks geschieht durch umlaufende Transportriemen. Nach Anlauf des Werkstücks an Endanschläge Auslösen des Arbeitstakts: Absenken der Transporteinrichtung, Lagekorrektur, Spannen, Bohren, Entspannen, Heben der Transporteinrichtung und Abtransport. Standardisierter Bohrspindelachsabstand 32 mm. Schnellwechselfutter ermöglichen Bohrerwechsel ohne Schraubenschlüssel (Bild 5.57).

5.6. Schleifmaschinen

Sie dienen zum Feinschleifen von Holz- und Lackoberflächen, Dickeschleifen von Span- und Faserplatten, Brechen von Werkstückkanten sowie Verputzen zusammengesetzter Werkstücke. Es wird Bearbeitungsrautiefe erreicht von

$$R_t = (110 \pm 20) d_t l_e; \quad (5.81)$$

d_t idealisierter Schleifkorndurchmesser (Bild 5.15),
 l_e Werkstoffdicke,
 + für scharfe Körnung,
 - für abgestumpfte Körnung [5.10].

5.6.1. Furnierschleifmaschinen

Werkstück in Schlefebene wird plangedrückt, oder Werkzeug gleicht sich den Werkstücknebenheiten an, damit örtliches Durchschleifen dünner Furniere vermieden wird. Da Planrücken nur bei Furnierplatten, Faserplatten und dünnen Spanplatten ausreichend gelingt, sind Maschinen mit nachgiebigem Andruckelement für das Schleifband überlegen.

Zylinder- und Breitbandkontaktschleifmaschinen (Bild 5.58, Tafel 5.12). Sie sind mit Kontaktwalze ausgerüstet und haben in Schlefebene fest angeordnete Druckklippen, an die Werkstück

Arbeitsbreite	mm	1100	1300
Schnittgeschwindigkeit	m/s	30	
Vorschubgeschwindigkeit	m/min	8 ... 24	
Antriebsleistung	kW	20	30
Schleifband			

Tafel 5.12. Technische Daten von Breitbandkontaktschleifmaschinen zum Furnierschleifen

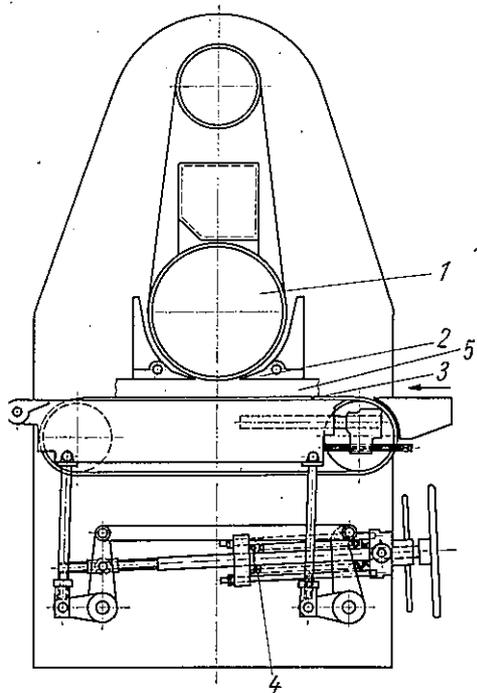


Bild 5.58
Breitbandkontaktschleifmaschine
1 Kontaktwalze; 2 feste Druckklippe; 3 umlaufendes Vorschubband; 4 Tischfederung;
5 Werkstück

durch federbelastete Druck- und Vorschubelemente angedrückt und vorgeschoben wird. Bestes Anpassen an Unebenheiten auf Werkstückoberfläche wird durch *Druckschuh* (Bild 5.59) erreicht, der durch längs liegenden Luftschlauch angedrückt wird. Günstigster Druckbereich ist 60 ... 80 bar. Damit eingestellter Druck beim Zusammendrücken des Luftschlauchs möglichst konstant bleibt, ist für Puffervolumen im Verhältnis 1 : 50 zu sorgen. Überstehende Druckschuhteile runden Werkstückkanten. Beim Durchlauf wird Druckschuh daher so auf Werkstück aufgesetzt bzw. ausgehoben, daß er vordere und hintere Werkstückkanten nicht überragt. Ausheben überstehender Druckschuhteile bzw. Aufheben des Drucks in diesen Zonen schützt Längskanten.

Kombinationsmaschinen, mit Kontaktwalze 47 ... 52 Shore Gummihärte (s. Bild 5.66) zum Aufreißen (d. h. Aufrauhnen) von Flächen mit Fugenklebepapier und Vorschleifen sowie mit pneumatisch gefedertem Druckschuh zum Fertigschliff für den Maserdruck oder für das Beschichten mit Polyester- bzw. Nitrozelluloselack, erfordern Konstruktion, die gering verformte Werkstücke in ständigem Kontakt mit den Werkzeugen hält (Bild 5.60). Ursache für Ratter-

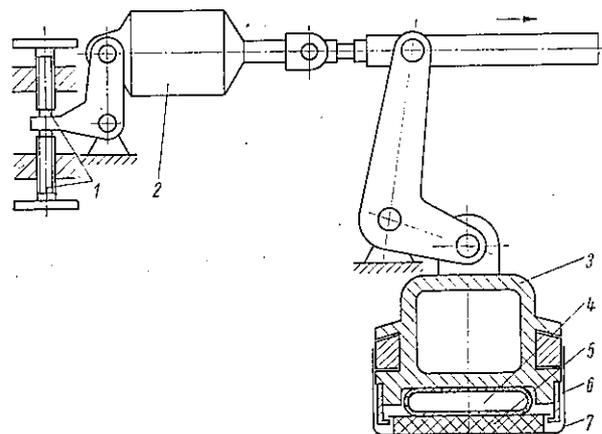


Bild 5.59
Pneumatisch gefederter Druckschuh
1 Justierschraube; 2 Arbeitszylinder; 3 Träger; 4 Luftschlauch; 5 Filz auf Stahlband; 6 Klammer für Längskantenschutz; 7 Schutzband
3 gegenüber 1, 2 und gegenüber Gestänge um 90° verdreht gezeichnet

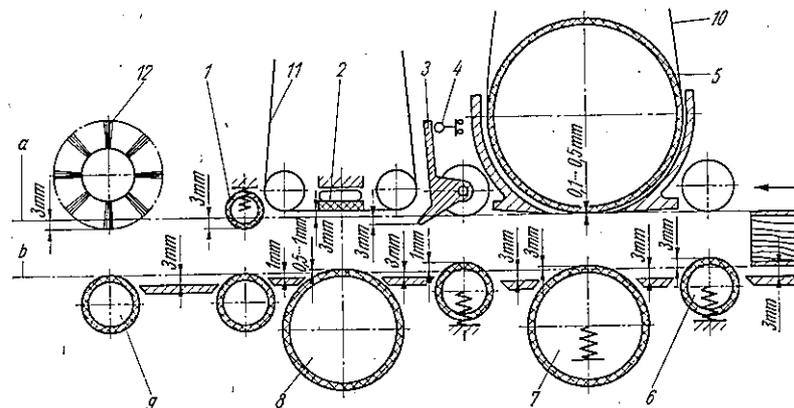


Bild 5.60. Breitbandkontaktschleifmaschine mit zwei Schleifeinheiten zum Furnierschleifen

a Schlefebene; b Auflageebene
1 federbelastete Abzugswalze; 2 pneumatisch gefederter Druckschuh; 3 Druckklippe; 4 Schalter zum Heben und Senken von 2; 5 Kontaktwalze; 6 federbelastete Einzugswalze; 7 federbelastete Gegenwalze; 8 starre Gegenwalze; 9 starre Abzugswalze; 10, 11 Schleifband; 12 Bürstenwalze

marken sind: Rundlauffehler und Unwucht der Kontaktwalze, Verbindungsstelle des Schleifbands und Ungleichförmigkeit der Vorschubbewegung. Bei wertvollen Maserfurnieren, die transparenten Lacküberzug erhalten, oder bei verformten Platten ist Einsatz von Normalbandschleifmaschinen notwendig.

Normalbandschleifmaschinen mit Langdruckbalken. Überfüllung der Schleifkornzwischenräume wird durch Unterteilung der Druckbalkengleitfläche in schräg zur Laufrichtung des Schleifbands liegende Druckrippen oder durch umlaufendes Drucklamellenband vermieden (Bild 5.61).

Normalbandschleifmaschinen mit Druckschuh (Bild 5.62). Wirkungsvoller als Filzgleitfläche erweist sich aerostatische Bandabstützung (Luftkissen) [5.11]. Schleifen thermoplastischer Lackflächen erfordert Wassersprüheinrichtungen. Beim Trockenschliff duroplastischer Lackfilme entsteht starke elektrostatische Aufladung.

Verdoppelung der Anpreßkraft F_n führt zu 2,6facher spezifischer Abschleißmenge, Verdoppelung der Schnittgeschwindigkeit nur zu 2facher; günstigster Anpreßdruck ist $0,98 \text{ N/cm}^2$. Wegen Gefahr vorzeitigen Bandbruchs wird $v = 30 \text{ m/s}$ nicht überschritten. Leistungsgrenze des Schleifbands:

$$P = F_n \cdot v; \quad (5.82)$$

$\epsilon = 0,6$ Schleifbeiwert bei arbeitsscharfem Schleifband,
 F_n Anpreßkraft des Druckschuhs auf Schleifband.

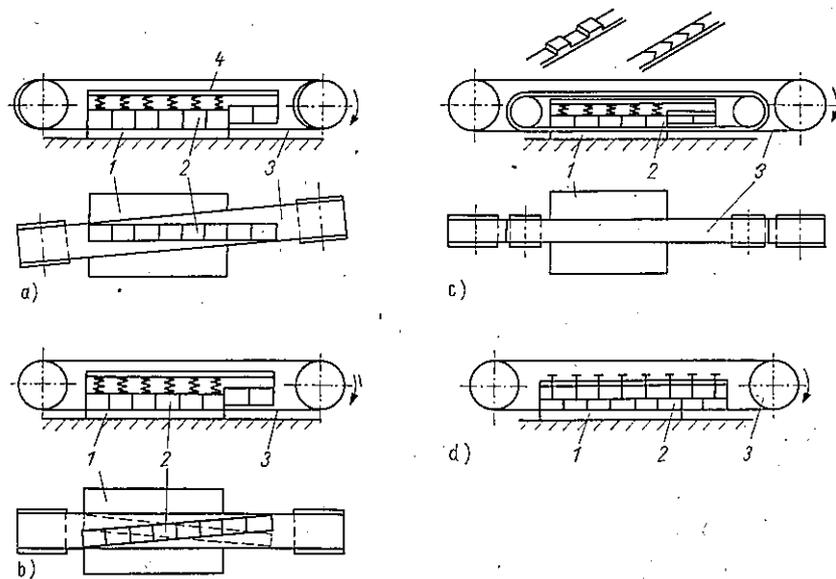


Bild 5.61. Normalbandschleifmaschinen mit Langdruckbalken

a) schräg zur Laufrichtung des Schleifbands liegender Druckbalken mit Druckrippen, b) abwechselnd schräg zur Laufrichtung des Schleifbands gestellter Druckbalken; c) unlaufendes Drucklamellenband; d) Druckzylinder, die abwechselnd nacheinander in Schleifebene bewegt werden
1 Werkstück; 2 Druckelement; 3 Schleifband; 4 Druckbalken

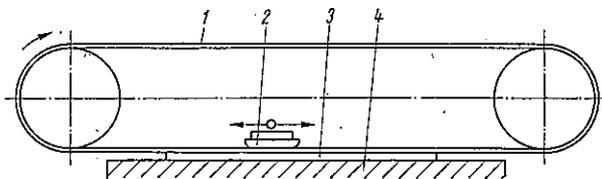


Bild 5.62
Normalbandschleifmaschine
mit Druckschuh

1 Schleifband; 2 Druckschuh;;
3 Werkstück; 4 Tisch

5.6.2. Dickenschleifmaschinen (Tafel 5.13)

Haupteinsatzgebiet ist Dickenschleifen von Spanplatten wegen stark abrasiver Wirkung des ausgehärteten Klebers auf Stahl- und Hartmetallwerkzeuge. Maschinen haben starren Tisch, federnde Druckelemente vor Werkzeugen, Schleifzylinder und Breitschleifbänder. Einsatz von Fräsworkzeugen bei Eingriffsgrößen $> 1,6 \text{ mm}$. Bei Spanplatten mit Deckschichten aus sehr feinen Spänen ist Zentriereinrichtung zum symmetrischen Abspanen von Werkstückoberseite und -unterseite zweckmäßig [5.12].

Tafel 5.13. Technische Daten von Zylinder- und Breitbandkontaktschleifmaschinen zum Dickenschleifen

Arbeitsbreite	mm	1350	1900	2200
Schleifzylinderdurchmesser	mm		400	
Kontaktwalzendurchmesser	mm		400	
Schnittgeschwindigkeit	m/s		25 ... 30	
Vorschubgeschwindigkeit	m/min		6 ... 30	
Antriebsleistung je Schleifzylinder	kW	30	45	55
Antriebsleistung je Breitschleifeinheit	kW	75	100	132

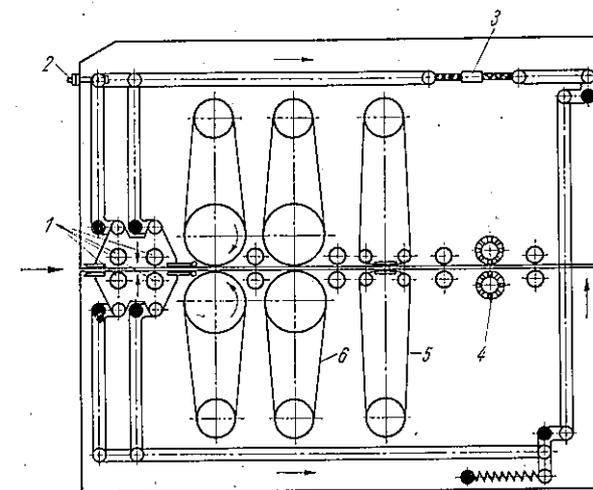


Bild 5.63
Breitbandkontaktschleifmaschine
mit Zwangszentrierung
1 Vorschubwalze; 2 Anschlagmutter;
3 Einstellmutter;
4 Bürstenwalze; 5 Schleifeinheit
mit Kontaktschuh; 6 Schleifeinheit
mit Kontaktwalze

Zentriereinrichtung hat federbelastete Vorschubwalzen an Einlaufseite, die über Gestänge so verbunden sind, daß unteres und oberes Vorschubwalzenpaar jeweils gleichen Abstand von der Symmetrieebene haben (Bild 5.63) [5.13]. Durch starr angeordnete Vorschubwalzenpaare mit weichem Gummimantel wird keine Zwangszentrierung erreicht. Unterschiedliche Abplattung des Gummimantels zwischen den Walzenpaaren an der Einlauf- und Auslaufseite führen zu schnellem Verschleiß.

5.6.3. Schleifzylinder

Trotz feiner Körnung hinterlassen Schleifzylinder auf geschliffenen Flächen unvermeidbare Bearbeitungsspuren (sinusförmige Wellenlinien), bedingt durch Linienberührung zwischen Werkzeug und Werkstück, Zylinderoszillation und zurückgesetzten Umfang an Schleifkörperüberlappung bzw. Einspannstelle bei Geradbespannungszylindern.

Geradbespannungszylinder (Bild 5.64). Er eignet sich für höchste Schleifkörperbeanspruchung beim Schrupschleifen stark abrasiv wirkender Holzwerkstoffe. Schleifkörper mit $0,45 \text{ mm}$

5.6.5. Hauptkräfte im Schleifbandtrieb

Man findet sie bei umspanntem Bogen $\alpha = \pi$ schnell aus Bild 5.70. Nomografisch sind dargestellt

Bild 5.71a $P = \frac{F_u v}{1000} \frac{P}{\text{kW}} \left| \frac{F}{\text{N}} \right| \frac{v}{\text{m/s}}$;

F_u Umfangskraft

Bild 5.71b $H = v^2 q$

Bild 5.71c $F_y = H b s \frac{F_y}{\text{N}} \left| \frac{H}{\text{kg/s}^2 \cdot \text{m}} \right| \frac{b; s}{\text{m}}$;

F_y durch Vorspannung aufgebrachte Radialkraft an Bandrolle, $s = 10^{-3} \text{ m}$ Schleifbanddicke.

Bild 5.71d $D_1 = F_u \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1}$,

$D_2 = F_u \frac{e^{\mu\alpha} + 1}{e^{\mu\alpha} - 1}$

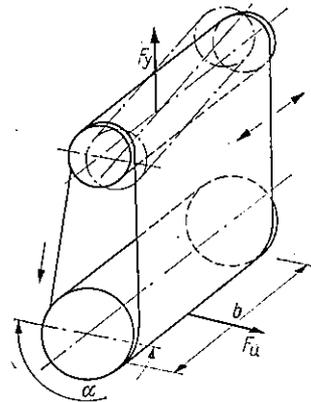


Bild 5.70 Hauptkräfte im Schleifbandtrieb

Bild 5.71e dient zur Ermittlung der Zahlenwerte für

$e^{\mu\alpha}, \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1}$ und $\frac{e^{\mu\alpha} + 1}{e^{\mu\alpha} - 1}$.

Kraft im Arbeitsraum des laufenden Bandes ist

$F_I = D_1 + F_y$ (5.83)

und Radialkraft im Ruhezustand

$F_{yR} = D_2 + 2F_y$ (5.84)

Bei Breitschleifbändern mit Trägermaterial aus Papier ist ZerreiBfestigkeit 300 N/cm, Dichte 0,87 kg/cm³, Dehnung 0,25% bei 50 N/cm.

5.7. Maschinen zum Zerkleinern

Hackschnitzler und Zerspanungsmaschinen stellen Hackschnitzel und Flachspäne aus Schichtholz, Reiserholz und grobstückigen Holzabfällen spanend her. Auf Mühlen, Messerringzspanern und, Stahlscheibenraffineuren werden Hackschnitzel und Späne nachzerkleinert [5.15].

Messerscheibendurchmesser	mm	1600	3000	
Lichte Magazinweite	mm	250	600	
Hackleistung	m ³ /h	7 ... 10	50 ... 70	
Antriebsleistung	kW	25	160	
Messertrommeldurchmesser	mm	800	1200	1600
Lichte Magazinweite	mm	250	300	450
Hackleistung	m ³ /h	60	90	140
Antriebsleistung	kW	160	250	500
Zahl der Messer		4 ... 10		

Tafel 5.14. Technische Daten von Hackschnitzlern

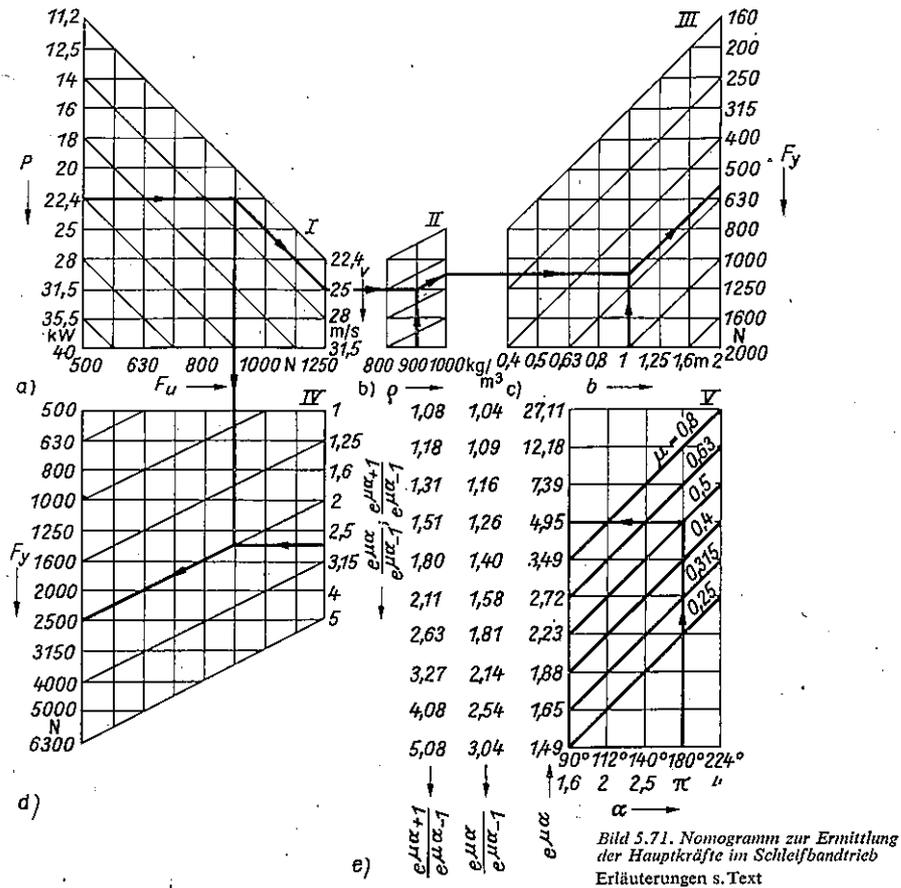


Bild 5.71. Nomogramm zur Ermittlung der Hauptkräfte im Schleifbandtrieb Erläuterungen s. Text

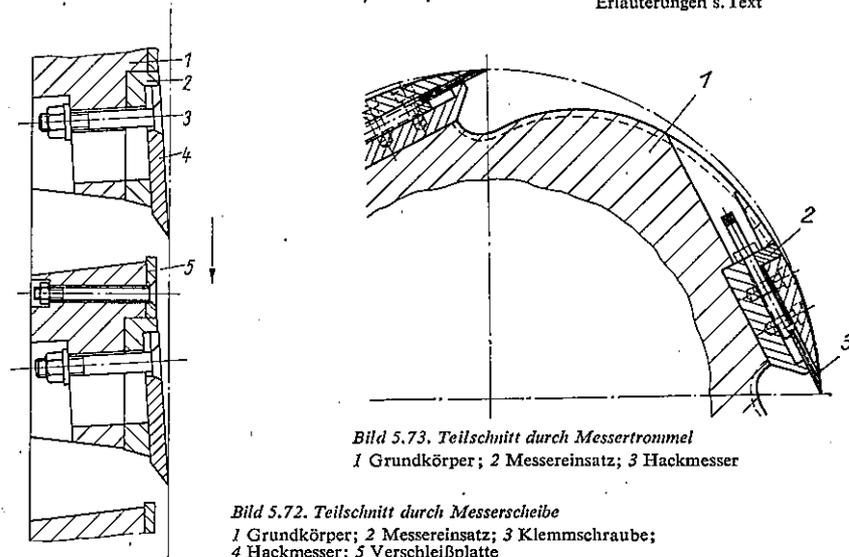


Bild 5.73. Teilschnitt durch Messertrommel 1 Grundkörper; 2 Messereinsatz; 3 Hackmesser

Bild 5.72. Teilschnitt durch Messerscheibe 1 Grundkörper; 2 Messereinsatz; 3 Klemmschraube; 4 Hackmesser; 5 Verschleißplatte

5.7.1. Hackschnitzler (Tafel 5.14)

Verzeuge. Das sind Messerscheiben, Messertrommeln und kegelstumpfförmige Scheiben mit spiralig angeordneten Messern (Bilder 5.72, 5.73 und 5.74).

angetriebener Vorschub. Ausforstungsholz, Dünholz, Schwarten, Sämlinge und Holzabfälle fordern angetriebene Vorschubeinrichtungen, die Hackgut sicher bis zum Messer führen. Wichtig ist Abstimmung der Vorschubgeschwindigkeit mit Messerüberstand, Messeranzahl, Werkzeugdrehzahl und Werkzeugform, damit stauchfrei gehackt wird (Bilder 5.75 und 5.76).

Einzugbeschiebung. Beim Hacken von Rundholz erfolgt Einzug meist durch Schwerkraftwirkung und Hauptschnittkraft. Bewegungen senkrecht zur Holzachse und Drehen führen zu ungleichmäßigem Hacken. Zur gleichmäßigen Holzzufuhr sind die Bewegungsvorgänge beim Einzug wichtig (Bild 5.77) [5.16].

Wirken keine äußeren Kräfte auf Holzblock, sind Beschleunigung a im Zufuhrmagazin.

$$a = g (\cos \varepsilon - \mu \sin \varepsilon); \quad (5.85)$$

Fallbeschleunigung, Reibungszahl, $\mu = 0,5$ bei trockenen, nicht entrindeten Hölzern, $\mu = 0$ bei nassen, entrindeten Hölzern.

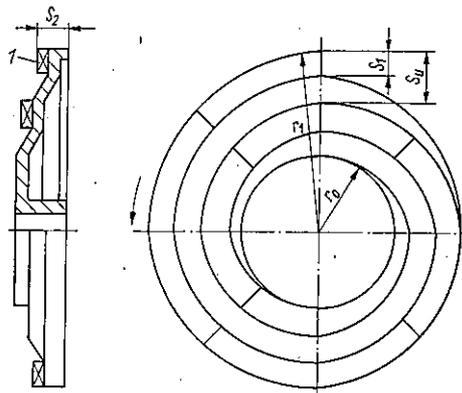


Bild 5.74
Messerkopf für Planschnitzler
1 Messer
(S₂ ist falsch angegeben; bezieht sich nur auf Messerbreite)

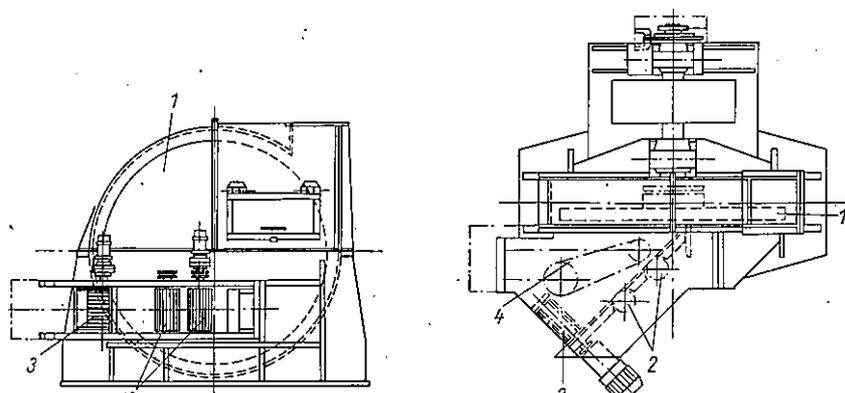


Bild 5.75. Scheibenhackschnitzler (Fa. H. Wigger & Co., Unna)
1 Messerscheibe; 2 starre vertikale Vorschubwalzen; 3 starre horizontale Vorschubwalzen; 4 Pendelarm mit laufender Vorschubkette

Länge der Bewegung

$$s = at^2/2; \quad (5.86)$$

t Zeit.

Einzugentfernung i

$$i = d \frac{\sin \delta}{\sin \varepsilon \sin (\varepsilon + \delta)}. \quad (5.87)$$

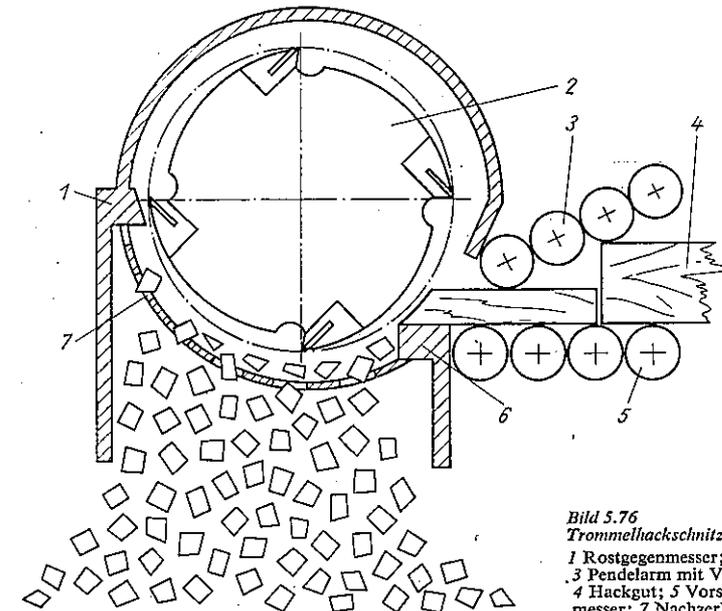


Bild 5.76
Trommelhackschnitzler
1 Rostgegenmesser; 2 Messertrommel; 3 Pendelarm mit Vorschubwalzen; 4 Hackgut; 5 Vorschubwalzen; 6 Gegenmesser; 7 Nachzerkleinerungsrost

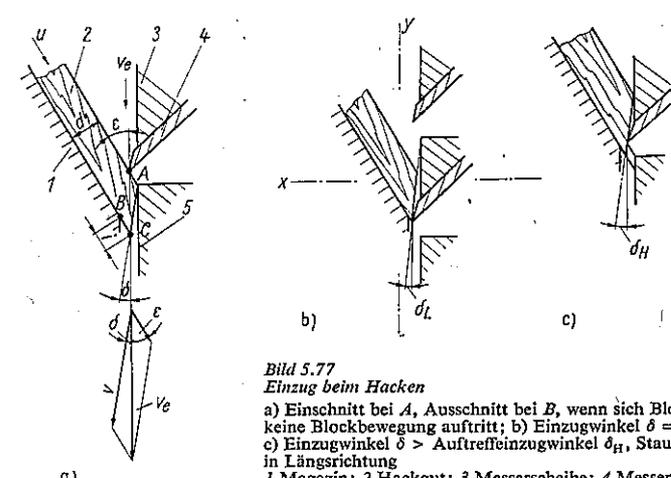


Bild 5.77
Einzug beim Hacken
a) Einschnitt bei A, Ausschnitt bei B, wenn sich Block i bewegt; bei C, wenn keine Blockbewegung auftritt; b) Einzugswinkel $\delta =$ Grenzeinzugswinkel δ_L ; c) Einzugswinkel $\delta >$ Auftreifeinzugswinkel δ_H , Stauchen des Holzes in Längsrichtung
1 Magazin; 2 Hackgut; 3 Messerscheibe; 4 Messer; 5 Messerscheibenebene

Zwischen Tangentialgeschwindigkeit v_c des Messers, Blockgeschwindigkeit u und Schnittgeschwindigkeit v (s. Bild 5.77) gelten Beziehungen

$$u = v_c \frac{\sin \delta}{\sin(\epsilon + \delta)} \quad (5.88)$$

$$v = v_c \frac{\sin \epsilon}{\sin(\epsilon + \delta)} \quad (5.89)$$

Venn Einzugentfernung i gleich Spanlänge l gesetzt wird, ist Auftreffezugwinkel

$$\delta_H = \arctan \frac{l \sin^2 \epsilon}{d - l \sin \epsilon \cos \epsilon} \quad (5.90)$$

mit Entfernung s im Bogenmaß zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messern beträgt Grenzzugwinkel

$$\delta_L = \arctan \frac{l \sin \epsilon}{s} \quad (5.91)$$

Planschnitzler. Wurzelansätze und Schwarten werden bei neuartiger Technologie durch Planschnitzler in Parallelschnitzel 25 mm x 5 mm zerlegt oder unmittelbar hinter dem Sägegatter geschnitzelt (Bild 5.78). Planschnitzler hat zwei kegelförmige Scheiben, auf denen Messer in spiralförmiger Anordnung sind. Spalt zwischen den Planschnitzlern ist auf Einschnittbreite des lockes einstellbar. Messerbreite s_1 entspricht Schnitzzellänge, Messerhöhe s_2 maximaler Schnitzeldicke (Bild 5.74).

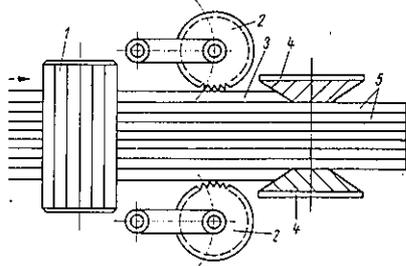


Bild 5.78
Planschnitzler
1 Vorschubwalze des Sägegatters; 2 Andruckwalze;
3 Schwarte; 4 Planschnitzler; 5 Schnittware

Vorschub/Umdrehung

$$s_u = \frac{2\pi}{sz} \int_{r_0}^{r_1} r dr = \frac{\pi}{sz} (r_1^2 - r_0^2) \quad (5.92)$$

$$u = \frac{\pi}{nsz} (r_1^2 - r_0^2); \quad (5.93)$$

Schnitzeldicke,
Anzahl der Messer,
Drehzahl,
Vorschubgeschwindigkeit.

7.2. Zerspanungsmaschinen (Tafel 5.15) [5.17]

erzeugen Späne für Spanplatten aus Schichtholz, Reiserholz, Hackschnitzeln und Holzfällen.

Werkzeuge. Sie sollen gleichmäßige Spandicke und kurze Hilfszeit gewährleisten, was durch Spandickenbegrenzung und austauschbare Messerträger erreicht wird (Bilder 5.79 und 5.80).

		Tafel 5.15. Technische Daten von Zerspanungsmaschinen		
		Messerscheibendurchmesser 1600 mm	Messerwellendurchmesser 450 mm 630 mm	
Werkzeugdrehzahl	U/min	530	1450	1160
Größte Holzlänge	mm	360	1140	500
Durchsatz bei 0% Holzfeuchte	kg/h	720	2000	1200
Spandicke 0,2 mm	kg/h	1600	5000	3000
Spandicke 0,4 mm	kg/h	55	175	90
Antriebsleistung	kW			

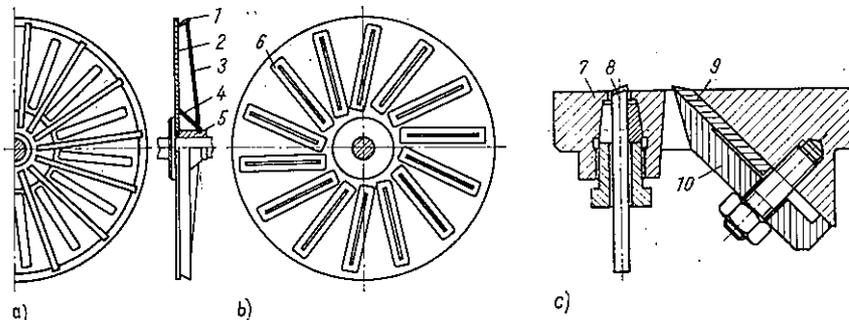


Bild 5.79. Geschweißte Messerscheibe
a) Unterseite; b) Oberseite; c) Querschnitt durch Messerkasten
1 Kranz; 2 Boden; 3 Rippe mit U-Querschnitt; 4 Versteifungskegel; 5 Nabe; 6 Messerkasten; 7 Spannkegel; 8 Ritzmesser; 9 Messer; 10 Spannisen

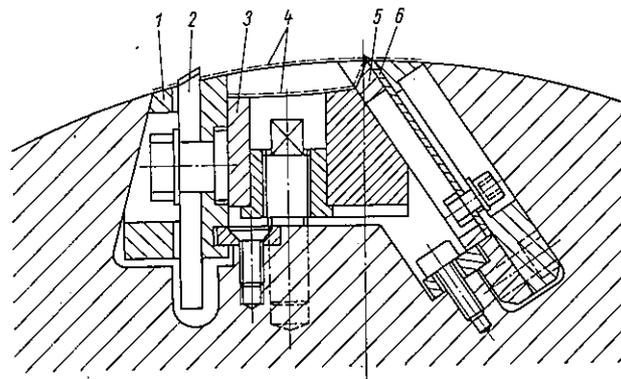


Bild 5.80
Zerspanermesserwelle (Teilschnitt)
1 Ritzmesserträgerleiste;
2 Ritzmesser; 3 Keilleiste;
4 Hartchromschicht;
5 Messerträgerleiste; 6 Messer

Vorschubeinrichtungen. Produktionsleistung und Spanqualität hängen ab von Kontinuität des Zerspanens ohne Leerlauf (keine Vorschubunterbrechungen, z. B. durch Blockieren des unregelmäßig geformten Zerspanungsguts in der Vorschubeinrichtung) und gleichbleibendem Vorschub je Schneide. Verschiedenartigkeit der Formen und Abmessungen des Zerspanungsguts bedingen verschiedene Bauarten von Vorschubeinrichtungen und Anordnungen zum Werkzeug (Bild 5.81) [5.18].

An Messerwellen- bzw. Messerkopfzerspanern wird für hohe Produktionsleistung Vorschubeinrichtung für nicht abgekürzte Hölzer eingesetzt.

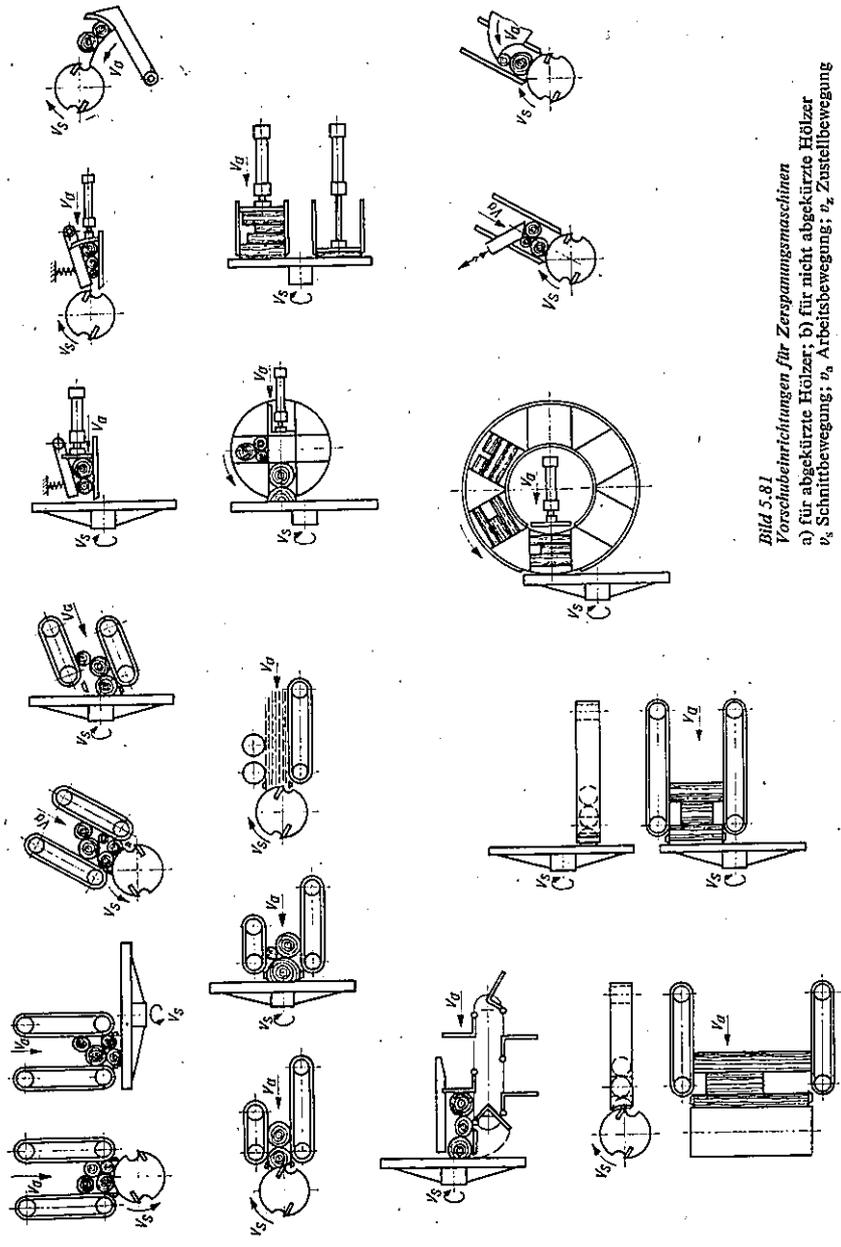


Bild 5.81. a)

Bild 5.81
 Vorrichtungen für Zerspanungsmaschinen
 a) für abgekürzte Hölzer; b) für nicht abgekürzte Hölzer
 v_s Schnittbewegung; v_a Arbeitsbewegung; v_z Zustellbewegung

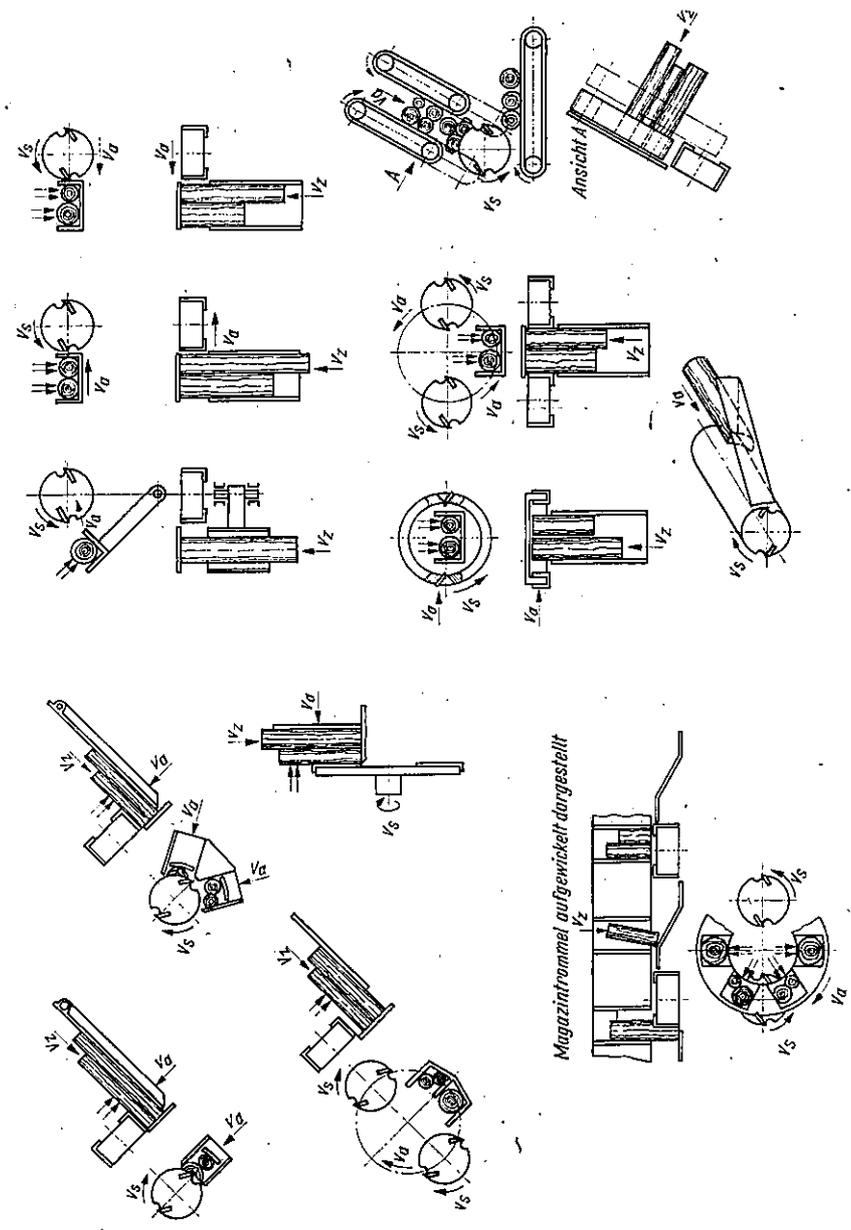


Bild 5.81. b)

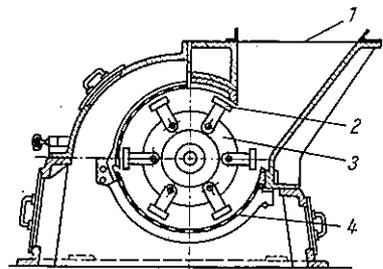
5.7.3. Mühlen, Raffineure, Messerringzerspaner

Hammermühlen, Schlagkreuzmühlen. Das Zerkleinerungswerkzeug, der Schlagrotor von Hammermühlen (Bild 5.82), besteht aus rotierender Welle, an der Schläger aus Flachstahl außermittig gelenkig gelagert befestigt sind. Sie stellen sich bei Rotation radial nach außen. Mahlgut wird tangential von oben aufgegeben und vom Schlagrotor in Mahlraum eingezogen. Als Mahlbahn dient Gehäusemantel, der aus austauschbaren gelochten Blechen aus legiertem Stahl oder Roststäben besteht und oft noch Brecheinsätze trägt. Schlagen und Aufprallen zwischen Rotor und Mahlbahn oder zwischen den Schlägern des Rotors selbst zerkleinern Material, dem durch Schläger hohe Geschwindigkeit aufgezungen wird.

Schlagkreuzmühlen (Tafel 5.16) haben Schlagkreuz mit festen Schlägern.

Durchsatz	kg/h	150 ... 200	300 ... 400	600 ... 800
Antriebsleistung	kW	7,5 ... 9	11 ... 15	19 ... 22

Tafel 5.16. Technische Daten von Schlagkreuzmühlen

Bild 5.82
Hammermühle

1 Holzlauf; 2 Schläger (Hammer); 3 rotierende Scheibe (Schlagrotor); 4 Siebeinsatz

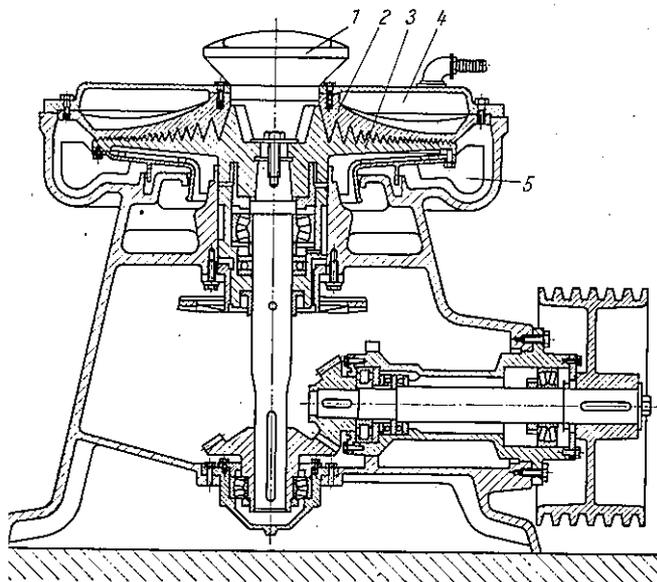


Bild 5.83. Zahnscheibenmühle

1 Holzlauf; 2 feststehende Zahnscheibe; 3 rotierende Zahnscheibe; 4 Kühlmantel; 5 Flügel für Mahlgutstrag

Zahnscheibenmühlen (Bild 5.83). Mahlwerkzeuge bestehen aus rotierender, verzahnter Scheibe und feststehender Gegenscheibe. Zähne sind in konzentrischen Ringen angeordnet. Zur einwandfreien Aufnahme sperriger Hackschnitzel haben innere Zahnringe große Zähne und ebenso große Zwischenräume. Nach außen nehmen Zahngröße und Zwischenräume entsprechend fortschreitender Feinheit des Mahlguts ab.

Pralltellermühlen (Bild 5.84, Tafel 5.17). Die Zerkleinerungswerkzeuge, Prallteller, sind vertikal angeordnet. Holz gelangt durch Einlauftrichter mittig auf ein Schleuderrad, das es gegen einen entgegengesetzt rotierenden Prallteller mit Schlagleisten und Riffeln schleudert und

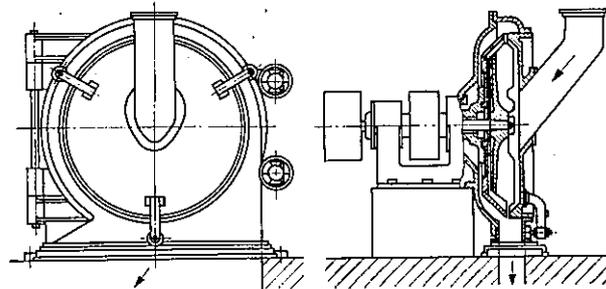
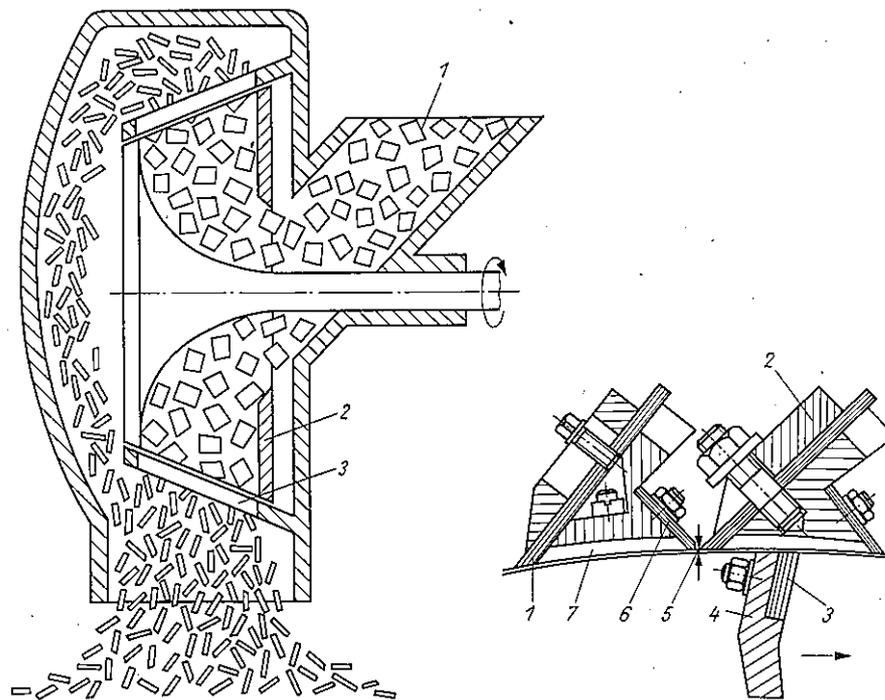
Bild 5.84
Pralltellermühle

Bild 5.85. Messerringzerspaner

1 Einlauftrichter; 2 Schaufelrotor; 3 Messerring

Bild 5.86
Messerringzerspaner (Teilschnitt)

1 Schneidmesser; 2 Spannleiste für 1; 3 Spaltmesser; 4 Schaufelrotor; 5 Rotorlaufspiel; 6 Stockmesser; 7 Verschleißplatte

parallel zur Spindelachse liegt, wird über gesamte Blockbreite angestellt. Vorschubweg des Schälmessers je Blockumdrehung in Richtung der Spindelachse ist gleich der Furnierdicke s . *Schnittgeschwindigkeit* (Geschwindigkeit des ablaufenden Furnierbands) v ist bei Hauptantrieben mit veränderbarer Drehzahl konstant, wenn Blockspindeldrehzahl n umgekehrt proportional zum abnehmenden Blockdurchmesser d beim Schälvorgang erhöht wird. Vorschubantrieb ist vom Hauptantrieb abgeleitet, damit Vorschub je Umdrehung konstant bleibt. Ist Restrollendurchmesser erreicht, werden Messerbalken mit Messer und Druckbalken mit Druckleiste im Eilgang zurückbewegt, und Schälrestrolle wird ausgespannt.

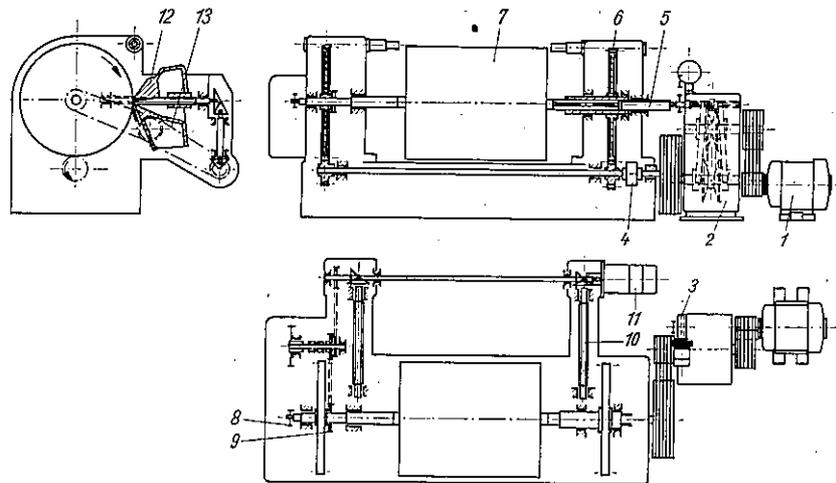


Bild 5.88. Furnierrundschalmaschine

Antriebsmotor; 2 stufenlos verstellbares Getriebe; 3 Stellgetriebe zu 2; 4 Schaltkupplung; 5 zustellbare Pinole; 6 Pinolenantriebsrad; 7 Schälblock; 8 Antrieb zum Furnierdickenschaltgetriebe; 9 Antrieb für Anschälffurnierdicke; 10 Vorschubspindel; 11 Eilganggetriebe für Druckbalken 12 und Messerbalken 13

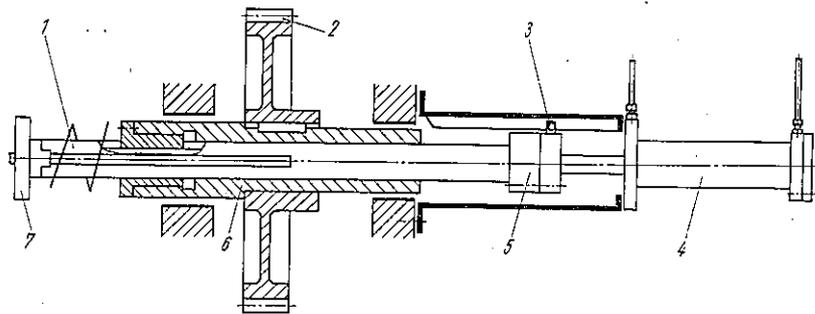


Bild 5.89. Hydraulische Blockeinspannung

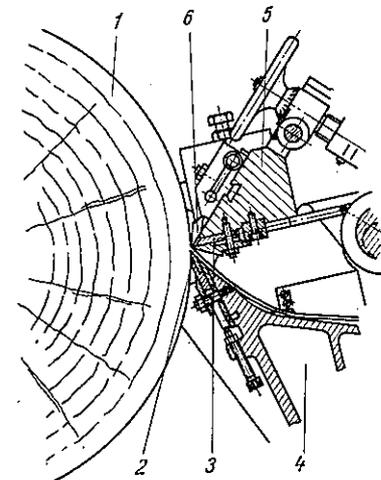
Einspannspindel; 2 Antriebsrad; 3 Drehsicherung; 4 Arbeitszylinder; 5 Druckkopf; 6 Pinole; 7 Einspann-
one

lockeinspannung. Beim *mechanischen* Spannen wird Gewindemutter über Gewindespindel durch Elektromotor über Keilriemen oder Zahnradvorgelege angetrieben. Sicherung durch Wippschaltkupplung oder Überstromschalter; Endschalter sind vorgesehen. Zum erforderlichen Nachspannen während des Schälens bremst Bandbremse rotierende Gewindemutter ab, wodurch weiterrotierende Pinole tiefer in den Block geschoben wird.

Hydraulik ermöglicht schnelleres Einspannen und konstanten Einspanndruck während des Schälens (Bild 5.89). Für größere Maschinen sind Teleskoppinolen (auch bei mechanischem Einspannen) zweckmäßig. Innere und äußere Pinole tragen Mitnehmer- (Einspann-) Kronen, die bei Schälbeginn im Eingriff sind und gemeinsam Motordrehmoment übertragen. Block wird auf Durchmesser der äußeren Pinole abgeschält, dann äußere Pinole bis zu Spindelhülse vom Block weggefahren und anschließend Holz auf Durchmesser der inneren, kleineren Pinolen nachgeschält.

An Blockseite der Pinolen sind auswechselbare Mitnehmerkronen befestigt. Nutensteine übertragen Umfangskräfte von Pinolen auf Mitnehmerkronen. Kronenform und -größe sind von Durchmesser und Reißempfindlichkeit des Blocks abhängig. Mitnehmer müssen leicht in Holz eindringen, ohne es aufzuspalten. Schneidring soll einige Millimeter über sternförmig angeordnete Mitnehmerschneiden hervorstehen, um Spaltwirkung der Mitnehmerschneiden zu vermindern. Beim Übertragen des Drehmoments dürfen keine Kräfte in Achsrichtung auftreten.

Messer- und Druckbalken als Einheit. Sie werden von Vorschubspindeln hin- und herbewegt; Vorschubgeschwindigkeit $u = ns$; Zurückfahren im Eilgang mit konstanter Geschwindigkeit durch besonderen Antriebsmotor mit Tippschaltung. Bei automatisiertem Betrieb wird Rücklauf selbsttätig nach Erreichen eines vorher eingestellten Restrollendurchmessers eingeleitet.

Bild 5.90
Teilquerschnitt durch Messer- und Druckbalken
1 Schälblock; 2 Schälmesser; 3 Druckleiste;
4 Messerbalken; 5 Druckbalken; 6 Ritzmesser

Messer- und Druckbalken benötigen formstifeen Gesamtaufbau (Bild 5.90) und spielarme Führungen, damit bei exzentrischem und Halbbrundsählen keine unzulässigen Formänderungen und Schwingungen auftreten, die Arbeitsergebnis beeinflussen.

Am *Messerbalken* ist Schälmesser angeschraubt. Justierschrauben ermöglichen Ausrichten parallel zur Spindelachse. Anstelle 20 mm dicker Schälmesser werden auch dünnere benutzt, die in Messerhalter geklemmt sind. Dadurch werden Werkzeugkosten eingespart. Der sich an Spanfläche des Schälmessers anschließende Teil des Messerbalkens besteht aus auswechselbar eingesetztem, gehärtetem Stahlkeil, der Verschleiß durch ablaufendes Furnierband stark vermindert. Verkürzung der Stillstandzeit durch Aufschrauben des Schälmessers auf Träger und Einstellen mittels Lehre außerhalb der Maschine.

Druckbalken ist über Messerbalken angeordnet. Er trägt durch Schrauben zustellbare Druckleiste aus gehärtetem Stahl, die vor Schälmesserschneide auf Blockoberfläche wirkt. Sie verdichtet Holz und verhindert, daß Trennsplatt der Messerschneide voraneilt und Zugspannungen

auf Unterseite des ablaufenden Furnierbands zu Schneidrisen führen. Für übliche Furnierdicken wählt man

$$\begin{aligned} \text{Verdichtungsverhältnis} &= 0,7 \text{ für Weichholz} \\ &= 0,8 \dots 0,9 \text{ für Hartholz.} \end{aligned}$$

Druckeinstellung beeinflusst entscheidend Arbeitsergebnis. Waagerechter und senkrechter Abstand der Druckleistenkante von Messerschneide sind von Holzart und Furnierdicke abhängig.

Furnierglätte kann nur begrenzt durch Druck verbessert werden, weil bei zu hohem Druck Druckleiste die Holzoberfläche beschädigt. Mit Druck steigen Leistungsbedarf beim Schälen und Beanspruchung von Hauptlager und Pinolen. Zu hoher Druck ergibt unregelmäßige Furnierdicke, weil sich Pinolen und Schälblock unzulässig durchbiegen. Um am Messer arbeiten oder Äste und Splitter entfernen zu können, wird Druckbalken abgeschwenkt oder zurückbewegt.

Schnittwinkeleinstellung. Schnittwinkel muß für verschiedene Holzarten im Bereich $\delta = 15$ bis 23° einstellbar sein, jedoch ist auch Freiwinkel von Bedeutung. Durch anliegende Messerfreifläche wird Schälblock abgeplattet. Richtwert für Breite der Abplattung 2 mm, wobei Vibrieren des Schälblocks, Oberflächenrisse oder „Ausschälen“ weitgehend verhindert werden. Um Breite der Abplattung über alle Blockdurchmesser konstant zu halten, ist mit abnehmendem Blockdurchmesser Freiwinkel durch Schwenken des gesamten Messerbalkens zu verkleinern.

Furnierdickengetriebe. Zwischen Haupt- und Vorschubantrieb eingebaut, ermöglicht es das Schälen verschiedener Furnierdicken durch Verändern des Übersetzungsverhältnisses. Standardisierte oder meistbenötigte Furnierdicken werden direkt geschaltet, weitere durch Austausch von Wechselrädern. Nachdem Block durch direkte Schaltung einer oder zweier Anschälfurnierdicken schnell gerundet ist, kann auf eingestellte Furnierdicke geschaltet werden.

Hauptantrieb. Art des Hauptantriebs beeinflusst Leistung und Schnittgüte.

Schnittgeschwindigkeit bildet mit Durchmesserbereich für Schälen und Furnierdicke unbeeinflussbare Hauptzeit, s. Gl. (5.95) bis (5.98). Antriebsleistung der Rundschalmaschine sowie Arbeitsgeschwindigkeit der folgenden Maschinen und Einrichtungen, besonders Furnierspeichereinrichtung und Furnierschere, begrenzen Schnittgeschwindigkeit auf $v_{\max} \approx 3,33$ m/s. $v < 0,4$ m/s verschlechtert Furnierqualität merklich, weil trotz Druckleiste ein Trennspace der Messerschneide voraneilt und Messer dazu neigt, diesem Spalt zu folgen (Spalten mit rauher Oberfläche statt Schneiden). Bei Hauptantrieben mit konstanter Drehzahl besteht Gefahr, daß mit Verkleinerung des Durchmessers beim Herunterschälen untere Grenze der Schnittgeschwindigkeit unterschritten wird.

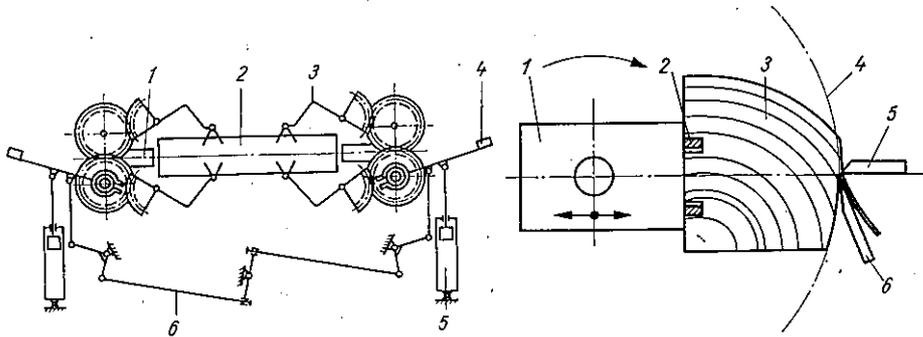


Bild 5.91. Zentrier- und Beschiekeinrichtung

1 Pinole; 2 Schälblock; 3 Zentrierknauf; 4 Massenausgleich; 5 Arbeitszylinder; 6 Ausgleichgestänge

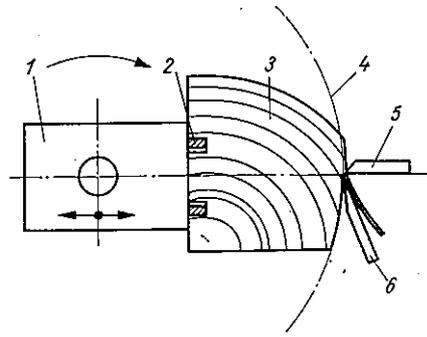


Bild 5.92. Exzentrischschälmaschine

1 Spannbalken; 2 Spannklaue; 3 Blockabschnitt; 4 Schnittkreis; 5 Druckleiste; 6 Schälmesser

Antriebe mit konstanter Drehzahl sind für Maschinen mit kleinem Durchmesserbereich geeignet, z. B. Restrollenschälmaschinen. Drehzahländerung durch mehrfach polumschaltbaren Elektromotor ist ungünstiger als solche durch Zahnradgetriebe mit gleicher Schaltstufenzahl, weil Drehzahlen bei diesem Motor nicht in jedem Fall geometrisch gestuft sind (elektrischer Stufensprung). Stufenlos verstellbare Hauptantriebe haben meist Steuereinrichtung für konstante Schnittgeschwindigkeit.

Leistung. Für betriebliche Planung wichtige Furnierbandlänge l ergibt sich aus

$$l = \frac{2\pi}{s} \int_{r_k}^{r_g} r \, dr = \frac{\pi}{s} (r_g^2 - r_k^2) \quad (5.94)$$

Laufzeit bei $v = \text{const}$

$$\tau = \frac{l}{v} \quad (5.95)$$

Laufzeit bei $n = \text{const}$

$$\tau' = \frac{1}{sn} (r_g - r_k) \quad (5.96)$$

Zeiteinsparung bei $v = 2r_g\pi n = \text{const}$ gegenüber $n = \text{const}$

$$\frac{\tau}{\tau'} = \frac{r_g + r_k}{2r_g} \quad (5.97)$$

Laufzeit bei geometrischer Drehzahlstufung

$$\tau_{st} = \frac{\pi}{sv_g} (r_g^2 - r_k^2) \frac{2\varphi}{(\varphi + 1)} \quad (5.98)$$

s Furnierdicke, g groß, k klein, r Blockradius, n Stammspindeldrehzahl, v Schnittgeschwindigkeit, φ Stufensprung, g groß, k klein.

Zentrier- und Beschiekeinrichtungen (Bild 5.91). Schälböcke werden vor Einspannen zur günstigen Holzausnutzung zentriert. Blockdurchmesser und -form beeinflussen Konstruktionsprinzip der Vorrichtungen. Fast kreisrunde, geradegewachsene Stämme werden selbsttätig beschickt und zentriert, ebenso Hölzer mit 300 ... 1200 mm Dmr., diese aber mit individueller Zentriermöglichkeit. Hierbei werden beide Seiten der Beschick- und Zentrierklauen, auf denen Block liegt, einzeln verstellbar. Als Hilfsmittel dienen auf beide Blockstirnseiten projizierte konzentrische Ringe.

Exzentrischschälvorrichtungen. Block wird exzentrisch, nahe Umfang, eingespannt (Bild 5.92). Schnittverlauf kommt Sehnenschnitt näher und liefert schönere Furniermaserung. Spannklaue des Spannbalkens greifen in eingefräste Schlitze im Blockabschnitt ein. Aufspannfläche des Spannbalkens ist zur Blockspindelmitte verschiebbar, so daß kleine Blockabschnitte nach außen zum größten Schäldurchmesser gespannt werden können.

5.9.2. Furnierflachschälmaschinen

Vor dem Flachschälen (Messern) wird Holz auf Waagrechtgattern oder Blockbandsägen aufgeteilt, wodurch Holzblock sichere Auflage auf Tisch bzw. Support der Schälmaschine (Tafel 5.21) erhält. Aufteilung bestimmt Furniermaserung. Holz muß gedämpft sein. Her-

Tafel 5.21. Technische Daten von Furnierflachschälmaschinen

	mm	2600	4000	4600	5100
Arbeitsbreite	mm	2600	4000	4600	5100
Schnittzahl	min ⁻¹	36	24	22	20
Furnierdicke	mm	0,05 ... 5	0,05 ... 10	0,05 ... 10	0,05 ... 10
Antriebsleistung bei $v_{mitt} = 1,0$ m/s	kW	55	74	95	95

tellung von Edelholzfurnieren (glatt, rißfrei, $\pm 0,1$ mm Dickentoleranz) erfordert hohe Arbeitsgüte der Maschinen.

feilförmige Druckleiste verdichtet Holz (Bild 5.93). Ihre Lage zur Messerschneide ist von Holzart und Furnierdicke abhängig. Resultierende Kraft F_R der Druckleiste verlagert sich bei stärker abgerundeter Druckleiste vor Schneidkante, dadurch sind Holzspalten und rauhe Oberfläche möglich. Zu kleine Spaltweite b_2 erhöht Reibung, Erwärmung und Leistungsbedarf, a dann F_R auf Messer drückt; evtl. wird Furnieroberfläche beschädigt.

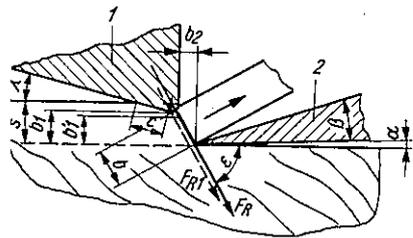


Bild 5.93
Druckleistenanordnung

F_R Druckresultierende; F_{R1} Druckresultierende bei größerem Druckleistenradius; s Furnierdicke; b Spaltweite
1 Druckleiste; 2 Messer

hentlich wirkt zu kleiner Winkel λ , weil dann Berührungsfläche c zu breit ist. Ist λ zu groß, ist Druckleiste die Holzoberfläche auf. Wirkliche Spaltweite b ist angenähert

$$b = \sqrt{b_1^2 + b_2^2}$$

Beispiel. Gegeben: $s = 2,5$ mm; $\alpha = 1^\circ$; $\beta = 18^\circ$; $\lambda = 15^\circ$. Erfahrungswerte: $\epsilon = 60^\circ$; $b_1' = 0,68 s = 1,7$ mm; $b_1 = 0,75 s = 1,9$ mm; $b_2 = 0,4 s = 1$ mm; $b = 0,92 s = 2,3$ mm; $c = 2,4$ mm; Druckleistenradius $0,5$ mm.

arten und Arbeitsweise. Maschinen haben geradlinig hin- und her- oder auf- und abgehende Hauptbewegung. Bei waagerechter Bauart wird Schnittbewegung vom Messer und Zustellbewegung vom Block ausgeführt, bei senkrechter Bauart i. allg. umgekehrte Zuordnung.

Senkrechte Bauart mit auf- und abgehendem Block ermöglicht höhere Schnittfrequenz (meist 10/min, maximal 80/min) als waagerechte, da sich Furnier von Hand oder mechanisch leicht abnehmen läßt. Weil Spannzangen Block gegen Abkippen halten müssen, verbleibt größeres Reststück als bei waagerechter Bauart und ist häufigerer Blockwechsel notwendig.

Bei waagerechter Bauart begrenzt Furnierabnahme von Hand durch zwei Bedienungspersonen die Schnittfrequenz auf 22/min. Nur kurzzeitig erreicht man 36/min bei 4000 mm Arbeitsbreite durch abnahmeerleichternde Messinggleitschienen und Transportbänder.

Die waagerechte Bauart bietet bessere Holzausnutzung. Block liegt durch Eigenmasse fest auf Tisch und braucht nur gegen Schnittkraft gehalten zu werden, so daß nur 10 ... 15 mm dickes Reststück verbleibt, das, evtl. auf Blindholzblock aufgeleimt, nahezu restlos aufgearbeitet wird. Dieser Maschinentyp liefert vollkommen glatte und rißfreie Deckfurniere mit Dickenunterschieden $< \pm 0,1$ mm.

Bei der am weitesten verbreiteten waagerechten Bauart pressen Spannhaken Block gegen Widerlager am Tisch. Spannhaken sind entsprechend Blockhöhe und -form von Hand, elektrisch oder hydraulisch verstellbar.

Im Schnittvorgang wird Werkzeugschlitten auf Gestellführungsbahnen hin- und herbewegt. Der Schlitten besteht aus Druckbalken mit Druckleiste und Messerbalken mit Messer. Vertikaler Abstand der Druckleistenkante zur Schneidkante beträgt 75 ... 90% der Furnierdicke, waagerechter Abstand 0,5 ... 0,8 mm. Messer- und Druckbalken haben 2 ... 10° Schräglage (Eingungswinkel). Zum Messer- und Druckleistenwechsel lassen sich Messer- und Druckbalken über Schnellverbindung trennen und verbinden.

Das Furnier wird im vorderen Umkehrpunkt des Werkzeugschlittens abgenommen und Tisch wird in jedem Hub um Furnierdicke gehoben. Eilganggetriebe erlaubt schnelles Verstellen des Tisches.

Aus Sicherheitsgründen können nur zwei Personen gleichzeitig durch angeordnete Bedienelemente Maschine in Betrieb setzen.

Gestell. In waagerechter Bauart, hat zwei durch Traversen verbundene Gestell- und hergehende Messerschlitzen. Flächenpressung der Gleitbahnen nur $\approx 1/3$ Neuzeitliche Maschinen haben Druckölumlaufschmierung.

Sicherheitsmaßnahmen gegen Lockern und Verkanten des aufgespannten Werkzeuges sind Führungsschrauben, die Führungleisten des Werkzeugschlittens halten, sind eingeklemmt. Beim Kanten des Blocks ab. Endscharter an Gestellwänden schalten sofort Antrieb. Gleitflächen am Werkzeugschlitten ≈ 2 mm von Führungsbahnen abgehoben werden. **Tisch.** Mit festgespanntem Block, wird zum Zustellen um Maß der Furnierdicke schnell verstellen über vier Gewindespindeln vertikal bewegt. Diese sind durch Pleueltriebe verbunden und werden vom Furnierdickenschalt- bzw. Schnellganggetriebe angetrieben. Zwei Führungen halten Tisch gegen Schnittkraft.

Hohe Eigenmasse der Blöcke und auf Tischfläche gerichtete Komponenten der Schnitt- und Druckkraft bedingen schwere Tischkonstruktion. Hydraulische Tischentlastung oder Gegenmassen entlasten Tischspindeln. Beim Heben wird ein der Hebegeschwindigkeit proportionales Volumen mit notwendigem Druck in Arbeitszylinder unter dem Tisch gepumpt. Heben im Schnellgang erfordert zwei Pumpen. Wird Tisch gesenkt, strömt Öl über Überdruckventil in Vorratsbehälter zurück.

Blockspannung. Spanneisen sind im Tisch entsprechend Blockhöhe und -breite einstellbar. Auf Zahnstangen versetzbare Spanneisen halten Spannweg klein. Zum Spannen benutzt man Gewindespindeln mit Handbedienung oder Elektromotorantrieb oder Hydraulikarbeitszylinder für jedes Spanneisen. Hydraulisches Spannen ermöglicht einfaches Ändern und Konstanthalten des Einspanndrucks und ist dadurch sicherer als andere Arten, bei denen Block sich lockern kann.

Furnierdickenschaltgetriebe. Enge Furnierdickentoleranz erfordert neben starrem Gesamtantrieb aufbau der Maschine sorgfältig ausgebildete Furnierdickenschaltgetriebe (Klinkenschaltwerke) und Zwischenglieder zu den Tischspindeln. Beim Werkzeugschlittentrücklauf löst Kurve am Messerschlitten oder Kurvenscheibe auf Hauptantriebswelle, die über Gestänge auf Schubstange des Klinkenrads wirkt, Schaltbewegung aus. Furnierdicken lassen sich einstellen in

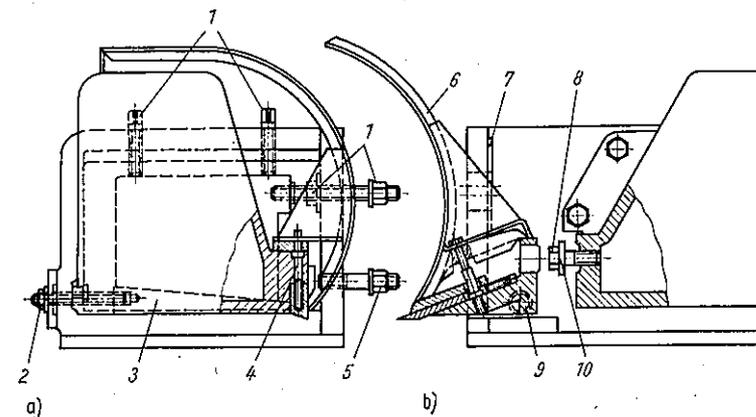


Bild 5.94. Werkzeugschlitten
Bauart: Fa. Ritter-Fleck-Roller, Hamburg

a) Druckbalken; b) Messerträger und Messerbalken (getrennt gezeichnet)
1 Klemmschrauben und Gegenmutter zur Festlegung des Druckbalkens; 2 Mutter für Heben und Senken des Druckbalkens; 3 Stellkeil; 4 Justierschraube; 5 Mutter für Verbindung von Messer- und Druckbalken; 6 Furnierleitbügel; 7 Schlitzplatte; 8 Mutter und Schraube zur Befestigung des Messerträgers; 9 Rolle; 10 Schlitzscheibe

in 0,05 ... 3 mm in Stufen von 0,05 mm durch Verstellen eines Zwischenglieds mittels Ndespindel, im Bereich 3 ... 5 mm in Stufen von 0,1 mm mit Wechselrädern.

Werkzeugschlitten. Wichtig sind starre Druck- und Messerbalken für gleich dicke Furniere mit ter Oberfläche; schnell auswechselbare Druckleiste und Messer; leichtes, unbeschädigtes ausgleiten der Furniere aus Spalt zwischen Druckleiste und Messer im vorderen Umkehr-kt des Werkzeugschlittens; gefahrlose Abnahme.

Druck- und Messerbalken sind kastenförmige, kräftige, verrippte Gußkörper, die bei Maschi-mittlerer Größe Masse von 5000 ... 7000 kg, bei großen Maschinen bis 12000 kg haben. Werkzeugwechsel werden Druckbalken und Messerbalken getrennt. Der Messerträger ist ch Stehbolzen, Muttern und Schlitzplatten auf Messerbalken befestigt (Bild 5.94).

Antriebe. Üblich sind hydraulischer Antrieb, Kurbeltrieb, elektromagnetisches Umkehrgetriebe Leonardschnellantrieb. Masse des hin- und hergehenden Werkzeugschlittens beansprucht riebsteile stark.

Ein hydraulischer Antrieb greift Arbeitszylinder in Messerbalkenmitte an. Für Messer-chine mit 5100 mm Arbeitsbreite, 1200 mm Blockbreite und 2700 mm Hub benötigt rieb der Pumpen ≈ 100 kW Leistungsaufnahme. Schnittgeschwindigkeit ist 0,1 ... 0,95 m/s; klauengeschwindigkeit 0,12 ... 1,36 m/s.

Der Kurbeltrieb ist anwendbar, da Ungleichförmigkeit der Schnittgeschwindigkeit Furniergüte t beeinflusst.

Die Schnittgeschwindigkeit über Kurbelumdrehung verläuft sinusförmig; mittlere Schnitt-hwindigkeit $v_m = 2dn$.

5.10.2. Maschinen zum spanlosen Formen

5.10.2.1. Furnierfugenverklebemaschinen [5.20]

Längsverklebemaschinen (Bild 5.95, Tafel 5.22, Arbeitsrichtung parallel zur Fuge) verkleben ie Furniere. Erforderlich ist gefügte Furnierschmalfläche. Rollen oder keilförmig auf der zulaufende Vorschubketten ziehen Furnierschmalfläche während des Durchlaufs zu-nen und pressen sie aneinander. Nachteilig sind diskontinuierliche Arbeitsweise und auf 00 mm begrenzte Arbeitsbreite.

Querverklebemaschinen (Bild 5.96, Tafel 5.23, Arbeitsrichtung quer zur Fuge) stellen Furnier-l endlicher Länge her; sie sind für fließende Fertigung besser geeignet. Furnierdicke meist n, in Ausnahmefällen bis 0,8 mm.

Das Zusammenpressen beruht auf unterschiedlicher Geschwindigkeit des vorderen und nach-nden Furnierblatts. Sie wird durch Abbremschienen oder verschiedene Fördergeschwin-eiten der Fördererente (Schienen, Rollen, Bänder oder umlaufende Ketten) erreicht. Die gleichvorrichtung bringt zu verklebende Furnierschmalflächen schief geschnittener oder egleter Furnierblätter zusammen.

Die Zusammenwirkung durch beheizte Fördererente oder Schienen oder heißluftbeheizte Ab-zonen bindet Klebstoff bei beiden Bauarten ab.

5.10.2.2. Heißpressen (Bild 5.97, Tafel 5.24)

Heißpressen. Sie werden meist in geschweißter Rahmenkonstruktion ausgeführt. Zum schnellen n des Pressentisches beim Schließen benutzt man in Vielzylinderpressen einen oder ere Arbeitszylinder oder bringt symmetrisch zum Hauptzylinder noch zwei Schnell-eßzylinder an. Bei obenliegendem Antrieb sind Rückzugzylinder notwendig; selten über-nen doppelwirkende Arbeitszylinder angetriebenen Rückzug.

Die Heißplatten. Mechanischer Aufbau ist wichtig für Verklebung, Oberflächengüte und erreich-Dickentoleranz. Je welliger, verworfener und unregelmäßiger Preßgutfläche ist, um so r muß Heizplatte sein, und zwar Platten mit gebohrten Heizkanälen 30 ... 160 mm, ge-

Tafel 5.22. Einstellwerte für Längsverklebemaschinen

Furnier-dicke mm.	Vorschub-geschwindigkeit m/min	Temperatur an den Heizelementen °C
0,4	26	121
0,9	26	149
1,3	21	163
1,6	18	177
2,1	16	191
2,5	15	191
3,5	12	204
4,8	6	218

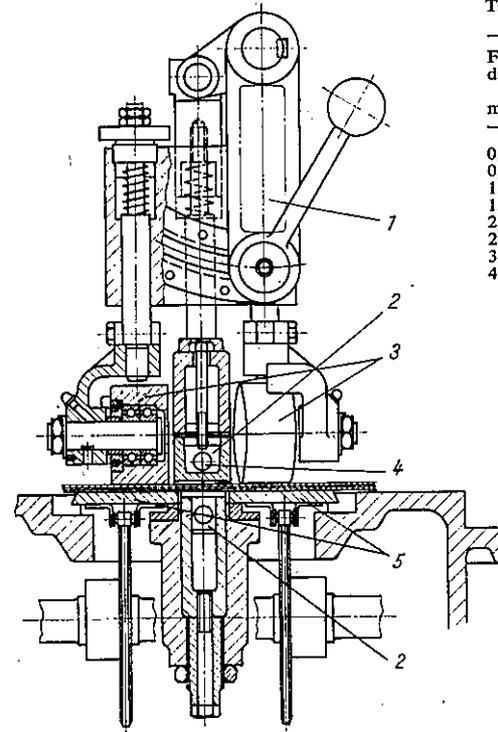


Bild 5.95
Längsverklebemaschine (Teilquerschnitt)
1 Schnellaushebung; 2 Heizbalken;
3 Zusammenziehschienen; 4 Patronenheizkörper;
5 Vorschubkette

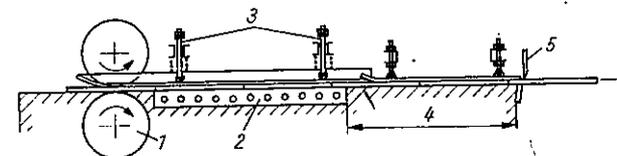


Bild 5.96. Querverklebemaschine
1 Vorschubwalze; 2 Heizplatte; 3 Druckschienen; 4 Kühlzone; 5 Schere

Tafel 5.23. Technische Daten von Querverklebemaschinen

	mm	1400	2300
Arbeitsbreite	mm		
Furnierdicke	mm	1 ... 5	1,7 ... 5,1
Vorschubgeschwindigkeit	m/min		
Wärmebedarf	J/s	39 542	58 150
Antriebsleistung	kW	5,5	8,5
Temperatur	°C	170	

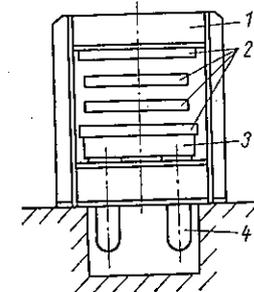
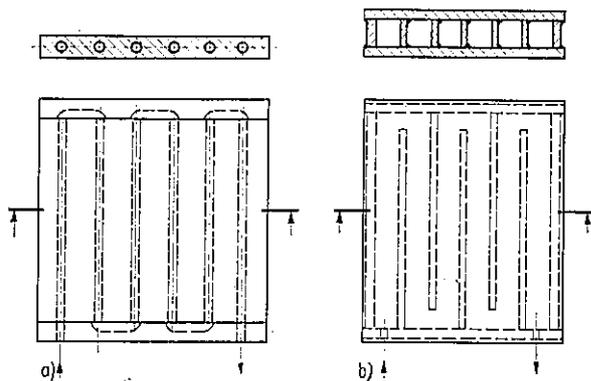


Bild 5.97
Heißpresse
1 Gestell; 2 Heizplatte; 3 Tisch; 4 Arbeitszylinder

schweißte Kammerplatten 40 ... 300 mm (Bild 5.98). Sie werden mit Dampf, Hochdruck-Heißwasser, erwärmtem und umgewälztem Öl oder elektrischen Heizkörpern beheizt. Hochfrequenzheizung arbeitet ohne Heizplatten, entfällt daher für Violetagenpressen. Sie wird angewendet, wo Werkstückform oder -dicke Wärmeübertragung durch Leitungen erschweren, d.h. für Verkleben von Brettern zu Tafeln und Latten, Ankleben von Randleisten und für Montageverklebung.

Tafel 5.24. Technische Daten von Heißpressen

		Furnierpresse	Furnierplatten- presse	Spanplatten- presse
Heizplattenformat	mm	2200 × 1300	2200 × 1300	3800 × 2120
Etagenzahl		6	4	17
Preßdruck	N/cm ²	78	136	136
Preßkraft	kN	2250	3900	10000
Antriebsleistung	kW	5	7,5	100

Bild 5.98
Heizplatten

- a) gebohrte Massivplatte;
b) geschweißte Kammerplatte

Dampfheizung bietet Vorteil billiger Installation und guten Wärmeübergangs durch Kondensampf. Kondensatniederschlag nimmt mit Heizkanallänge zu und verschlechtert Wärmeübergang. Einzelentwässerung für jede Heizplatte ist angebracht.

Hochdruck-Heißwasserheizung gibt gleichbleibenden Wärmeübergang auch unterhalb 100°C Vassertemperatur, die leicht einstellbar ist. Temperaturunterschied zwischen Heizmittelingang und -ausgang hängt vom Wasserdurchsatz ab. Bei Regelung ist Mischkreislauf mit Umwälzpumpe, Mischventil, Temperaturmeß- und Regeleinrichtungen notwendig.

Anwendungsgebiete für Heißwasserheizung sind Span-, Faser-, Furnier-, Verbundplattenpressen, Furnier- und Laminierpressen, bei Violetagenpressen besonders für genannte Platten.

Wärmeisolation. Bei ungenügender Isolation der an Holm und Tisch befestigten Heizplatten rümt sich Oberholm infolge Wärmedehnung seiner Unterseite. Tisch wird entgegengesetzt ekrümmt.

um zu isolieren Asbest-Wärmeschutzplatten (für $p \leq 14,7 \cdot 10^3 \text{ N/cm}^2$ und $T \leq 600^\circ\text{C}$; 15 bis 0 (75) mm dick).

In Spanplattenpressen werden Platten mit Wasserkühlung zwischen Isolierschicht und Holm zw. Tisch auf einem zwischengeschraubten Rost befestigt, um Kontaktwärme durch Verleinerung der Kontaktflächen zu vermindern.

Hydraulischer Antrieb [5.21] [TM Band 1/II]. Er ermöglicht kurze Schließzeit und ist erforderlich beim Pressen von Hartfaserplatten im Naßverfahren, damit freie Wassermenge aus Aeskuchen schnell ausgepreßt und Fleckenbildung vermieden wird; ferner beim Pressen von

Preßgut mit heißhärtendem Kunstharzkleberauftrag, damit Preßdruck vor Beginn des Abbindevorgangs erreicht ist; besonders wichtig bei Pressen mit Werkstückabstreifung, da Preßgut unmittelbar auf heiße Heizplatte gelangt. Violetagenpressen haben schnell wirkende Simultanschließleinrichtung.

Hydraulische Pressenantriebe arbeiten meist mit $p \approx 3080 \text{ N/cm}^2$; Entwicklung neigt zu höheren Drücken.

Kraft zum Heben des Pressentisches beträgt

$$F = F_r + F_s + F_a = Ap_2.$$

Mit Rücksicht auf Leckverluste muß Pumpe höheren Druck $p_1 = p_2/\eta_p$ und zum Ausgleich des Schluckvermögens der Arbeitszylinder $Q_2 = Av$ größeren Flüssigkeitsstrom $Q_1 = Q_2/\eta$ liefern. Pumpenleistung ergibt sich somit zu

$$P_1 = p_1 Q_1 = \frac{p_2 Q_2}{\eta_{\text{ges}}} = \frac{p_2 Av}{\eta_{\text{ges}}}.$$

Ferner ist Schließzeit

$$t = \frac{s}{v} = \frac{As}{Q_2} = \frac{Fs}{P_1 \eta_{\text{ges}}};$$

- F_r Reibungskraft,
 F_s Arbeitswiderstände (Formungskräfte, Gewichte),
 F_a Beschleunigungskraft,
 A wirksame Kolbenfläche,
 v Hubgeschwindigkeit,
 s Schließweg.

Ausführliche Berechnung s. TM 1/II, Hydrostatische Antriebe.

Beispiel (Bild 5.99)

Hochbehälter liefert Wasser mit geringem Druck zum Füllen der Arbeitszylinder 1 beim Schließen durch Schließzylinder 2 und für Hochdruckpumpe P_2 . Mehrstufiger Hochdruckverdichter P_3 hält Druck im Akkumulator (Druckspeicher PS). Zahnradpumpe P_1 erzeugt Druck für Vorsteuerung. Druckmittel für Vorsteuerung ist Öl, ausgenommen für Servoantrieb zum Öffnen des Füllventils VF. Rückschlagventile mit Federbelastung und hydraulischer Entsperrung steuern Arbeitsfunktionen im wasserhydraulischen Teil.

Stillstand. Zahnradpumpe für Servoantriebe P_1 fördert Ölstrom über Widerstandsventil VDW in Behälter zurück. VDW ist auf konstanten Ablaufdruck eingestellt, so daß Pumpe auch bei Pressenstillstand unter Last läuft und Vorsteuerdruck bei Einleitung einer Arbeitsbewegung sofort verfügbar ist. Bei aufgefülltem Akkumulator PS fördert Hochdruckpumpe P_2 im Leerlauf über VRE₃ in Behälter zurück.

Schließen. Ventile VRE₂ und VRE₅ sind über Vorsteuerung VW₃ und VW₂ geöffnet. Akkumulator arbeitet auf Schließzylinder, während die Arbeitszylinder über das von VRE₃ geöffnete Füllventil VF unter geringem Druck gefüllt werden. Einstellbares Drosselventil VDR₁ steuert Schließgeschwindigkeit; bei gedrosseltem Zulauf zu Schließzylindern geht gespeicherte Energie teilweise verloren.

Halten. In jeder Stellung läßt sich Schließ- und Öffnungsvorgang durch Schließen der Ventile VRE₁, VRE₂, VRE₄ bis VRE₆ anhalten. Geöffnet bleibt VRE₃.

Pressen. Ventile VRE₂ und VRE₅ sind geöffnet. Akkumulator arbeitet über VRE₂ auf Arbeitszylinder und über VRE₅ auf Schließzylinder. Beim Erreichen des Preßdrucks werden VRE₂ und VRE₅ über Kontaktmanometer Me geschlossen.

Druckmindern. Ventile VRE₁ und VRE₆ werden geöffnet. VRE₁ verbindet Behälter und Arbeitszylinder, in denen sich dadurch Druck abbaut. Akkumulator arbeitet auf Schließzylinder.

Öffnen. Ventile VRE₁, VRE₄ und VRE₆ sind geöffnet. Druckwasser wird über VRE₁ aus Arbeits-, über VRE₄ aus Schließzylindern in Behälter zurückgedrängt. Einstellbares Drosselventil VDR₂ steuert Senkgeschwindigkeit.

Füllen des Akkumulators. Er besteht aus einer Wasser- und mehreren Luftflaschen. Steuerapparat St sperrt Anschlußrohrleitung zur Presse bei entleertem Akkumulator und schaltet Hochdruckpumpe P_2 ein und ab. Bei niedrigstem Wasserstand fällt der Magnet des Vorsteuerventils VW₇ ab, wodurch VRE₇ geschlossen und weitere Wasserentnahme aus Akkumulator unterbunden wird.

Hochdruckpumpe P_2 fördert Wasser über VR₁ und VRE₂ in Akkumulator. Bei höchstem Wasserstand wird Magnet von VW₇ gezogen, so daß Wasser aus Akkumulator über VRE₇ entnommen werden kann. Gleichzeitig fällt Magnet von VW₈ ab; Pumpenumlaufventil VRE₈ wird über Vorsteuerung geöffnet, wodurch Pumpe P_2 leer in Behälter zurückfördert.

Bei Ausfall des elektrischen Stroms fallen Magnete von VW₇ und VW₈ ab, wodurch sich Absperrventil VRE₇ schließt und Pumpenumlaufventil VRE₈ öffnet.

Beim Betrieb mehrerer gleichartiger Pressen ist indirekter Antrieb über Druckspeicheranlage zweckmäßig; dabei sind mehrere Arbeitszylinder erforderlich. Anwendung ist auch beim Antrieb einzelner Pressen möglich, wenn Pressentakt verhältnismäßig lang ist, Zeit für Schließen und Druckgeben jedoch kurz sein muß.

Beschickung und Entleerung. Von Hand wegen Preßgutmasse, Beschickhöhe, Abbindezeit des Klebers und Produktionsleistung nur begrenzt anwendbar.

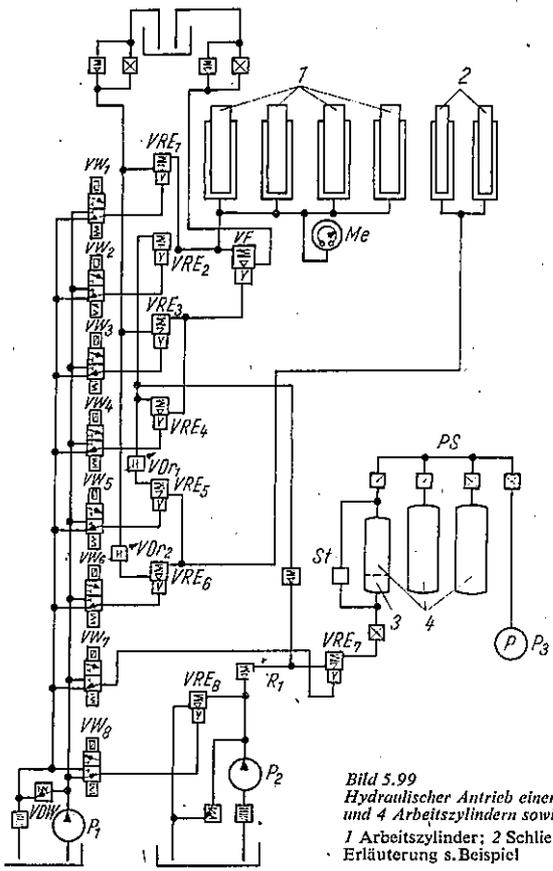


Bild 5.99
Hydraulischer Antrieb einer 2stufigen Vieletagenpresse mit 2 Schließ- und 4 Arbeitszylindern sowie Druckspeicherbetrieb
1 Arbeitszylinder; 2 Schließzylinder; 3 Wasser; 4 Luft
Erläuterung s. Beispiel

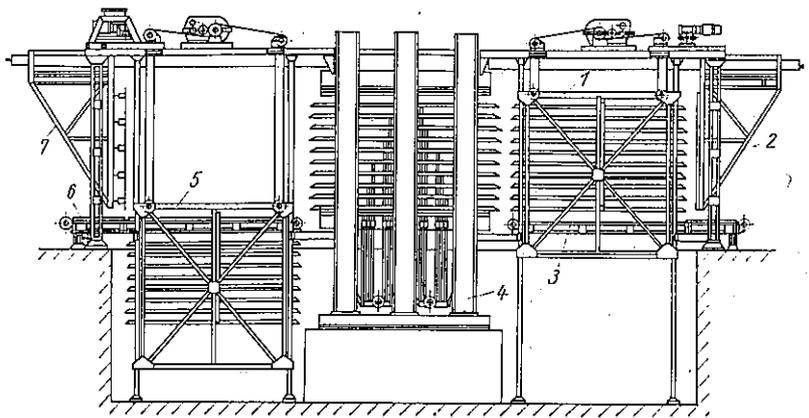


Bild 5.100. Zehnetagenpresse mit Beschick- und Entleervorrichtung
Beschickhubkorb; 2 Einschubarm; 3 Kettenförderer; 4 Heißpresse; 5 Entleerhubkorb; 6 Kettenförderer; Auszugsarm

Automatische Beschickung, Entleerung und Blechrückführung sowie blechlose Beschickssysteme kennzeichnen den Stand der Technik [5.22]. Bei *durchlaufender Blechbeschickung* bestehen Etagen des Hubkorbs aus Rollenbahnen. In Plattenmitte sind die Etagen für das Ein- und Ausführen des Einschubbalkens bzw. Auszugsbalkens frei. Hubbewegung wird meist durch elektrisch betriebene Winden ausgeführt. Großer Trommeldurchmesser, sicher wirkende Bremse und Endschalterkontakte sind notwendig, um ein exaktes Anhalten des Hubkorbs vor jeder Pressenetage zu erreichen. Preßbleche mit Preßgut werden einzeln in Beschickvorrichtung gefahren. In vorderer Stellung wird Anheben des Beschickkorbs um eine Etage ausgelöst. Bleche des gefüllten Beschickkorbs werden durch den Einschubbalken gleichzeitig in Presse geschoben. Nach Öffnen der Presse greift Auszugsbalken an den Auszugskralen sämtliche Bleche und zieht sie in das Entleergestell, das, mit der untersten Etage beginnend, etagenweise entleert wird (Bild 5.100).

Blechlose Beschickssysteme mit Preßgutabstreifung (Tablettbeschickung) sind beim Heißpressen hoch vorverdichteter Spanplatten üblich. Zum Ausstoßen der Spanplatten haben die Tablettstoßleisten. Zum Abstreifen der ungepreßten Vliese dienen über die gesamte Plattenbreite angreifende Abstreifer, die mittels Ketten bewegt werden (Bild 5.101).

Die Bandtablettbeschickung für Faser-, Span- und Furnierplatten wird für Ein- und Mehretagenpressen ausgeführt. Das Ablegen eines unverdichteten Spänevlieses wird auch bei Großformat 12760 mm x 2120 mm erreicht. Bandtablett besteht aus Wagen mit umlaufendem Band. Beim Einfahren des belegten Tablett in Presse wird Preßgut durch hochgeschwenkten Keil an Tablettvorderseite ausgestoßen. Ablegen durch umlaufendes Band und auf Heizplatte aufliegenden Keil beim Wagenrücklauf (Bild 5.102).

Arbeitsweise der Stoßbeschickung für kalt vorverdichtete Furnier- und Verbundplatten: Ausstoßen des Preßguts in Entleerhubkorb bei abgesenktem Beschickhubkorb. Rückzug des Ein-

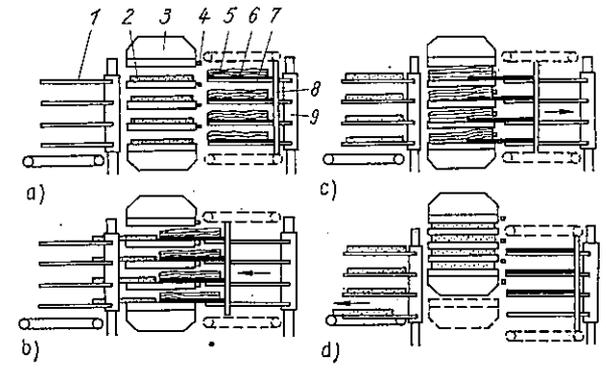


Bild 5.101
Tablettbeschickung
a) Beschickstellung; b) Abstreifen des ungepreßten Guts; c) Einfahren der Tablett und Ausstoßen der gepreßten Platten; d) Entladen und Beladen
1 Entladetablett; 2 gepreßte Platte; 3 Heißpresse; 4 Abstreifer; 5 Tablettführung; 6 Tablett; 7 ungepreßtes Gut; 8 Einschubarm; 9 Hubeinrichtung

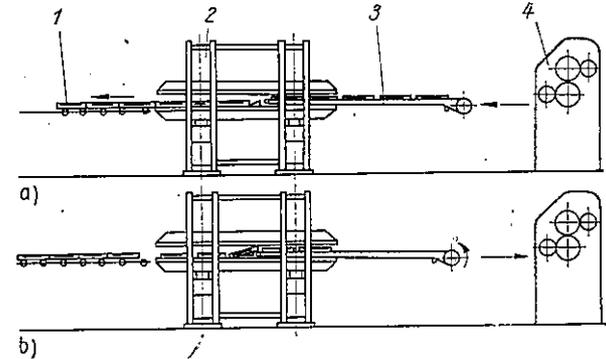


Bild 5.102
Bandtablettbeschickung
a) Einfahren des Bandtablett und Ausstoßen der gepreßten Platten; b) Ausfahren des Bandtablett und Ablegen des ungepreßten Guts
1 Entnahmerollengang; 2 Heißpresse; 3 Bandtablett; 4 Klebstoffauftragmaschine

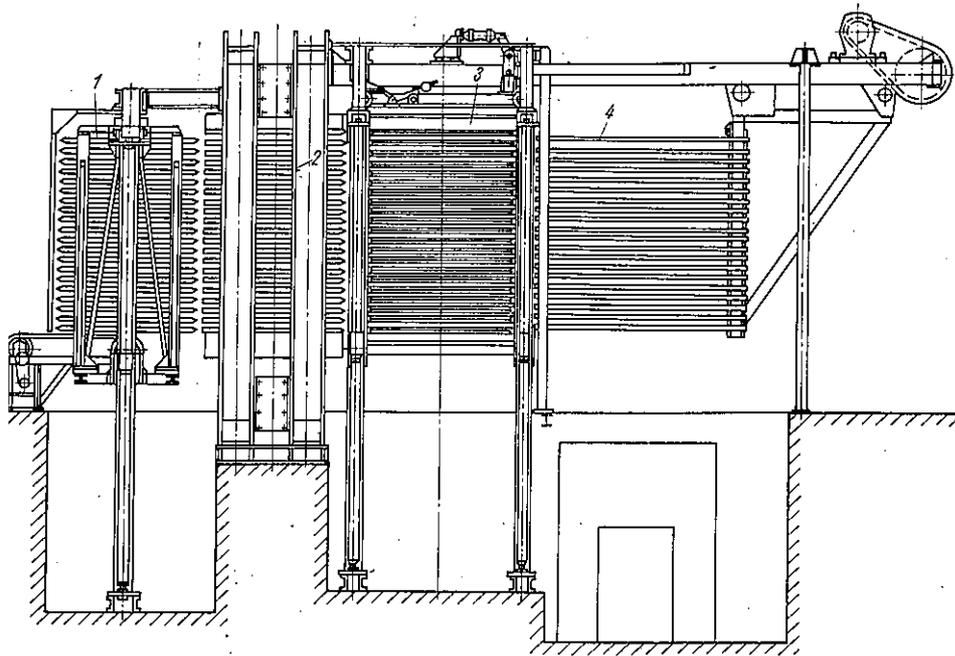


Bild 5.103. Zwanzigtagenpresse mit Stoßbeschickung
Entleerhubkorb; 2 Heißpresse; 3 Beschickhubkorb; 4 Einschubgestell

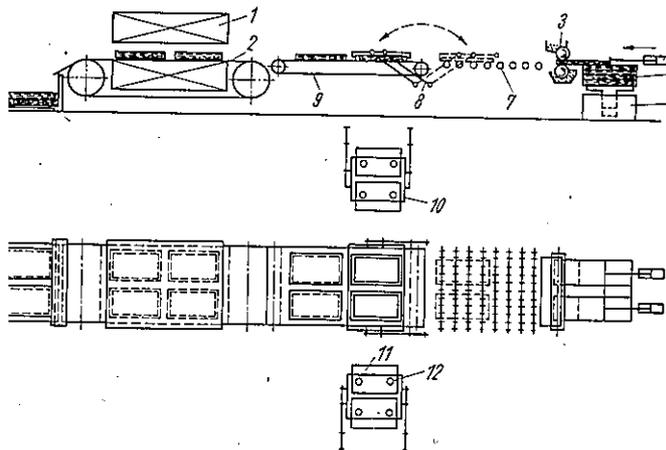


Bild 5.104. Einetagenpresse mit Stahlbandbeschickung
Heißpresse; 2 Stahlband; 3 Klebstoffauftragmaschine; 4 Einschubvorrichtung; 5 Trägerplatten; 6 Hubrichtung; 7 Rollenbahn; 8 Aufgeber für Trägerplatten; 9 Zufuhrband; 10 Aufgeber für Oberfurnier; Aufgeber für Unterfurnier; 12 Saugnäpfe

schubgestells, Heben des Beschickhubkorbs, Durchstoßen der Preßgutrohlinge in die Heißpresse (Bild 5.103).

Anwendungsgebiet der Stahlbandbeschickung ist auf Einetagenpressen mit Oberantrieb beschränkt. Preßgüter sind Span-, Verbund-, Furnier- und furnierte Platten. Belegen des Stahl- oder Zubringerbands ist mechanisiert (Bild 5.104).

5.10.3. Maschinen zum Schneiden

Furnierklipper. Sie schneiden nasses, von Furnierrundschälmaschine oder Bobine ablaufendes Furnierband auf Format und größere Fehlerstellen heraus. Zum Schneiden wird Elektromotor mit Scherengestänge durch Kegel-, Lamellen-, Spreizring-, Drehkeil- oder andere Kupplungen verbunden. Nach erfolgtem Schnitt hält Kegel-, Band- oder Lamellenbremse Messer in oberer Stellung fest, oder eingebaute Federn drücken es ständig nach oben. Scheren mit Motorantrieb führen 180 Schnitte/min aus. Bei Druckluftantrieb (Bild 5.105) werden 1500 Schnitte/min erreicht.

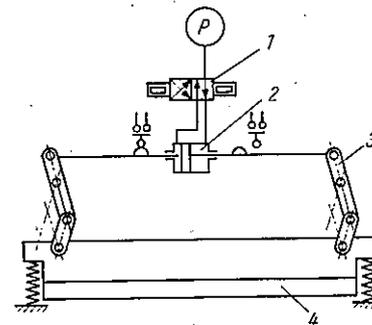


Bild 5.105
Furnierschere mit Druckluftantrieb
1 Wegeventil; 2 Arbeitszylinder;
3 Kniehebel; 4 Messer

Furnierpaketscheren. Schmalflächen der zu Paketen von 100 ... 130 mm Höhe übereinandergeschichteten Furniere werden im Schruppschnitt gerade geschnitten und im Schlichtschnitt feinbearbeitet.

Messerfurniere müssen oft in der Mitte auseinandergeschnitten werden. Schwenktisch hinter Schere läßt sich hydraulisch zum Zurückgeben des Furnierpakets auf Bedientisch nach oben oder für Abtransport von Abfallstücken nach unten schwenken. Schnittlinie wird durch Richtlicht auf Furnier projiziert. Anschlagleisten oder Ausrichtnuten im Tisch ermöglichen Ausrichten der Furniere parallel zum Scherenmesser.

Furnierscheren mit Mittelschnitteinrichtung sind für Pakethöhen bis 80 mm bei Schnitten parallel zur Faserrichtung und bis 50 mm bei Schnitten senkrecht hierzu eingerichtet. Da meist Einzelfurniere aufgeteilt werden, haben Maschinen keine Nachsnitteinrichtung. Furnierabtransport hinter der Maschine erfordert neben Sicherheitseinschaltung an Maschinenvorderseite auch Schutzvorrichtungen, wie Fallgitter und Lichtschranken, an Rückseite.

5.11. Maschinen zum Beschichten

5.11.1. Schmalflächenbeschichtmaschinen

Sie dienen zum kontinuierlichen Ankleben von Furnierstreifen oder Plastbeschichtmaterial von der Rolle an zwei Schmalflächen plattenförmiger Teile und zum Absägen oder Abfräsen überstehender Ränder, Anschleifen von Fasen, Abstechen von Werkstoffenden und Schleifen furnierter Schmalflächen. Zugehörige Beschichteinheit (Vorschubgeschwindigkeit 18 bis 20 m/min) trägt Schmelzkleber (200°C) an Werkstückschmalfläche an, führt Furnierstreifen

aus Magazin oder Plaststreifen von Rolle zu und drückt ihn in kalter Druckzone an (Heiß-Kalt-Verfahren).

Maschinen, die säurehärtenden Klebstoff benutzen, haben zum schnellen Abbinden des kalt aufgetragenen Klebers umlaufende beheizte Stahlbänder, die gegen die Schmalflächen drücken (Kalt-Heiß-Verfahren).

Kreissägen oder Messerköpfe, die von kegligen Anlaufrollen auf Werkstückdicke auseinandergespreizt werden, schneiden überstehende Streifen ab und laufen mit dem Werkstück gleichsinnig synchron.

5.11.2. Lackgießmaschinen

Lack wird aus ein oder zwei Gießköpfen (für Katalysator und Stammlack im Verhältnis 1 : 9) auf Werkstück gegossen, das mit 60 ... 120 m/min durch umlaufende Transportbänder unter Gießkopf vorbei bewegt wird. Pumpen fördern danebenlaufenden, in Fangwanne gesammelten Lack in Gießkopf zurück. Daher 95%ige Verwertung, beim Verspritzen aus Düsen nur 65%. Gesamtes Lackumlaufsystem in Edelstahlausführung.

Gegossen wird vorwiegend Polyesterlack mit etwa 70% höherer Arbeitsproduktivität gegenüber Nitrozelluloselack [5.23]. Lackschichtdicke (150 µm bei Nitrozellulose, 400 µm bei Polyester) ist einstellbar durch Füllhöhe im Gießkopf (Bild 5.106).

Auftragmenge > 60 g/m², bei drucklosem Ausfließen: < 60 g/m². Niedrigviskose Farbmittel erfordern Unterdruck im Gießkopf.

Im Lackumlaufsystem müssen Temperaturen zwischen 10 und 20°C eingehalten werden. Bei niedrigeren Temperaturen fällt Paraffin aus, höhere wirken als Katalysator. Lacktank hat daher Doppelmantel mit Wasserumlauf.

Elektrische Ausrüstung muß explosionsgeschützt sein.

5.11.3. Lackauftragmaschinen

Walzen (Bild 5.107) tragen Nitrozelluloselack auf. Raum zwischen Auftragwalze mit Gummi- und Dosierwalze dient als Lackvorratsbehälter. Auftrag auf Werkstückoberseite und Unterseite oder zweimaliges Aufwalzen naß in naß durch hintereinander angeordnete Auftragwalzen ist üblich. Durchlaufgeschwindigkeit beträgt 10 ... 20 m/min, meist durch polschaltbaren, explosionsgeschützten Antriebsmotor.

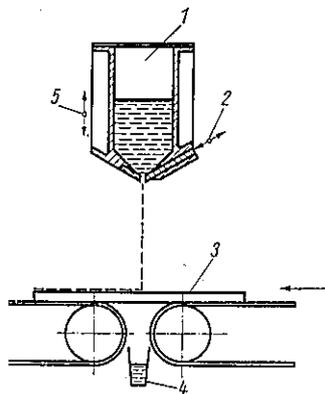


Bild 5.106. Gießkopf einer Lackgießmaschine
1 Gießkopf; 2 Schlitzeinstellung; 3 Werkstück; 4 Auffangwanne; 5 Gießhöhenverstellung

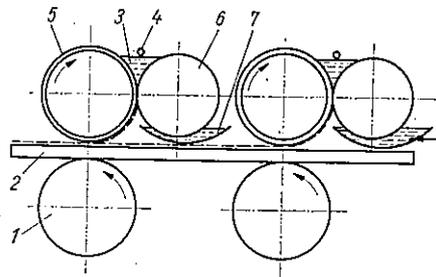


Bild 5.107. Walzen-Lackauftragmaschine
1 Vorschubwalze; 2 Werkstück; 3 Lackvorrat; 4 Überlauf; 5 Auftragwalze mit Gummi- und Dosierwalze; 6 Dosierwalze; 7 Lackwanne

5.12. Lärmbekämpfung

Erhöhen der Spindeldrehzahl und Zusammenfassen mehrerer Bearbeitungseinheiten zu einer Maschine verstärken Lärmentwicklung. Hauptsächliche *Geräuschquellen* sind:

Schall-schwingungen durch laufendes Werkzeug, hervorgerufen durch das mit dem Werkzeug umlaufende Druckfeld, periodische Luftstauungen vor Werkzeugschneiden, Werkzeugbewegungen in Achsenrichtung und Eigenschwingungen, z.B. bei Abricht- und Dickenfräsmaschinen und Kreissägen;

Auftreffen des Werkzeugs auf Werkstück, wobei mindestens ein Teil in schallabgebende Schwingungen versetzt wird, z.B. beim Dickenfräsen von Spanplatten;

Späneabsaugung verursacht aerodynamisches Geräusch und aufrallende Späne versetzen Fanghauben und Rohrleitungen in Schwingungen.

Diese Ursachen addieren sich.

Lärmminderungsmaßnahmen beginnen mit Bekämpfung der lautesten Schallquelle und der Lärmausbreitung durch folgende *Maßnahmen*:

Unterbindung der Lärmstehung durch Ändern des Bearbeitungsverfahrens, z.B. Stirnfräsen statt Umfangfräsen bei Dickenbearbeitung von Spanplatten, ferner durch konstruktive Veränderungen am Werkzeug und an Tisch- und Druckklippen um das Werkzeug (Bild 5.108); Körperschalldämmung, z.B. durch Unterbrechung der Körperschallbrücken oder durch Einbau von Dämpfungsgliedern;

Luftschalldämmung, z.B. durch schalldämmende zusätzliche Bauelemente, Verschließen von Maschinenöffnungen durch schalldämmende Wände u.a., ferner durch schalldämpfende

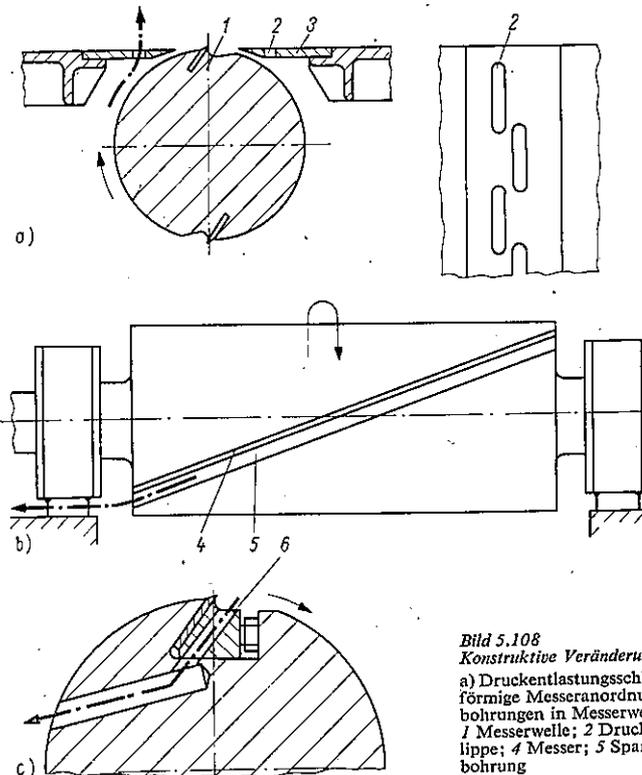


Bild 5.108
Konstruktive Veränderungen zur Lärm-minderung
a) Druckentlastungsschlitze in Tischlippe; b) wendelförmige Messer-anordnung; c) Druckentlastungsbohrungen in Messerwelle
1 Messerwelle; 2 Druckentlastungsschlitze; 3 Tischlippe; 4 Messer; 5 Spannutt; 6 Druckentlastungsbohrung

Konstruktion (Bild 5.109), z.B. Schallschluckschleusen an Ein- und Auslauföffnung der Maschine;

Herabsetzung von Werkzeugspindeldrehzahl und Luftgeschwindigkeit in Absauganlagen vermindert Lärm. Schallpegel fällt mit abnehmender Drehzahl infolge vorhandener Resonanzräume in Maschinen nicht kontinuierlich ab, zeigt jedoch allgemein fallende Tendenz. Bei Maschinen mit Messerwellen ändert sich Schallintensität mit der 4. Potenz der Werkzeugspindeldrehzahl;

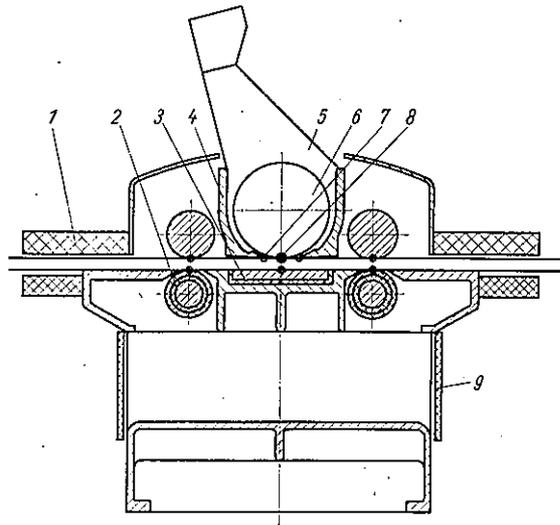


Bild 5.109
Dickenhobelmaschine in lärmarmen Bauart

1 Schallschluckschleuse; 2 Vorschubwalze mit Gummipolster; 3 Gummipolsterplatte; 4 Druckbalken mit Druckentlastungsschlitzen; 5 Absaughaube aus MgAl-Legierung anstelle von Blech; 6 Messerwelle mit Druckentlastungsschlitzen; 7 Nebenlärmquelle; 8 Hauptlärmquelle; 9 Abdeckung aus Mineralwolle

Strömungsgeräusche in Absaugungen entstehen vorwiegend durch Wirbelbildung infolge ungestalteter Gestaltung und durch Strömungsgeschwindigkeit. Schallintensität steigt mit 5. bis 10. Potenz der Strömungsgeschwindigkeit.

Bei mehreren zu einer Maschine zusammengefaßten Bearbeitungseinheiten erhöht sich Gesamt-schallpegel mehrerer gleich starker Schallquellen gegenüber Schallpegel einer einzelnen Schallquelle, z. B. werden 10 gleich starke Schallquellen doppelt so laut empfunden wie eine einzelne Schallquelle.

Bei dem Lauf von *Abricht- und Dickenfräsmaschinen* wird hervorgerufen durch den Druckfeld, das mit Messereinspannstellen umläuft, und Druckstörungen, die die Messer zusammen mit Druckkanten von Druckbalken, Tischlippen und Werkstück bilden. Druckausgleich durch Öffnungen in Tischlippen senkt Lautstärke im Leerlauf um 10 ... 15 dB. Wendelartig angeordnete Messer bringen Druckausgleich in Achsenrichtung der Messerwelle und Lautstärkeminderung um 10 ... 15 dB im Schnittzustand [5.24].

Druckentlastete *Messerwellenbauweise* mindert Druckstörungen im Leerlauf und während des Spannungsvorgangs. Bei dieser Messerwelle sind in Messerbefestigungsleisten und im Tragkörper in engem Abstand Schlitze angebracht, die Druckausgleichkanäle von Spanntuten zum vollen Umfang bilden. Diese Bauweise beeinflusst nicht das mit Messerwelle umlaufende Druckfeld [5.25].

Bei dem Fräsen großflächiger Platten entsteht besonders starker Lärm, der sich mit zunehmender Schneidabstumpfung erhöht. Die kräftigen Messerschläge senkrecht zur Plattenebene erregen große Schwingungen der Platte. Größe der schwingenden Platte begünstigt die Schallabstrahlung, d. h. Umwandlung des Körperschalls in Luftschall. Gummipolster in Vorhubwalzen und unter Tischplatte schwächen besonders die hochfrequenten Schwingungen der Platte ab.

An *Kreissägemaschinen* bringt Einspannung des Sägeblatts mit umlaufender Dämpfscheibe, deren Durchmesser etwa $\frac{2}{3}$ des Sägeblattdurchmessers beträgt, Lautstärke senkung im Leerlauf (Geräuschdämpfung durch dünne Luftschicht zwischen Sägeblatt und Dämpfscheibe [5.26]). Gleiche Wirkung erzielen feststehende Dämpfungsplatten, die beiderseits des Sägeblatts im kleinstmöglichen Abstand, ≈ 2 mm Luftspalt, angebracht werden, und Mehrschicht-sägeblätter mit Plastfolie-Zwischenlage (Bild 5.110).

Besäumzerspaner haben zweckmäßigerweise Leichtmetalltraggkörper und im Neigungswinkel eingesetzte, gestufte, hartmetallbestückte Schneidzähne (Bild 5.111).

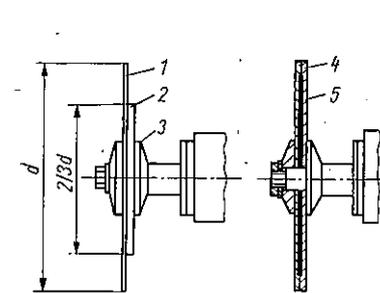


Bild 5.110. Dämpfscheiben

1 Sägeblatt; 2 Dämpfscheibe; 3 Spannflansch; 4 Mehrschicht-sägeblatt; 5 Plastfoliezwischenlage

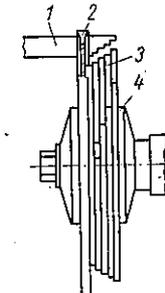


Bild 5.111. Besäumzerspaner lärmarmen Bauart

1 Werkstück; 2 Sägeblatt; 3 Besäumzerspaner; 4 Spannflansch

Vierkantige Stahlscheiben mit Hartmetallschneidzähnen, die zu einem Paket mit Schneiden in Umfangsrichtung versetzt angeordnet sind, sollten gestufte, vom Sägeblatt nach außen zunehmende Schneidkreisdurchmesser haben; sie mindern Lärm gegenüber nicht gestuften um 5 dB [5.27].

Lärmquellen bei *Späneabsaugung* sind unweckmäßig gestaltete Spänefanghauben, hohe Druckverluste in Maschine und Rohrleitungen, behinderte Tragluftansaugung, lange Metallschläuche an flexiblen Verbindungen, strömungstechnisch ungünstige Ausführung von Rohrkrümmern und Abzweigungen, zu hohe Arbeitsgeschwindigkeit. Daher sind folgende Baugrundsätze zu beachten [5.28]:

Spänefang- und Schutzhauben so ausbilden, daß Anschlußrohr in Flugrichtung der Späne liegt; zumindest sollte Hauptströmungsrichtung im Flugsektor der Späne liegen; Anschlußquerschnitt flächengleich mit offenem Ansaugquerschnitt ausführen; keine Querschnittsverengungen und Erweiterungen innerhalb Fanghaube, besonders nachteilig sind zu kleiner Anschlußquerschnitt und Querschnittsverengungen, da Druckverluste und aerodynamischer Lärm infolge zu hoher Strömungsgeschwindigkeit entstehen; bei großer Absaugleistung Tragluftöffnungen an Maschine vorsehen, die über Rohrleitungen oder Fundamentkanäle Außenluft ansaugen, auf strömungstechnisch günstige Formgebung achten;

Metallschläuche wegen größerer Druckverluste gegenüber glatten Rohren kurzhalten; Ventilatoren schwingungs isoliert aufstellen und Saug- und Druckstutzen sowie Spänefanghaubenstutzen körperschallisoliert mit Rohrleitung verbinden.

Literatur

- [5.1] Schmutzler, W.: Die Berechnung der Emissionen durch pneumatische Förderanlagen mit Hilfe von Matrizen. Luft- und Kältetechnik 8 (1972), S. 300-303.
 [5.2] Schmutzler, W.: Leistungsermittlung an Holzbearbeitungsmaschinen. Werkstatt und Betrieb 93 (1960) S. 507-514.
 [5.3] Popov, I. P.: Rasčet optimal'nych režimov raboty šlifoval'nykh stankov (Berechnung der optimalen Arbeitsvorgänge bei Schleifmaschinen). Derevoobr. Prom. Moskva 14 (1965) S. 12-14.

- lergänge 103
 nprimiermaschinen 16
 taktschuh 289
 taktwalze 288 ff.
 ivektion 223
 ung; Korngrößen
 und -formen 62
 nungskennlinien; Rückstands-
 Durchgangs-, Korn-
 verteilungskennlinien 62
 elwärmühle 102
 belschwingenbrecher 70
- kauftragmaschine 316
 kgießmaschine 316
 gsverklebemaschine 308
 nbekämpfung, Holz-
 bearbeitung 317 ff.
 enttechnik 234
 tern (Schlämmen) 162
 rhartrockner 224 ff.
 tenkreissäge 273
 geschwindigkeit 224
 gesteuerte Setzmaschinen 151
 strahlsieb 117
 strommühle 95
- metscheiden, Allgemeines 157
 ltrocknen 131
 ltwiderstand
 (spezifische Oberflächen-
 arbeit) und Mahlbarkeit 65
 chinenkombination 278
 seblatt 219
 rizenrahmen 219
 hanischer Speiser 169
 rbransetzmachine 149
 serbalken 303
 serkastens 295
 serringzerspanner 299
 serscheibe 291 f.
 sertrommel 291 f.
 then 141
 eifallmischer 14
 izmischer 14
 ihlmischer 14
 haufelmischer 14
 hnelmischer 14
 irbelmischer 14
 hmühlen 145
 ehmerkrone 303
 elschneidrichtung 272
 ensensizer 118
 en 16
 hlagmühlen 16
 hneidmühlen 16
 dstück 209
- rbearbeitungsmaschinen 196
 klassieren (Mechanische
 Freifall-, Gegenstrom-
 und Fliehkraftklassierer) 125
 nalbandschleifmaschine 286
- rfläche (spezifische)
 eines Korngemenges 62
 rflächenbehandlung 172
 rfräsmaschine 278
 rstempel 213
- rrenttechnik 241
 rleschwingenbrecher
 (Kniehebelbackenbrecher,
 Blakebrecher) 65
 le 302
 rfräsen 282
 rchnitzler 294
 enbandschlecker 239
- Plattenbandförderer 239
 Pneumatischer Speiser 170
 Polieren 168
 Poliermaschinen 203
 Polyesterharz, glasfaserver-
 stärktes ungesättigtes (GUP)
 Verarbeitung durch
 Gummisackmethode 45
 Handauflegemethode 45
 Preßmethode 45 f.
 Spritzmethode 45
 Ziehmethode 46
 Polyurethanschäumen 46 ff.
 Porenwasser 223
 Prallbrecher und -mühlen
 (Schlagprallbrecher) 81
 Pralltellermühle 299
 Prallrocknen 132
 Preßblasmaschinen 185
 Pressen 41 ff., 166
 Antrieb von Pressen 43
 Etagenpressen 45
 hydraulische Pressen 42
 Pressen von Duroplasten 41 ff.
 Unterkolbenpressen 45
 Preßköpfe 209
 Preßmaschinen 185 f.
 Preßschnecke 209
 Preßwerkzeuge 43 f.
 Füllraumpreßwerkzeuge 43
 Preßzylinder 209
 Profilträsmaschine 278
- Quellwasser 223
 Querkreissäge 273
 Querschwenkzeug 219
 Quertransporteur 237
 Querverklebemaschine 308
- Randverschmelzen 168
 Randverschmelzmaschinen 200
 Rechenklassierer 125
 Reihemaschinen 181 ff.
 Resonanzschwing-
 siebmaschinen 113
 Revolveranschlag 281
 Ringwalzenpressen 138
 Ritzmesser 295
 Rührmühlen 92 ff.
 Rohr- und Stab-
 ziehmaschinen 188 ff.
 Rollenbahn 237, 243
 Roller 219
 Rotoreintrindungs-
 maschine 300 f.
 Rückfuhrbahn 243
 Rührerlose (rein pneumatische)
 Flotationsmaschinen 155
 Rührwerkflotationsmaschinen
 155
 Rundbrecher 70
- Sägebandrolle 269
 Sägebandspanneinrichtung 269
 Sägeblattspannvorrichtung 268
 Sägerahmen 263
 Saugblasmaschinen 175
 Schaukelrockner 224
 Schäummaschinen 46
 für Polystyrol 47 ff.
 für Polyurethan 46 f.
 Scheibenhackschneidzler 292
 Schiebebühnen 237
 Schlagbrecher 70
 Schlagermühle 80
 Schlagkreuzmühle 298
 Schleifband,
 Leistungsgrenze 286
 Schleifbandtrieb,
 Hauptkräfte 290 f.
- Schleifen 168
 Schleifmaschinen 201, 232 f. 284 ff.
 Schleifzylinder 287 f.
 Schleudergelien; von Plasten 39
 Schmalflächenbeschicht-
 maschine 315 f.
 Schneckenpressen;
 für Plaste/Elaste 15 f.
 Schneidenersatz 248 f.
 Schnellwechselfutter 283
 Schnitwinkelstellung 304
 Schraubenklassierer 126
 Schlüsselklassierer 127
 Schüttdichte (Gesteine) 61
 Schwachfeldmagnetschneider
 (Magnetrollen, Elektromagnet
 mit Austragband, Trommel-
 magnetschneider) 158
 Schwertrüberverfahren
 (statisches,
 dynamisches) 146 ff.
 Schwerttrommelwäsche 162
 Schwindungsverlauf 223
 Schwingmühlen 96
 satzweise arbeitende
 Schwingmühlen 98
 stetig arbeitende Rohr-
 schwingmühlen 98
 überkritischer Betrieb 98 f.
 Schwingsiebmaschinen 107
 Typen (Kreis-, Ellipsen-, Gerad-,
 Belag-, Planschwinger) 110 f.
 überkritischer Betrieb 111
 Selektives Zerkleinern 106
 Senkrechtförderer 237
 Senkrechtgatter 262 ff.
 Senkrechtnachform-
 drehmaschine 221
 Setzmaschinen 148, 151, 239, 243
 Typen (Stauch-, Kolben-,
 Membran-, Luftgesteuerte
 Setzmaschinen, Doppelpul-
 sationssetzmaschine) 149
 Siebklassieren 107
 Siebmaschinen (gleichsinnig
 bewegte) Walzenrost- und
 Trommelsiebmaschinen 116
 Siebtrommelbrecher 162
 Siebtrommelmühlen 89
 Sortieren 145
 Sortieren durch Siebklassieren 161
 und nach Gleichfälligkeit 163
 Speichergeräte 237
 Speiserblasmaschinen 178, 184
 Spiralbespannungszylinder 288
 Spiralwindsichter 123
 Spritzgießen 29 ff.
 Anguß beim Spritzgießen 36
 Anschnitt beim Spritzgießen 36
 Arbeitsstufen beim Spritz-
 gießen 29
 Plastiziereinheit der -maschine 32
 Rückstromsperran
 -maschinen 32
 Schließeinheiten an
 -maschinen 30 ff.
 Spritzeinheiten an -maschinen 32
 -maschinen mit Vor-
 plastizierung 34
 -technik 29 ff.
 -werkzeuge 36 ff.
 Spritzgießmaschinen 29 ff.
 Spritzgießschäumtechnik
 (TSG) 33
 Werkzeuganschlußmaße an
 -maschinen 34 f.
 Spritzprägen 33
 Spritzpressen; von
 Duroplasten 41 f.
 Spritzpreßwerkzeuge 44

- Stahlbandbeschickung 313 ff.
 Stahlscheibenraffineur 300
 Starkfeldmagnetschneider
 (Kreuzbandschneider,
 Ringmagnetschneider,
 Walzenmagnetschneider) 160
 Stauchsetzmaschine 149
 Stempelpresse 213
 Stiftmühlen 84
 Stoßbeschickung 313 ff.
 Stößelschwingen-
 maschine 116
 Stranggießmaschinen 29
 Strangpressen 136
 Streckformen; von Plasten 49
 Negativstreckformen 49
 Positivstreckformen 50
 Positivstreckformen mit
 Vorblasen 51
 Streichen 54 f.
 mit Gummituchrakel 55
 mit Lufrakel 55
 mit Rakeldüse 55
 mit Walzenrakel 55
 Stromklassieren, Grundlagen,
 Gesetze von Newton
 und Stokes 118
 Naßverfahren
 (Naßklassieren) 125
 Trockenverfahren
 (Windsichten) 120
 Strukturzerstörer 209
 Sturztrommelmischer
 (Taufmelmischer) 142
- Tablettbeschickung 313
 Tablettiermaschinen 16
 Tellermischer mit senkrechter
 Mischwelle 143
 Thermoplaste
 (Zustandsbereiche) 12
 Tiefziehen; von Plasten 49
 Trennbandäge 271 f.
 Trennen 167
 Trennmaschinen; für Plaste 52
 Trennschleifen 199

- Trennvorgänge (Gütegrad
 des Sortierens und Klas-
 sierens) 145
 Trockenes Dichtesortieren
 (Trockensinkschneider,
 Trockensetzmaschinen,
 Luftherde) 154
 Trommelentrindungs-
 maschine 301
 Trommelhackschneidzler 293
 Trommel- und Röhrmühlen 87 ff.
 Ein- und Mehrkammerroh-
 mühlen 92
 Grundlagen 87
 Röhrmühlen für Kreislauf
 mit Windsichter 94
 satzweise arbeitende
 Trommelmühlen 89
 Siebtrommelmühlen 89
 stetig arbeitende Trommel-
 mühlen 91
 Tropfenbildung 171
 Tropfenspeiser 168
 Ultraschallschweißen 54
 Umformmaschinen;
 für Thermoplaste 49
 Umkehrmischer 143
 Umladegerät 237
 Umsetz- und
 Verputzaggregate 227
 Unterfräsmaschine 275 ff.
 Unterstempel 213
 Vakuumkammer 207
 Ventilatormühle
 (Schlagradmühle) 84
 Verdunstungstrocknung 222
 Verputzstation 227 f.
 Verschweißen 168
 Verschweißmaschinen 204
 Verwärmen 168
 Verwärmmaschinen 200
 Vorpressen 214, 217
 Vorschubantrieb 264
 Vorschubkette 280
 Vorschubsteuerung 264 ff.

- Walzen 167
 Walzenbrecher- und
 -mühlen 75
 Walzenlackauftragmaschine
 316
 Walzenpressen 140
 Walzenrollenbahn 239
 Walzmaschinen 194
 Wälzmühlen 100
 Walzwerke; für Plaste 15
 Wärmeimpulsschweißen 53
 Warmformgebung 166
 Weißbrockner 224 f.
 Werkzeugschlitten 308
 Werkzeugspindel 276
 Windsichten 120
 Durchflußsichter
 (Stromsichter) 123
 Umluftsichter
 (Streuteller-
 Schleudersichter) 120
- Zahnscheibermühle 299
 Zahn-Weg-Diagramm 265
 Zapfenfräsen 283
 Zentriereinrichtung 287, 305
 Zentrierstation 227 f.
 Zerkleinern,
 (Grundlagen,
 Exponentialgesetz) 62
 Zerkleinerungsprinzipien 63
 Zerkleinerungssysteme
 (Durchlaufsysteme;
 Inneres und äußeres Klas-
 sieren im Kreislauf) 129
 Zerkleinerungsverhältnis 65
 Zerspanermesserswelle 295
 Zerspanungsmaschine 294 ff.
 Zickzacksichter 123
 Ziehen 167
 Ziehmaschinen 186 ff.
 Zwangstetigmischer 143 ff.
 Zweiwellenhammerbrecher 79
 Zweiwellenprallbrecher 82
 Zylinderschleifmaschine 284