

DOSING

CONVEYANCE

DISTRIBUTION



CLAUDIUS PETERS

P R O J E C T S

Verschleiß bei der pneumatischen Förderung

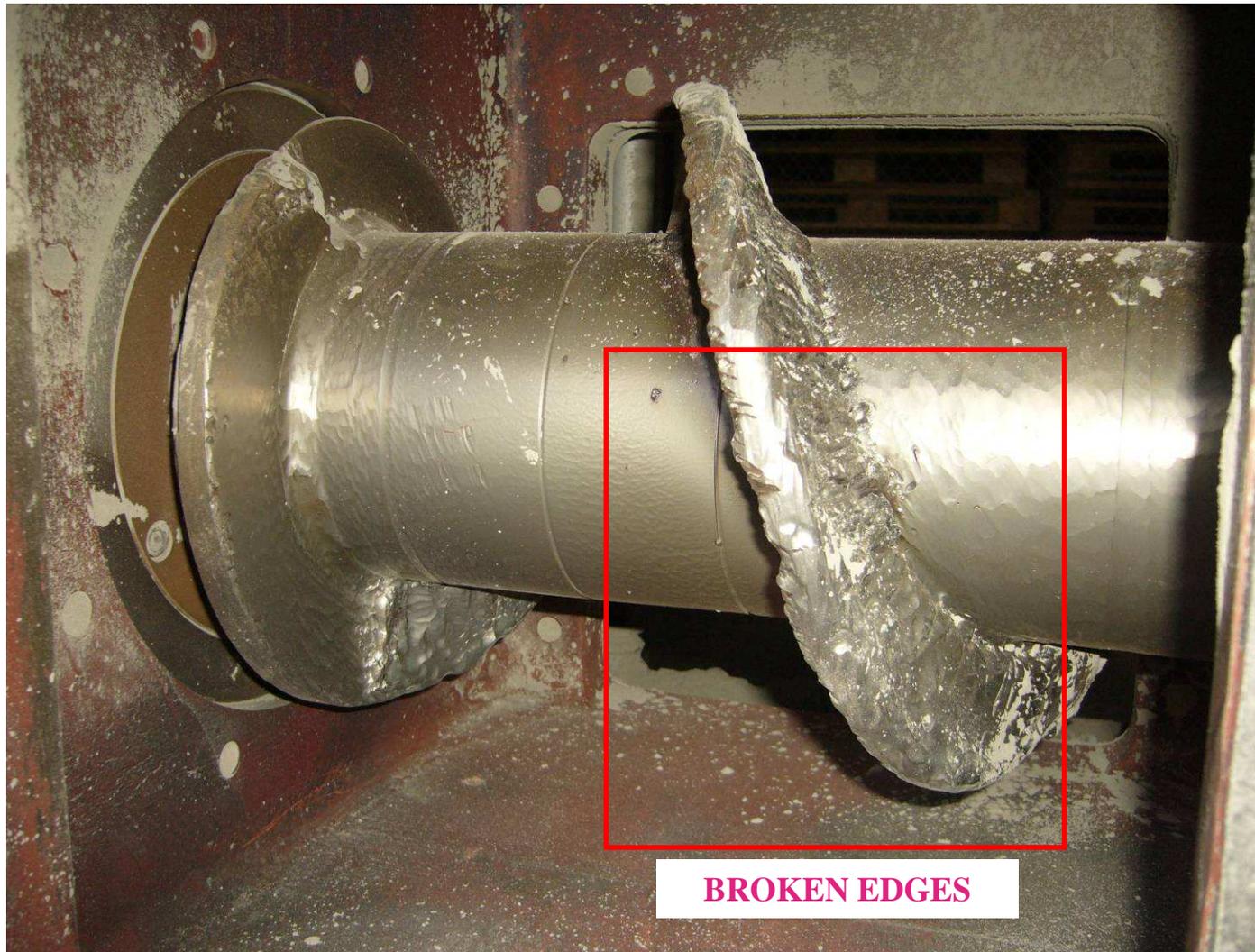
Prof. Dipl.-Ing. P. Hilgraf
Senior Manager Technical Center

Schneckenschleusen Endflügel und Welle für Flugasche





Schneckenschleuse: Bruchkanten durch Fremdkörper



BROKEN EDGES

Entstaubungskugelhahn Druckgefäß (Auslaufdichtung)



Luftdüse



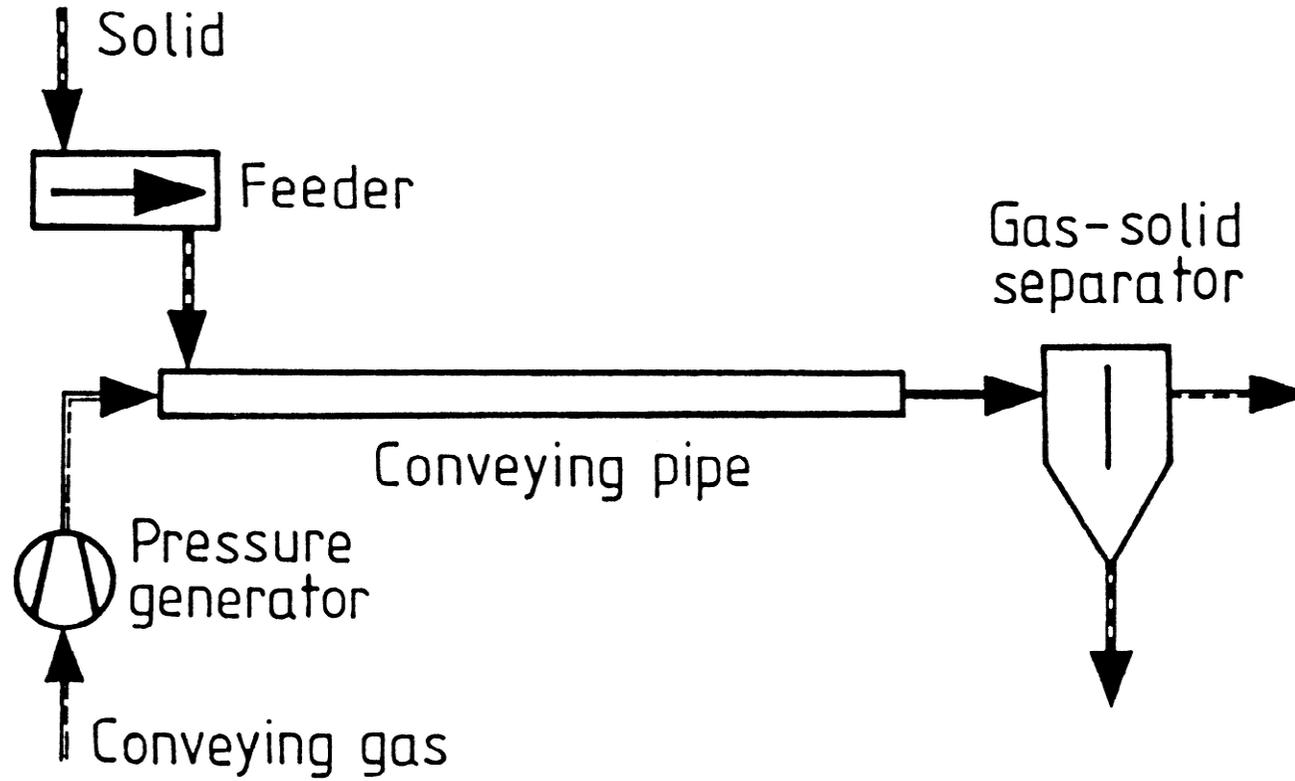
Kegelventil von oben



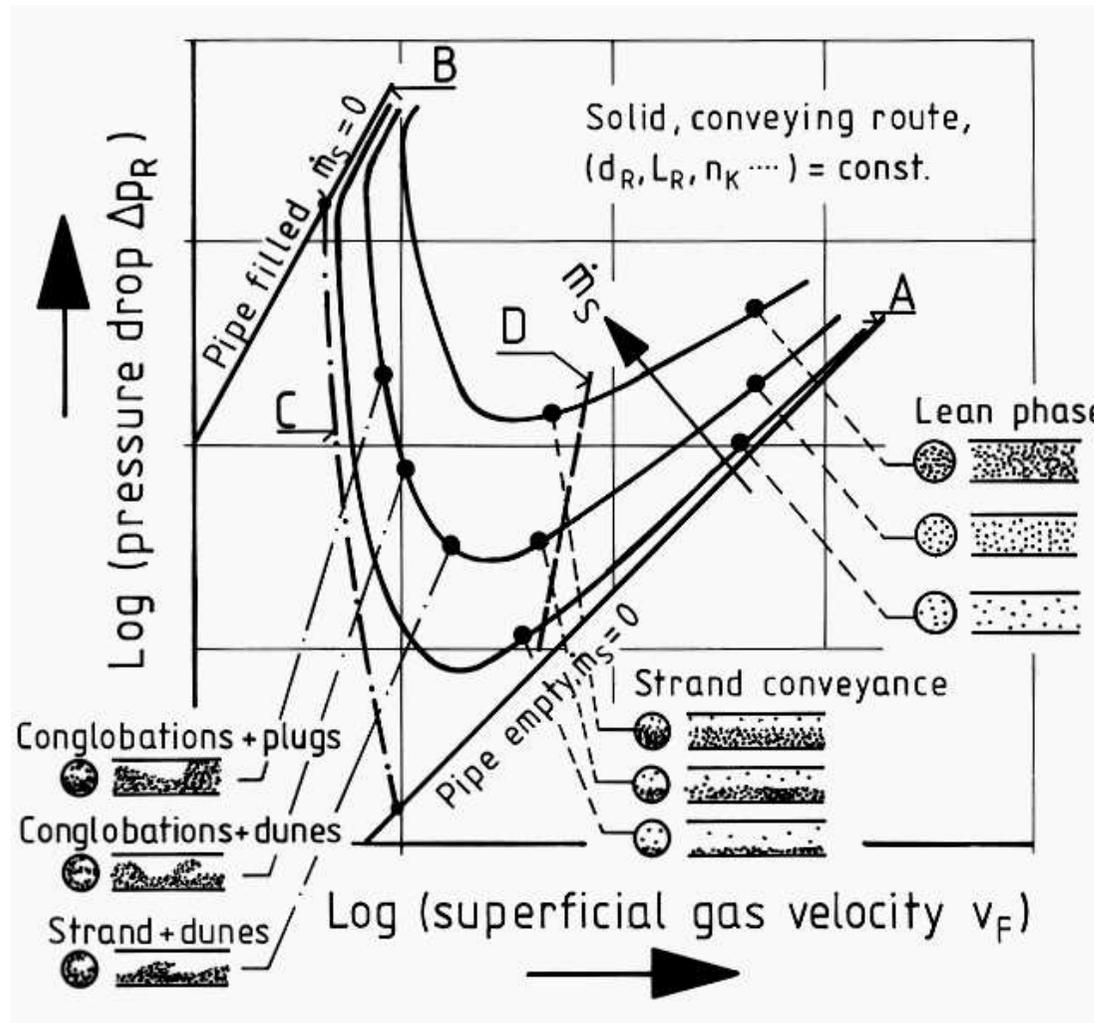
Rohrverschleiß direkt nach Flansch



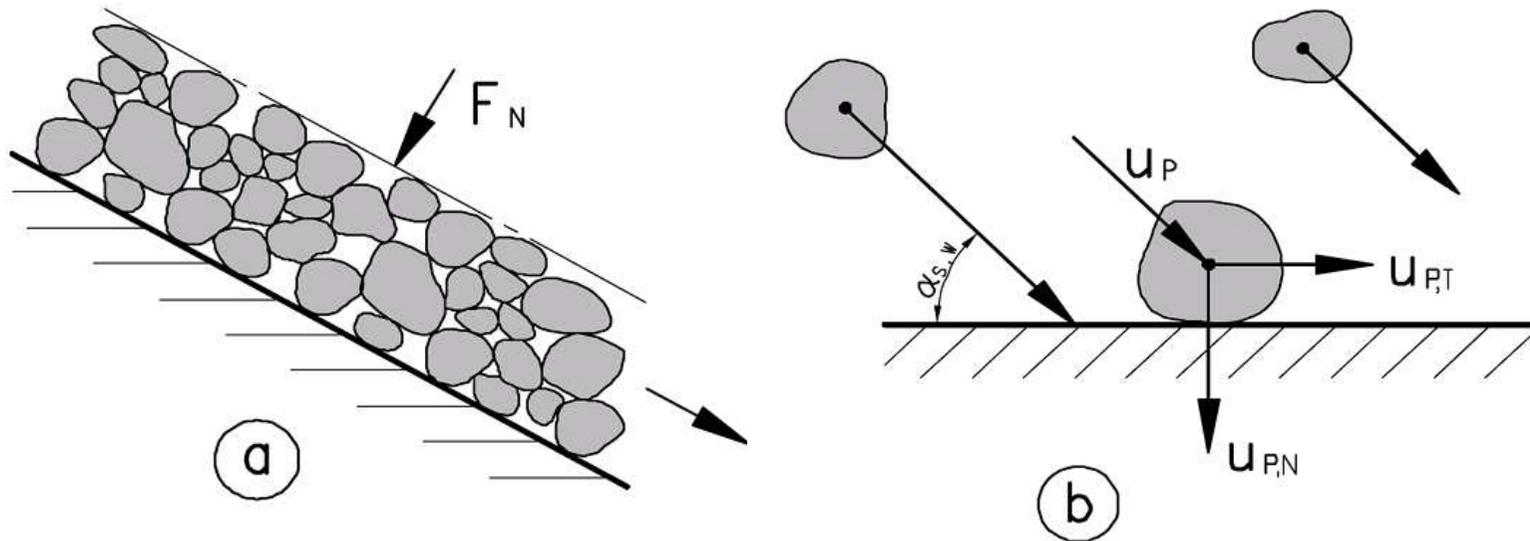
Schematischer Aufbau einer pneumatischen Druckförderanlage



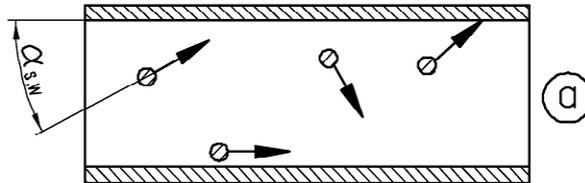
Förderdiagramm, schematisch



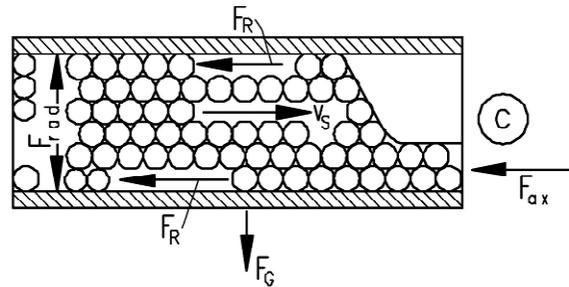
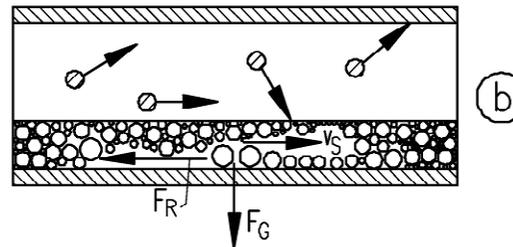
Schematische Darstellung von Abrasiv- (a) und Prallverschleiß (b)



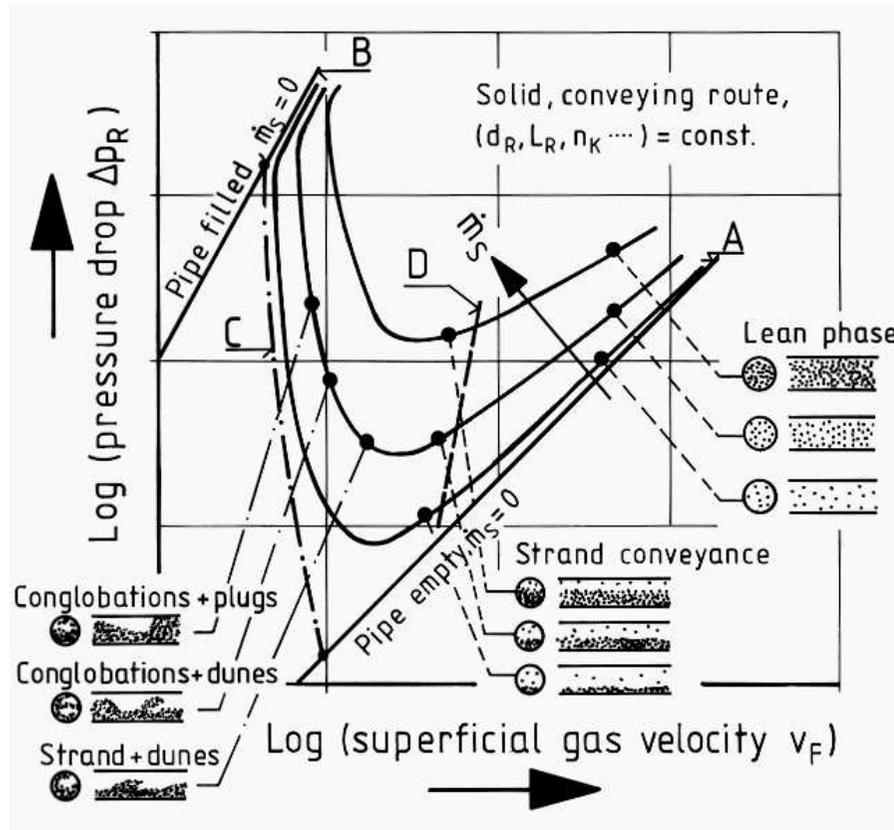
Strömungsformen und zugehörige Verschleißmechanismen



$\alpha_{s,w} = 0^\circ$: Gleitstrahlverschleiß
 $0 < \alpha_{s,w} < 90^\circ$: Schrägstrahlverschleiß
 $\alpha_{s,w} = 90^\circ$: Prallstrahlverschleiß



Förderdiagramm, schematisch

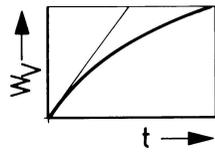
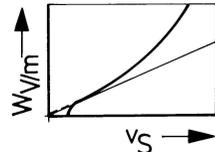
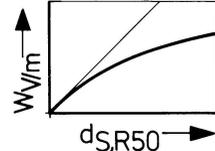
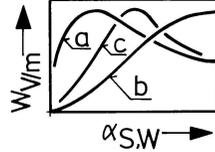
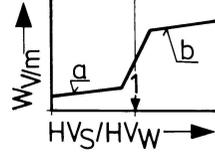
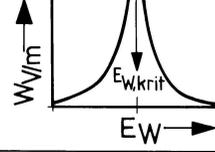


$$\Delta p_R \propto \frac{\dot{M}_S^X \cdot L_R}{d_R^Y} \cdot f(v_S)$$

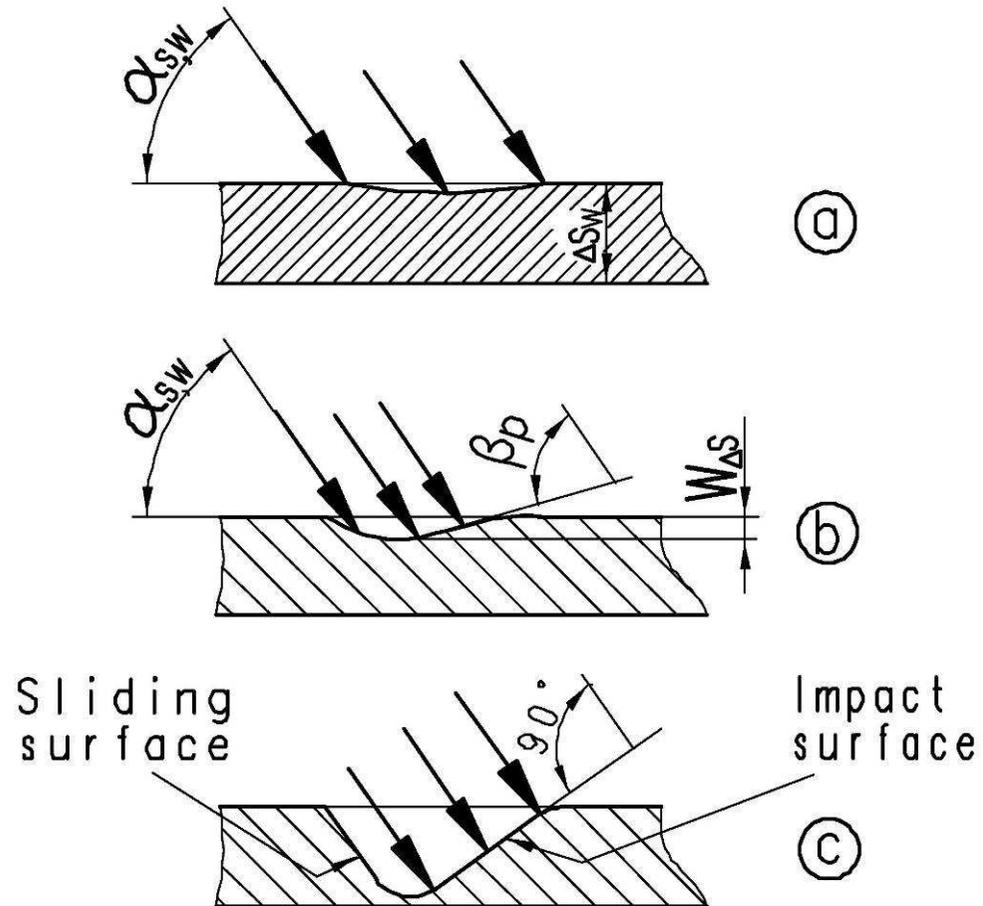
mit: Dünnstromförderung: $f(v_S) = v_S^Z$
 Dichtstromförderung: $f(v_S) = \frac{1}{v_S^Z}$

$$v_S = C \cdot v_F, \quad \text{mit: } 0 < C < 1$$

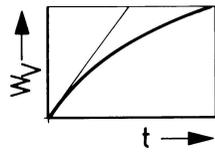
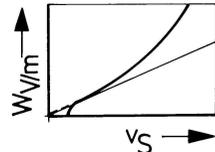
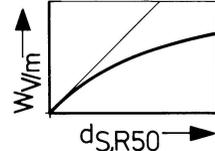
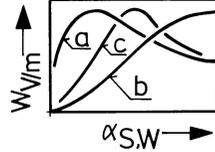
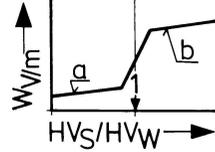
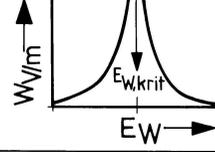
Wesentliche Einflußgrößen und Abhängigkeiten beim Strahlverschleiß

Influencing variable	Dependency	
Time of strain t	$W_V \sim t^n$ $n \leq 1$	
Impact velocity v_S	$W_{V/m} \sim v_S^n$ $1 < n \approx 3$	
Particle diameter $d_{S,R50}$	$W_{V/m} \sim d_{S,R50}^n$ $n \approx 1$	
Impact angle $\alpha_{S,W}$	$W_{V/m} = f(\alpha_{S,W}, \text{wall material})$ a: ductile wall mat. b: brittle " " c: ductile/brittle "	
Hardness HV_S, HV_W	$W_{V/m} = f(HV_S/HV_W)$ a: low-level $HV_W > HV_S$ b: high-level $HV_W < HV_S$	
Elastic modulus E_W	$W_{V/m} = f(E_W)$ $E_{W,krit} = 13,73 \frac{kN}{mm^2}$	

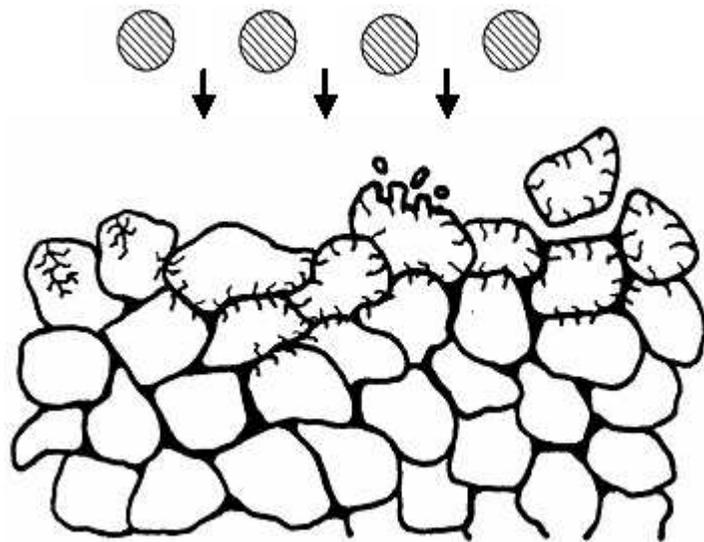
Ausbildung einer Verschleißmulde, (a) → (c)
zunehmende Betriebsdauer



Wesentliche Einflußgrößen und Abhängigkeiten beim Strahlverschleiß

Influencing variable	Dependency	
Time of strain t	$W_V \sim t^n$ $n \leq 1$	
Impact velocity v_S	$W_{V/m} \sim v_S^n$ $1 < n \approx 3$	
Particle diameter $d_{S,R50}$	$W_{V/m} \sim d_{S,R50}^n$ $n \approx 1$	
Impact angle $\alpha_{S,W}$	$W_{V/m} = f(\alpha_{S,W}, \text{wall material})$ a: ductile wall mat. b: brittle " " c: ductile/brittle "	
Hardness HV_S, HV_W	$W_{V/m} = f(HV_S/HV_W)$ a: low-level $HV_W > HV_S$ b: high-level $HV_W < HV_S$	
Elastic modulus E_W	$W_{V/m} = f(E_W)$ $E_{W,krit} = 13,73 \frac{kN}{mm^2}$	

Auswirkungen des Partikelbeschusses beim Strahlverschleiß



a

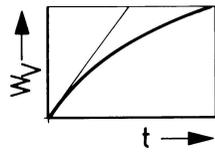
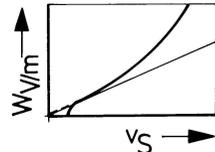
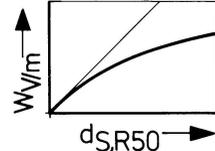
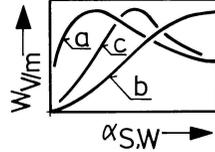
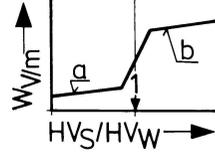
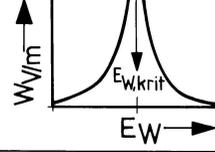
Spröder Wandwerkstoff

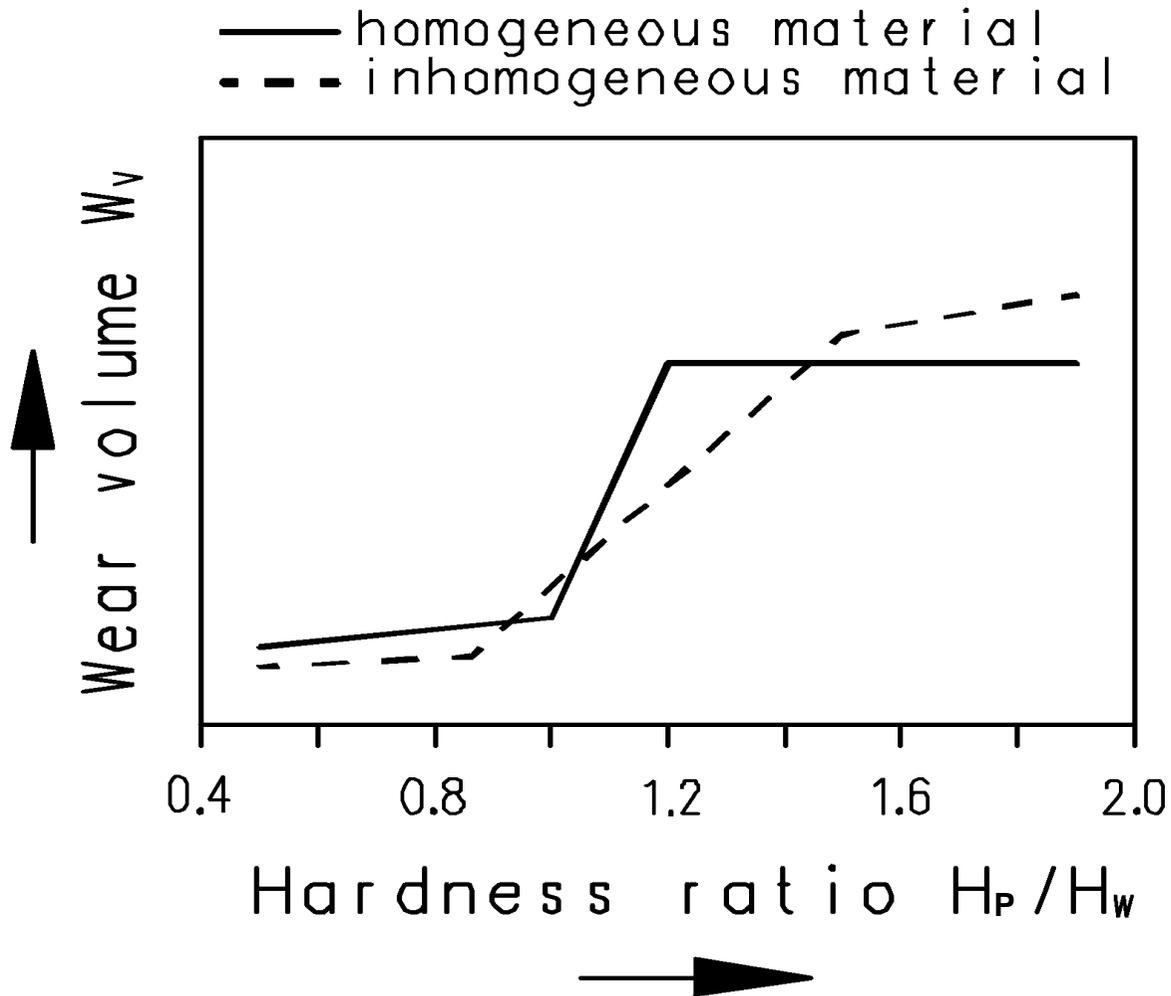


b

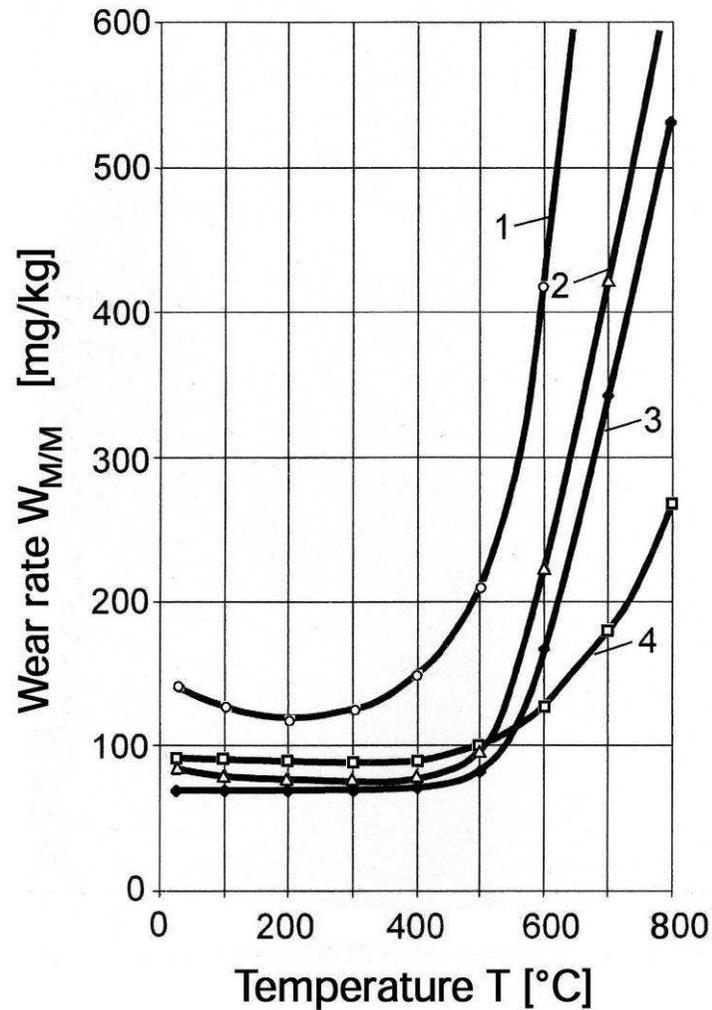
Duktiler Wandwerkstoff

Wesentliche Einflußgrößen und Abhängigkeiten beim Strahlverschleiß

Influencing variable	Dependency	
Time of strain t	$W_V \sim t^n$ $n \leq 1$	
Impact velocity v_S	$W_{V/m} \sim v_S^n$ $1 < n \approx 3$	
Particle diameter $d_{S,R50}$	$W_{V/m} \sim d_{S,R50}^n$ $n \approx 1$	
Impact angle $\alpha_{S,W}$	$W_{V/m} = f(\alpha_{S,W}, \text{wall material})$ a: ductile wall mat. b: brittle " " c: ductile/brittle "	
Hardness HV_S, HV_W	$W_{V/m} = f(HV_S/HV_W)$ a: low-level $HV_W > HV_S$ b: high-level $HV_W < HV_S$	
Elastic modulus E_W	$W_{V/m} = f(E_W)$ $E_{W,krit} = 13,73 \frac{kN}{mm^2}$	



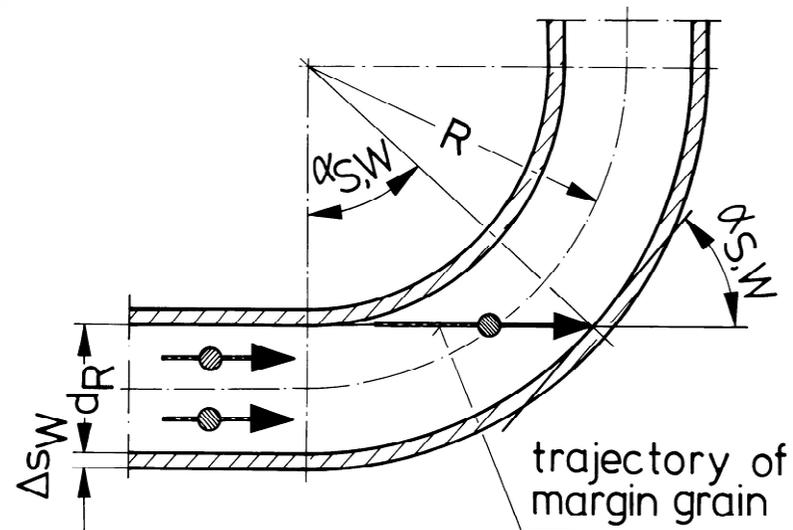
Temperaturabhängigkeit Prallverschleiß



- 1 - Stahl, 0,2% C, HW = 1,30 kN/ mm²,
- 2 - Stahl, 0,8% C, 1,90 kN/mm²,
- 3 - Stahl, 0,2% C, 4% Cr, 2,3% V, 9% W,
2,40 kN/mm²,
- 4 - Gußeisen, 2% C, 34% Cr, 2,90 kN/mm²;

90°-Aufprall, $u_{P,0} = 48$ m/s, Quarzsand
 $D_p = (0,4 - 0,6)$ mm, Vickershärten bei
Raumtemperatur

Lage der Bruchstelle / des primären Aufprallpunkts in einem 90°-Bogen

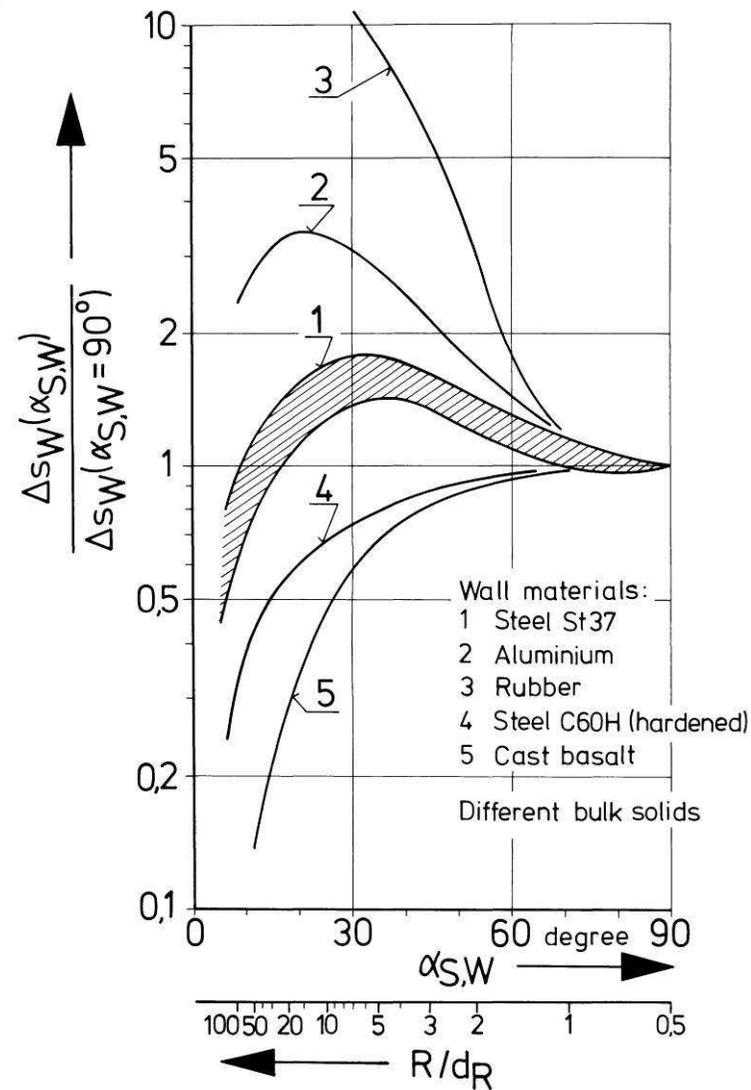


90° - bend:

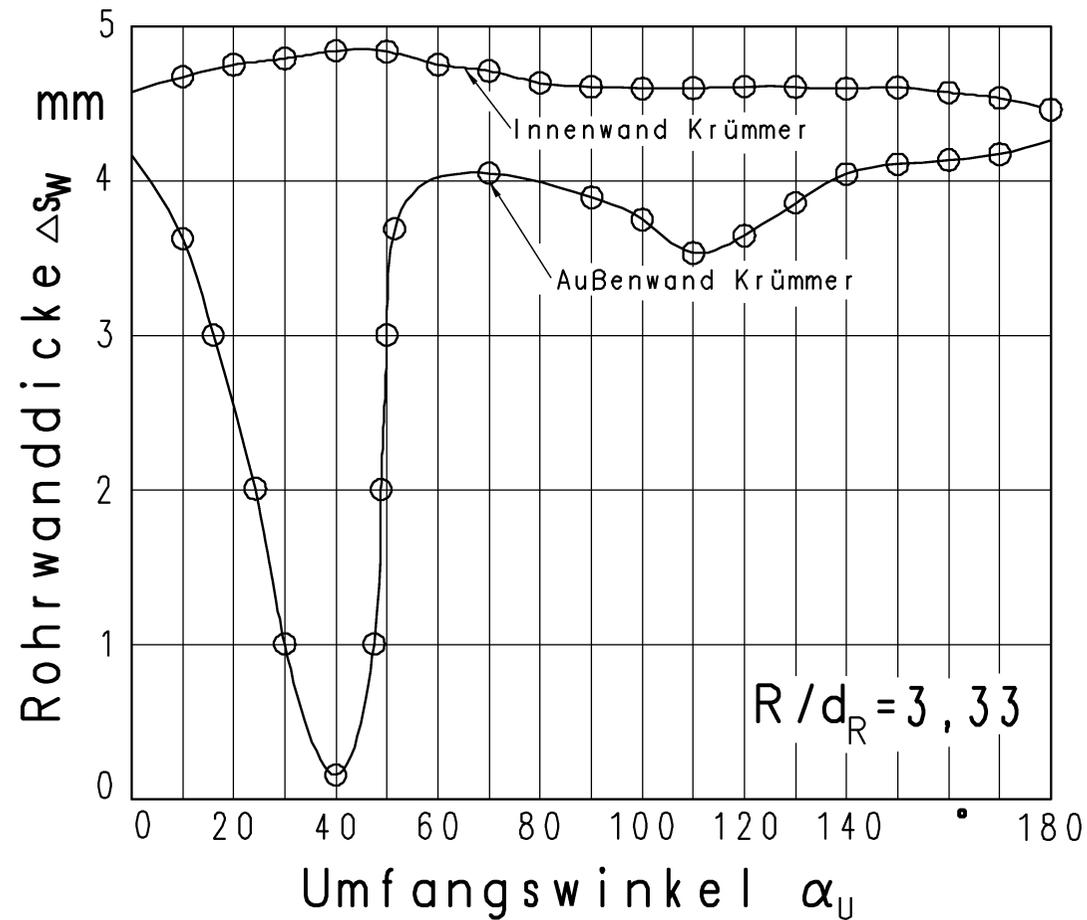
$$\cos \alpha_{S,W} = \frac{2 \cdot \frac{R}{d_R} - 1}{2 \cdot \frac{R}{d_R} + 1}$$

$$\text{if: } \frac{\Delta s_W}{d_R} \leq 0,01$$

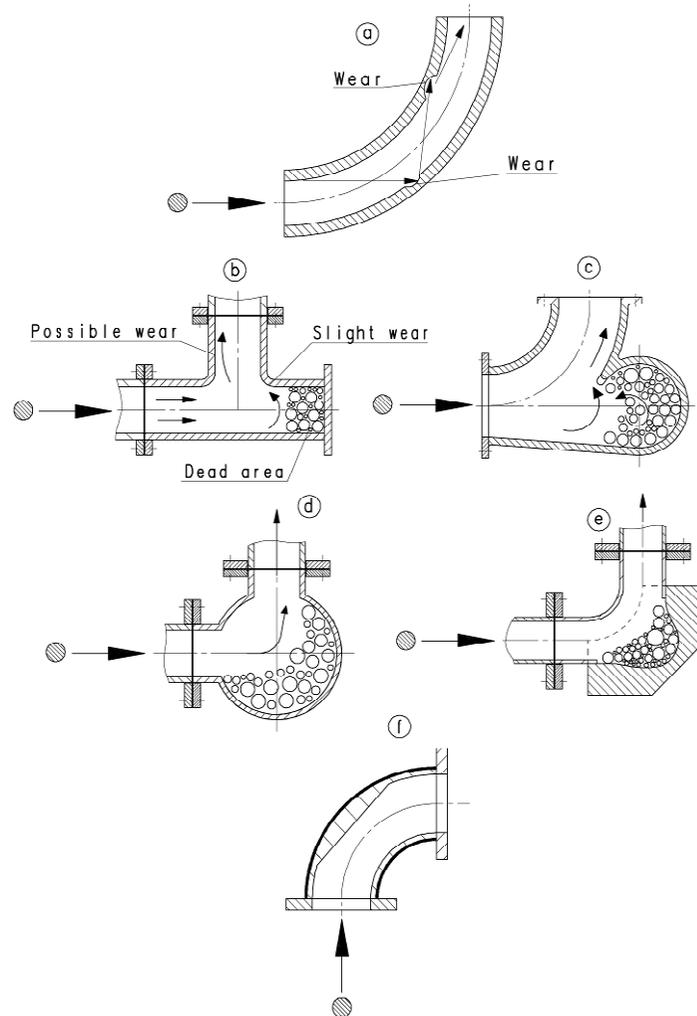
Strahlverschleiß: Abhängigkeit vom Aufprallwinkel und vom Wandwerkstoff



Verschleißprofil entlang eines 180°-Krümmers

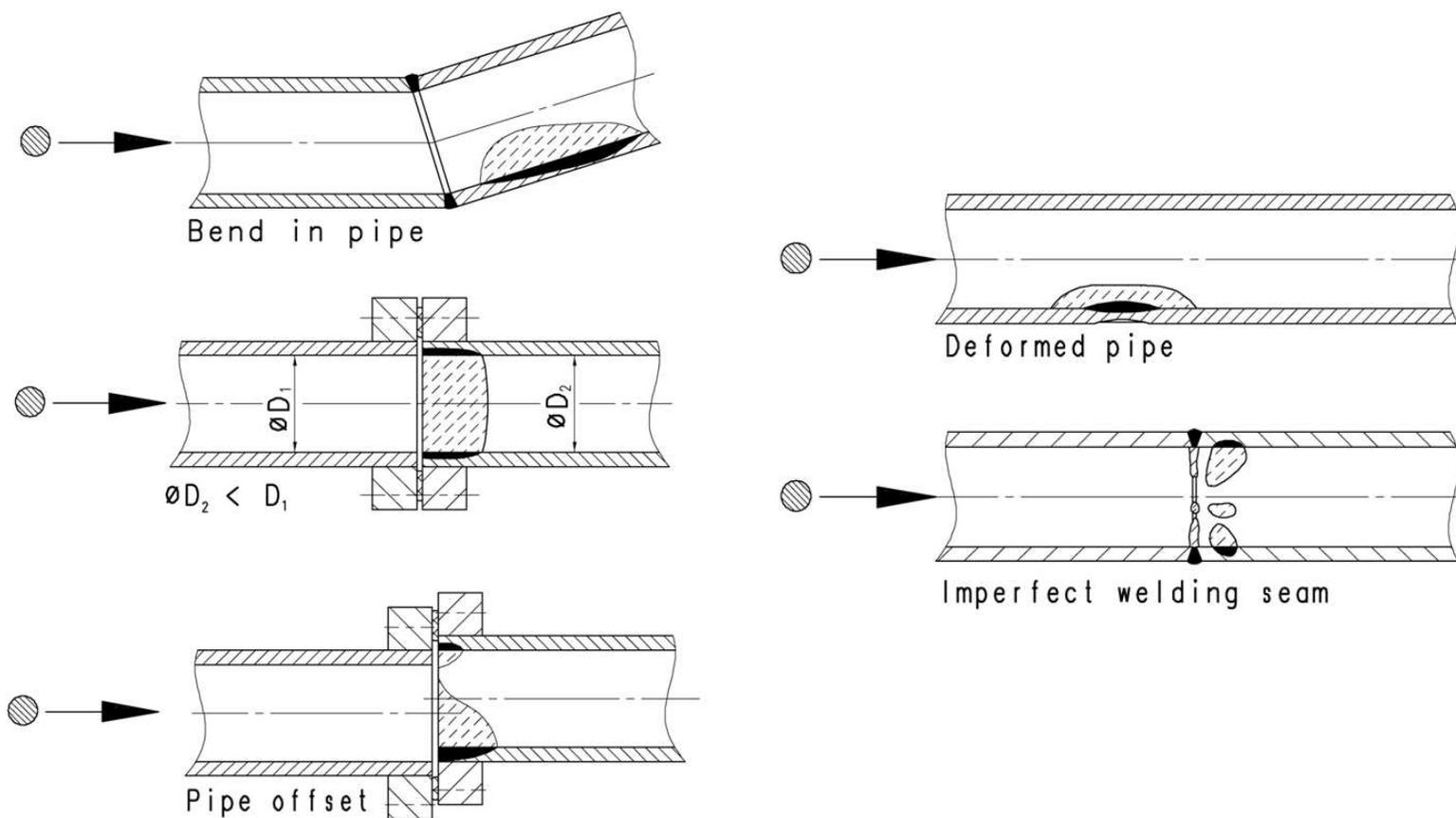


Strahlverschleiß: Ausführungsvarianten von 90°-Umlenkungen

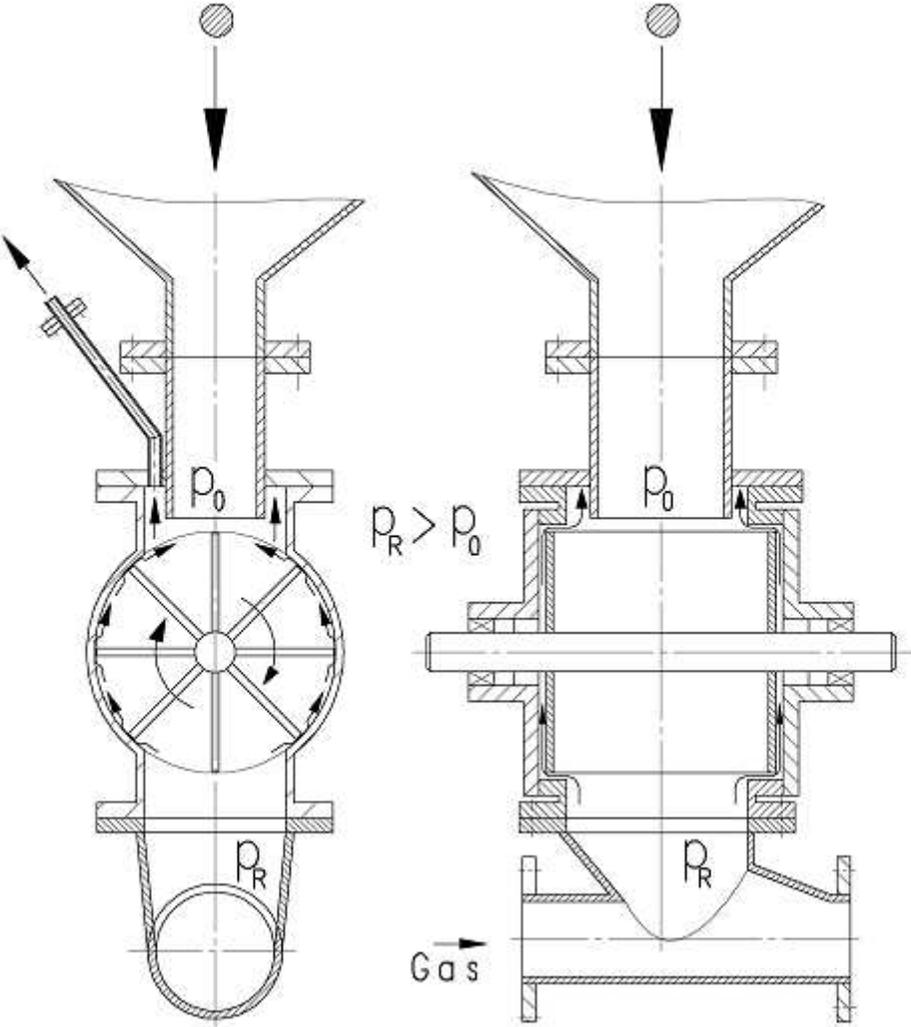


90°-Umlenkung	Relative Lebensdauer
Rohrbogen, $R/d_R = 8$	1
Rohrbogen, $R/d_R = 12$	1,8
Rohrbogen, $R/d_R = 16$	1,9
Rohrbogen, $R/d_R = 24$	3,3
T-Bend	60,9

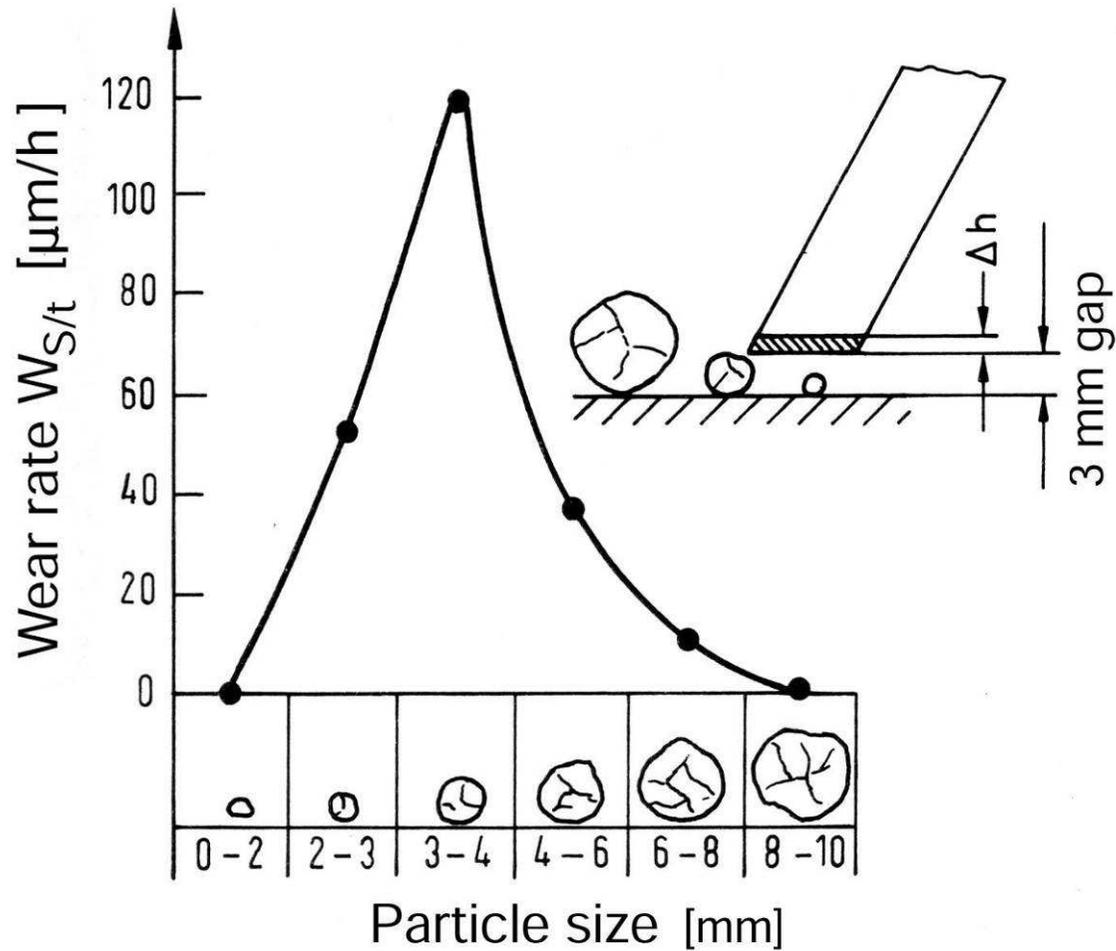
Störstellen in einer pneumatischen Förderleitung



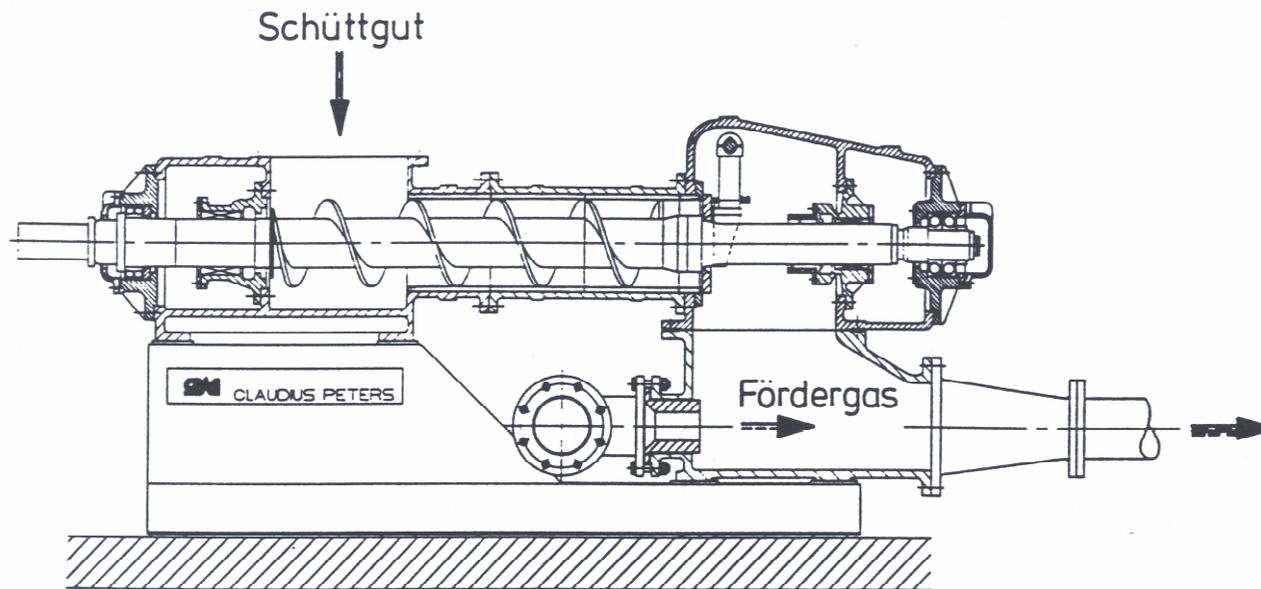
Zellenradschleuse, schematisch



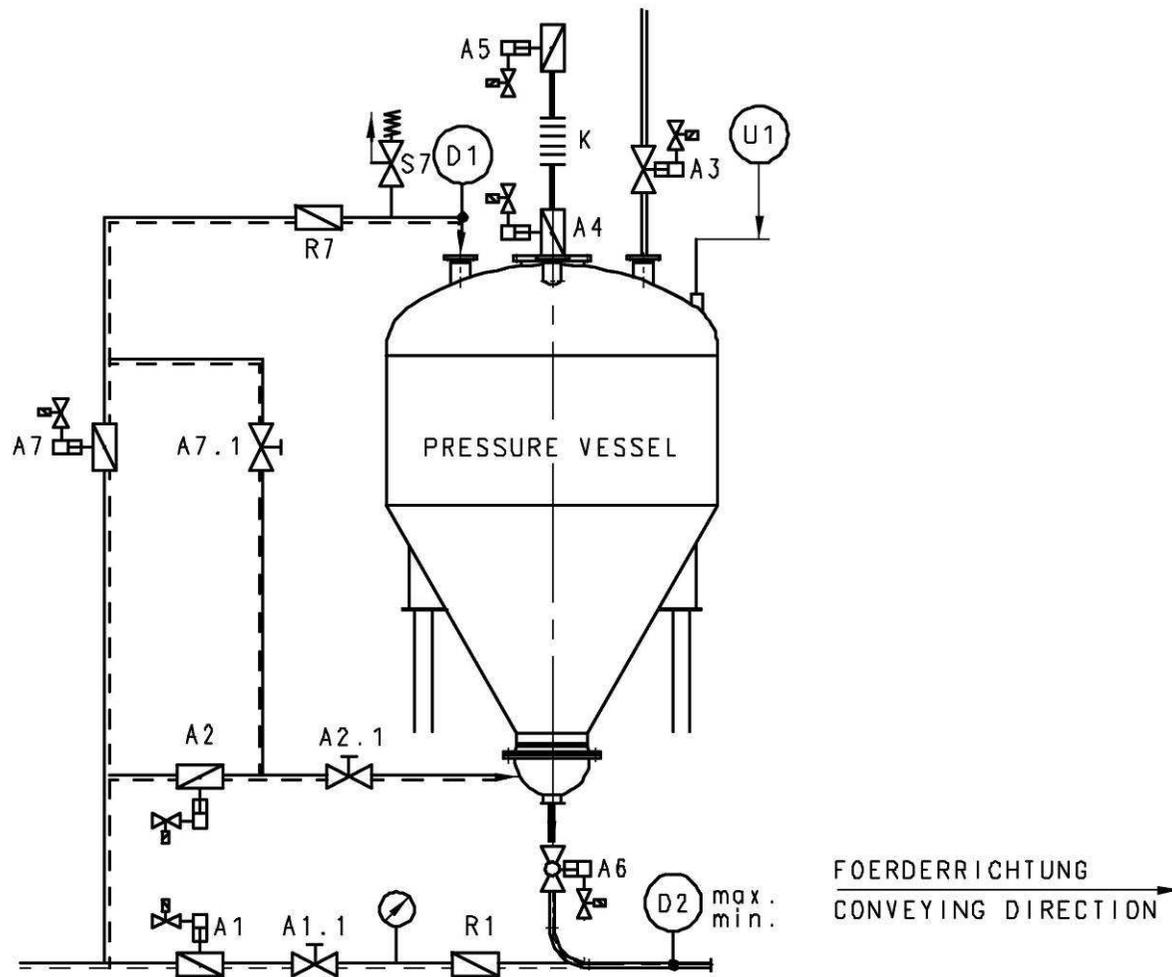
Verschleiß durch Klemmeffekte



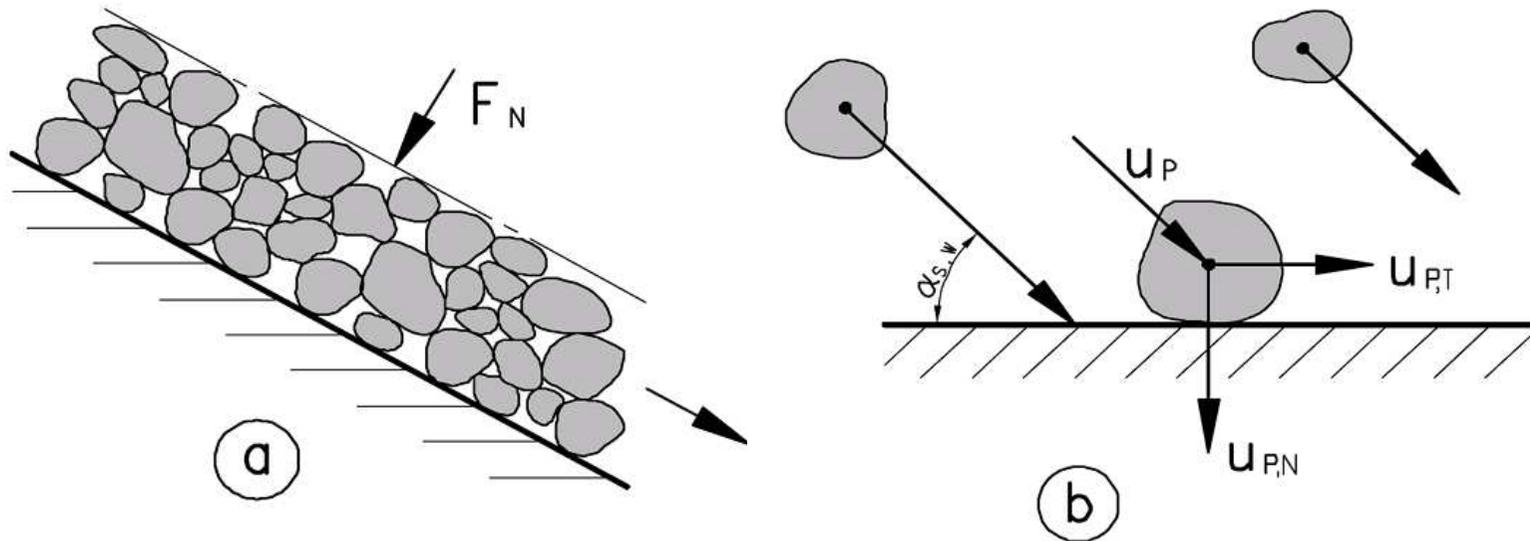
Ausführungsvariante einer Schneckenschleuse



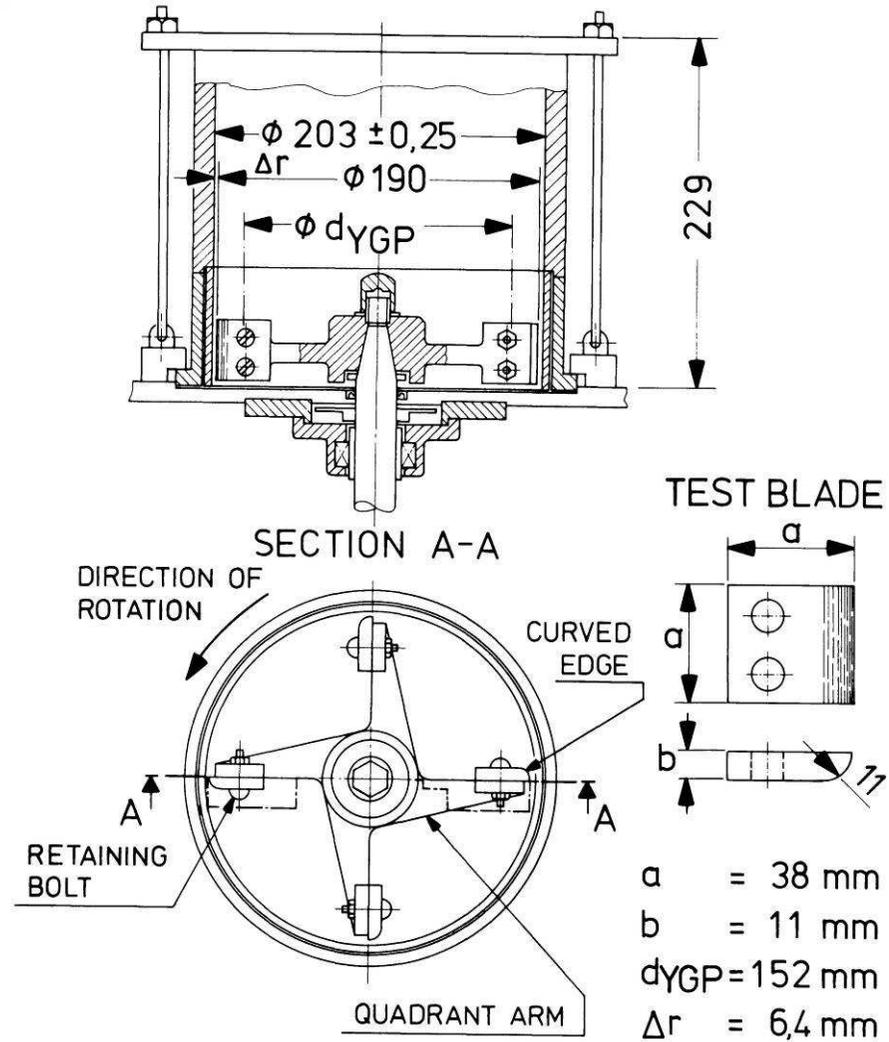
Einzeldruckgefäßschleuse, schematisch



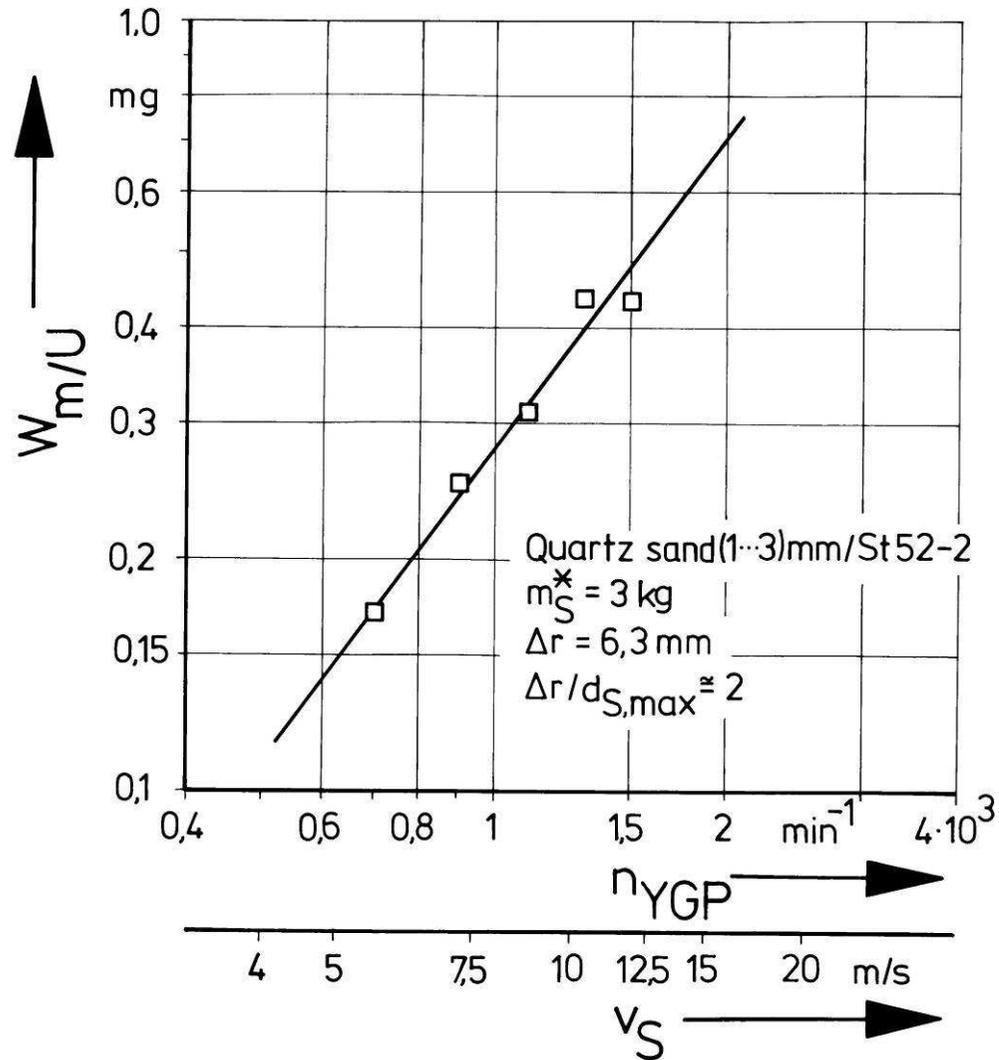
Schematische Darstellung von Abrasiv- (a) und Prallverschleiß (b)



Aufbau des CP-Prallverschleißtesters



Abhängigkeit des Verschleißes von der Partikelauflprallgeschwindigkeit

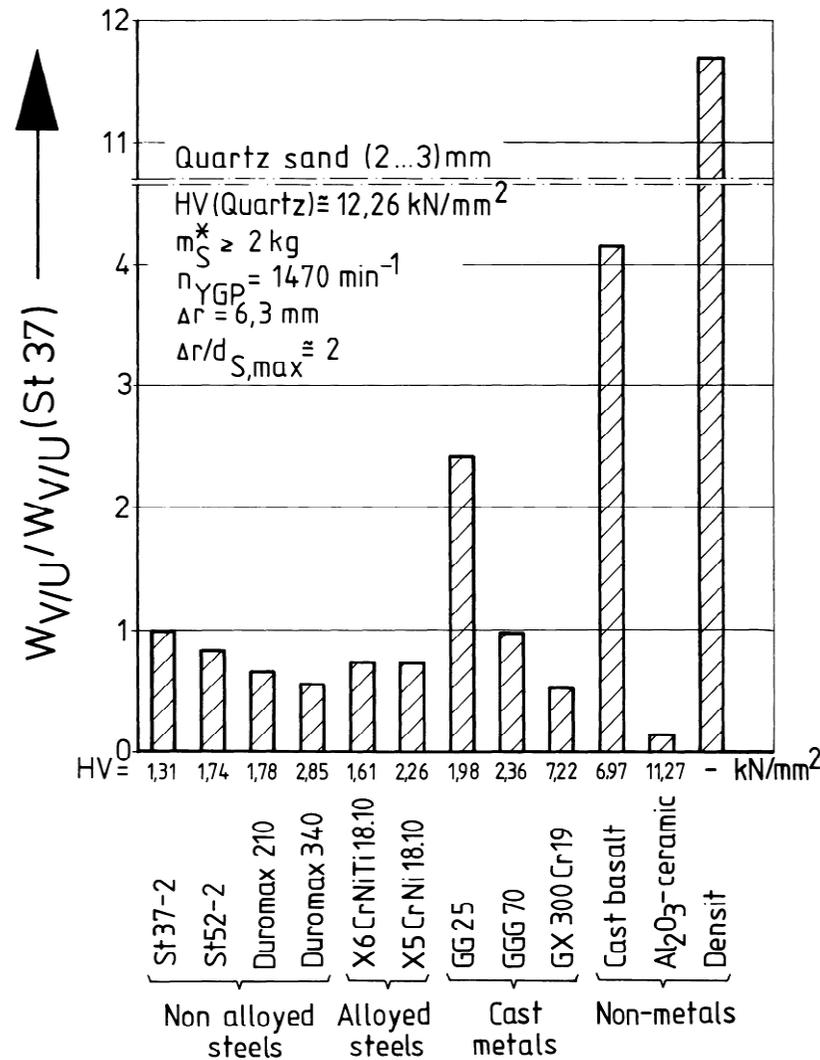


Vergleich des Verschleißes unterschiedlicher Wandwerkstoffe

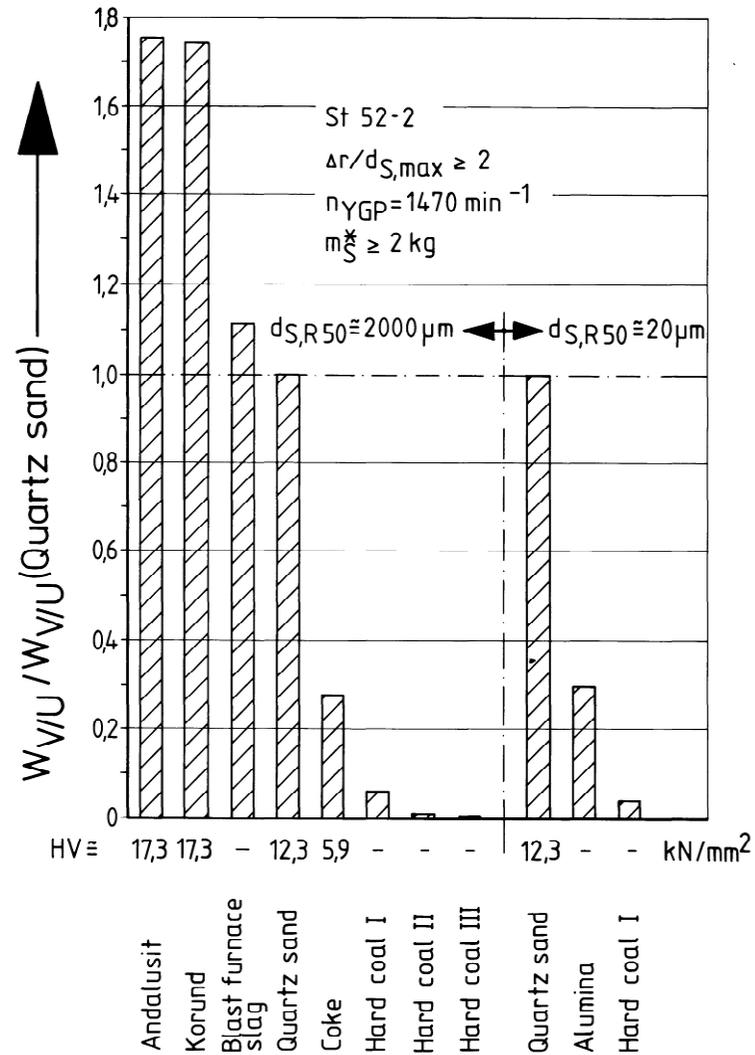
bei Beanspruchung durch Quarzsand



CLAUDIUS PETERS
P R O J E C T S



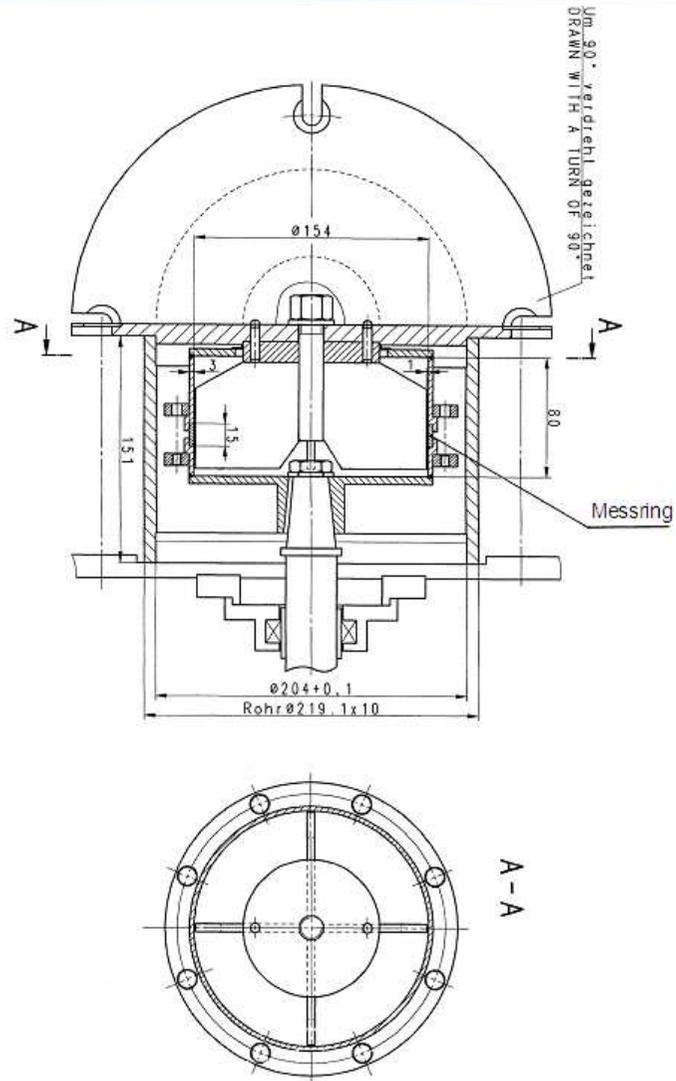
Verschleiß des Wandwerkstoffes St 52-2 bei Beanspruchung durch unterschiedliche Schüttgüter



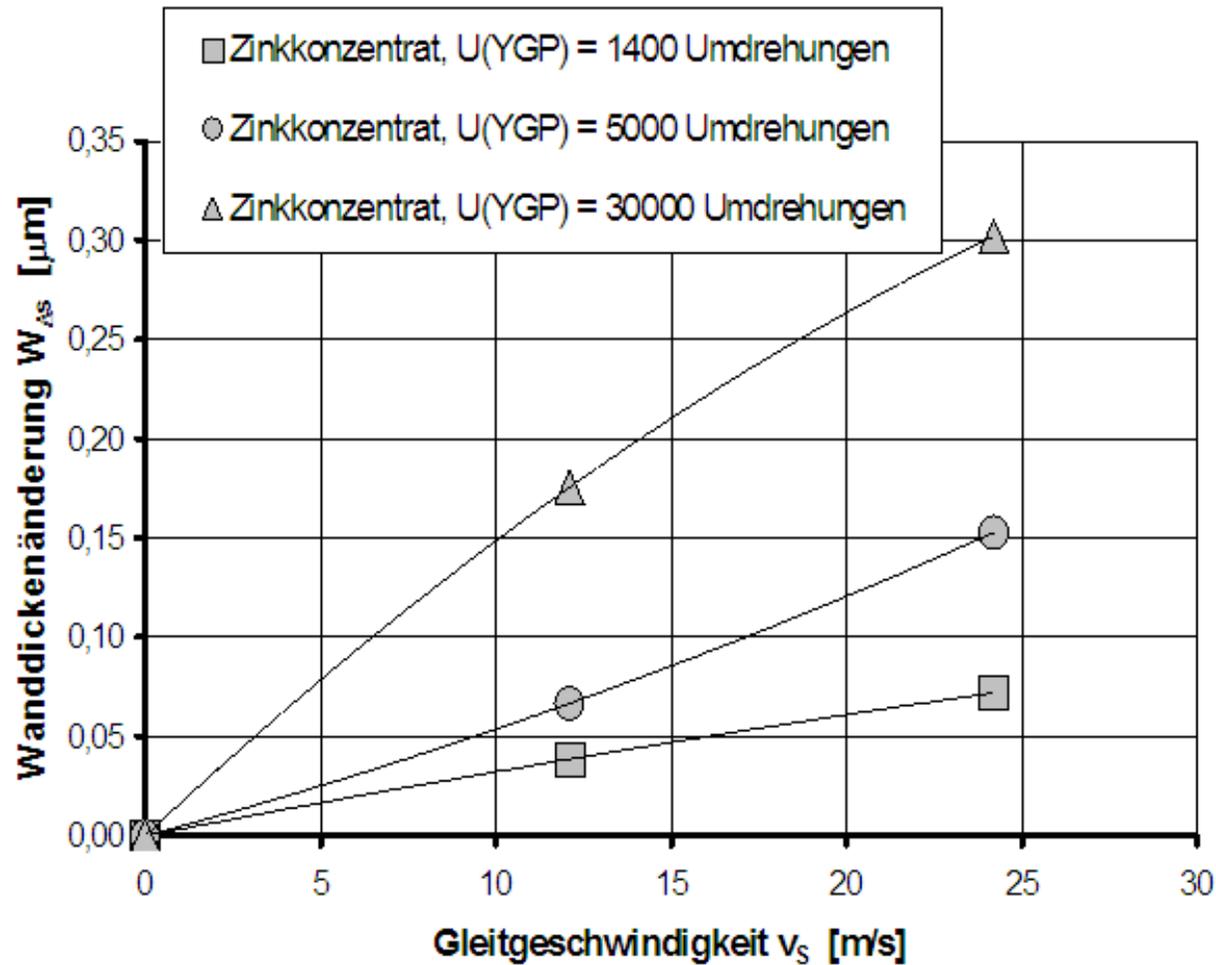
$$\frac{\Delta s_W}{\Delta M_S} = \frac{\Delta s_W}{\dot{M}_S \cdot \Delta t_W} = f(\alpha_{S,W}) \cdot f(\mu) \cdot W_{\Delta s/m}$$

- mit: Δs_W = Wanddicke des geplanten Krümmers,
 ΔM_S = bis zum Bruch des Krümmers durchgesetzte Schüttgutmasse,
 Δt_W = Lebensdauer des Krümmers bis zum Bruch,
 \dot{M}_S = Feststoffmassenstrom durch die Anlage,
 $f(\alpha_{S,W})$ = Korrektur des Aufprallwinkels von $\alpha_{S,W} = 90^\circ$ auf den vorhandenen Winkel $\alpha_{S,W}$,
 $f(\mu)$ = Korrektur der Feststoffkonzentration im Meßgerät auf die Beladung μ im Betrieb,

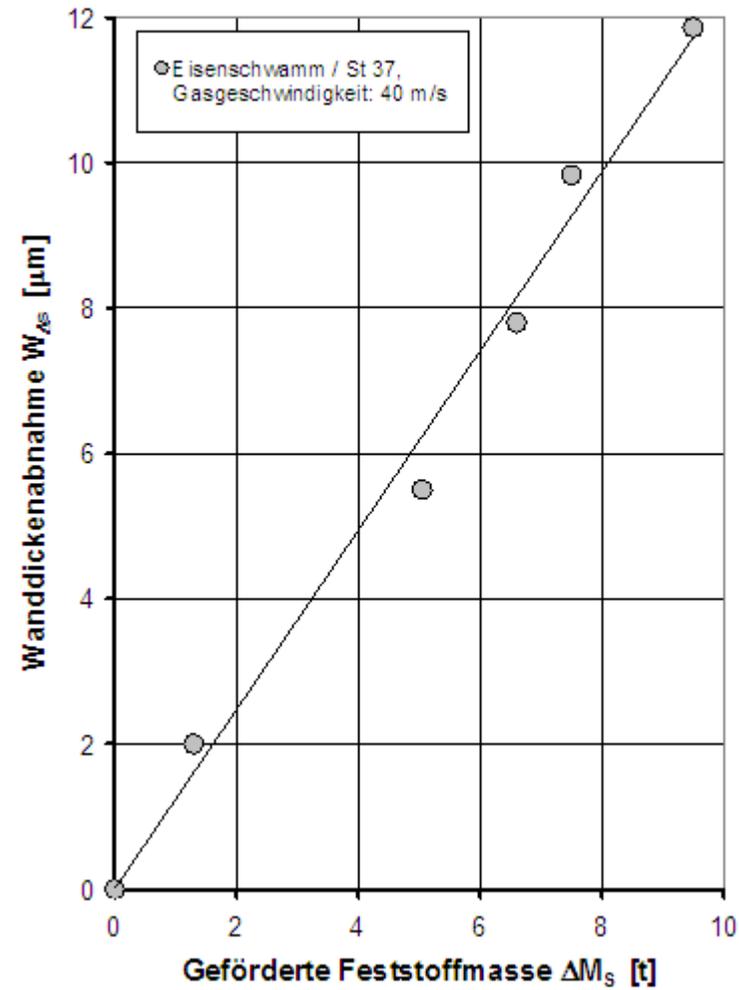
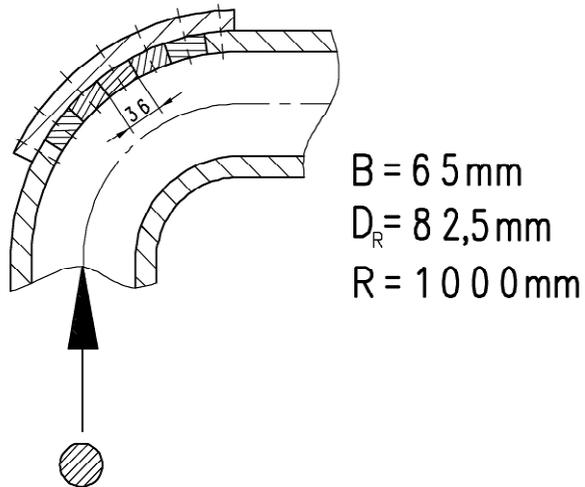
Aufbau des CP-Gleitverschleißtesters



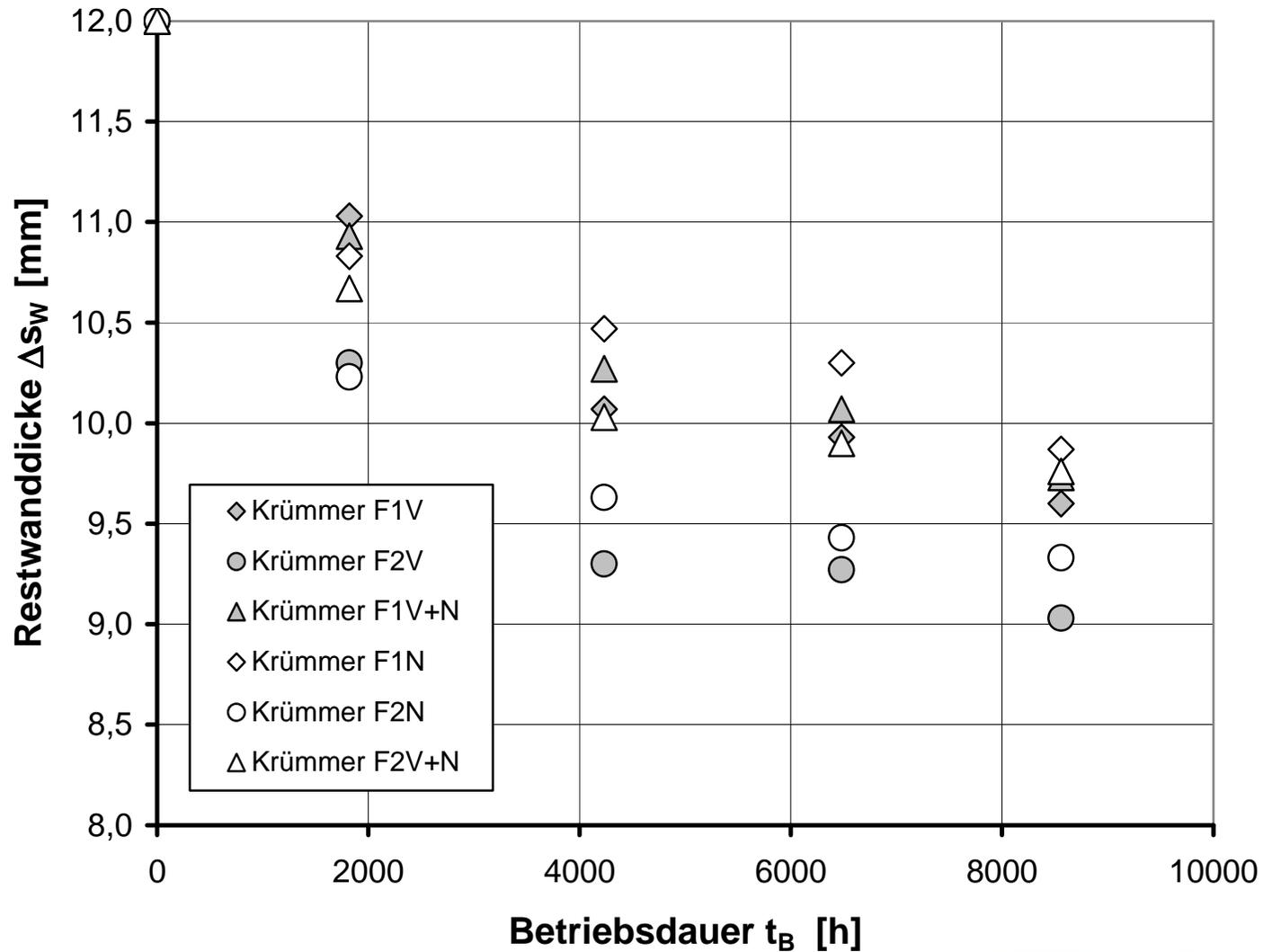
Gleitverschleißmessung: Zinkkonzentrat gegen das Wandmaterial „Creusabro 4000“



Verschleißmeßanordnung in Förderleitungen des CP-Technikums



Verschleiß an Förderleitungskrümmern beim Transport feinkörniger Flugasche



Verschleiß an einem Schneckenendflügel



- [1] Hilgraf, P.: Verschleiß in pneumatischen Förderanlagen. Schüttgut 11 (2005) Nr. 2, S. 86 – 98
- [2] Hilgraf, P.: Wear in Bulk Materials Handling. bulk solids handling 27 (2007) No. 7, pp. 464 – 477
- [3] Hilgraf, P.: Basis principles of wear protection technology for bulk materials, part 1 and 2. ZKG INTERNATIONAL 62 (2009) No. 10, pp. 53 - 63 and No.11, pp. 56 - 72
- [4] Kleis, I., Kulu, P.: Solid Particle Erosion. Springer-Verlag, London, 2008

The End



Many thanks
for your kind attention