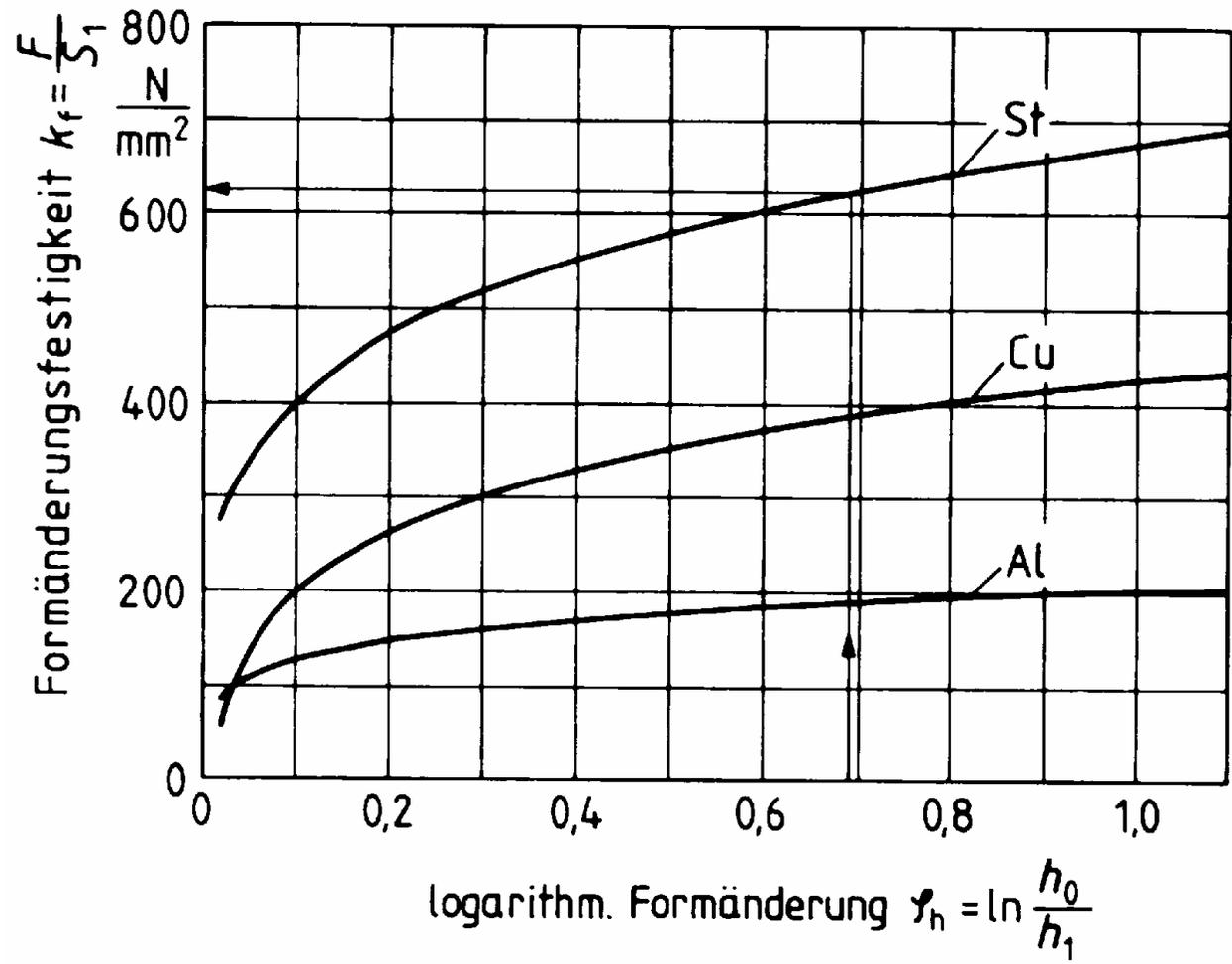


- $\tau_B$  konventionelle Spannung ( $\sigma = F/S_0$ )
- $k_f$  Fließspannung ( $k_f = F/S_1$ )
- $R_{eh}$  obere Streckgrenze
- $R_m$  Zugfestigkeit nach ISO



1. Aluminium-Legierung
2. Magnesium-Legierung
3. Kupfer-Legierung
4. Kohlenstoff-Stähle, legierte Stähle
5. Martensitaushärtende Stähle
6. Austenitische, nichtrostende Stähle
7. Nickel-Legierungen
8. Titan-Legierungen
9. Super-Legierungen auf Eisen-Basis
10. Super-Legierungen auf Kobalt-Basis
11. Molybdän-Legierungen
12. Super-Legierungen auf Nickel-Basis
13. Wolfram-Legierungen
14. Beryllium

Bezeichnung	Stahl- Eisen- WStbl.	Anwendungsmerkmale	Anwendungsbeispiele	Zugfestigkeit *) N/mm <sup>2</sup>	Umformtemperatur *) °C
Hochwarmfeste Stähle	W 670-69	Beanspruchungstemperatur bis 800 °C; zusätzliche Forderungen an Zähigkeit, Dauerfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit	Teile für Behälter- und Apparatebau für Wärme- kraftanlagen und Reaktoren: Armaturen, Ventile, Rohre, Druckbehälter, Turbinen- schaufeln etc.	500 ... 1250	850 ... 1250
Rost- und säure- beständige Stähle		Hohe Korrosionsbeständigkeit	Konstruktions- und Apparat- bauteile für chem. Ind. Nahrungsmittelind. (Armaturen, Wellen, Schrau- ben, Bolzen, Büchsen)	450 ... 900	750 ... 1150
Wälzlagerstahl	W 350-53	Hohe Oberflächenhärte hochfestes martensitisch- karbidisches Gefüge (→ hohe Zug-Druck-Wechsel- beanspruchung und Verschleiß)	Wälzlagerringe durch partielles Schmieden (Vorform)	(nur Härte- angaben) 60 ... 66 HRC	800 ... 1100
Werkzeugstähle – unlegierte Werkzeugstähle	W 150-63	Schalenhärter (geringe Einhärtetiefe)	Handwerkzeuge, einf. Stanzwerkzeuge	58 ... 65 HRC	800 ... 1100
– Kaltarbeits- stahl*)	W 200-69	bis 200 °C Oberflächentem- peratur	Stanz- und Kaltumform- werkzeuge	55 ... 67 HRC	800 ... 1100
– Warmarbeits- stahl*)	W 250-63	Dauertemperatur über 200 °C; hohe Warmfestigkeit, guter Warmverschleißwiderstand	Umformwerkzeuge (Warm- umformung) Kunststoff- formwerkzeuge	900 ... 2000	800 ... 1150
– Schnellarbeits- stahl*)	W 320-69	Hohe Anlaßbeständigkeit u. Warmhärte bis ca. 600 °C Warmverschleißbeständigkeit	Große Werkzeuge der span- losen Formgebung	[64 ... 67 HRC (Anlaßhärte)]	900 ... 1150

## Schmiedegeignete Werkstoffe

Bezeichnung	DIN	Anwendungsmerkmale	Anwendungsbeispiele	Zugfestigkeit *) N/mm <sup>2</sup>	Umformtemperatur *) °C
Allg. Baustähle	17100	Verwendung im geschmiedeten Zustand	Flansche, Naben, Hebel Büchsen, Gehäuse, Ringe	300 ... 800	850 ... 1150
Vergütungsstähle	17200	Durch Wärmebehandlung (Härten und Anlassen) weitestgehende Beeinflussbarkeit der mech. Eigenschaften; hohe Zähigkeit bei bestimmter Festigkeit	Antriebs- und Getriebeteile: Wellenförmige Bauteile zur Kraft- bzw. Drehmomentübertragung (z. B. Pleuellstangen etc.); Pleuellstangen etc.	500 ... 1500	850 ... 1100
Einsatzstähle	17210	Hohe Härte der einsatzgehärteten Randschicht bei hoher Kernzähigkeit → Verschleißteile	Nocken-, Steuerwellen, Zahn- räder, Meßzeuge, Naben, Hebel, Getriebe-, Lenkwellen	500 ... 1500	850 ... 1150
Nitrierstähle	17211	Hohe Oberflächenhärte, guter Verschleißwiderstand, gute Dauerfestigkeit, Rostträgheit	Verschleißteile hoher Ober- flächenhärte; schwere Maschinenteile großer Abmessungen	800 ... 1600	850 ... 1100
Stähle für das Flamm- und Induktionshärten	17212	Härtbarkeit der Randzone ohne Beeinflussung der Kerneigenschaften	Getriebewellen, Zahnräder, Ritzel, Pleuell-, Pleuell- wellen, Pleuellbolzen	500 ... 1300	850 ... 1100
Warmfeste Stähle	17240	Beanspruchungstemperatur bis 540 °C	Schmiedestücke für Turbinen-, Dampfkessel- und chem. Anlagenbau: Flansche, Schrauben, Muttern, Hoch- druckrohre	450 ... 1000	850 ... 1100

## Schmiedegeignete Werkstoffe

Bezeichnung	Anwendungsmerkmale	Anwendungsbeispiele	Zugfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Umformtemperatur °C
Rein-Aluminium und Al-Legierungen	Niedriges Bauteilgewicht bei hoher Dauerbeanspruchung; hohe Korrosionsbeständigkeit	Schmiedestücke für Flugzeug-, Fahrzeug-, Schiffsbau; Druckbehälter, Elektrotechnik	bis 400	350 ... 550
Magnesiumlegierungen	Geringste Dichte aller metall. Werkstoffe bei mittleren Festigkeitseigenschaften; gute Zerspanbarkeit; hohe Warmfestigkeit (Mg-Zr-Leg.) Problem: hohe chem. Reaktionsfähigkeit	Gesenkschmiedestücke: Maschinenbauteile mittlerer bis hoher mechanischer und Wärmemebeanspruchung (Zr-Lg.); Gehäuse im Turbinenbau	bis 260	370 ... 400
Titanlegierungen	Hohe Festigkeit bei geringer Dichte und ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit	Flugzeug- und Triebwerksbau (Verdichter, Turbinenschaufeln), Armaturen, chem. Apparate	300 ... 750	700 ... 1000
Kupferlegierungen	Hohe elektr. und Wärmeleitfähigkeit; gute Festigkeitseigenschaften; korrosionsbeständig	Elektrotechnik, Fahrzeugbau, Feinmechanik, Apparatebau (Armaturen)	bis 600	700 ... 900
Hartlegierungen auf Nickel-Kobalt- und Wolframbasis	Sehr große Warmfestigkeit	Strahltriebwerksteile: Turbinenschaufeln und -scheiben		1050 ... 1250

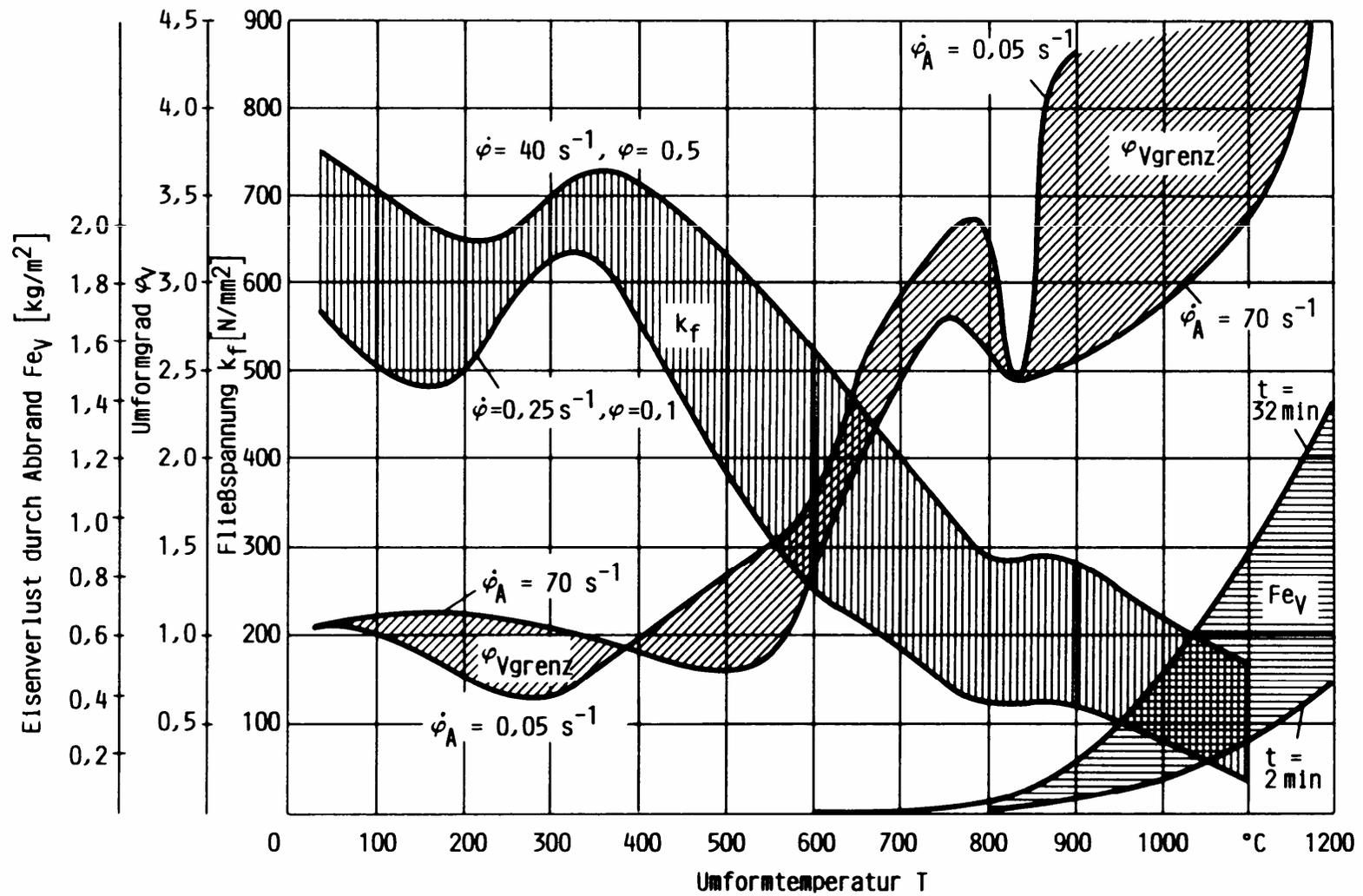
## Schmiedegeignete Werkstoffe

Werkstoff- bezeichnung	mechanische Kennwerte						Anwendungsbeispiele
	vor dem Umformen			nach dem Umformen mit werkstofftypischen Umformgraden			
	Dehngrenze $R_p$ N/mm <sup>2</sup>	Zugfestig- keit $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Bruch- dehnung A %	Dehngrenze $R_p$ N/mm <sup>2</sup>	Zugfestig- keit $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Bruch- dehnung A %	
C 15	280	400 bis 450	20	500	600 bis 700	8	Schrauben, Muttern, Stangen, Hebel, Druckstücke, Wellen, kleine Maschinenteile
Cq 15	280	400 bis 450	20	500	600 bis 700	8	
Ck 35	320	420 bis 500	18	600	700 bis 800	6	
Cq 45	340	500 bis 600	16	650	750 bis 850	6	
16 Mn Cr 5	340	420 bis 500	18	500	650 bis 750	8	Zahnräder
41 Cr 4	400	600 bis 750	18	650	750 bis 850	8	Zahnräder, Schrauben
42 Cr Mo 4	500	650 bis 750	14	750	900 bis 1000	8	Lenkhebel
100 Cr 6	450	600 bis 750	12	650	800 bis 900	6	Verschleißteile
X 10 Cr 13	450	600	18	600	750	10	korrosionsbest. Teile
X 5 Cr Ni 18 9	220	550 bis 700	50	600	800 bis 900	6	säurebest. Teile

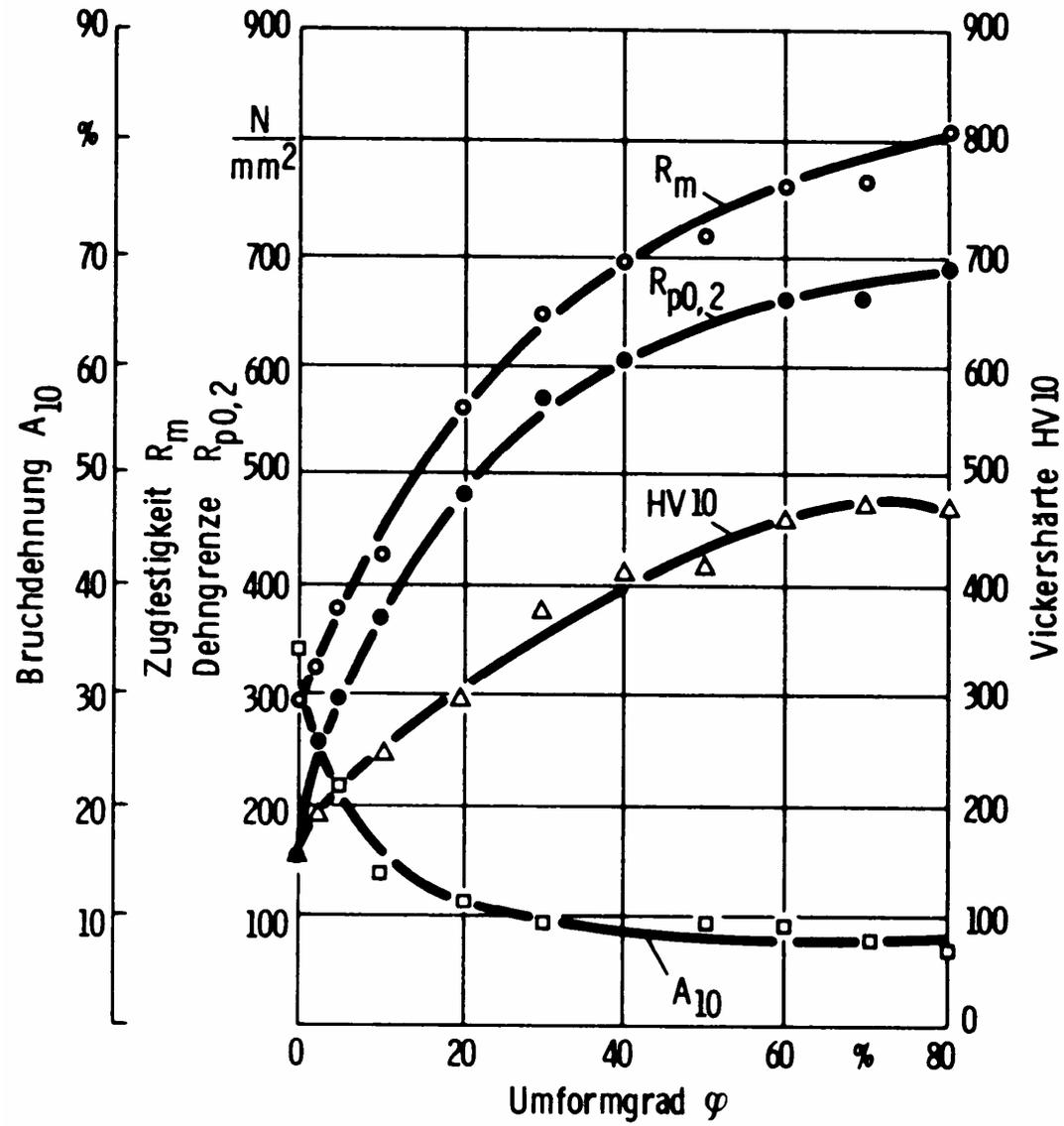
Stähle für Kalt-Umformung

Werkstoff		Dehngrenze $R_p$ N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung A %	Härte HB	Bemerkungen
Bezeichnung	Nummer					
Al 99,5 F7	3.0255.08	20	70	23	20	Elektroteile, Hülsen, Rohre
Al Mg5 w	3.3555.10	110	240	17	55	naturharte Legierung Behälterbau, Fahrzeugbau
Al Cu Mg1 F40	3.1325.51	260	400	10 bis 15	100	aushärtbare Legierung Fahrzeug- und Maschinenteile
Zn 99,95	2.2035	—	120 bis 140	52 bis 60	32 bis 34	Preßteile, Profile, Armaturen
Zn Al4	2.2140.05	200 bis 230	250 bis 300	3 bis 6	70 bis 90	
Zn Al4 Cu1	2.2141.05	220 bis 250	280 bis 350	2 bis 5	85 bis 105	
E Cu 57 F20	2.0060.10	120	200 bis 290	38	45 bis 70	Halbzeuge für die Elektrotechnik
Cu Sn2 F26	2.1010.10	150	260 bis 280	35 bis 50	60	Rohre, Federn, Schrauben
Cu Zn37 F30 (MS 63)	2.0321.10	180 bis 250	300 bis 380	45 bis 50	70 bis 75	Hauptlegierung für die Kaltumformung, universell anwendbar
Cu Zn33 F29 (MS 67)	2.0280.10	150 bis 180	270 bis 370	46 bis 50	65 bis 70	gut kaltumformbar Schrauben, Niete, Formteile
Cu Zn28 F28 (MS 72)	2.0261.10	(150)	280	44	70	sehr gut kaltumformbar vielseitige Anwendung
Ti 99,7	3.7035	250 bis 350	400 bis 550	22	150	chem. Apparatebau, Flugzeugbau Triebwerksteile, Reaktorbau
Ti Al6 V4	3.7165	820 bis 940	880 bis 1130	8	260 bis 310	Flugzeug- und Triebwerksbau

NE-Metalle für Kalt-Umformen



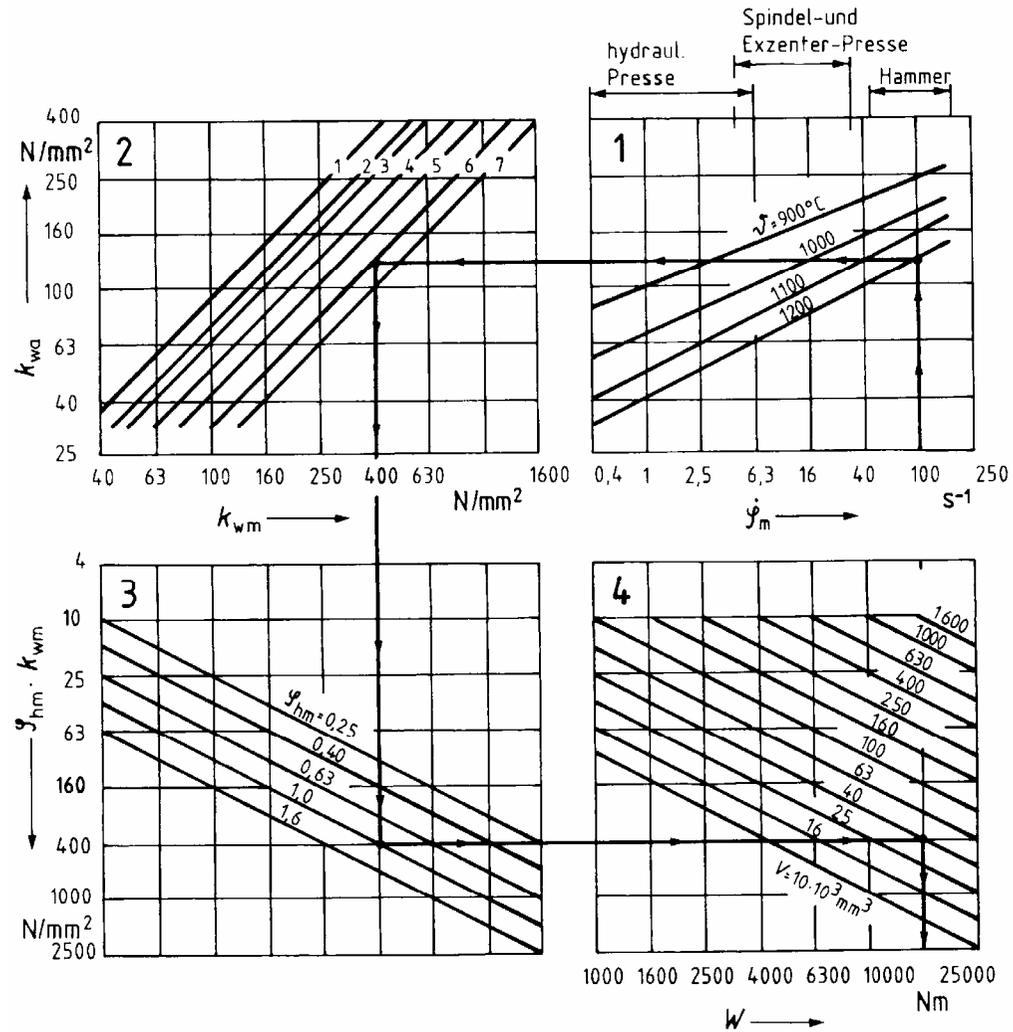
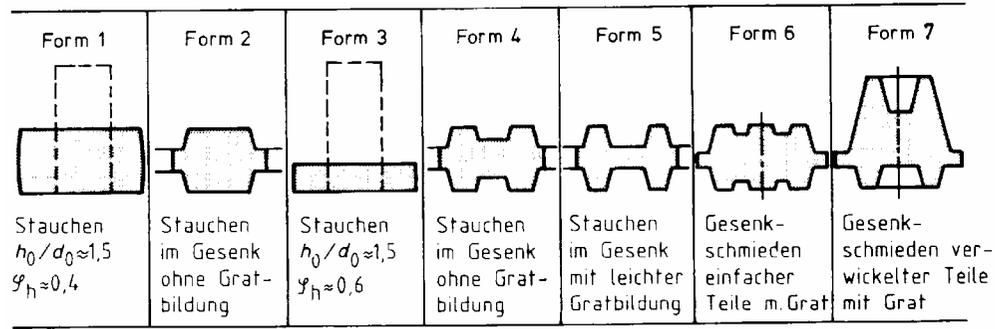
Einfluß der Umformtemperatur auf Umform- und Werkstückeigenschaften



Titan-Verbesserung nach Kaltverfestigung

Werkstoffbezeichnung	Härtung Vergütung	Einbauhärte HRC	Anwendungsbeispiele
100 V 1 115 Cr V 3 145 V 33	Abschreckung in Wasser, Anlassen Schalenhärter	60 bis 64	Fließpreßwerkzeuge für geringe Beanspruchung Auswerfer
90 Mn Cr V 8 55 Ni Cr 10 X 45 Ni Cr Mo 4	Abschreckung in Öl Anlassen Schalenhärter	58 bis 62 52 bis 58 47 bis 52	Stempeldruckstücke, Führungsringe Stempel, Gegenstempel, Matrizen Schrumpfringe, Druckplatten
X 155 Cr V Mo 12 1 X 210 Cr 12	Abschreckung in Öl oder Luft	54 bis 62 56 bis 62	Stempel, Gegenstempel, Matrizen Druckstücke, Führungsplatten
X 3 Ni Co Mo 18 8 5 X 3 Ni Co Mo Ti 18 9 5	martensitisch aushärtbar	50 bis 54 54 bis 56	Schrumpfringe Schrumpfringe, Stempeldruckplatten
S 6 - 5 - 2 S 2 - 10 - 1 - 8 S 10 - 4 - 3 - 10	Abschreckung in Öl oder Salzbad, mehrmaliges Anlassen	58 bis 65 62 bis 67 62 bis 67	Stempel, Gegenstempel, Matrizen Stempel, Stempelköpfe Stempel, Stempelköpfe

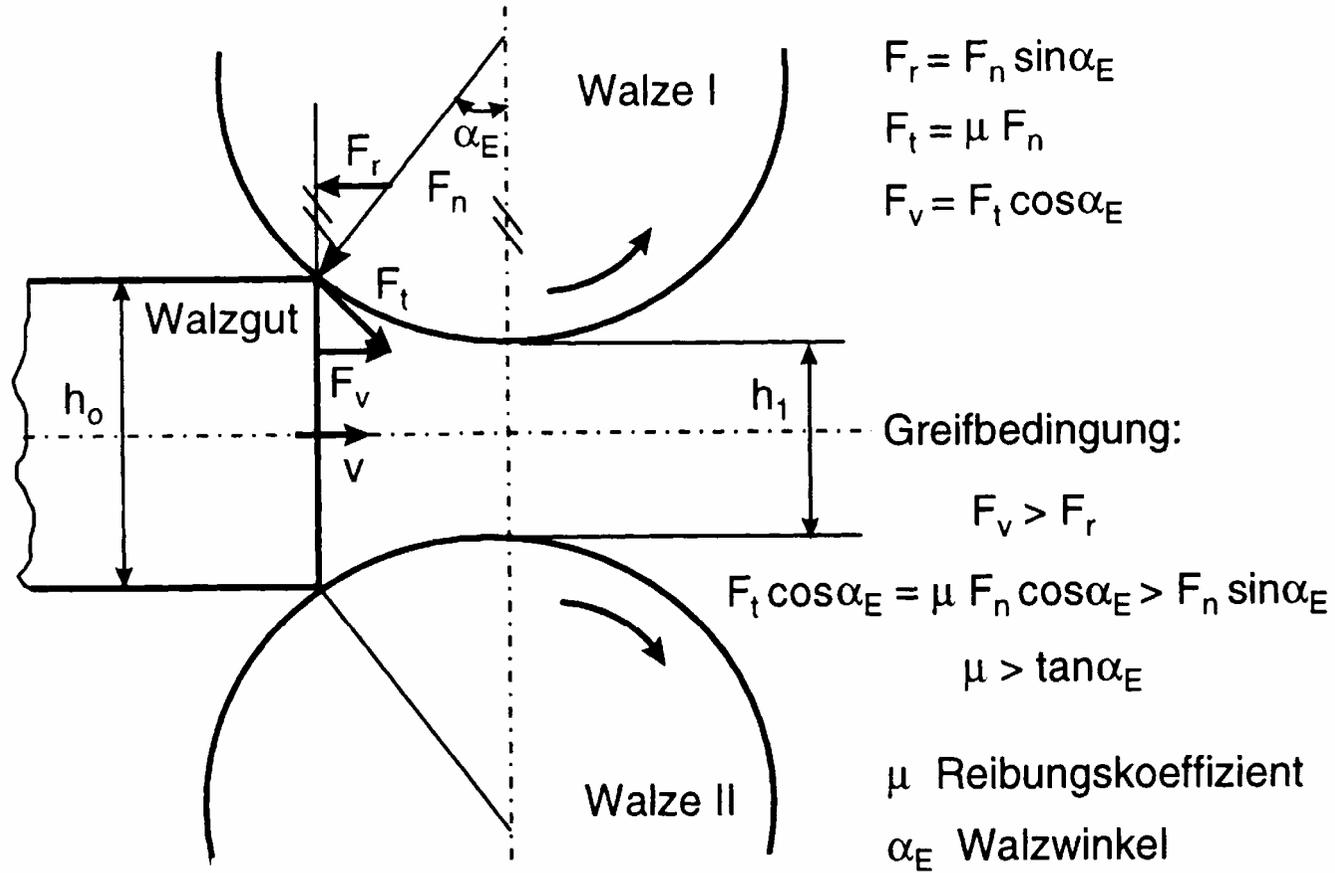
Stähle für Fließpress-Werkzeuge



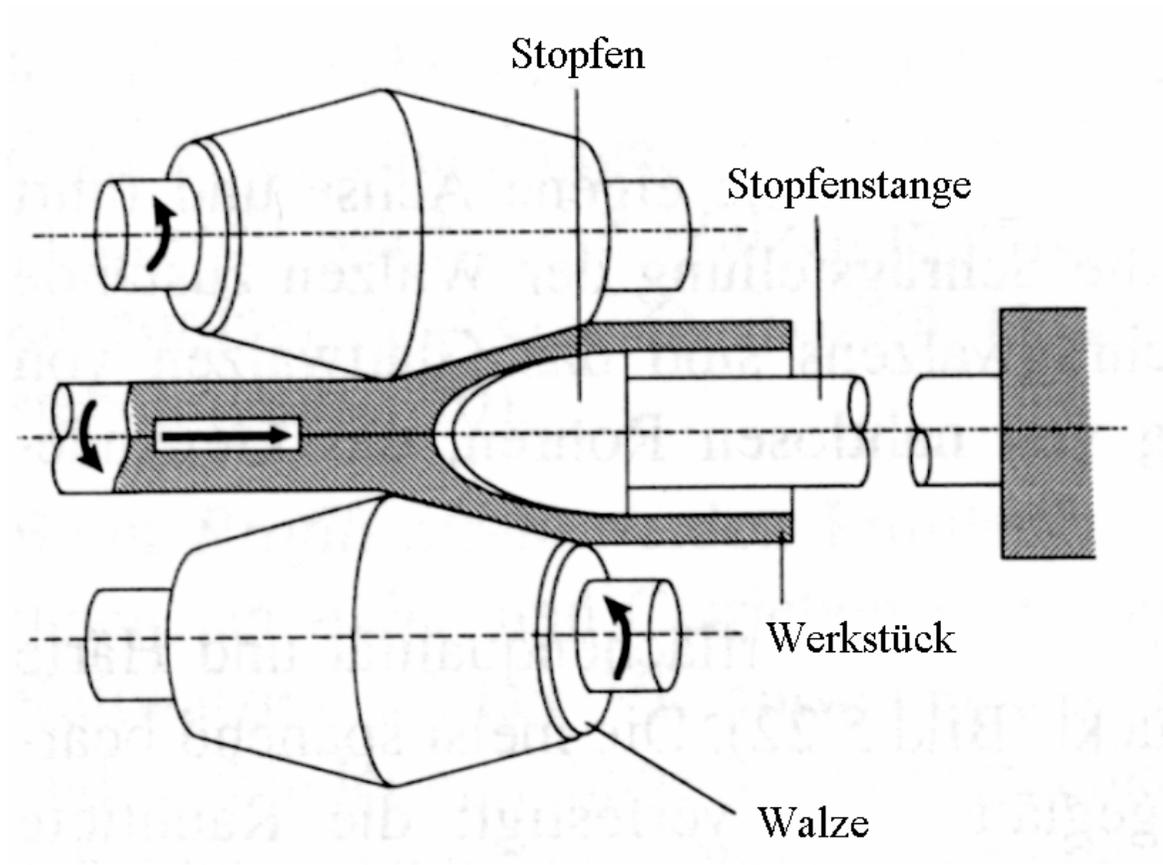
Schmiedestückwerkstoff	Stahl	Cu und Cu-Legierungen	Leichtmetalle
Gesenke	C 70 W 2 (1.1620)		
	C 85 W 2 (1.1630)		
	60 MnSi 4 (1.2876)	X 30 WCrV 53 (1.2667)	X 30 WCrV 53 (1.2567)
	40 CrMnMo 7 (1.2311)	X 38 CrMoV 51 (1.2343)	X 38 CrMoV 51 (1.2343)
		X 32 CrMoV 33 (1.2365)	
			55 NiCrMoV 6 (1.2713)
	55 NiCrMoV 6 (1.2713)		56 NiCrMoV 7 (1.2714)
	56 NiCrMoV 7 (1.2714)		57 NiCrMoV 77 (1.2744)
	57 NiCrMoV 77 (1.2744)	57 NiCrMoV 77 (1.2744)	57 NiCrMoV 77 (1.2744)
	35 NiCrMo 16 (1.2666)		
Gesenk- einsätze	X 38 CrMoV 51 (1.2343)	X 30 WCrV 93 (1.2581)	X 38 CrMoV 51 (1.2343)
	X 32 CrMoV 33 (1.2365)	X 32 CrMoV 33 (1.2365)	X 32 CrMoV 33 (1.2365)
	X 30 WCrV 53 (1.2567)	X 30 WCrV 53 (1.2567)	X 32 CrMoV 33 (1.2365)
	X 37 CrMoW 51 (1.2606)		X 30 WCrV 53 (1.2567)

Gebäuchliche Stähle für Schmiedegesenke

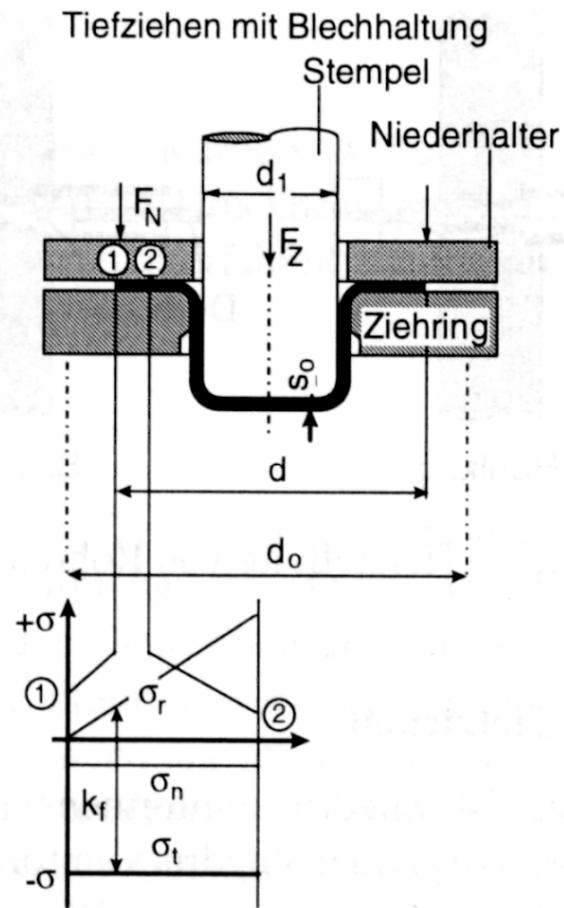
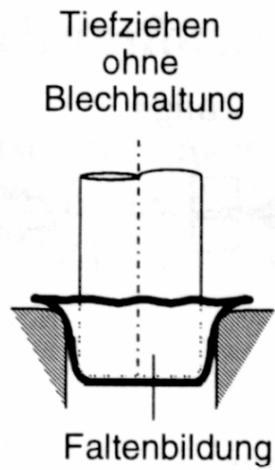




Greifbedingungen für das Flachwalzen

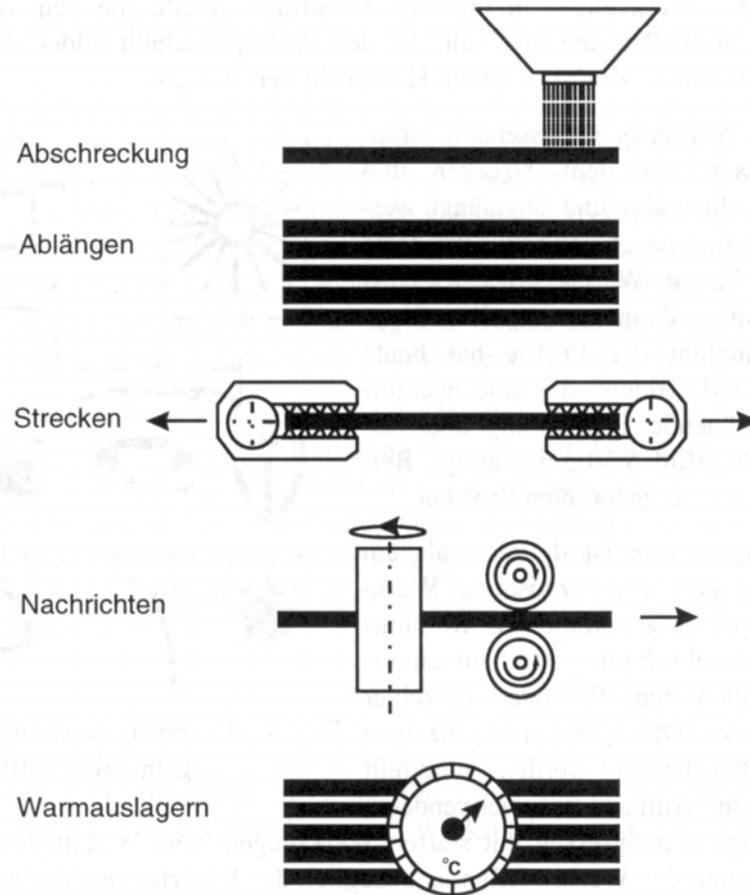
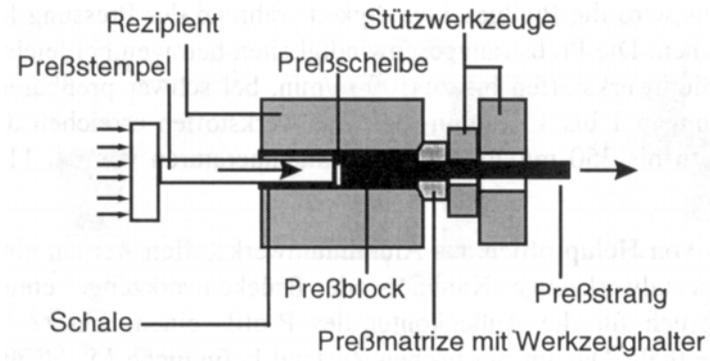


Schrägwalzen zum Lochen

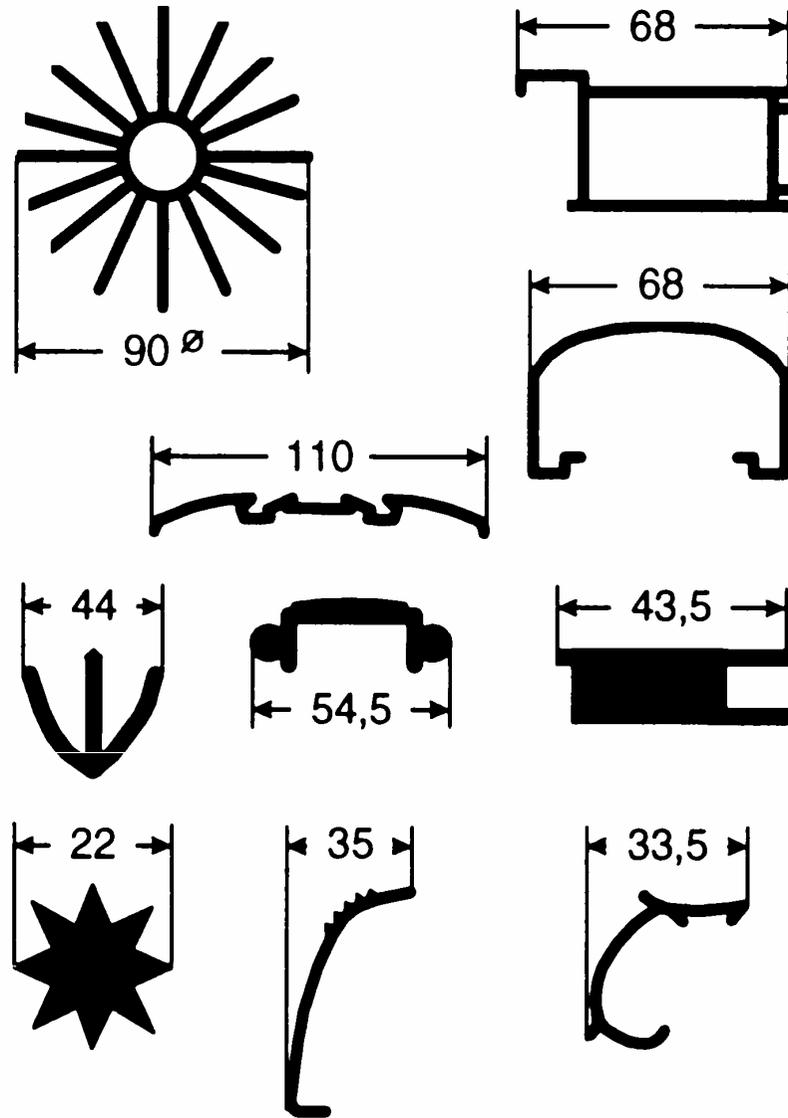


- $k_f$  : Fließspannung
- $\sigma_r$  : radiale Zugspannung
- $\sigma_t$  : tangentielle Druckspannung
- $\sigma_n$  : Normalspannung
- $F_N$  : Niederhalterkraft
- $F_Z$  : Ziehkraft

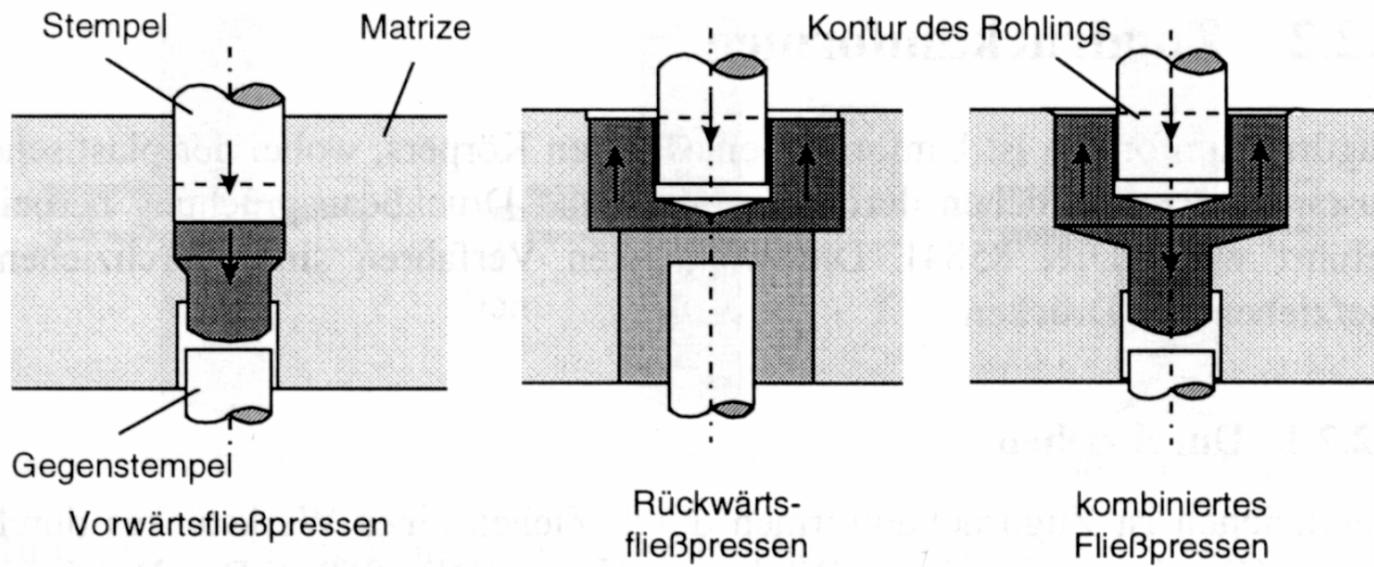
Tiefziehen



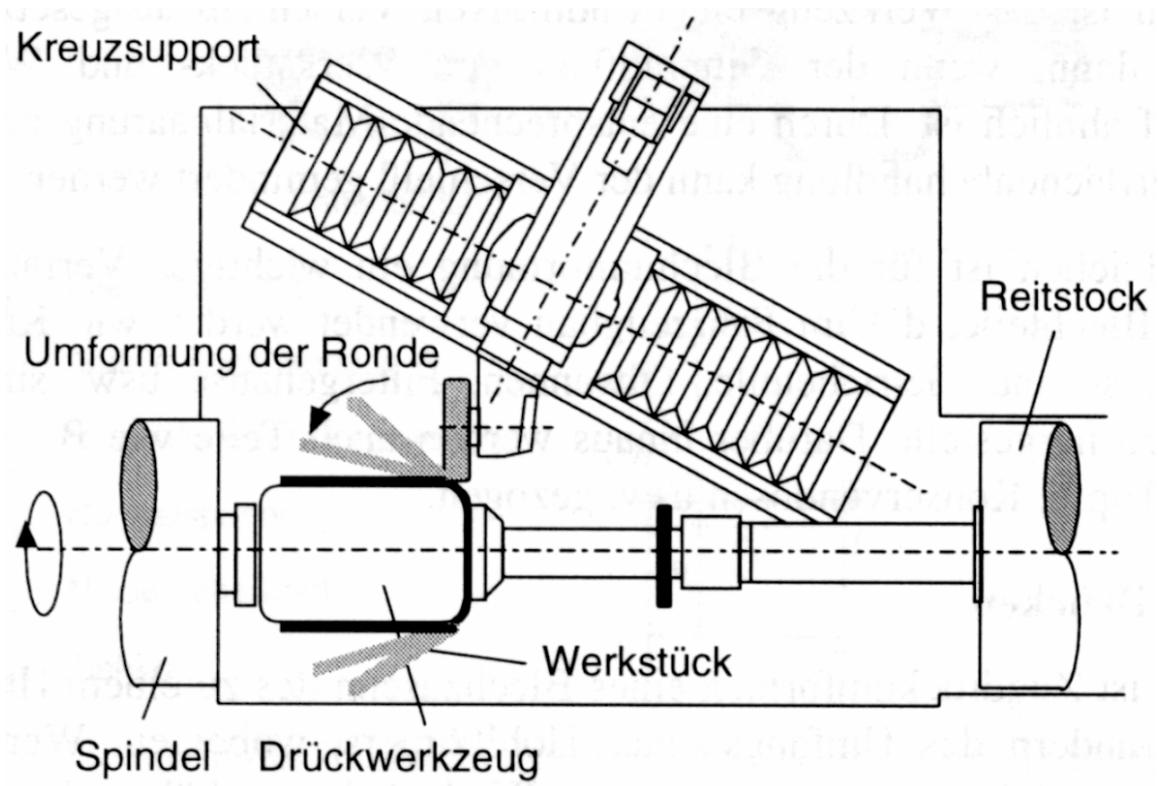
Vorwärts-Strangpressen von Aluminium



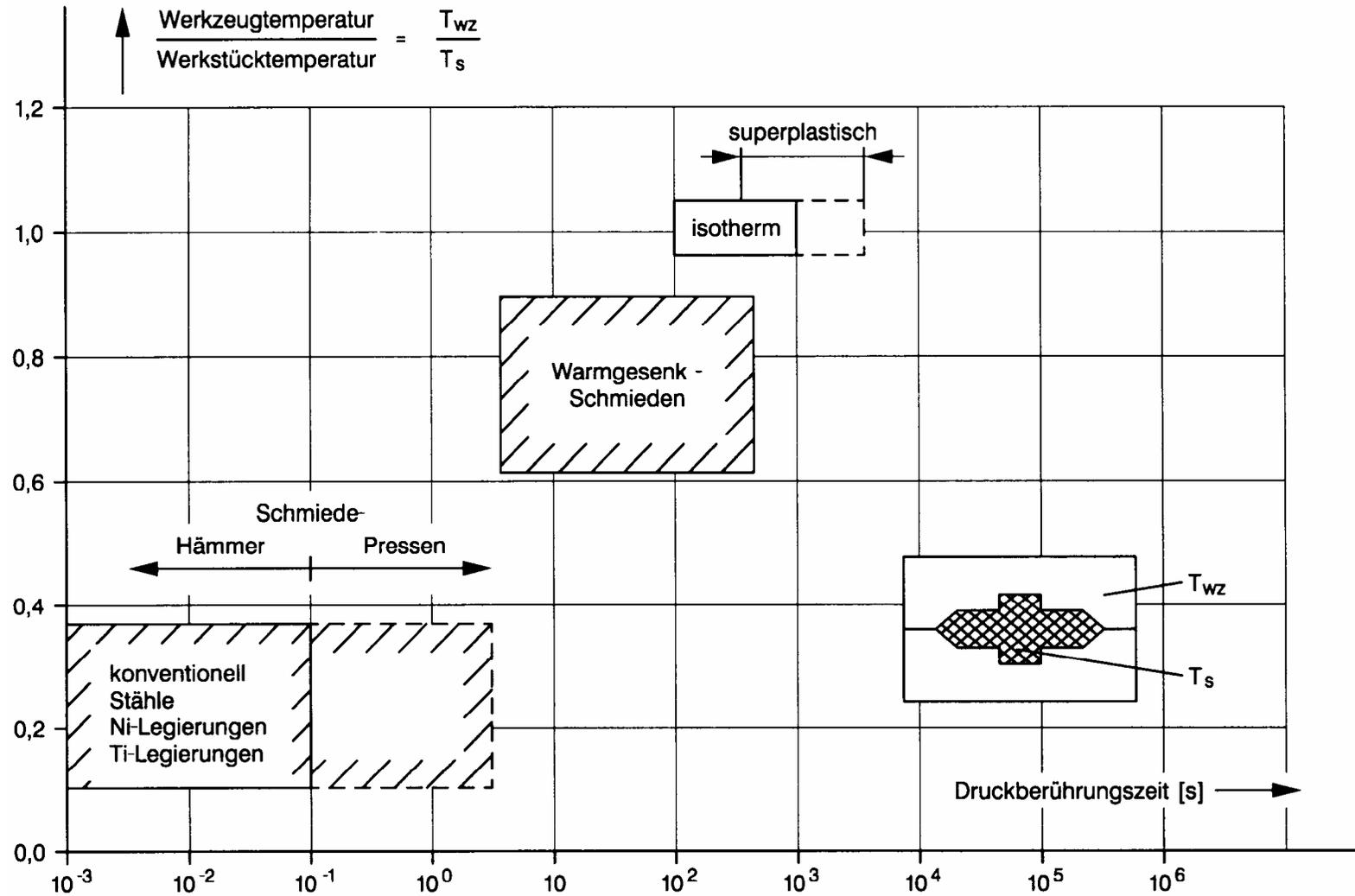
Strangpressen von Profilen



Fließpressen

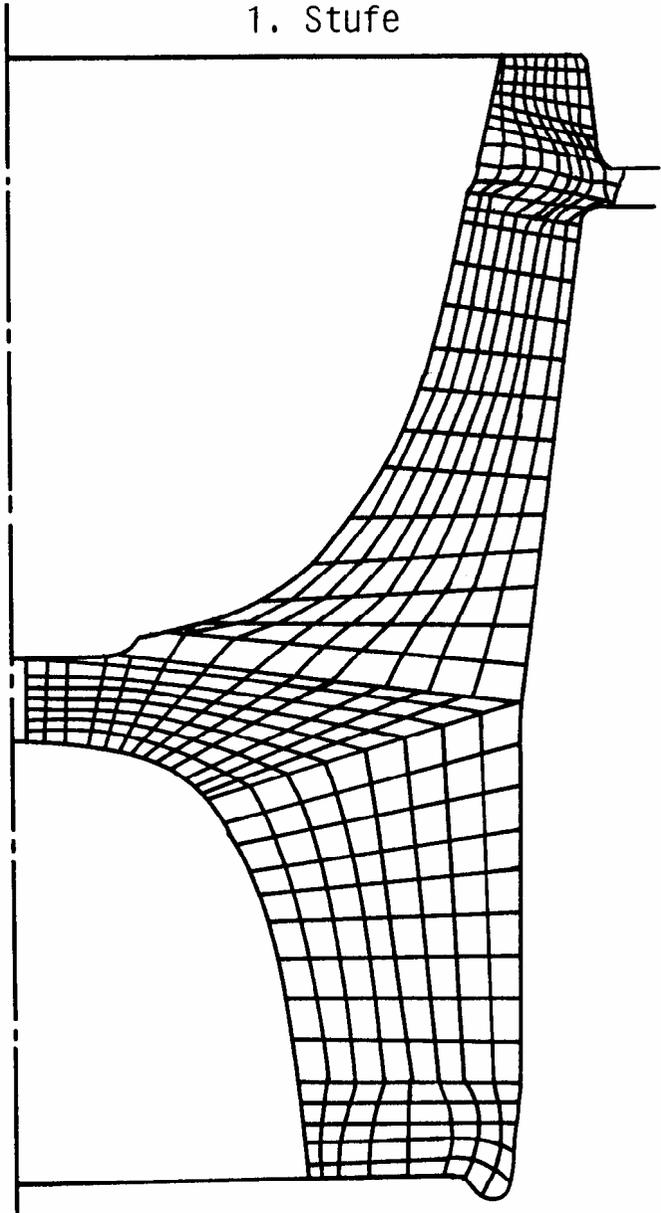


CNC Fließdrücken

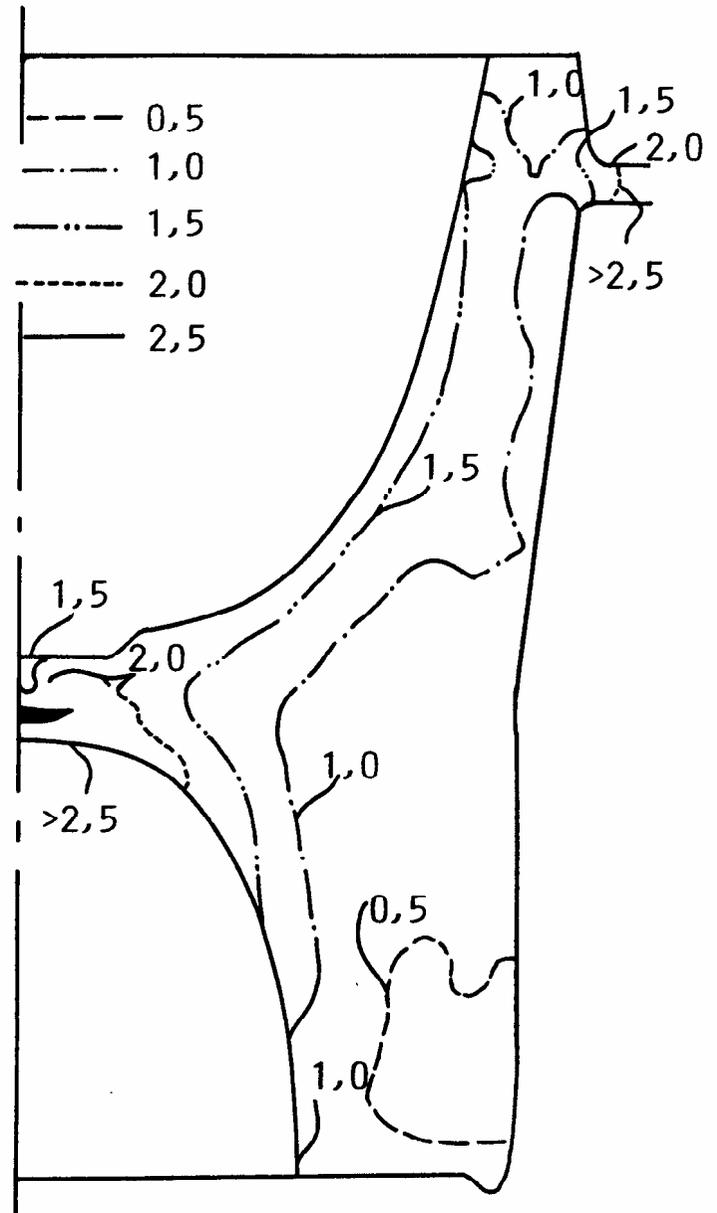


Konventionelles Schmieden		Hot-die-forging (Warmgesenkschmieden)	Isothermes Schmieden
einhitzig	mehrhitzig		nahe SP                      SP
	<p>kurze Druckberührzeiten → niedrige Werkzeugkosten einfache Schmiedehämmer</p> <p>verlängerte Druckberührzeiten → erhöhte Werkzeugkosten durch hochanlaßbeständige Stähle Einsatz von regelbaren Pressen (hydraulisch)</p>	<p>überwiegende Kriechumformung → Homogenitätsgewinn im Gefüge und in der Festigkeit Rohstoff-Einsparung (nahe Endform) Einsatz von Pressen mittlerer Größe durch Reduktion der Umformkräfte</p> <p>Einsatz von Ni-Leg. für Werkzeuge, meistens IN 100 Guß Werkzeugkosten → Wirtschaftlichkeit nur bei großen Teilen <math>\phi &gt; 400</math> mm</p>	<p>kleine Preßkräfte → kleine Pressen Materialeinsparung Homogenität Endkontur erreichbar (US-Kontur)</p> <p>höchste Werkzeugkosten (TSM) hoher Verfahrensaufwand, hohe Energiekosten hoher Regelaufwand Herstellung von Vormaterial mit Feinkorn (Strangpressen mit hohen Umformgraden oder PM)</p>
<p>unkontrollierbare Temperatur schlechte Reproduzier- barkeit des Gefüges Anisotropie der Festigkeit Nachteile steigen mit zunehmender Warmfes- tigkeit, zunehmender Berech- nungsschärfe und abnehmendem Sicherheitsbeiwert</p>	<p>negative Erfahrungen mit Waspaloy für HDV-Rotorwelle, Gefügegradient von innen nach außen Rekristallisation bei ausreichend hohen Zwischenglühtemperaturen, unkontr. Schwankungen der Rekr.-temp. als Fkt. von (Al + Ti)-Gehalt, desgl. der Fließspannung</p>		

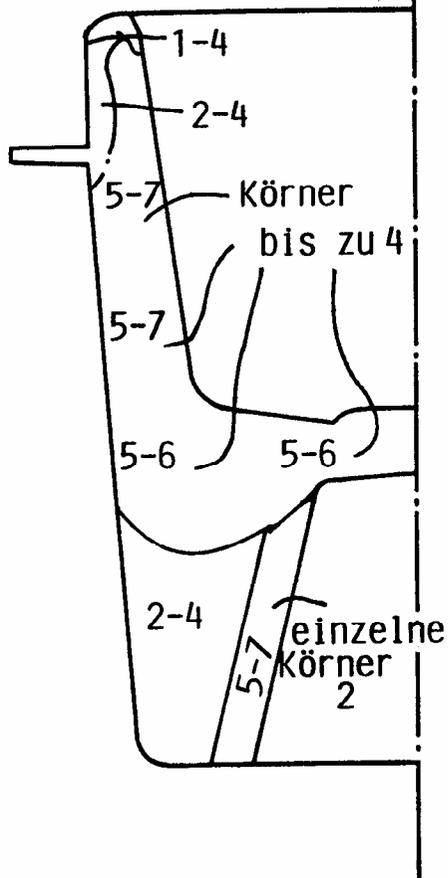
FEM - Netz  
5. Netz-Generierung  
1. Stufe



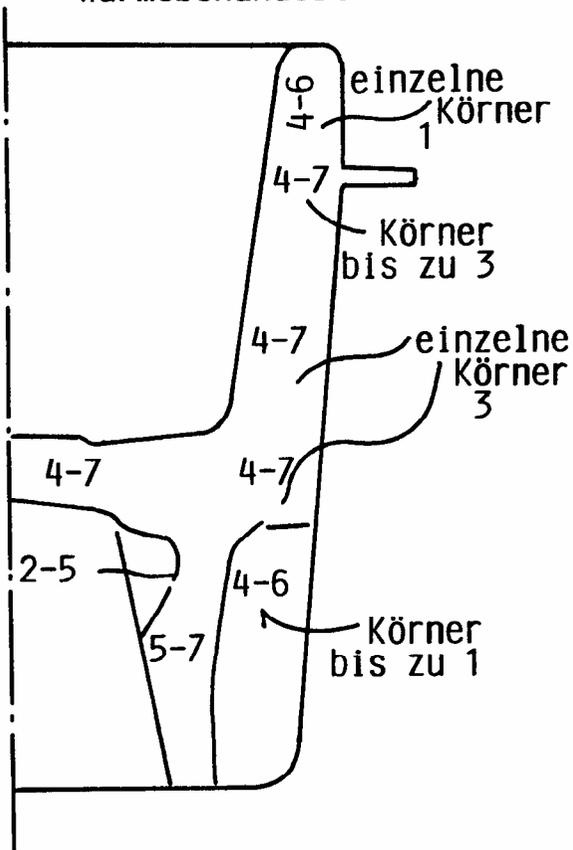
Formänderungs-  
Verteilung



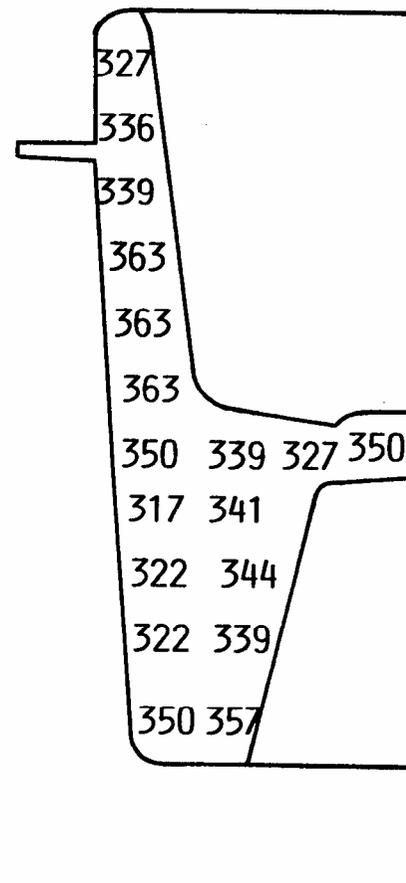
Geschmiedet  
(ASTM-Korngröße)

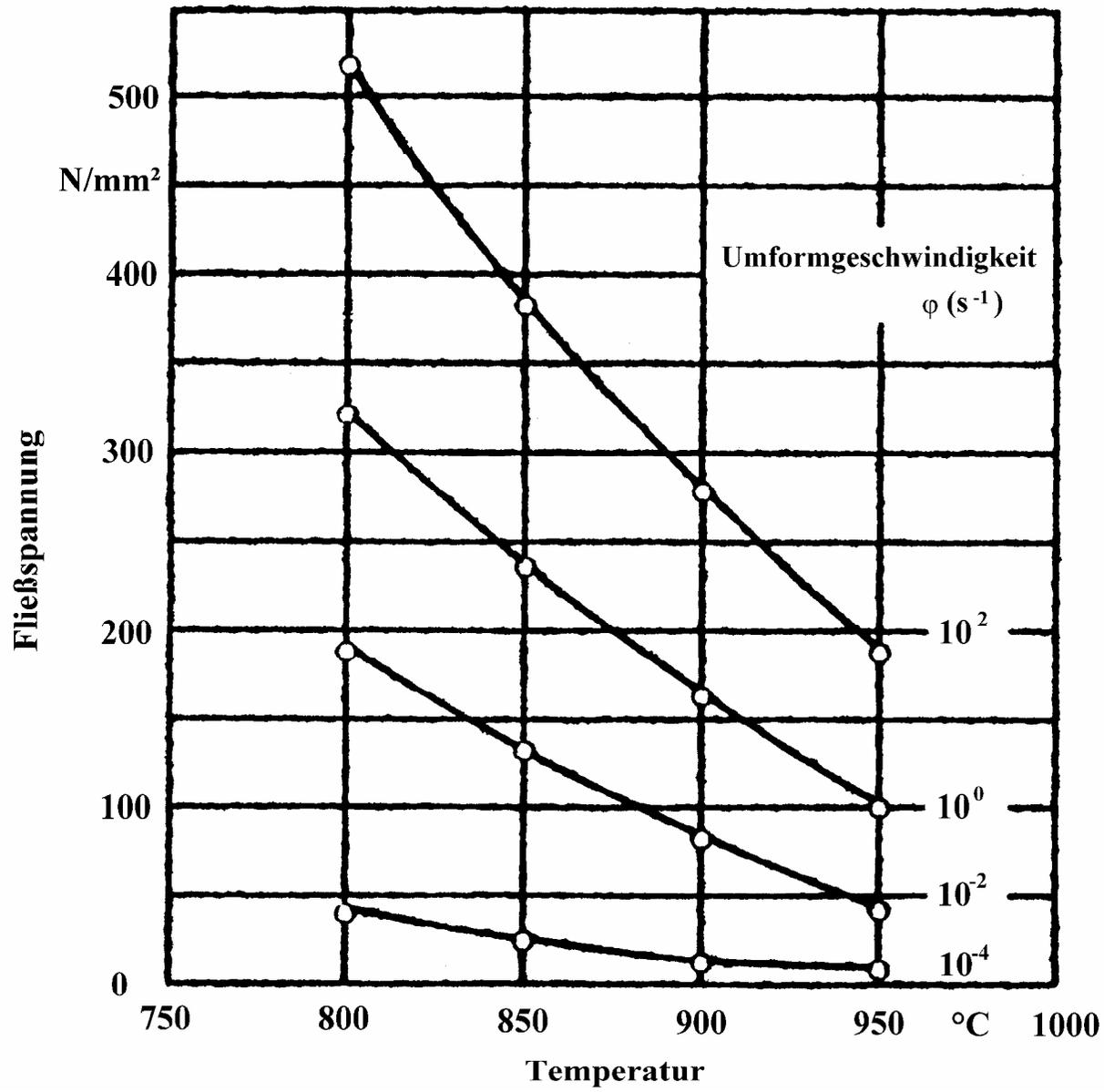


Geschmiedet  
und  
Wärmebehandelt



Härteverteilung





Fließspannung  
der Titanlegierung  
TiAl 6V4 [3]

Legierung	Schmiedetemp. °C	R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A %	Z %
TiAl6V4	960 (α + β)	935	1005	15,6	44,2
	1150 (β)	898	1003	14,0	35,6
TiAl8Mo1V1	1010 (α + β)	890	963	18,0	41,9
	1095 (β)	863	963	15,7	24,1
TiAl6Sn2Zr4Mo2	970 (α + β)	901	967	13,7	38,2
	1055	884	971	13,7	28,2

Einfluß der Schmiedetemperatur auf die Zugfestigkeit bei Raumtemperatur

Wärmenachbehandlung:

TiAl6V4: 955 °C / 1 h / Luft + 705 °C / 4 h / Luft

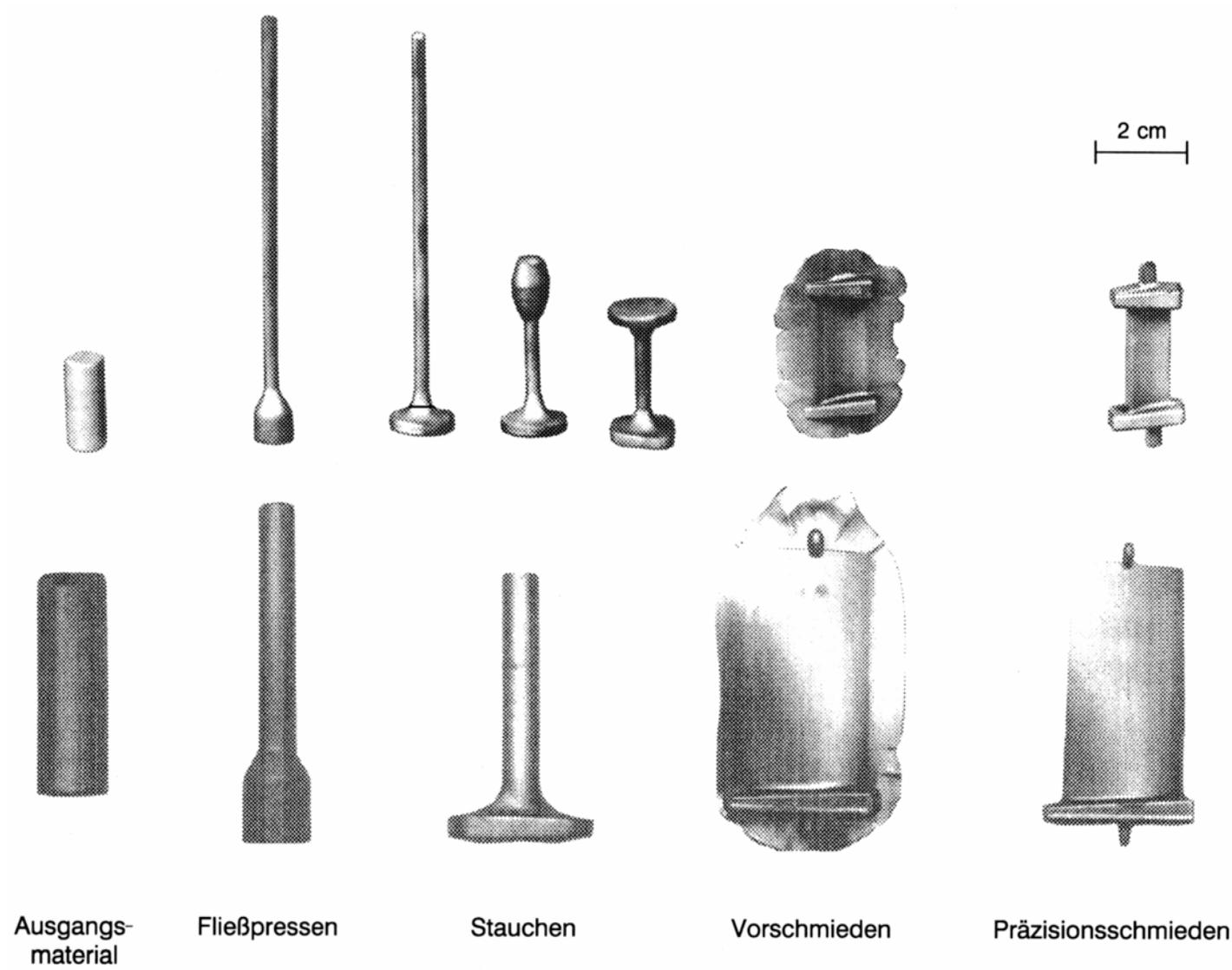
TiAl8Mo1V1: 1010 °C / 1 h / Luft + 595 °C / 8 h / Luft

TiAl6Sn2Zr4Mo2: 980 °C / 1 h / Luft + 595 °C / 8 h / Luft

Zusammensetzung	Umwandlungstemperatur °C	Endverformungstemperatur max. °C
Unleg. Titan *	885 – 950	785 – 850
TiAl5Sn2,5	1040 ± 15	930
TiAl8Mo1V1	1040 ± 15	1010
TiAl6V4	995 ± 15	970
TiAl6V4Sn2	945 ± 15	840

\* je nach Reinheitsgrad

Umwandlungstemperatur und maximale Endverformungstemperatur für verschiedene Ti-Legierungen



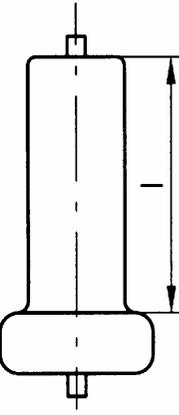
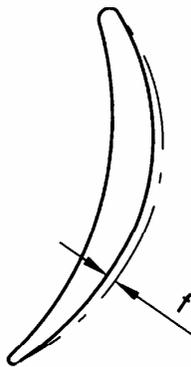
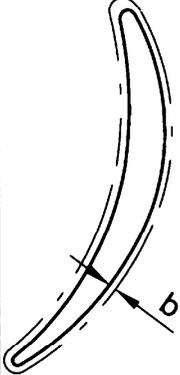
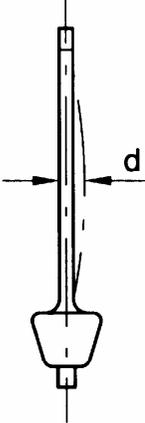
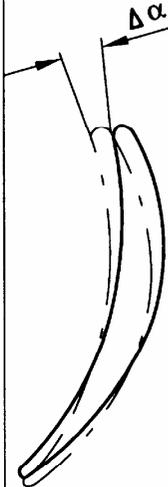
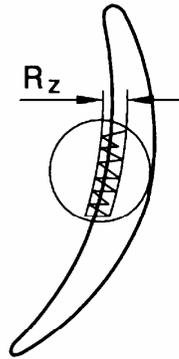
Ausgangs-  
material

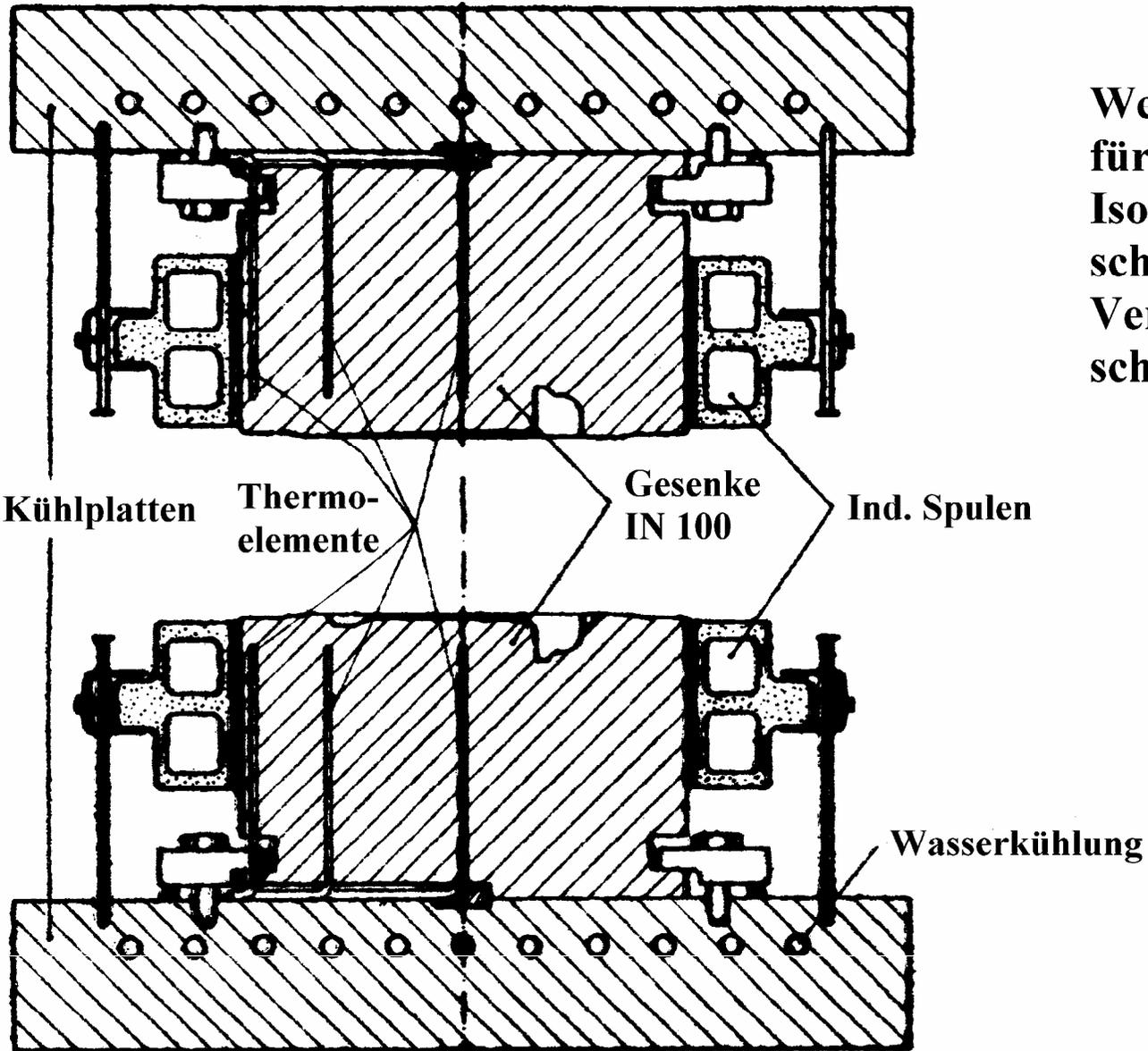
Fließpressen

Stauchen

Vorschmieden

Präzisionsschmieden

Blattlänge	Mindest-Profil- dicke der Aus- trittskante	Profilform- toleranz	Profildicken- toleranz	Durchbiegung am mittleren Profilschnitt	Gesamtab- weichung der Blattverwindung	Oberflächen- rauheit
						
<b>l</b> [mm]	<b>s</b> [mm]	<b>f</b> [mm]	<b>2b</b> [mm]	<b>d</b> [mm]	<b>Δα</b> [↯']	<b>Rz</b> [μm]
16 - 40	0,10	0,04 - 0,05	0,08 - 0,10	0,07	± 20	1,6 - 2,5
40 - 63	0,15	0,05 - 0,08	0,10 - 0,16	0,12	± 20	2,5
63 - 100	0,20	0,08 - 0,10	0,16 - 0,20	0,20	± 20	2,5
100 - 160	0,30	0,10 - 0,12	0,20 - 0,25	0,20	± 20	2,5
160 - 250	0,40	0,12 - 0,20	0,25 - 0,40	0,20	± 20	4,0
250 - 400	0,60	0,20 - 0,25	0,40 - 0,63	0,25	± 20	4,0 - 6,3
400 - 800	0,90	0,40	0,40 - 0,80	0,80	± 30	6,3



**Werkzeugaufbau  
für das  
Isotherm-  
schmieden der  
Verdichter-  
schaufeln**

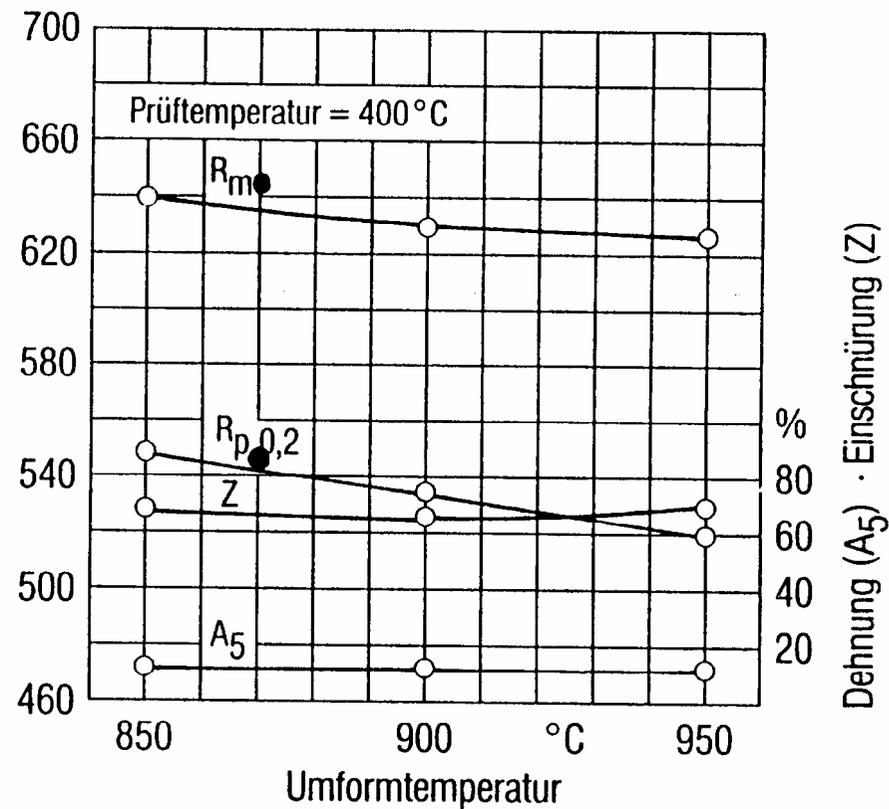
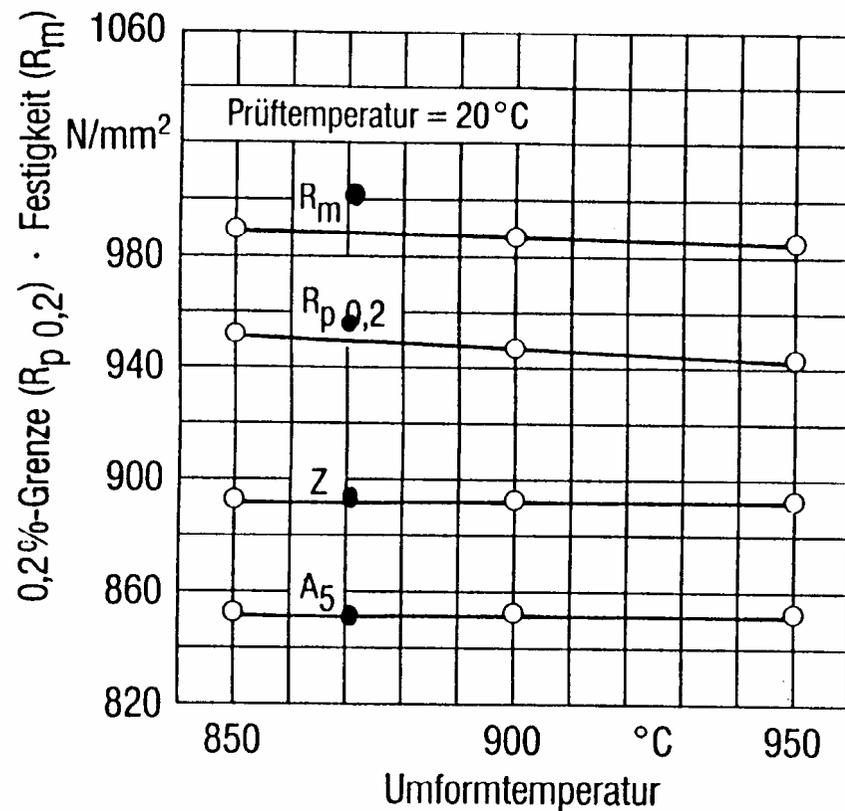
Kühlplatten

Thermo-  
elemente

Gesenke  
IN 100

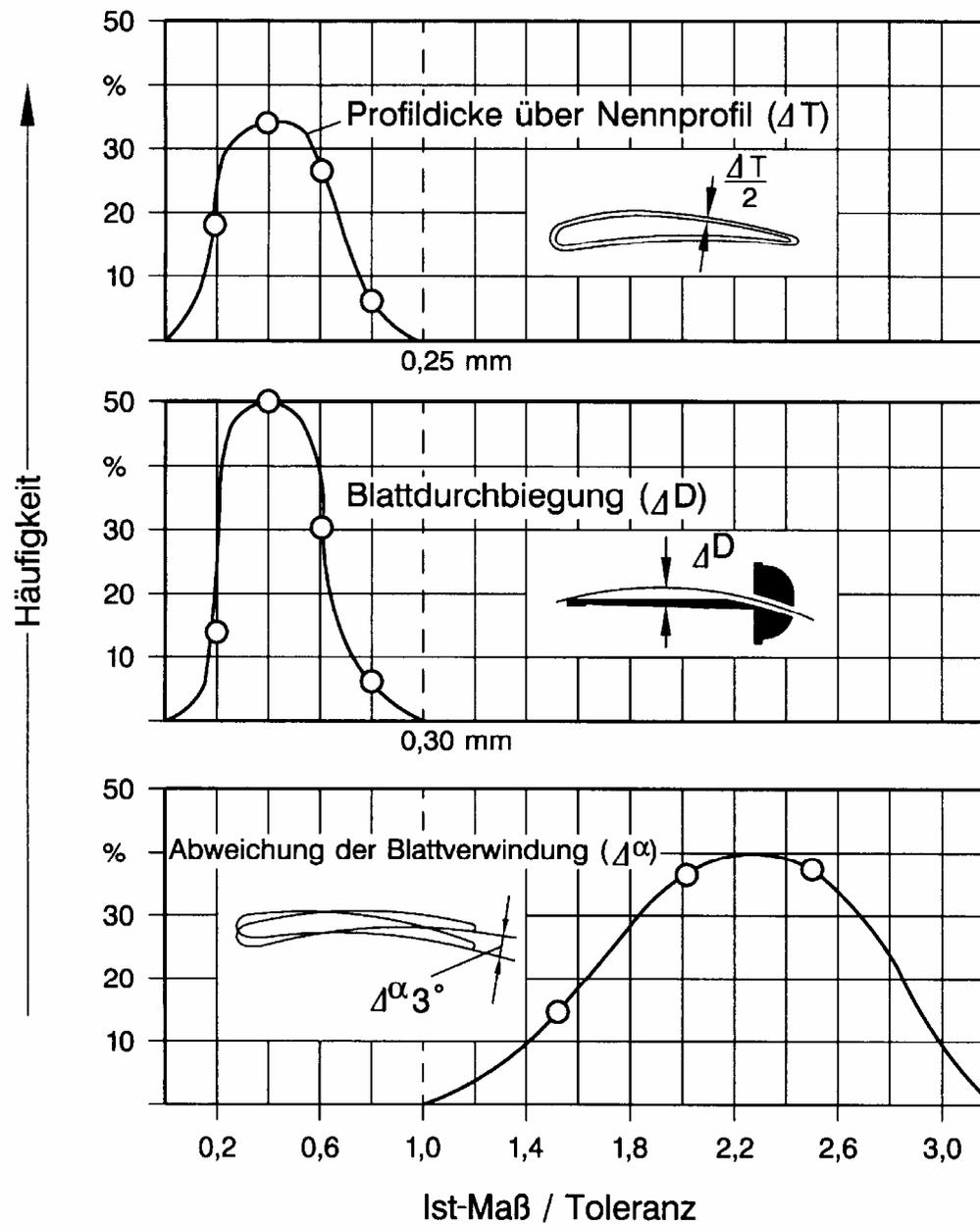
Ind. Spulen

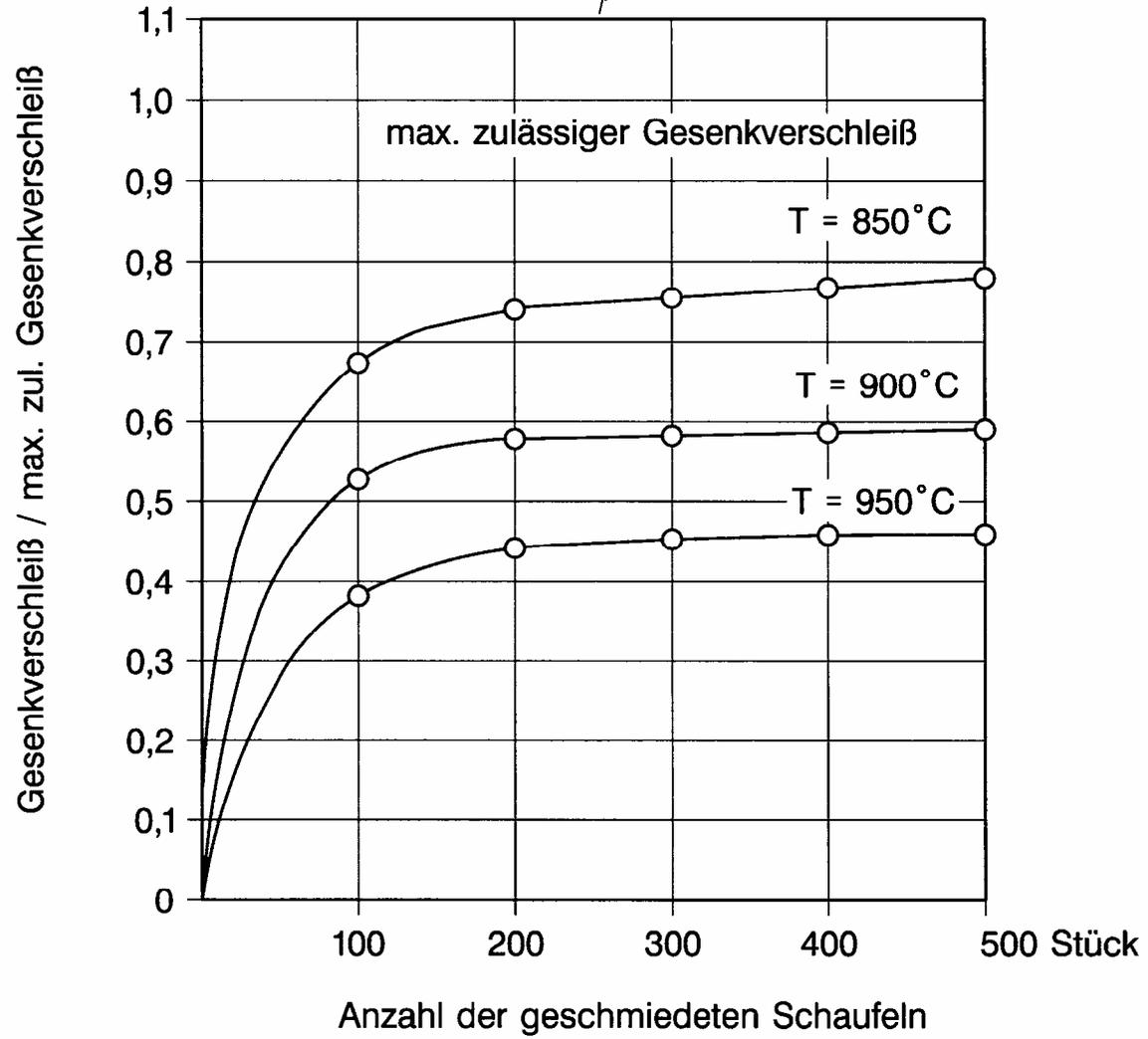
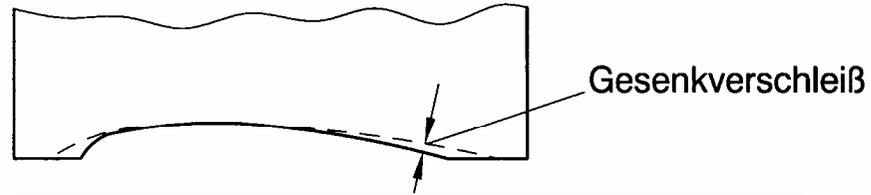
Wasserkühlung



● konventionelles Schmieden

## Festigkeitseigenschaften der isotherm geschmiedeten Verdichterschaufeln





Temperatur	1000 °C				1100 °C				1200 °C			
Umformgeschw. $\dot{\varphi}$ =	1,5 s <sup>-1</sup>		35 s <sup>-1</sup>		1,5 s <sup>-1</sup>		35 s <sup>-1</sup>		1,5 s <sup>-1</sup>		35 s <sup>-1</sup>	
Umformgrad Werkstoff $\varphi$ =	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
C 15	101	132	132	186	78	93	109	155	54	62	85	124
X5CrNi18 9	155	193	178	255	116	139	147	193	78	101	124	155
Nimonic 80 A	340	371	340	603	286	294	386	425	170	170	278	278
Nimonic 90	340	340	340	587	263	240	402	410	163	170	295	270
Nimonic 105	510	371	634	572	278	255	441	386	186	165	318	270

Nimonic 80 A : 74,7 % Ni

19,5 % Cr

1,1 % Co

1,3 % Al

2,5 % Ti

Nimonic 90 : 57,4

19,5

18,0

1,4

2,4

Nimonic 105 : 53,3

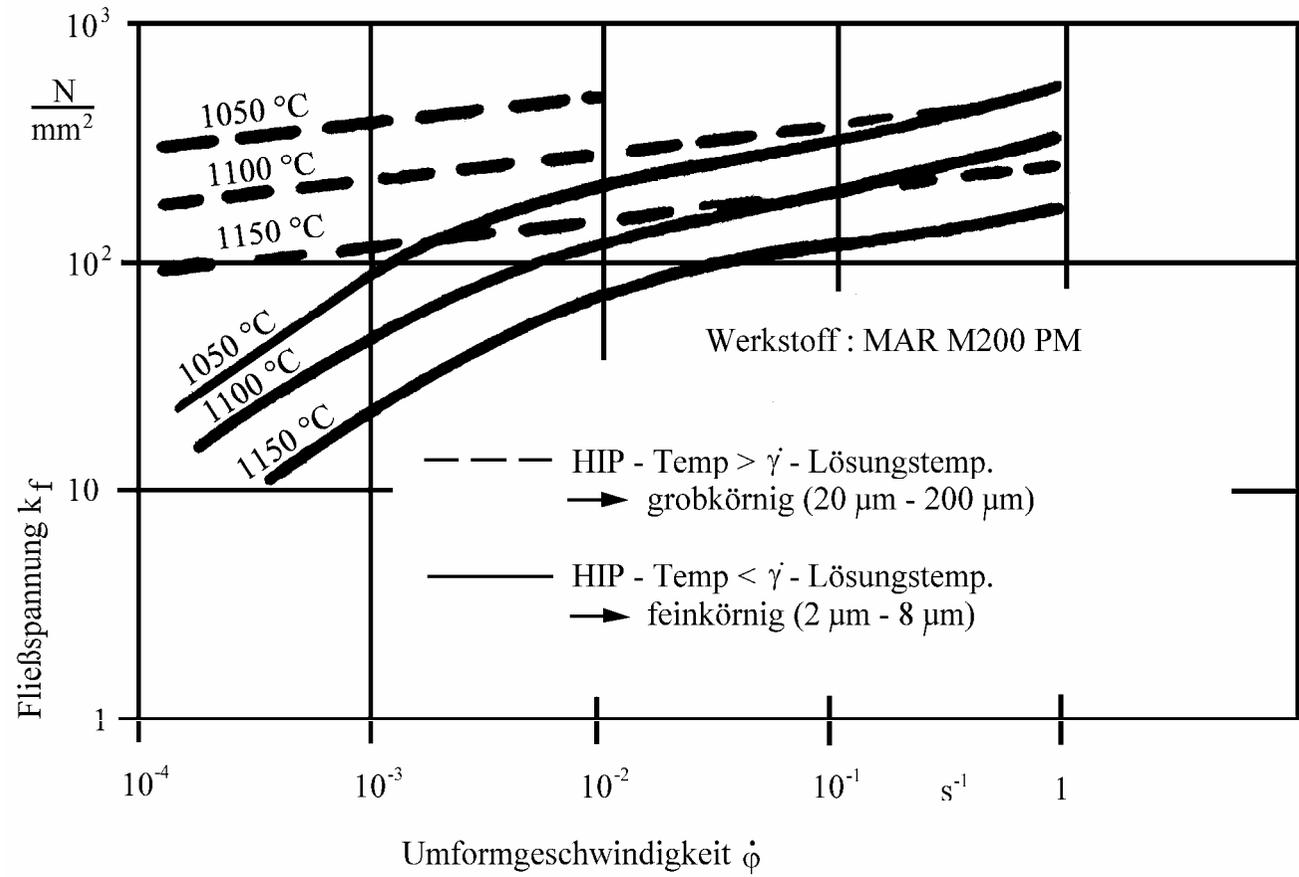
14,5

20

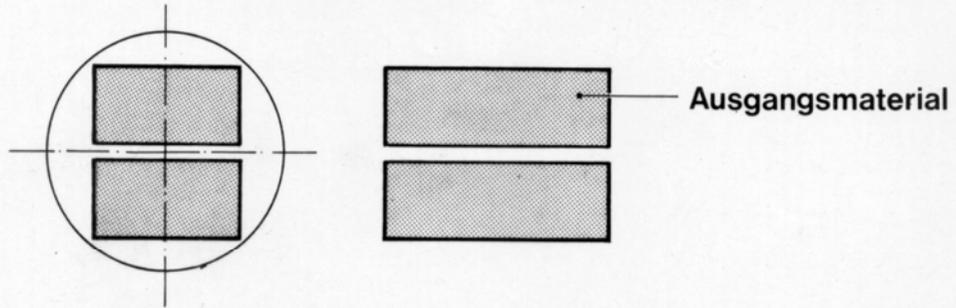
1,2

4,5

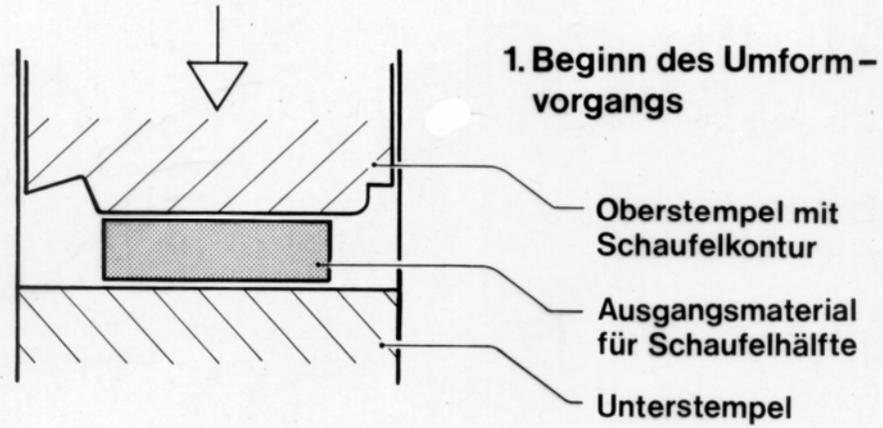
5,0 % Mo



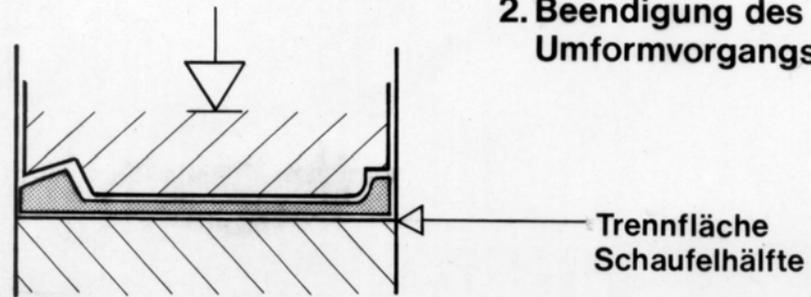
- Herstellen von Turbinenschaufelhälften -

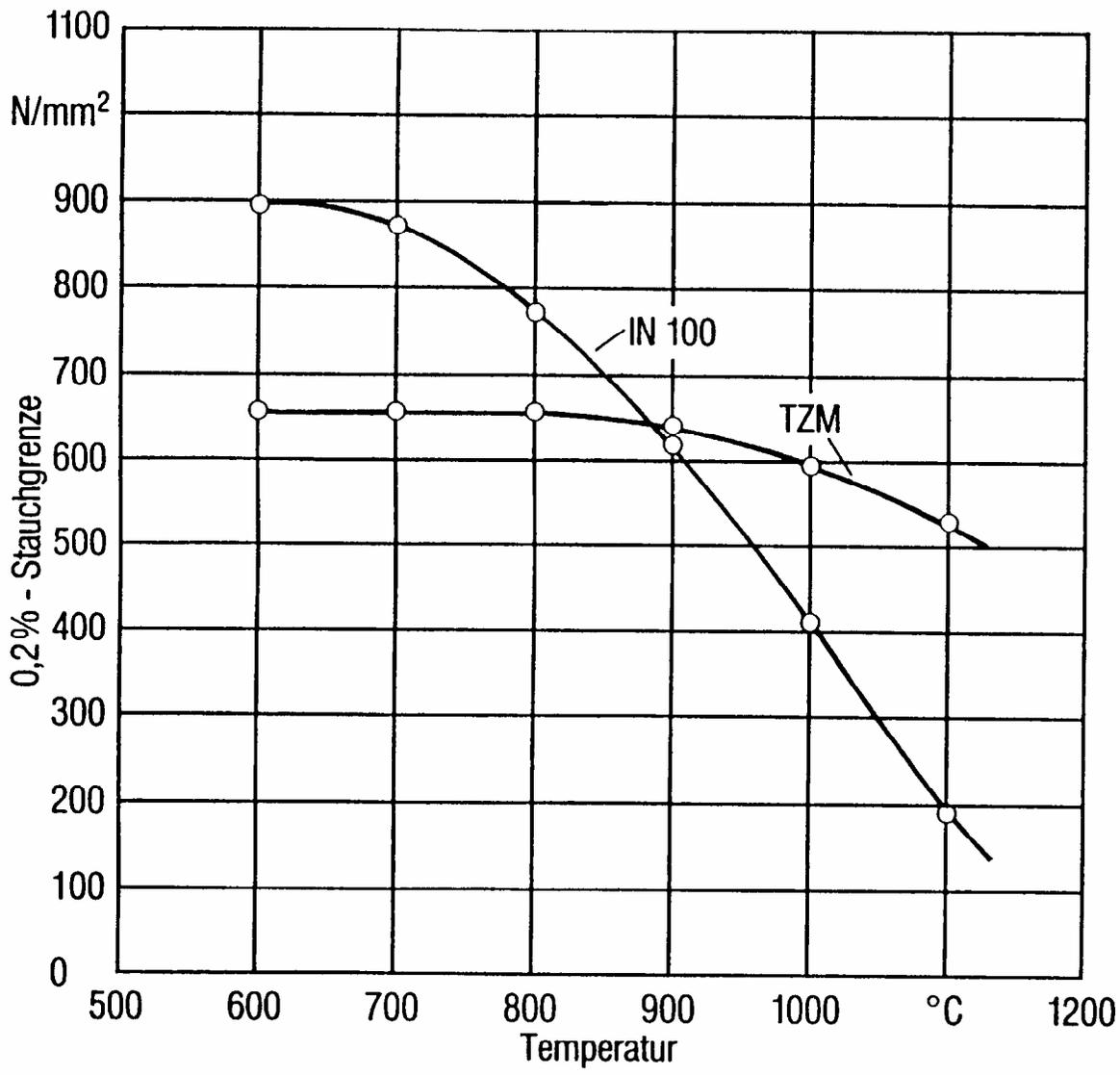


Ausgangsmaterial



2. Beendigung des Umformvorgangs





## Vergleich der Warmfestigkeiten

- Nickelbasislegierung IN 100
- Molybdänlegierung TZM

