

kleine Formelsammlung

© 2019 RAGAN ARNOLD

e-mail: ragan-arnold@web.de

Lenzhalde 31
73732 Esslingen
Tel./Fax : 0711 37 57 25

Atelier: Wasenstr.4
73666 Baltmannsweiler-
Hohengehren
mobil : 0160 124 88 02

Bohrergrößen USA

Size	Hole	D [mm]
#97	.0059	0,15
#96	.0063	0,16
#95	.0067	0,17
#94	.0071	0,18
#93	.0075	0,19
#92	.0079	0,20
#91	.0083	0,21
#90	.0081	0,21
#89	.0091	0,23
#88	.0095	0,24
#87	.0100	0,25
#86	.0105	0,27
#85	.0110	0,28
#84	.0115	0,29
#83	.0120	0,30
#82	.0125	0,32
#81	.0130	0,33
#80	.0135	0,34
#79	.0145	0,37
1/64	.0156	0,40
#78	.0160	0,41
#77	.0180	0,46
#76	.0200	0,51
#75	.0210	0,53
#74	.0225	0,57
#73	.0240	0,61
#72	.0250	0,64
#71	.0260	0,66
#70	.0280	0,71
#69	.0292	0,74
#68	.0310	0,79
1/32	.0312	0,79
#67	.0320	0,81
#66	.0330	0,84
#65	.0350	0,89
#64	.0360	0,91
#63	.0370	0,94
#62	.0380	0,97
#61	.0390	0,99
#60	.0400	1,02
#59	.0410	1,04
#58	.0420	1,07
#57	.0430	1,09
#56	.0465	1,18
3/64	.0469	1,19
#55	.0520	1,32
#54	.0550	1,40
#53	.0595	1,51
1/16	.0625	1,59
#52	.0635	1,61
#51	.0670	1,70
#50	.0700	1,78
#49	.0730	1,85
#48	.0760	1,93
5/64	.0781	1,98
#47	.0785	1,99
#46	.0810	2,06
#45	.0820	2,08
#44	.0860	2,18
#43	.0890	2,26
#42	.0935	2,37

Size	Hole	D [mm]
#38	.1015	2,58
#37	.1040	2,64
#36	.1065	2,71
7/64	.1094	2,78
#35	.1100	2,79
#34	.1110	2,82
#33	.1130	2,87
#32	.1160	2,95
#31	.1200	3,05
#30	.1285	3,26
#29	.1360	3,45
#28	.1405	3,57
9/64	.1406	3,57
#27	.1440	3,66
#26	.1470	3,73
#25	.1495	3,80
#24	.1520	3,86
#23	.1540	3,91
5/32	.1562	3,97
#22	.1570	3,99
#21	.1590	4,04
#20	.1610	4,09
#19	.1660	4,22
#18	.1695	4,31
11/64	.1719	4,37
#17	.1730	4,39
#16	.1770	4,50
#15	.1800	4,57
#14	.1820	4,62
#13	.1850	4,70
3/16	.1875	4,76
#12	.1890	4,80
#11	.1910	4,85
#10	.1935	4,91
#9	.1960	4,98
#8	.1990	5,05
#7	.2010	5,11
13/64	.2031	5,16
#6	.2040	5,18
#5	.2055	5,22
#4	.2090	5,31
#3	.2130	5,41
7/32	.2188	5,56
#2	.2210	5,61
#1	.2280	5,79
#A	.2340	5,94
15/64	.2344	5,95
#B	.2380	6,05
#C	.2420	6,15
#D	.2460	6,25
#E	.2500	6,35
1/4	.2500	6,35
#F	.2570	6,53
#G	.2610	6,63
17/64	.2656	6,75
#H	.2660	6,76
#I	.2720	6,91
#J	.2770	7,04
#K	.2810	7,14
9/32	.2812	7,14
#L	.2900	7,37

Size	D [mm]
21/64	8,33
11/32	8,73
23/64	9,13
3/ 8	9,53
25/64	9,92
13/32	10,32
27/64	10,72
7/16	11,11
29/64	11,51
15/32	11,91
31/64	12,30
1/ 2	12,70
33/64	13,10
17/32	13,49
35/64	13,89
9/16	14,29
37/64	14,68
19/32	15,08
39/64	15,48
5/ 8	15,88
41/64	16,27
21/32	16,67
43/64	17,07
11/16	17,46
45/64	17,86
23/32	18,26
47/64	18,65
3/ 4	19,05
49/64	19,45
25/32	19,84
51/64	20,24
13/16	20,64
53/64	21,03
27/32	21,43
55/64	21,83
7/ 8	22,23
57/64	22,62
29/32	23,02
59/64	23,42
15/16	23,81
61/64	24,21
31/32	24,61
63/64	25,00
1	25,40
1 1/ 8	28,58
1 1/ 4	31,75
1 3/ 8	34,93
1 1/ 2	38,10
1 5/ 8	41,28
1 3/ 4	44,45
1 7/ 8	47,63
2	50,80
2 1/ 8	53,98
2 1/ 4	57,15
2 3/ 8	60,33
2 1/ 2	63,50
2 5/ 8	66,68
2 3/ 4	69,85
2 7/ 8	73,03
3	76,20
3 1/ 8	79,38

Angloamerikanische Maße

Längen

Einheit	Deutsch	Abk.	Größe	metrische Größe
inch	Zoll	in.	"	0,0254 m
foot	Fuß	ft.	'	12 inch 0,3048 m
yard	Schritt	yd.		3 feet 0,9144 m
mile	Meile	mi., m.		1760 yard 1.609,344 m

Flächen

square inch	Quadratzoll	sq.in., in ²		0,00064516 m ²
square foot	Quadratfuß	sq.ft., ft ²	144 in ²	0,09290304 m ²
square yard	Quadratyard	sq.yd., yd ²	9 ft ² = 1.296 in ²	0,83612736 m ²
square mile	Quadratmeile	sq.mi., mi ²	3.097.600 yd ²	2,5899881 km ²

Volumen

cubic inch	Kubikzoll	cu.in.	1 inch ³	16,4 cm ³
cubic foot	Kubikfuß	cu.ft.	1 foot ³ = 1728 inch ³	28,3 dm ³
perch	Schachtrute		1 perch × 1 ½ feet ² = 24¾ feet ³	701 dm ³
cubic yard		cu.yd	1 yard ³ = 27 feet ³ = 46656 inch ³	765 dm ³
freight ton			40 feet ³	1,13 m ³
load			50 feet ³	1,42 m ³
register ton	Registertonne	RT	100 feet ³	2,83 m ³

Hohlmaße

Amerikanische Flüssigkeitsmaße, US wet

gill		gi.	1/4 pint	1,18 dl
pint	Pint	pt.	1/2 quart	4,73 dl
quart	Quart	qt.	1/4 gallon	9,46 dl
gallon	Gallone	gal.	231 inch ³	3,79 l
petrol barrel	Erdölbarrel	bl., bbl.	42 gallon = 1/2 firkin	1,59 hl

Amerikanische Trockenmaße, US dry

pint	Pint	pt.	1/8 gallon	5,51 dl
quart			2 pint	1,10 l
gallon	Gallone	gal.	1/2 peck ≈ 268,8 inch ³	4,40 l
peck		pk.	2 gallon = 1/4 bushel	8,81 l
(Winchester) bushel	Scheffel	bsh., bu.	2150,42 inch ³ ≈ 8 inch × π · (9 1/4 inch) ²	35,24 l

Gewichte

Handelsgewichte, Avoirdupois

dram	Drachme	dr.	1/16 ounce	1,77 g
ounce, ugs. lid	Unze	oz.	1/16 pound	28,35 g
pound	Pfund	lb., pd., #, lbm.	7000 grain	454,59 g

short Avoirdupois

quarter	Viertelzentner		¼ hundredweight	11,339 kg
hundredweight, cental	Zentner	cwt.	100 pound	45,359 kg
ton	Tonne	T., to., t.	20 hundredweight	0,907 t

long Avoirdupois

stone	Stein	st.	14 pound	6,35 kg
quarter	Viertelzentner	qu., qr. l.	2 stone	12,7 kg
hundredweight	Zentner	cwt.	4 quarter	50,8 kg
ton	Tonne	T., to., t.	20 hundredweight	1,02 t

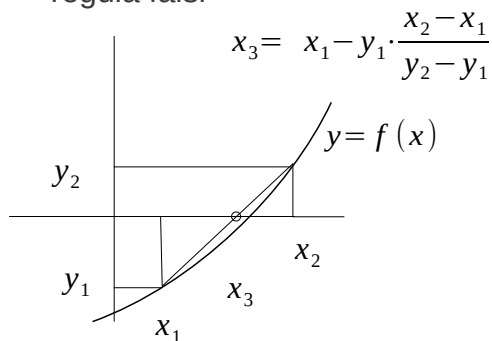
binomische Formeln

$$\begin{aligned} (a+b)^2 &= a^2 + 2 \cdot a \cdot b + b^2 \\ (a-b)^2 &= a^2 - 2 \cdot a \cdot b + b^2 \\ (a+b) \cdot (a-b) &= a^2 - b^2 \\ (a \pm b)^3 &= a^3 \pm 3 \cdot a^2 \cdot b + 3 \cdot a \cdot b^2 \pm b^3 \\ (a \pm b)^4 &= a^4 \pm 4 \cdot a^3 \cdot b + 6 \cdot a^2 \cdot b^2 \pm 4 \cdot a \cdot b^3 + b^4 \end{aligned}$$

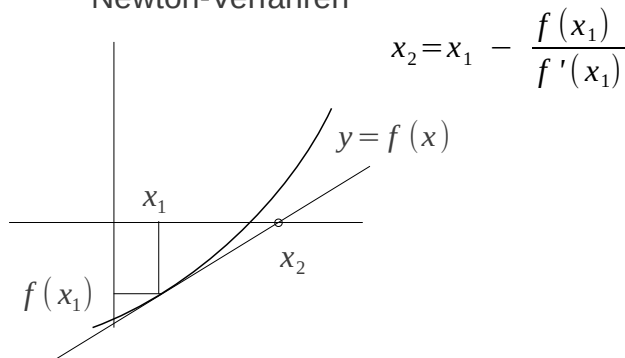
$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0 \quad \rightarrow \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

Näherungsverfahren

regula falsi



Newton-Verfahren



iteratives Radizieren

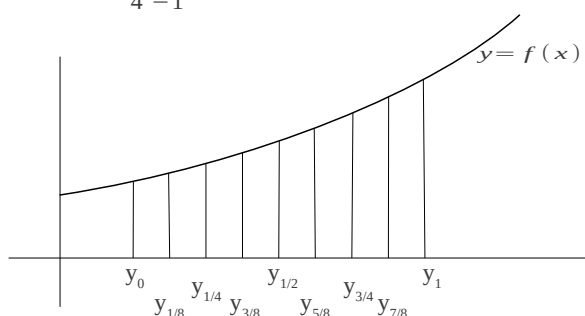
$$\begin{aligned} x^2 - R = 0 & \quad x^3 - R = 0 & \quad x^m - R = 0 \\ x_{n+1} = \frac{1}{2} \cdot \left(x_n + \frac{R}{x_n} \right) & \quad x_{n+1} = \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot x_n + \frac{R}{x_n^2} \right) & \quad x_{n+1} = \frac{1}{m} \cdot \left((m-1) \cdot x_n + \frac{R}{x_n^{m-1}} \right) \end{aligned}$$

Mittelwerte

$$\begin{array}{ccccccc} \text{harmonisches M.} & < & \text{geometr. M} & < & \text{arithmet. M.} & < & \text{quadrat. M} \\ \frac{n}{\sum \frac{1}{a_i}} & & \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n} & & \frac{\sum a_i}{n} & & \sqrt{\frac{\sum a_i^2}{n}} \end{array}$$

iterierte Mittelwertbildung

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{2} \cdot (y_0 + y_1) & \rightarrow & N_1 = \frac{1}{3} \cdot (4 \cdot M_2 - M_1) & \rightarrow & O_1 = \frac{1}{4^2 - 1} \cdot (4^2 \cdot N_2 - N_1) & \rightarrow & P = \frac{1}{4^3 - 1} \cdot (4^3 \cdot O_2 - O_1) \\ M_2 &= \frac{1}{2} \cdot (M_1 + y_{1/2}) & & N_2 = \frac{1}{3} \cdot (4 \cdot M_3 - M_2) & & O_2 = \frac{1}{4^2 - 1} \cdot (4^2 \cdot N_3 - N_2) & & \\ M_3 &= \frac{1}{2} \cdot \left(M_2 + \frac{y_{1/4} + y_{3/4}}{2} \right) & & N_3 = \frac{1}{3} \cdot (4 \cdot M_4 - M_3) & & & & \\ M_4 &= \frac{1}{2} \cdot \left(M_3 + \frac{y_{1/8} + y_{3/8} + y_{5/8} + y_{7/8}}{4} \right) & & & & & & \end{aligned}$$



$$\lg a^n = n \cdot \lg a \quad \lg \sqrt[m]{a} = \frac{1}{m} \cdot \lg a \quad \lg(a \cdot b) = \lg a + \lg b \quad \lg\left(\frac{1}{a}\right) = -\lg a$$

log ₁₀	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,0	.0000	.0043	.0086	.0128	.0170	.0212	.0253	.0294	.0334	.0374
1,1	.0414	.0453	.0492	.0531	.0569	.0607	.0645	.0682	.0719	.0755
1,2	.0792	.0828	.0864	.0899	.0934	.0969	.1004	.1038	.1072	.1106
1,3	.1139	.1173	.1206	.1239	.1271	.1303	.1335	.1367	.1399	.1430
1,4	.1461	.1492	.1523	.1553	.1584	.1614	.1644	.1673	.1703	.1732
1,5	.1761	.1790	.1818	.1847	.1875	.1903	.1931	.1959	.1987	.2014
1,6	.2041	.2068	.2095	.2122	.2148	.2175	.2201	.2227	.2253	.2279
1,7	.2304	.2330	.2355	.2380	.2405	.2430	.2455	.2480	.2504	.2529
1,8	.2553	.2577	.2601	.2625	.2648	.2672	.2695	.2718	.2742	.2765
1,9	.2788	.2810	.2833	.2856	.2878	.2900	.2923	.2945	.2967	.2989
2,0	.3010	.3032	.3054	.3075	.3096	.3118	.3139	.3160	.3181	.3201
2,1	.3222	.3243	.3263	.3284	.3304	.3324	.3345	.3365	.3385	.3404
2,2	.3424	.3444	.3464	.3483	.3502	.3522	.3541	.3560	.3579	.3598
2,3	.3617	.3636	.3655	.3674	.3692	.3711	.3729	.3747	.3766	.3784
2,4	.3802	.3820	.3838	.3856	.3874	.3892	.3909	.3927	.3945	.3962
2,5	.3979	.3997	.4014	.4031	.4048	.4065	.4082	.4099	.4116	.4133
2,6	.4150	.4166	.4183	.4200	.4216	.4232	.4249	.4265	.4281	.4298
2,7	.4314	.4330	.4346	.4362	.4378	.4393	.4409	.4425	.4440	.4456
2,8	.4472	.4487	.4502	.4518	.4533	.4548	.4564	.4579	.4594	.4609
2,9	.4624	.4639	.4654	.4669	.4683	.4698	.4713	.4728	.4742	.4757
3,0	.4771	.4786	.4800	.4814	.4829	.4843	.4857	.4871	.4886	.4900
3,1	.4914	.4928	.4942	.4955	.4969	.4983	.4997	.5011	.5024	.5038
3,2	.5051	.5065	.5079	.5092	.5105	.5119	.5132	.5145	.5159	.5172
3,3	.5185	.5198	.5211	.5224	.5237	.5250	.5263	.5276	.5289	.5302
3,4	.5315	.5328	.5340	.5353	.5366	.5378	.5391	.5403	.5416	.5428
3,5	.5441	.5453	.5465	.5478	.5490	.5502	.5514	.5527	.5539	.5551
3,6	.5563	.5575	.5587	.5599	.5611	.5623	.5635	.5647	.5658	.5670
3,7	.5682	.5694	.5705	.5717	.5729	.5740	.5752	.5763	.5775	.5786
3,8	.5798	.5809	.5821	.5832	.5843	.5855	.5866	.5877	.5888	.5899
3,9	.5911	.5922	.5933	.5944	.5955	.5966	.5977	.5988	.5999	.6010
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	.6021	.6128	.6232	.6335	.6435	.6532	.6628	.6721	.6812	.6902
5	.6990	.7076	.7160	.7243	.7324	.7404	.7482	.7559	.7634	.7709
6	.7782	.7853	.7924	.7993	.8062	.8129	.8195	.8261	.8325	.8388
7	.8451	.8513	.8573	.8633	.8692	.8751	.8808	.8865	.8921	.8976
8	.9031	.9085	.9138	.9191	.9243	.9294	.9345	.9395	.9445	.9494
9	.9542	.9590	.9638	.9685	.9731	.9777	.9823	.9868	.9912	.9956

$$\lg \pi \quad 0.4971 \quad \lg e \quad 0.4343$$

$$\lg(\lg e) \quad 0.6378 - 1$$

$$\lg a = \frac{\lg a}{\lg 2} \quad \ln a = \frac{\lg a}{\lg e}$$

$$a^x = e^{\ln a \cdot x} = 10^{\lg a \cdot x}$$

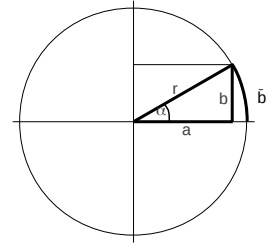
Winkelfunktionen

$$\alpha[\text{rad}] = \frac{\hat{b}}{r}$$

$$\alpha[^\circ] = 360^\circ \cdot \frac{\hat{b}}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

1° = 0',017 453 3
 1' = 0',000 290 9
 1" = 0',000 004 8

1' = 57° 17' 44"
 0,1' = 5° 43' 46"
 0,01' = 0° 34' 22"
 0,01" = 0° 03' 26"



°	rad	sin	cos	tan	cot	1,57080	90°
1°	0,01745	0,01745	0,99985	0,01746	57,28996	1,55334	89°
2°	0,03491	0,03490	0,99939	0,03492	28,63625	1,53589	88°
3°	0,05236	0,05234	0,99863	0,05241	19,08114	1,51844	87°
4°	0,06981	0,06976	0,99756	0,06993	14,30067	1,50098	86°
5°	0,08727	0,08716	0,99619	0,08749	11,43005	1,48353	85°
6°	0,10472	0,10453	0,99452	0,10510	9,51436	1,46608	84°
7°	0,12217	0,12187	0,99255	0,12278	8,14435	1,44862	83°
8°	0,13963	0,13917	0,99027	0,14054	7,11537	1,43117	82°
9°	0,15708	0,15643	0,98769	0,15838	6,31375	1,41372	81°
10°	0,17453	0,17365	0,98481	0,17633	5,67128	1,39626	80°
11°	0,19199	0,19081	0,98163	0,19438	5,14455	1,37881	79°
12°	0,20944	0,20791	0,97815	0,21256	4,70463	1,36136	78°
13°	0,22689	0,22495	0,97437	0,23087	4,33148	1,34390	77°
14°	0,24435	0,24192	0,97030	0,24933	4,01078	1,32645	76°
15°	0,26180	0,25882	0,96593	0,26795	3,73205	1,30900	75°
16°	0,27925	0,27564	0,96126	0,28675	3,48741	1,29154	74°
17°	0,29671	0,29237	0,95630	0,30573	3,27085	1,27409	73°
18°	0,31416	0,30902	0,95106	0,32492	3,07768	1,25664	72°
19°	0,33161	0,32557	0,94552	0,34433	2,90421	1,23918	71°
20°	0,34907	0,34202	0,93969	0,36397	2,74748	1,22173	70°
21°	0,36652	0,35837	0,93358	0,38386	2,60509	1,20428	69°
22°	0,38397	0,37461	0,92718	0,40403	2,47509	1,18682	68°
23°	0,40143	0,39073	0,92050	0,42447	2,35585	1,16937	67°
24°	0,41888	0,40674	0,91355	0,44523	2,24604	1,15192	66°
25°	0,43633	0,42262	0,90631	0,46631	2,14451	1,13446	65°
26°	0,45379	0,43837	0,89879	0,48773	2,05030	1,11701	64°
27°	0,47124	0,45399	0,89101	0,50953	1,96261	1,09956	63°
28°	0,48869	0,46947	0,88295	0,53171	1,88073	1,08210	62°
29°	0,50615	0,48481	0,87462	0,55431	1,80405	1,06465	61°
30°	0,52360	0,50000	0,86603	0,57735	1,73205	1,04720	60°
31°	0,54105	0,51504	0,85717	0,60086	1,66428	1,02974	59°
32°	0,55851	0,52992	0,84805	0,62487	1,60033	1,01229	58°
33°	0,57596	0,54464	0,83867	0,64941	1,53986	0,99484	57°
34°	0,59341	0,55919	0,82904	0,67451	1,48256	0,97738	56°
35°	0,61087	0,57358	0,81915	0,70021	1,42815	0,95993	55°
36°	0,62832	0,58779	0,80902	0,72654	1,37638	0,94248	54°
37°	0,64577	0,60182	0,79864	0,75355	1,32704	0,92502	53°
38°	0,66323	0,61566	0,78801	0,78129	1,27994	0,90757	52°
39°	0,68068	0,62932	0,77715	0,80978	1,23490	0,89012	51°
40°	0,69813	0,64279	0,76604	0,83910	1,19175	0,87266	50°
41°	0,71558	0,65606	0,75471	0,86929	1,15037	0,85521	49°
42°	0,73304	0,66913	0,74314	0,90040	1,11061	0,83776	48°
43°	0,75049	0,68200	0,73135	0,93252	1,07237	0,82030	47°
44°	0,76794	0,69466	0,71934	0,96569	1,03553	0,80285	46°
45°	0,78540	0,70711	0,70711	1,00000	1,00000	0,78540	45°
		cos	sin	cot	tan	rad	°

$$\sin \alpha = \frac{b}{r}$$

$$\cos \alpha = \frac{a}{r}$$

$$\tan \alpha = \frac{b}{a}$$

$$\cot \alpha = \frac{a}{b}$$

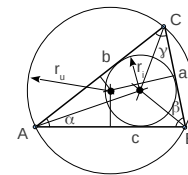
$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1$$

$f \leq 1 \%$
 $\sin x \approx x ; |x| \leq 0',077$
 $\cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2} ; |x| \leq 0',386$
 $\tan x \approx x ; |x| \leq 0',054$

allgemeines Dreieck:



$$U = a + b + c \quad s = \frac{U}{2}$$

$$A = \frac{a \cdot b}{2} \cdot \sin \gamma = \frac{a \cdot b \cdot c}{4 \cdot r_U} = r_i \cdot s$$

$$r_U = \frac{a}{2 \sin \alpha} = \frac{b}{2 \sin \beta} = \frac{c}{2 \sin \gamma}$$

$$r_i = \sqrt{\frac{(s-a) \cdot (s-b) \cdot (s-c)}{s}}$$

$S(x_s | y_s)$:

$$x_s = 1/3 \cdot (x_1 + x_2 + x_3)$$

$$y_s = 1/3 \cdot (y_1 + y_2 + y_3)$$

$$A = 1/2 \cdot \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$= 0,5 \cdot (x_1 y_2 + y_1 x_3 + x_2 y_3 - y_2 x_3 - y_1 x_2 - x_1 y_3)$$

Volumina

Pyramide

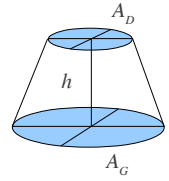
$$V = \frac{1}{3} \cdot h \cdot A_G$$

Pyramidenstumpf

$$V = \frac{1}{3} \cdot h \cdot (A_G + \sqrt{A_G \cdot A_D} + A_D)$$

Kegelstumpf

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot h \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2)$$



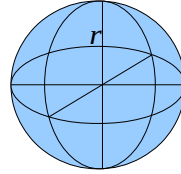
Rotationskörper (einer Kurve um die x-Achse)

$$V = \pi \cdot \int_{x_0}^{x_1} y^2 dx \quad M_x = 2\pi \cdot \int_{x_0}^{x_1} y \cdot \sqrt{1+y'^2} dx$$

Kugel

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

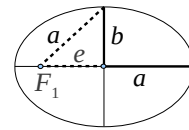
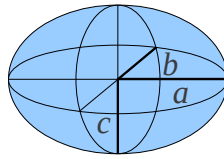
$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$



Ellipse

Ellipsoid

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot a \cdot b \cdot c$$



$$A = \pi \cdot a \cdot b$$

$$e = \sqrt{a^2 - b^2}$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

$$A \approx 4\pi \left(\frac{(ab)^{1.6} + (ac)^{1.6} + (bc)^{1.6}}{3} \right)^{0.625}$$

$$U \approx \frac{3}{2} \pi \cdot (a+b) - \pi \sqrt{a \cdot b}$$

$$U = 2\pi a \left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^2}{1} - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^4}{3} - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^6}{5} - \dots \right]$$

Kugelabschnitt

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h^2 \cdot (3 \cdot r - h) = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot h \cdot (3 \cdot s^2 + h^2)$$

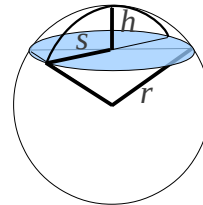
Fläche der Kalotte

$$A = \pi \cdot (s^2 + h^2) = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

Kugelausschnitt

$$V = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$A = 2 \pi \cdot r \cdot (s + h)$$



$$s = \sqrt{h \cdot (2 \cdot r - h)}$$

$$r = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{2 \cdot h}$$

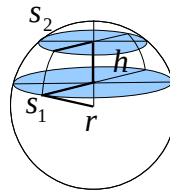
$$h = r - \sqrt{r^2 - s^2}$$

Kugelschicht

$$V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot h \cdot (3 \cdot s_1^2 + h^2 + 3 \cdot s_2^2)$$

Fläche der Kugelzone

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$



Hohlkugel

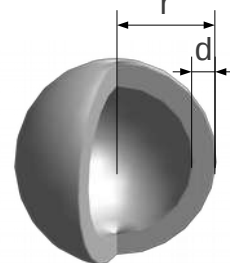
$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (r^3 - (r-d)^3)$$

$$= 4 \cdot \pi \cdot d \cdot \left(r^2 - r \cdot d + \frac{d^2}{3} \right)$$

$$2 \cdot r = d + \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot d} - \frac{d^2}{3}} \approx d + \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot d}} \quad |d \ll r|$$

Kreisring-Fläche:

$$A = \pi \cdot d \cdot (2r - d)$$

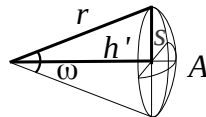


Raumwinkel

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

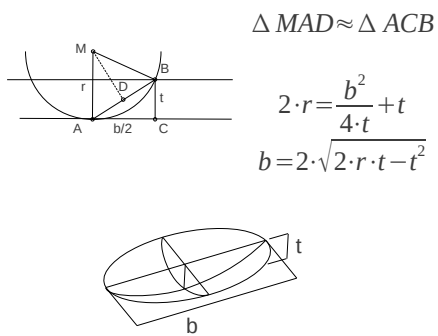
$$= 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\omega}{2} \right)$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \frac{h'}{\sqrt{s^2 + h'^2}} \right)$$



ω	15°	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
Ω	0,054	0,214	0,478	0,842	1,840	3,142	4,657	6,283

Berechnung fürs Glasschleifen mit Steinen **



2r = [mm]

b/t [mm]	1	2	3	4	5
10	26	15	11	10	10
15	57	30	22	18	16
20	101	52	36	29	25
25	157	80	55	43	36
30	226	115	78	60	50
35	307	155	105	81	66
40	401	202	136	104	85

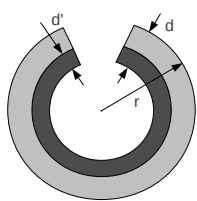
Abschätzung von Volumina fürs Glasblasen **

theoretische Gesamtmasse

für $\frac{d_i}{d_0} = \sqrt{\frac{r_i}{r_0}}$

→

$$\frac{V_i}{V_0} = \left(\frac{r_i}{r_0} \right)^{2,5}$$



d [cm]	10	20	30	40
Masse [Kg]	0,2	1,1	3,1	6,4
Ø bevor der letzte Überfang aufgeblasen (d= 1,5 – 2 cm)	5,5	11,2	17,8	22,2

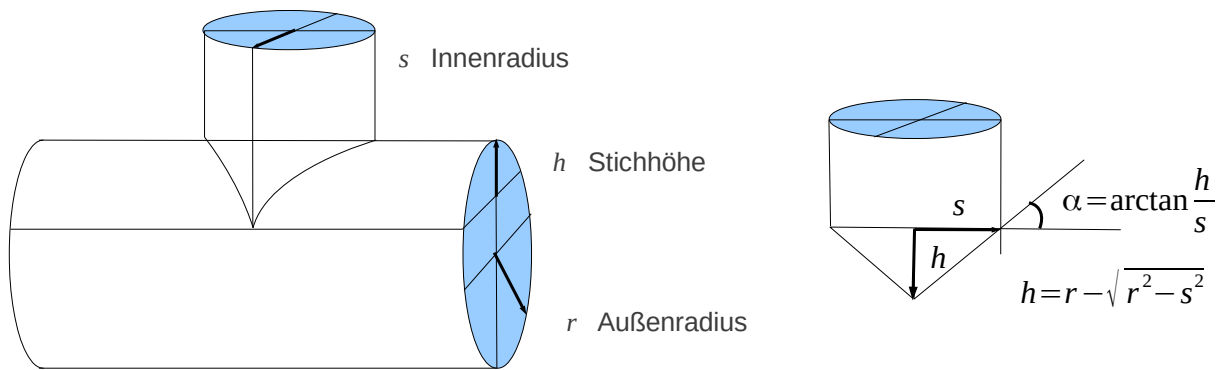
theoretische Menge für Überfang **

für $d' = \text{constant} \ll r$

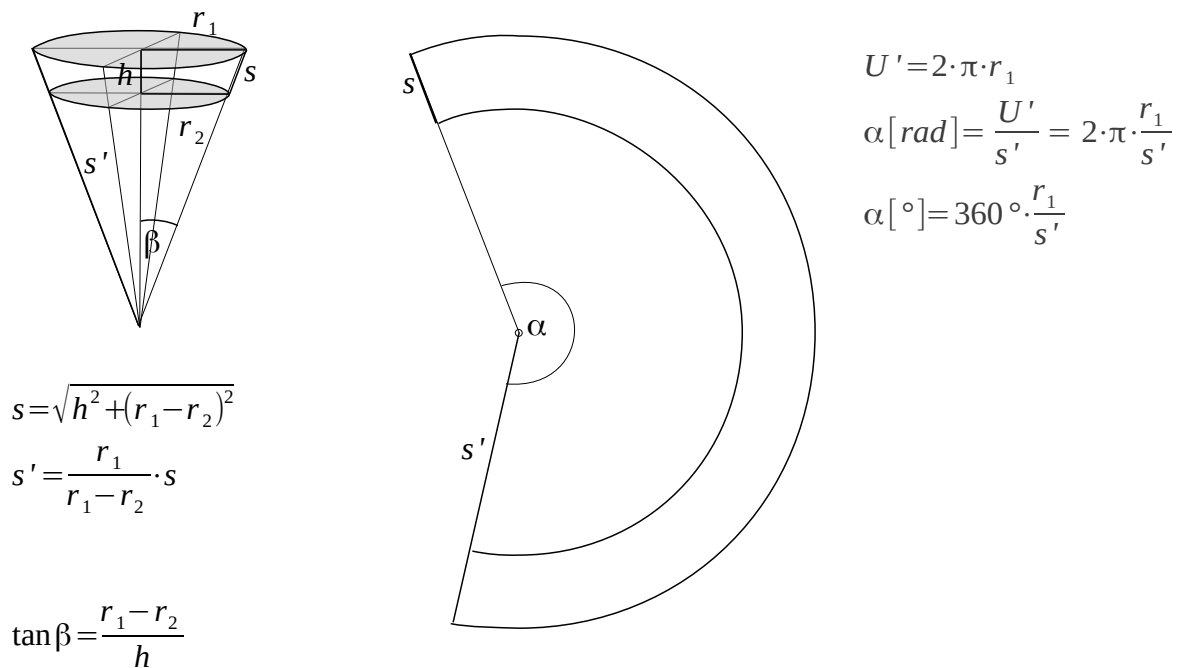
$$\lim_{\frac{d'}{r} \rightarrow 0} \frac{V_i}{V_0} = \left(\frac{r_i}{r_0} \right)^2$$

V_{Farbglas} [cm³] für d'= 0,1 mm	3,15	12,5	28,3	50,2
entspricht Abschnitt vom Zapfen (3 cm D) [cm]	0,44	1,8	4,0	7,1

Zylinderschnitte **

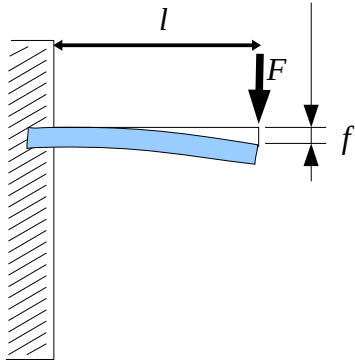


Kegelmantel **



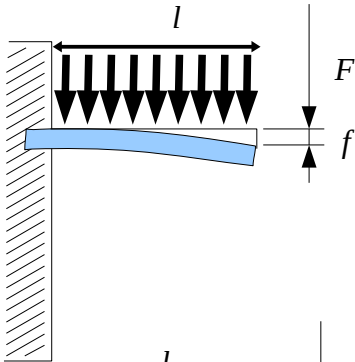
für $\beta = 45^\circ$: $r_1 - r_2 = h$ $s = \sqrt{2} \cdot h$ $s' = \sqrt{2} \cdot r_1$ $\alpha = 254^\circ 33' 30,4'' = 270^\circ - 15^\circ 26' 29,6''$

Statik



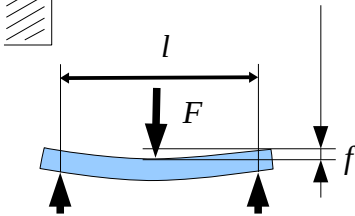
$$\sigma_B = \frac{F \cdot l}{W}$$

$$f = \frac{l^3 \cdot F}{3 \cdot E \cdot J}$$



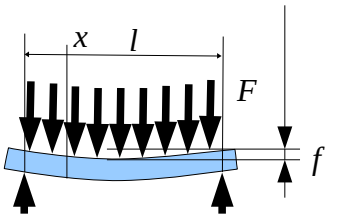
$$\sigma_B = \frac{F \cdot l}{2W}$$

$$f = \frac{l^3 \cdot F}{8 \cdot E \cdot J}$$



$$\sigma_B = \frac{F \cdot l}{4W}$$

$$f = \frac{l^3 \cdot F}{48 \cdot E \cdot J}$$

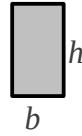


$$\sigma_B = \frac{F \cdot l}{8W}$$

$$f = \frac{5l^3 \cdot F}{384 \cdot E \cdot J}$$

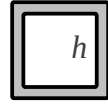
Trägheitsmoment

Widerstandsmoment



$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$



$$J = \frac{1}{12} \cdot (H^4 - h^4) \quad W = \frac{H^3}{6} \cdot \left[1 - \left(\frac{h}{H} \right)^4 \right]$$



$$J = \frac{\pi}{4} \cdot r^4$$

$$\approx \frac{d^4}{20}$$

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot r^3$$

$$\approx \frac{d^3}{10}$$



$$J = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot b^3$$

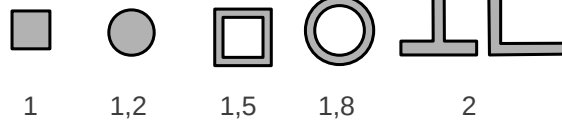
$$W = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot b^2$$



$$J = \frac{\pi}{4} \cdot R^4 \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^4 \right] \quad W = \frac{\pi}{4} \cdot R^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^4 \right]$$

$$f(\lambda) = \frac{F \cdot l^3}{24 E \cdot J} \cdot (\lambda - 2\lambda^2 + \lambda^4) \quad \lambda = \frac{x}{l}$$

(grobe) Maße für gleiche Widerstandsmomente bei verschiedene Querschnitte:



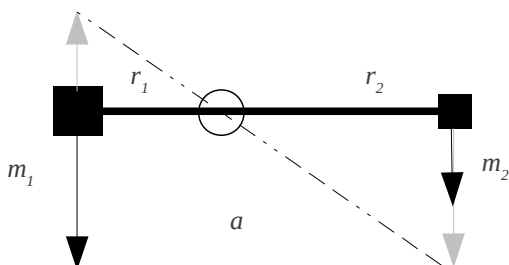
Maße für gleiche Belastung bei verschiedene Materialien:

$$a_2 = a_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}}$$

$$a_{Glas} \sim 2,5 \cdot a_{Stahl}$$

	Elastizitätsmodul E kN/mm ²	Biegefestigkeit σ_b N/mm ²	Zugfestigkeit σ_z N/mm ²
Baustahl	210	160	360
Bronze	100		240
Holz	5-15	65-125	50-150
Glas	40-90	8 - 40	

1 Pa = 1 N/m² = 10⁻⁵ bar
 1 N/mm² = 1 MPa = 10 bar
 1 kN/mm² = 1 GPa
 1 psi = 6896,6 Pa



Schwerpunkt zwischen zwei Massen

$$m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2$$

$$r_1 = r_2 \cdot \frac{m_2}{m_1}$$

$$a = r_1 + r_2$$

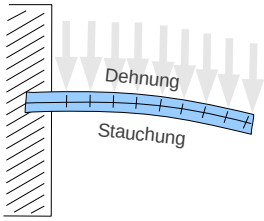
$$r_1 = \frac{a}{1 + \frac{m_1}{m_2}}$$

$$x_S = \frac{\sum x_i \cdot m_i}{\sum m_i}$$

$$y_S = \frac{\sum y_i \cdot m_i}{\sum m_i}$$

Viskositätsmessung von Gläser in der Nähe des Transformationspunktes **

mit einem gezogenen Glasfaden, verformt durch das Eigengewicht bei entsprechender Temperatur in beobachteter Zeit



Elastizität: reversible Dehnung unter Zugspannung

Viskosität: irreversible Bewegung des Materials unter Scherspannung

Zusammenhang zwischen Elastizitäts- und Schermodul:

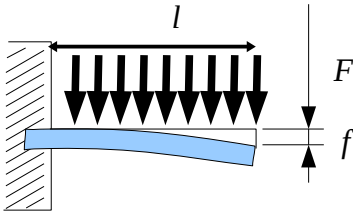
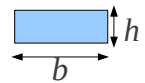
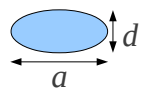
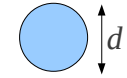
$$E = G \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

für $\Delta V = 0$; $\rightarrow \nu = 0,5$

$$\frac{f}{t} = \frac{l^3 \cdot F}{24 \cdot \eta \cdot J} \quad F = \rho \cdot g \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot l \quad J_o = \frac{\pi}{64} \cdot d^4$$

$$\eta = \frac{2 \cdot g \cdot \rho \cdot l^4 \cdot t}{3 \cdot d^2 \cdot f}$$

$$\left. \begin{array}{l} d, f, l [m] \\ t [s] \\ g = 9,81 \text{ m s}^{-2} \\ \rho_{\text{Glas}} = 2500 \text{ kg m}^{-3} \end{array} \right\}$$



(auch für elliptischen Querschnitte)

$$\lg \eta = 4.214 + 4 \cdot \lg(l) + \lg(t) - 2 \cdot \lg(d) - \lg(f)$$

für rechteckige Querschnitte:

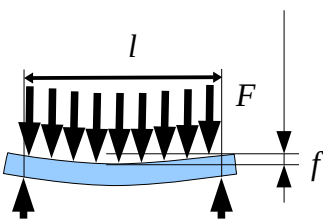
$$\lg \eta = 4.089 + 4 \cdot \lg(l) + \lg(t) - 2 \cdot \lg(h) - \lg(f)$$

bzw. beidseitig aufgehängt: $\eta = \frac{5}{72} \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{l^4 \cdot t}{d^2 \cdot f}$

$$\lg \eta = 3.23 + 4 \cdot \lg(l) + \lg(t) - 2 \cdot \lg(d) - \lg(f)$$

für rechteckige Querschnitte:

$$\lg \eta = 3.106 + 4 \cdot \lg(l) + \lg(t) - 2 \cdot \lg(h) - \lg(f)$$



strukturelle Relaxation

die Proben sollten vor der Messung bei der entsprechenden Temperatur ausgelagert werden mit

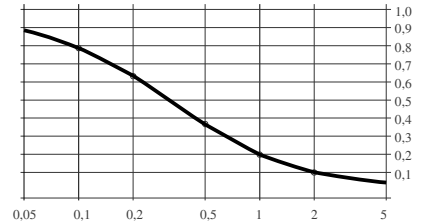
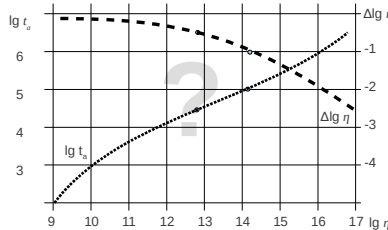
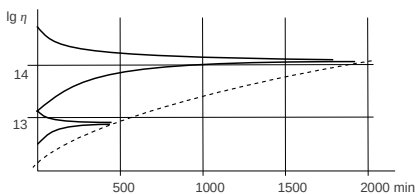
$$\lg t_a \approx \frac{\lg \eta}{2} - 2,05 \quad |s$$

oder man kann zu den Messungen von frisch gezogenen Proben ein Korrekturwert dazuzählen:

$$k = f(\eta) \cdot g\left(\frac{t_{\text{exp}}}{t_a}\right)$$

t	lg(t) [s]
1 min	1.7782
16' 40"	3.0
1 h	3.5563
2h 46' 40"	4.0
1d	4.9365
1w	5.7816
1m	6.4136
1y	7.4991

SCHOLZE: Zeitabhängigkeit der Viskosität unterhalb der Transformationstemperatur



zwei Messungen mit unterschiedlichen Dicken, Temperaturen und Zeiten erlauben die Viskositätskurve linear zu interpolieren:

$$T_0 = T_1 + (T_1 - T_2) \cdot \frac{\lg \eta_0 - \lg \eta_1}{\lg \eta_1 - \lg \eta_2}$$

Wärmedehnung:

Krümmung bei zwei unterschiedlichen Gläser:

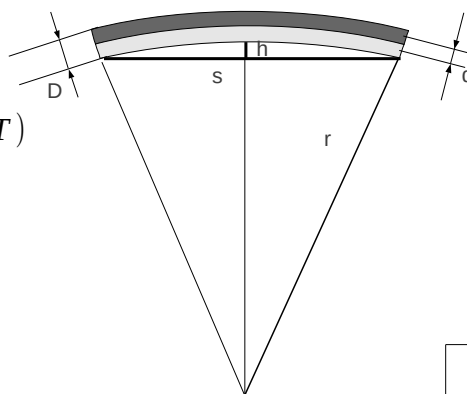
linear: $l' = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

kubisch: $V' = V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T)$

thermische Spannung durch Temp. unterschiede

$$\sigma_{Z;th} = \frac{E \cdot \alpha}{2(1-\nu)} \cdot \Delta T$$

$$\nu_{20^\circ} \approx 0,25 - 0,30$$



$$r = \frac{d(1 + \alpha_1 \Delta T)}{\Delta T(\alpha_2 - \alpha_1)} \approx \frac{d}{\Delta T \Delta \alpha}$$

$$\Delta \alpha = \frac{D(1 + \alpha_1 \Delta T)}{\Delta T \left(\frac{s^2}{4h} + h + \frac{D}{2} \right)}$$

für $\Delta \alpha = 4 \cdot 10^{-7}$ und $h = 4 \text{ mm}$

D	0,5	1	2	3	5
s	200	283	400	491	634

stationärer Wärmedurchgang

Wärmeübergang $\Phi = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$

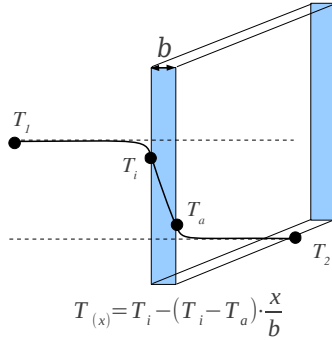
- Φ Wärmestrom [W]
- k Wärmedurchgangskoeffizient
- A Fläche [m²]
- b_j Wand-/ Schichtstärke [m]
- λ Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
- α Wärmeübergangszahl [W/m²K]

$$\bar{A} \approx \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2}{2}}$$

Ebene

$$\Phi = k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \sum \frac{b_j}{\lambda_j}}$$



Windgeschwindigkeit [m/s]	α [W/m ² K]
0	8,12
1	12,22
2	16,32
4	24,52
10	49,12

Zylinder

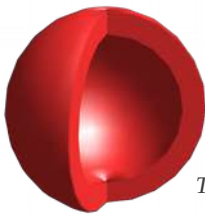


$$T_{(x)} = T_i - (T_i - T_a) \cdot \frac{\ln \frac{x}{r_i}}{\ln \frac{r_a}{r_i}}$$

$$\Phi = \frac{2 \pi \cdot l \cdot \Delta T}{\frac{1}{r_i \cdot \alpha_i} + \frac{1}{r_a \cdot \alpha_a} + \sum \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{r_{aj}}{r_{ij}}}$$

	Leitfähigkeit	Dichte	Wärme- kapazität	Wärme- leitwert
	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg K]	γ x10 ⁶ [s K/m ²]
Luft	0,025	1,29	1000	0,05
Baustahl	48	7850	470	0,08
Edelstahl	15	7800	480	0,25
Beton	2,1	2400	1000	1,14
Keramikfaser	0,1	130	1130	1,47
FL-Steine	0,5	800	1000	1,60
Glas	1,2	2500	800	1,67
Schamottesteine	1,2	2200	1000	1,83
Ca-Si Platten	0,1	240	880	2,11
Mineralfaser	0,05	150	1300	3,90
Gipsputz	0,35	1400	1100	4,40

Kugel



$$T_{(x)} = T_i - (T_i - T_a) \cdot \frac{r_i^{-1} - x^{-1}}{r_i^{-1} - r_a^{-1}}$$

$$\Phi = \frac{4 \cdot \pi \cdot \Delta T}{\frac{1}{r_i^2 \cdot \alpha_i} + \frac{1}{r_a^2 \cdot \alpha_a} + \sum \frac{1}{\lambda_j} \cdot \left(\frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{r_{aj}} \right)}$$

	J	kWh	cal	Btu
1 J	1	2,778E-07	2,389E-01	9,479E-04
1 kWh	3,600E+06	1	8,599E+05	3,412E+03
1 cal	4,187E+00	1,163E-06	1	3,968E-03
1 Btu	1,055E+03	2,931E-04	2,520E+02	1

$$x \text{ } ^\circ\text{C} = (273,15 + x) \text{ } ^\circ\text{K} = \left(\frac{9}{5} \cdot x + 32 \right) \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$y \text{ } ^\circ\text{F} = \frac{5}{9} \cdot (y - 32) \text{ } ^\circ\text{C}$$

instationärer Wärmedurchgang in einer Scheibe

die allgemeine Wärmeleitungsgleichung nach FOURIER:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

gekennzeichnet mit: der Biotzahl und der Fourierzahl

$$Bi = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

$$Fo = \frac{\lambda}{\rho \cdot c \cdot d^2} \cdot t = \frac{t}{\tau}$$

	ln
1,5	0,4
2	0,7
3	1,1
5	1,6
10	2,3
20	3,0
50	3,9
100	4,6
200	5,3
500	6,2
1000	6,9

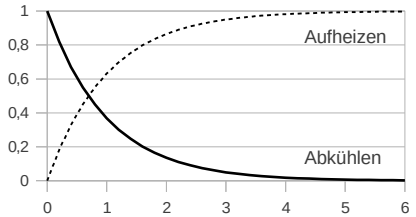
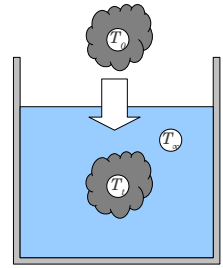
als Annäherung für kleine Biotzahlen, also große Lambdawerte und kleine Wandstärken, gilt allgemein:

$$\rho c V \frac{\partial T}{\partial t} = -\alpha A (T_i - T_\infty)$$

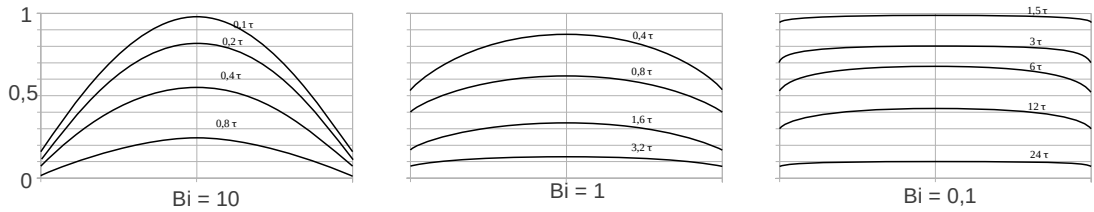
$$T_{(t)} - T_\infty = (T_0 - T_\infty) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{mit } \tau = \frac{\rho c}{\alpha} \cdot \frac{V}{A}$$

mit der Umkehrfunktion: $t = \tau \cdot \ln \left(\frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)$

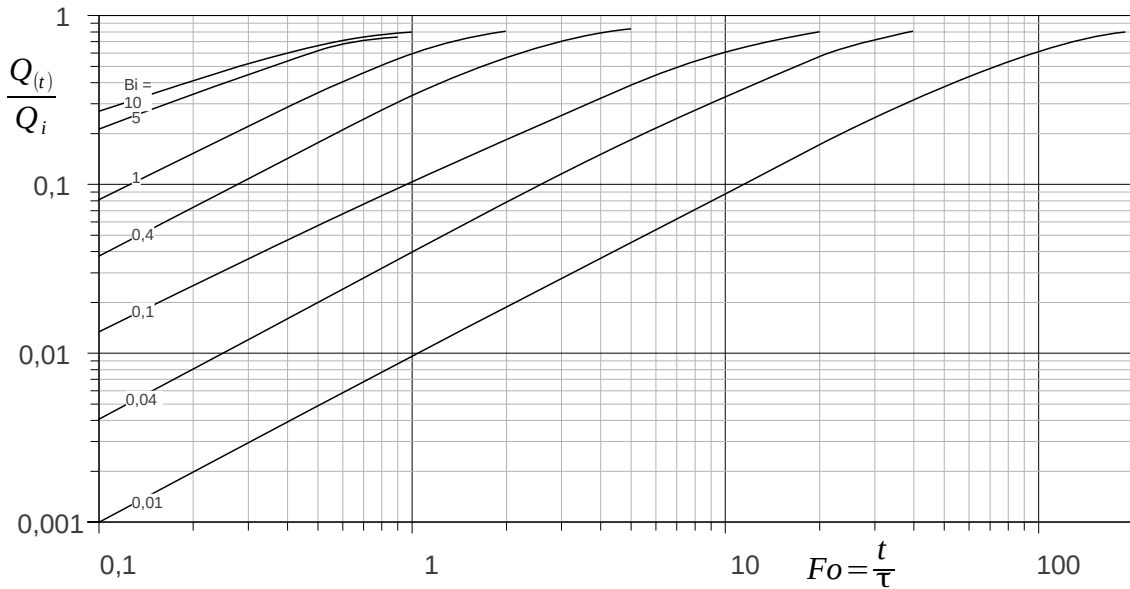
mit $\tau = -(T_i - T_\infty) \cdot t_i'$ und $t_i' = \frac{\Delta t}{\Delta T}$



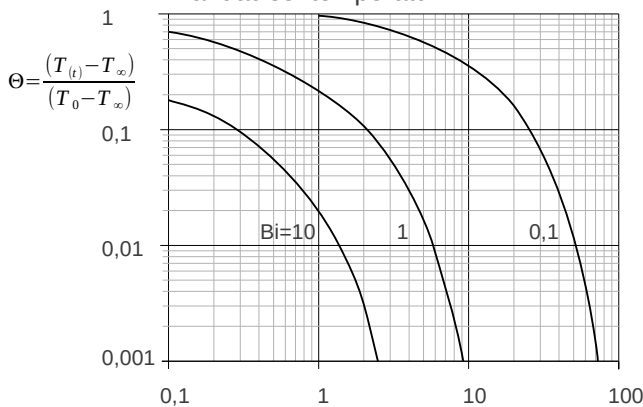
Temperaturverlauf in einer Wand bei verschiedenen Biotzahlen



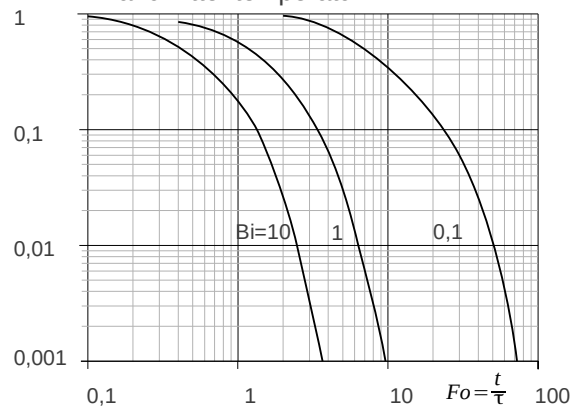
Wärmeaustausch



Wandaußentemperatur



Wandmittentemperatur



Wärmestrahlung

Strahlungsaustausch zwischen e. Körper 1 und e. Körper 2, der den ersten vollständig umschließt

$$\Phi = \varepsilon_{1/2} \cdot A \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{c_s}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

ε Emissionskoeffizient
 c_s Strahlungskonstante
 $= 5,6704 \text{ W/m}^2\text{K}^4$
 T absolute Temperatur
 $T [\text{K}] = T [^\circ\text{C}] + 273,15$

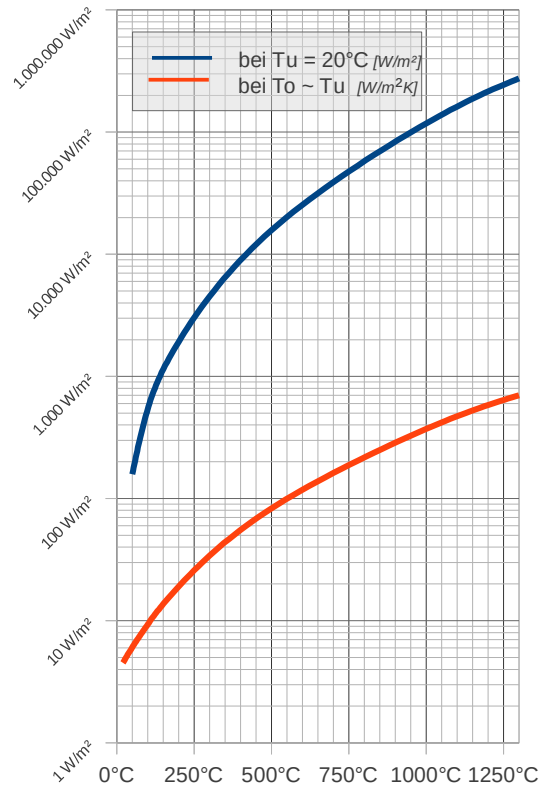
Richtwerte für ε

Aluminium	glänzend	500°	0,06
	oxidiert	600°	0,18
Kupfer	glänzend	100°	0,02
	oxidiert	1000°	0,6
Eisen	glänzend	100°	0,3
	oxidiert	1200°	0,85
Stahl	glänzend	100°	0,1
	oxidiert	600°	0,8
FF Stein		1000°	0,8
Zirkonoxid		1400°	0,4
Russ			0,97

für $T_u = 20^\circ\text{C}$; $\varepsilon = 0,8$
 $\phi \approx 4,5 \cdot \left(\frac{T+273}{100} \right)^4 - 333 \text{ [W/m}^2\text{]}$

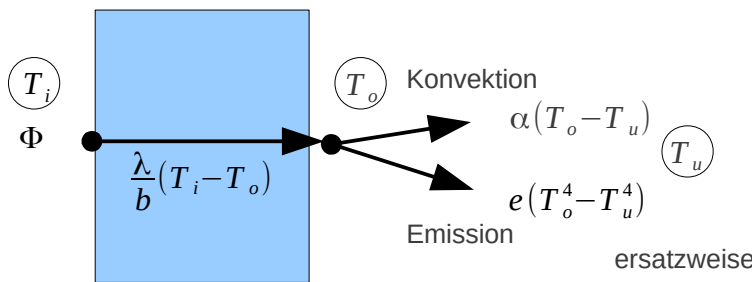
für $T = 1250^\circ\text{C}$
 $\phi \approx 25 \text{ W/cm}^2$

Wärmeaustausch durch Strahlung



Oberflächentemperatur e. Ofenwand **

Wärmedurchgang incl. Strahlung



$$\frac{\Phi}{A} = \frac{\lambda}{b} (T_i - T_o) = \alpha (T_o - T_u) + e (T_o^4 - T_u^4)$$

für T_o gilt: $f(t) = 0$ mit
 $f(t) = et^4 + (\alpha + \frac{\lambda}{b})t - (eT_u^4 + \alpha T_u + \frac{\lambda}{b}T_i)$
 $f'(t) = 4et^3 + (\alpha + \frac{\lambda}{b})$

iterative Nullstellensuche nach Newton:
 $t_{n+1} = t_n - \frac{f(t_n)}{f'(t_n)}$

$$\frac{\Phi}{A} \approx \frac{(T_i - T_u)}{\frac{1}{\alpha_i + 4eT_i^3} + \sum \frac{b}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a + 4eT_u^3}}$$

Energieabgabe eines Heizleiters **

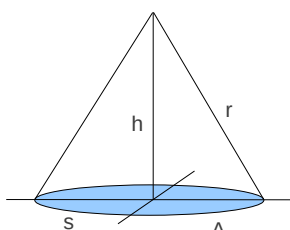
freistehend (eingebaut)

$$\frac{\Phi}{A} = 4[2] \cdot 10^{-8} \cdot T_H^4 + 8,2[4,1] \cdot T_H - (4[2] \cdot 10^{-8} \cdot T_U^4 + 8,2[4,1] \cdot T_U) \quad \left[\frac{1 \text{ W}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right]$$

oder ungefähr:

$$T_H [^\circ\text{C}] \leq 1000 \cdot \sqrt[4]{\frac{p}{c} + \left(\frac{T_U + 273}{1000} \right)^4} - 273 \quad \left| p \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right], c \approx 4 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right] \right|$$

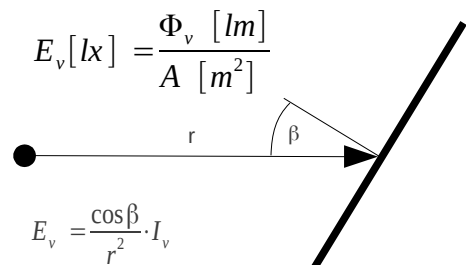
Lichtstärke



$$I_v [cd] = \frac{\Phi_v [lm]}{\Omega [sr]}$$

$$\frac{I_v}{E_v} = \frac{A}{\Omega} = \frac{s^2 \cdot \sqrt{s^2 + 4 \cdot h^2}}{8 \cdot (\sqrt{s^2 + 4 \cdot h^2} - s \cdot h)}$$

Beleuchtungsstärke



$$E_v [lx] = \frac{\Phi_v [lm]}{A [m^2]}$$

$$E_v = \frac{\cos \beta}{r^2} \cdot I_v$$

elektrische Heizdrähte **

bei gegebenem Drahtdurchmesser d [mm]

elektr. Widerstand je m:
$$\frac{R}{l} = \frac{4 \cdot c_T \cdot \alpha}{\pi \cdot d^2} \quad \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

Oberfläche je m:
$$\frac{A}{l} = \pi \cdot d \cdot 10 \quad \left[\frac{cm^2}{m} \right]$$

Masse je m:
$$\frac{m}{l} = \frac{\rho \cdot \pi}{4} \cdot d^2 \quad \left[\frac{g}{m} \right]$$

Oberfläche zu Widerstand:
$$a = \frac{A}{R} = \frac{\pi^2 \cdot d^3 \cdot 2,5}{c_T \cdot \alpha} \quad \left[\frac{cm^2}{\Omega} \right]$$

Oberflächenlast:
$$p = \frac{P}{A} = \frac{I^2}{a} \quad [W/cm^2]$$

$$I = \sqrt{p \cdot a}$$

abfallendes Spannungsgefälle je m:

$$\frac{U}{l} = \frac{R \cdot I}{l}$$

NiCroTal 60

max. 1125 °C
 Cr 15%, Fe 25%, Ni 60%
 ρ 8,2 g/cm³
 α 1,11 Ω mm²/m
 c_T 1 + 1,9 x 10⁻⁴ 1/K x T

Kanthal AF

max. 1300 °C
 Cr 22%, Al 5,3%, Fe: Rest
 ρ 7,15 g/cm³
 α 1,39 Ω mm²/m
 c_T 1 + 6 x 10⁻⁵ 1/K x T

Kanthal A1

max. 1400 °C
 Cr 22%, Al 5,8%, Fe: Rest
 ρ 7,10 g/cm³
 α 1,45 Ω mm²/m
 c_T 1 + 4 x 10⁻⁵ 1/K x T

$$P = U \cdot I \quad I = \frac{P}{U} \quad U = \frac{P}{I}$$

$$R = \frac{U}{I} \quad I = \frac{U}{R} \quad U = R \cdot I$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad R = \frac{U^2}{P} \quad P = I^2 \cdot R \quad R = \frac{P}{I^2}$$

für Kanthal A1

d	l	R/l	a
[mm]	m/kg	[Ω /m]	[cm ² / Ω]
1,8	55,35	0,57	99,24
1,5	79,70	0,82	57,43
1,2	124,53	1,28	29,40
1,1	148,21	1,53	22,65
1	179,33	1,85	17,02
0,9	221,39	2,28	12,41
0,8	280,20	2,88	8,71
0,7	365,98	3,77	5,84

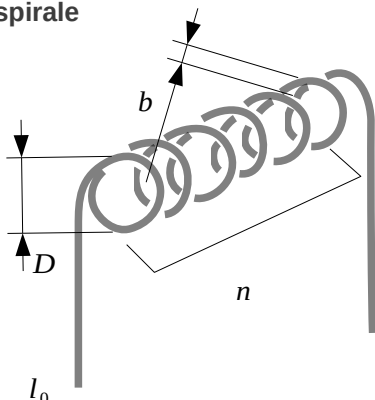
l für p=1W/cm ²	P an 230 V	l	m
[A]	[W]	[m]	[g]
9,96	2291	40,52	737
7,58	1743	36,99	467
5,42	1247	33,08	268
4,76	1095	31,67	215
4,13	949	30,20	170
3,52	810	28,65	130
2,95	679	27,01	97
2,42	556	25,27	70

für Kanthal AF

d	l	R/l	a
[mm]	m/kg	[Ω /m]	[cm ² / Ω]
1,8	54,96	0,55	103,52
1,5	79,14	0,79	59,91
1,2	123,66	1,23	30,67
1,1	147,17	1,46	23,63
1	178,08	1,77	17,75
0,9	219,85	2,18	12,94
0,8	278,24	2,77	9,09
0,7	363,42	3,61	6,09

l für p=1W/cm ²	P an 230 V	l	m
[A]	[W]	[m]	[g]
10,17	2340	41,38	753
7,74	1780	37,78	477
5,54	1274	33,79	273
4,86	1118	32,35	220
4,21	969	30,85	173
3,60	827	29,26	133
3,01	693	27,59	99
2,47	568	25,81	71

Heizspirale



$$l = n \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + b^2}$$

$$n = \frac{l - 2 \cdot l_0}{\sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + b^2}}$$

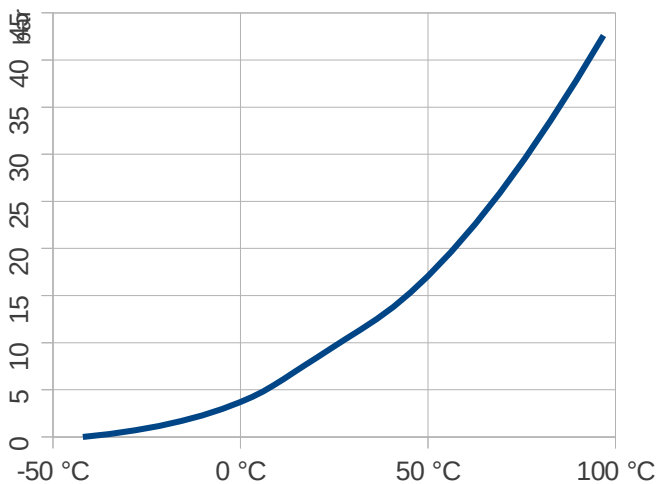
für Wicklung über eine Gewindestange M12 [M10, M20] ergibt:

1 Windung = 37,4 mm [31,5, 62,9];
 1 lfm entspricht 26,5 W. [31,8, 15,9],
 was wieder 46,4 mm [47,7, 39,8]
 Gewindelänge entspricht

Propan

$d_{15^{\circ}\text{C}}$	0,51 kg/l (flüssig)	Dampfdruck	20°C	8,37 bar
$d_{0^{\circ}\text{C}}$	2,01 kg/m ³ (Gas)		0°C	3,703 bar
spez. Volumen	0,508 m ³ /kg 0°C		-10°C	2,424 bar
	0,535 m ³ /kg 15°C	Siedepunkt	-42°C	1013 mbar
unt. Heizwert	12,87 kWh/kg	Verdampfungswärme	0°C	378,5 kJ/kg
	46,35 MJ/kg	Zündtemperatur mit Luft		470°C
theor. Luftbedarf	24,36 m ³ /m ³	Zündgrenzen mit Luft		2,1% - 9,5% Vol
	12,1 m ³ /kg	max. Zündgeschwindigkeit		0,472 m/s
	15,61 kg/kg			
Verbrennungsgasmenge	26,84 m ³ /m ³			

Dampfdruckkurve

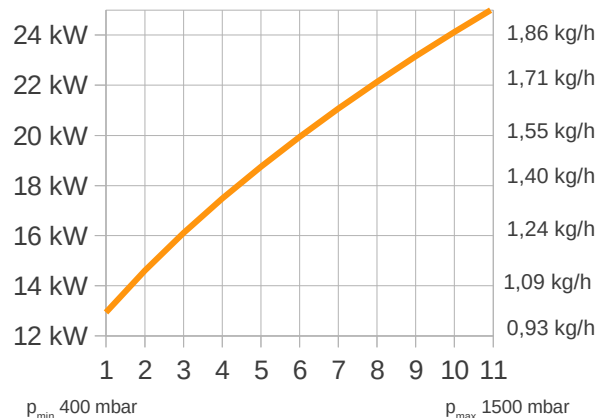


Brennerleistung (nach PHAROS):

$$P \text{ [KW]} = 0,71706 \cdot d^2 [\text{mm}] \cdot \sqrt{p [\text{mbar}]}$$

$$P \text{ [KW]} = 0,6471 \cdot \sqrt{p [\text{mbar}]} \quad |d = 0,95 \text{ mm}|$$

Entnahmeleistung aus Flaschen			
kg/h	5 kg Leergewicht 6,6 kg	11 kg Leergewicht 13,1 kg	33 kg Leergewicht 35,5 kg
bei ununterbrochener Entnahme	0,2	0,3	0,6
bei 50% Unterbrechung	0,5	0,8	1,8
bei stoßweiser Entnahme (max. 20 min)	1,5	2,0	3,0



Richtwerte für Brennkammer und Kamin ** :

$$\text{Brennkammergröße} \quad A_{Bk} \approx P / 3,5 \text{ [dm}^2/\text{kW]}$$

$$V_{Bk} \approx P / 0,85 \text{ [dm}^3/\text{kW]}$$

$$\text{allg. } V_{Abgas} \sim 0,3 \text{ l/kJ (kalt)} \Rightarrow 1,5 \text{ l/kJ (heiß)}$$

Kamindurchmesser

ca 1/4 – 1/5 Brennkammerdurchmesser

Kaminhöhe

3x fallender + 1/3 x liegender Zug

Gasverbrennung ** Propan

Massenströme

(mol)	C_3H_8	+ 5 O_2 (+ Restluft)	=> 3 CO_2 +4 H_2O (+Restluft)
stöchiometrisch	C_3H_8	+ 23,866 mol Luft	=> 18,637 N_2 +0,222 Ar +3 CO_2 +4 H_2O
H_u	2,044 MJ/mol	44g + 691g	=> 735g
H_u	46,35 KJ/g	1g + 15,7g	=> 16,7g
bei 5% Luftüberschuss	1g	+ 16,5g	=> 17,5g

Wärmekapazitäten [J/mol K]

$$c_p = c_{p,mol} / M \quad [J/gK] \quad c_{p,Gemisch} = \sum \xi_i \cdot c_{p,i}$$

	M [g/mol]	Normdichte [kg/m³]	a +	b x T +	c x T² +	d x T³
C_3H_8	44,096	2,01	73,64			
N_2	28,014	1,25	28,3	$2,537 \cdot 10^{-3}$	$0,5443 \cdot 10^{-6}$	
O_2	31,998	1,43	27,96	$4,180 \cdot 10^{-3}$	$-0,167 \cdot 10^{-6}$	
CO_2	44,009	1,98	21,57	$63,74 \cdot 10^{-3}$	$-40,53 \cdot 10^{-6}$	$9,684 \cdot 10^{-9}$
H_2O	18,005		30,38	$9,621 \cdot 10^{-3}$	$1,185 \cdot 10^{-6}$	
Ar	39,448	1,78	20,632			

$$Enthalpie_{(T_1-T_0)} = \int_{T_0}^{T_1} c_p(T) dT = \left. T_1 \left[a \cdot T + \frac{b}{2} \cdot T^2 + \frac{c}{3} \cdot T^3 + \frac{d}{4} \cdot T^4 \right] \right|_{T_0}$$

Volumenströme

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

$$R = 8,3145 \text{ J/mol K} \cdot \frac{1000}{M}$$

mit R_{Abgas} 291,4 J/kgK

R_{Propan} 188,5 J/kgK

R_{Luft} 287,1 J/kgK

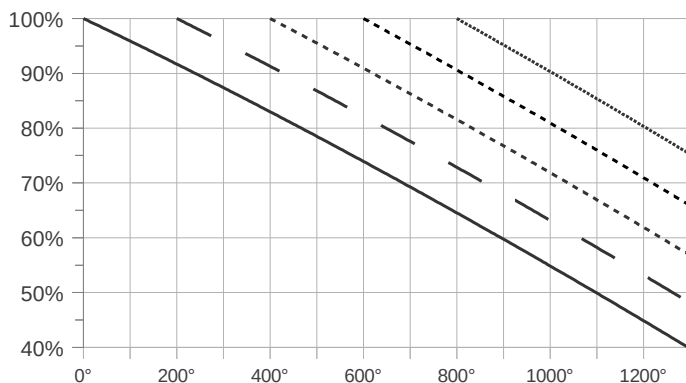
$$\rho_{Luft, 0^\circ C, 1013mbar} = 1,2918 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{M_{Luft}}{M_{Luft}} = 2896 \text{ g/100mol}$$

Zusammensetzung	O_2	N_2	CO_2	H_2O	Ar
Luft	Gew. % 23,15	75,52	0,05	-	1,28
	Vol. % 20,95	78,09	0,03	-	0,93
Abgas	Gew. % 1,04	71,2	17,9	9,3	1,21
für $\lambda = 1,05$	Vol. % 0,92	72,01	11,54	14,65	,87

Energieeffizienz der Verbrennung von Propan

für verschiedenen Abgastemperaturen bei $\lambda 1,05$ und versch. Verbrennungslufttemp. (Rekuperation)



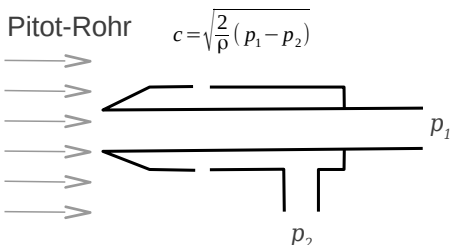
Abgasverluste:

$$\Phi = m_{Abgas} \cdot \int c_p(T) dT$$

Umgebungsbedingungen

maximale Luftfeuchtigkeit:

T	g/m³	Gew. %
-10°C	2,1	0,156
-5°C	3,3	0,25
0°C	4,8	0,37
4°C	6,4	0,5
8°C	8,3	0,66
12°C	10,7	0,86
16°C	13,6	1,1
20°C	17,3	1,42
24°C	21,8	1,8
28°C	21,8	2,27
36°C	39,5	3,35



Luftdruck [mbar] bei m über NN:

0	200	400	750	1000
1013	989	966	926	899

1 mbar = 1 hPa ≈ 10,2 mm WS
1 mm WS = 9,81 Pa ≈ 0,1 mbar

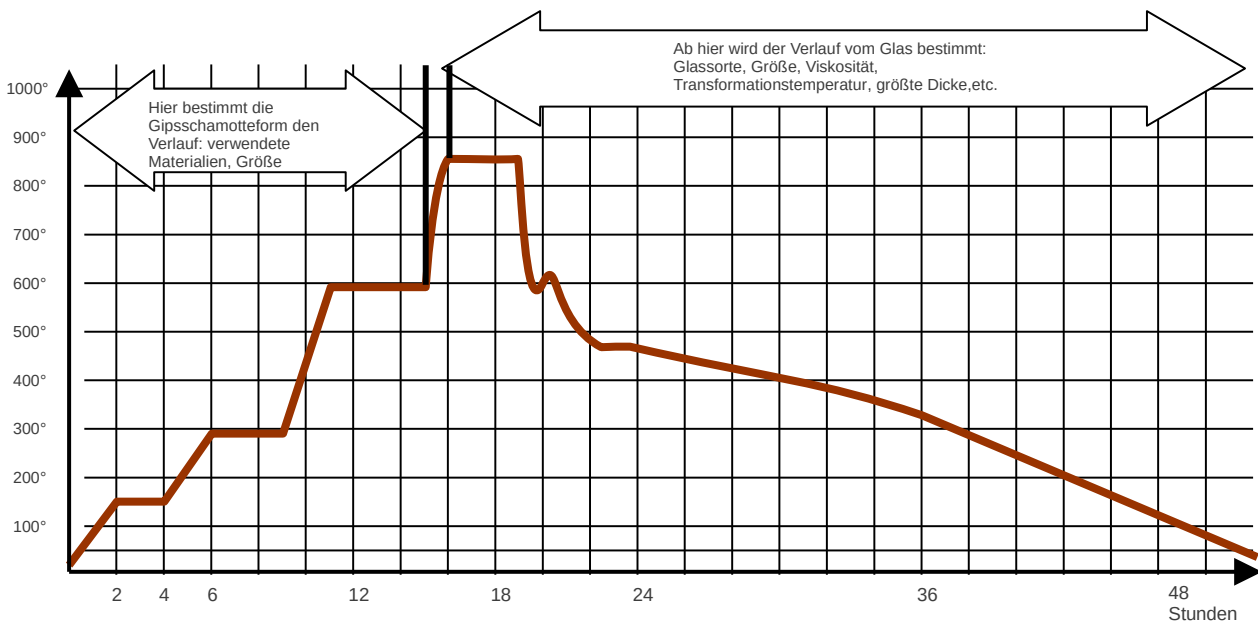
Brennkurven für Pâte de Verre, Glasguss u.ä.

Theorie: Geschehen bei den verschiedenen Abschnitten des Brennprozesses:

- 20-150 °C Trocknungsphase
- 300-450°C Entweichen des Kristallwassers
- 450-600°C Ausbrennen von organischem Material wie Wachs
- 600-750°C Erweichung der Glasscherben, Abrundung der Kanten, Deformierung und Zusammenkleben der Scherben
- 800-900°C Fließen des Glases, Arbeitstemperatur
- 800-700°C Risiko der Devitrifikation (je nach Glassorte)
- 450-550°C oberer Kühlpunkt (je nach Glassorte), Abbau von thermischer Spannungen (annealing time)
- 350-500°C unterer Kühlpunkt (je nach Glassorte), untere Grenze des Transformationsbereichs, langsame Kühlung zur Vermeidung zu großer Spannungen im Stück (annealing rate)
- bis 50°C gesteuertes Abkühlen auf Raumtemperatur zur Vermeidung zu großer Temperaturunterschiede (cooling rate)

Die Gestaltung der Abschnitte der Aufheizphase hängt vor allem von der Größe und der verwendeten Materialien der Negativform ab, die der Arbeitsphase von der Zähigkeit des Glases und des Fließwiderstands der Form.

Die Kühlphase wird bestimmt in der Temperatur von der verwendeten Glassorte, in der Länge der Abschnitte von der Gesamtmasse des Glaskörpers und dessen Ausformung, insbesondere der größten Dicke.

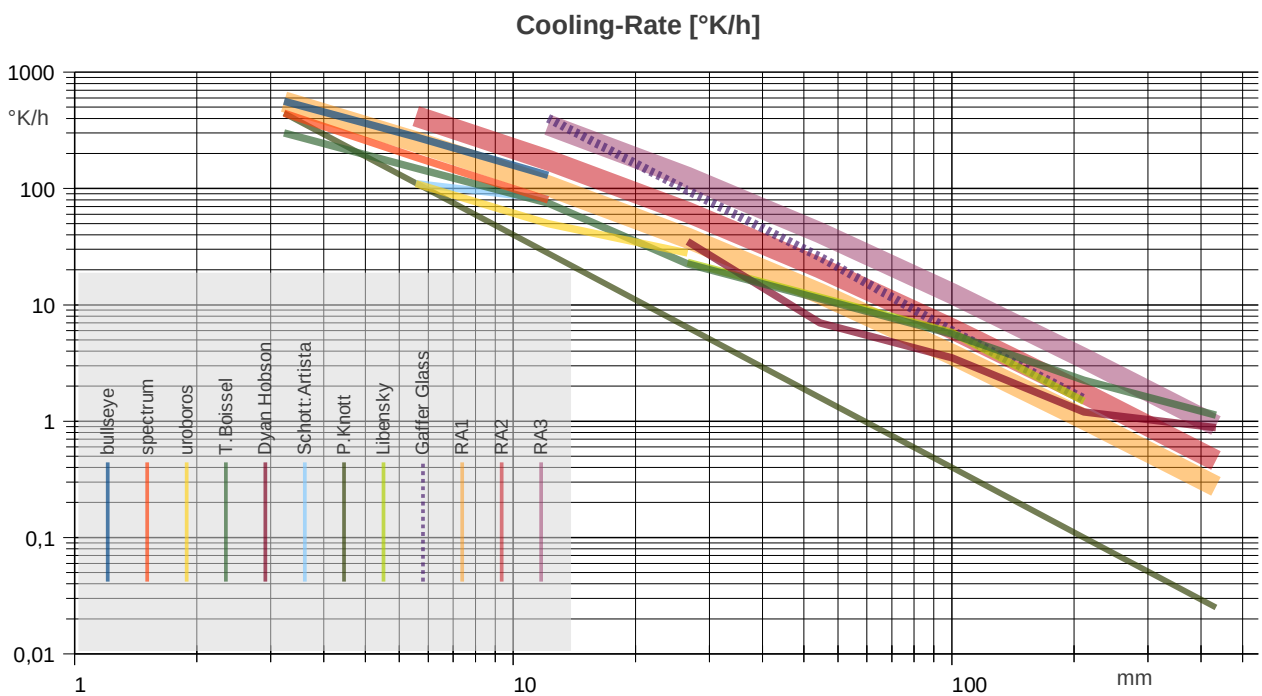
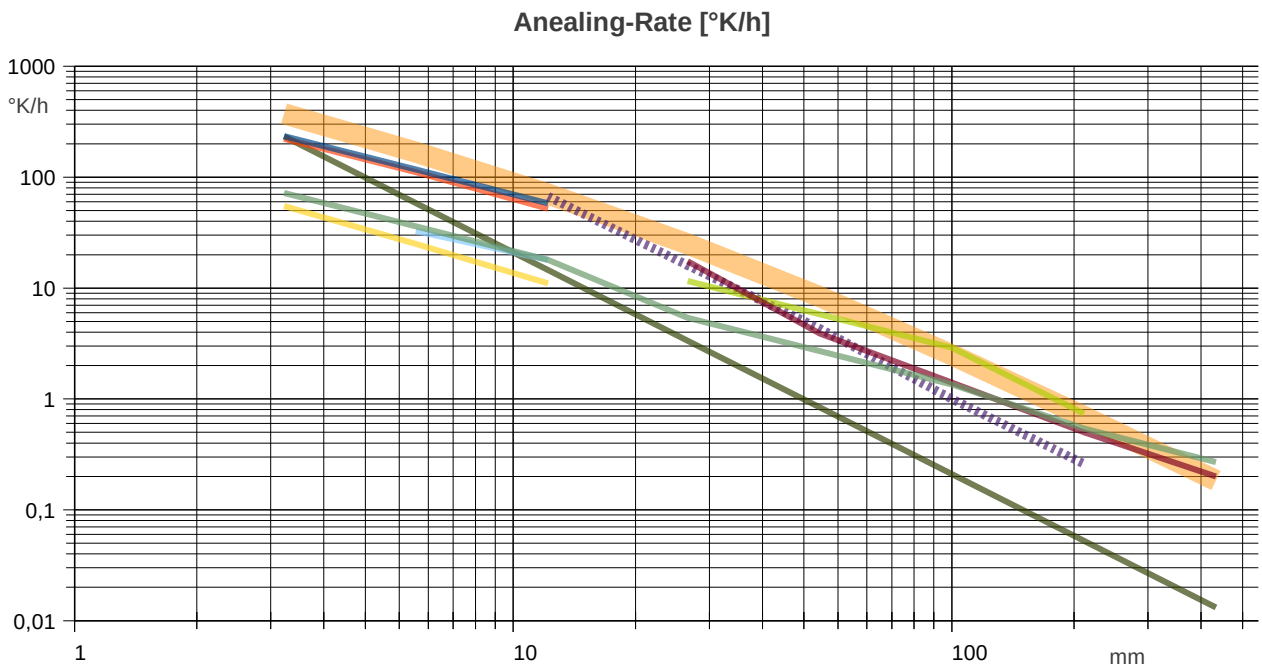
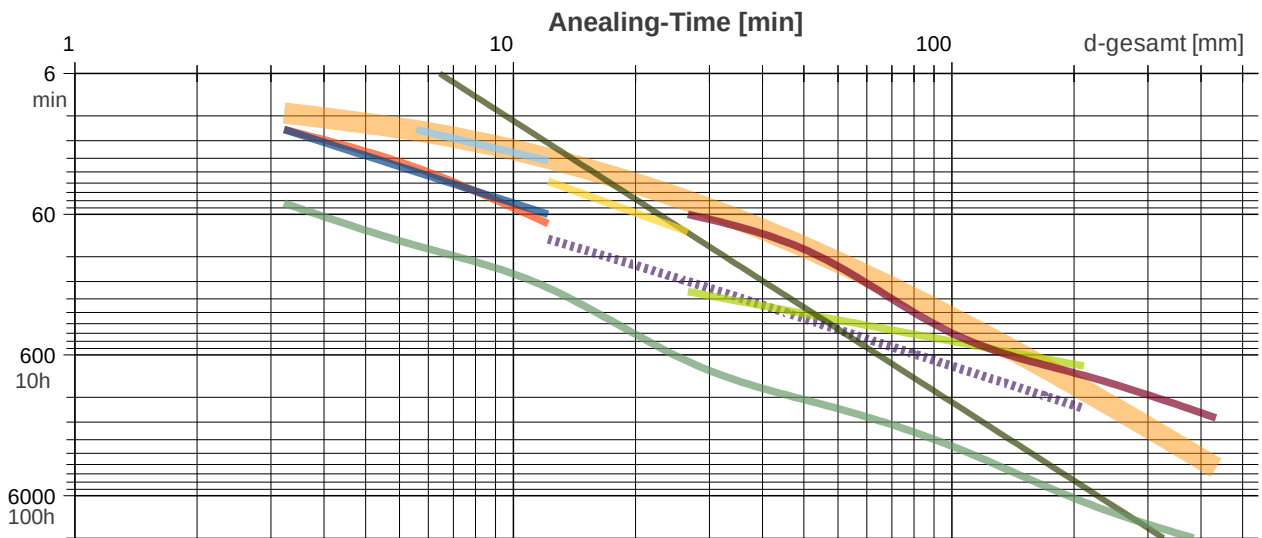


Beispiel einer Brennkurve (nach M.Perozeni, Strasbourg) für Stücke mit einer maximalen Dicke von < 5 cm und ein Gewicht von < 1 kg:

Werte und Temperaturen verschiedener Gläser (nach Detlef Tanz)

Glas Sorte	AK	Schmelztemp.	Relief temp.	Biegetemp.	Obere Kühltmp.	Untere Kühltmp.	Devitrifikation sbereich
AR Glas	90	830-850° C	750° C	680° C	520° C	460° C	860-920° C
Artista (Schott)	94	830-850° C	785° C	680° C	530° C	480° C	950-960° C
B270 (Schott)	94	830-850° C	785° C	680° C	520° C	460° C	950-960° C
Bulls Eye	90	800-830° C	745° C	650° C	520° C	460° C	860-920° C
Float Glas	84	830-850° C	785° C	680° C	540° C	480° C	850° C
Spektrum	95	790° C	735° C	630° C	472° C	440° C	600° C
Thomson Email	85	720° C	640° C	500° C	400° C	320° C	

Beispiele für Parameter einer Kühlkurve nach versch. Autoren **



Grundlagen des Kühlens von Glas **

maßgeblich ist die **thermische Spannung**, die durch die **Temperaturdifferenz** ΔT im Stück hervorgerufen wird :

$$\sigma_{Z,th} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

E	$66 \cdot 10^9 \text{ Pa}$
α	$96 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$
$\sigma_{Z,zul.}$	$10 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
$\Delta T_{max, kurz}$	60° K
$\Delta T_{zul., Dauer}$	15° K
$\Delta T_{max., Entspannung}$	$1,5^\circ \text{ K}$

visko-elastisches Paradox:

Spannungen werden durch viskoses Fließen abgebaut, abhängig von Zeit und Viskosität (nach H.SCHOLZE):

$$F(t; \eta) = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} = 0,5 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} + 0,5 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

bei $\lg \eta$ 12,0: $f_{\sigma} 0,1 \quad t_{\sigma} 3'13''$
 $f_{\sigma} 0,01 \quad t_{\sigma} 8'13''$
 $f_{\sigma} 0,001 \quad t_{\sigma} 13'03''$
 $f_{\sigma} 0,000001 \quad t_{\sigma} 27'34''$

allerdings werden bei laufender Abnahme der Temperatur im Kühlprozess, verursacht durch die momentane Temperaturdifferenzen im Stück, die temporäre Spannungszustände resident, d.h. die eingefrorenen aufaddierten Längenänderungen verursachen nach dem Temp.ausgleich Spannungen mit umgekehrtem Vorzeichen!

die thermodynamisch wirksame **Wandstärke** D ergibt sich aus der Gesamtheit der Dicke der Glaswand a zusammen mit der der Unterlage bzw. des Kerns b , wobei für b der relative **Temp.leitwert** zu berücksichtigen ist:

$$b' = b \cdot \sqrt{\frac{\gamma_i}{\gamma_{Glas}}}$$

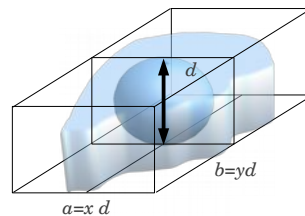
$\gamma = \frac{c \rho}{\lambda}$	
$\sqrt{\gamma_{rel, Schamotte}}$	$\approx 0,95$
$\sqrt{\gamma_{rel, Gips-Schamotte}}$	$\approx 1,6$
$\sqrt{\gamma_{rel, Stahl}}$	$\approx 0,2$
$\sqrt{\gamma_{rel, Luft}}$	≈ 0

bei der **Kühlphase** ergeben sich die fiktive Dicke d aus:

$$a \geq b \quad d = a + b' \quad a \leq b \quad d = 2\sqrt{ab'} \quad \frac{a|b|a}{d} = 2\sqrt{a^2 + ab'} \quad \frac{b|a|b}{d} = a$$

man kann sie auch als den Durchmesser der größten einzuschreibende Kugel beschreiben

zudem ist das Verhältnis von Volumen zur Oberfläche als **Formfaktor** f des umschreibenden Quaders zu berücksichtigen:



$$\frac{V}{A} = d \cdot f = d \cdot \frac{xy}{2(x+y+xy)}$$

für eine Scheibe: $f \rightarrow 1/2$
 für ein Stab: $f \rightarrow 1/4$
 für eine Kugel: $f \rightarrow 1/6$

es ergibt sich eine wirksame Dicke des Körpers im Vgl. zu einer Scheibe:

$$d' = \sqrt[3]{(2f)^2 \cdot d} \quad | \text{Stab } 0,63 | | \text{Kugel } 0,48 |$$

die **Entspannungszeit** t_0 (annealingtime) ergibt sich aus der thermodynamischen Ausgleichszeit (+ der Relaxationzeit) des gesamten Körpers mit:

$$t_0 \approx t_{\sigma} + \ln(\Psi) \cdot \left(\frac{\rho c}{\alpha + \varepsilon_T} \cdot f \cdot D_{gesamt} + 0,31 \cdot \frac{\rho c}{\lambda} \cdot (\sqrt[3]{f^2} \cdot D_{gesamt})^2 \right) \quad \text{mit} \quad \Psi = \frac{(T_0 - T_u)}{(T_t - T_u)}, \quad \varepsilon_T = 4 \varepsilon T_u^3, \quad D_{gesamt} = \sum a, b'$$

also für Kristallglas bei ca 500° C : $t_{0(\Psi=50)} \approx 8' + 29,8' \cdot f \cdot D + 5,37' \cdot (\sqrt[3]{f^2} \cdot D)^2 \quad [\text{min/cm}]$
 bzw. für eine Scheibe: $t_0 \approx 8' + 14,9' \cdot D + 2,13' \cdot D^2$
 für ein Stab: $t_0 \approx 8' + 7,5' \cdot D + 0,857' \cdot D^2$
 für eine Kugel: $t_0 \approx 8' + 4,97' \cdot D + 0,493' \cdot D^2$

die **Kühlgeschwindigkeiten** ergeben sich aus der angestrebten **Temp.diff.**, die wiederum von der jeweiligen **Viskosität** abhängen, deren Werte aber wieder von der Zeitskala der Verweildauer bedingt sind:

$$c \leq \Delta T \cdot \frac{83,3}{d' + 0,4 \cdot (d')^2} \quad \left| \begin{array}{l} d [\text{cm}] \\ c [^\circ \text{ K/h}] \end{array} \right|$$

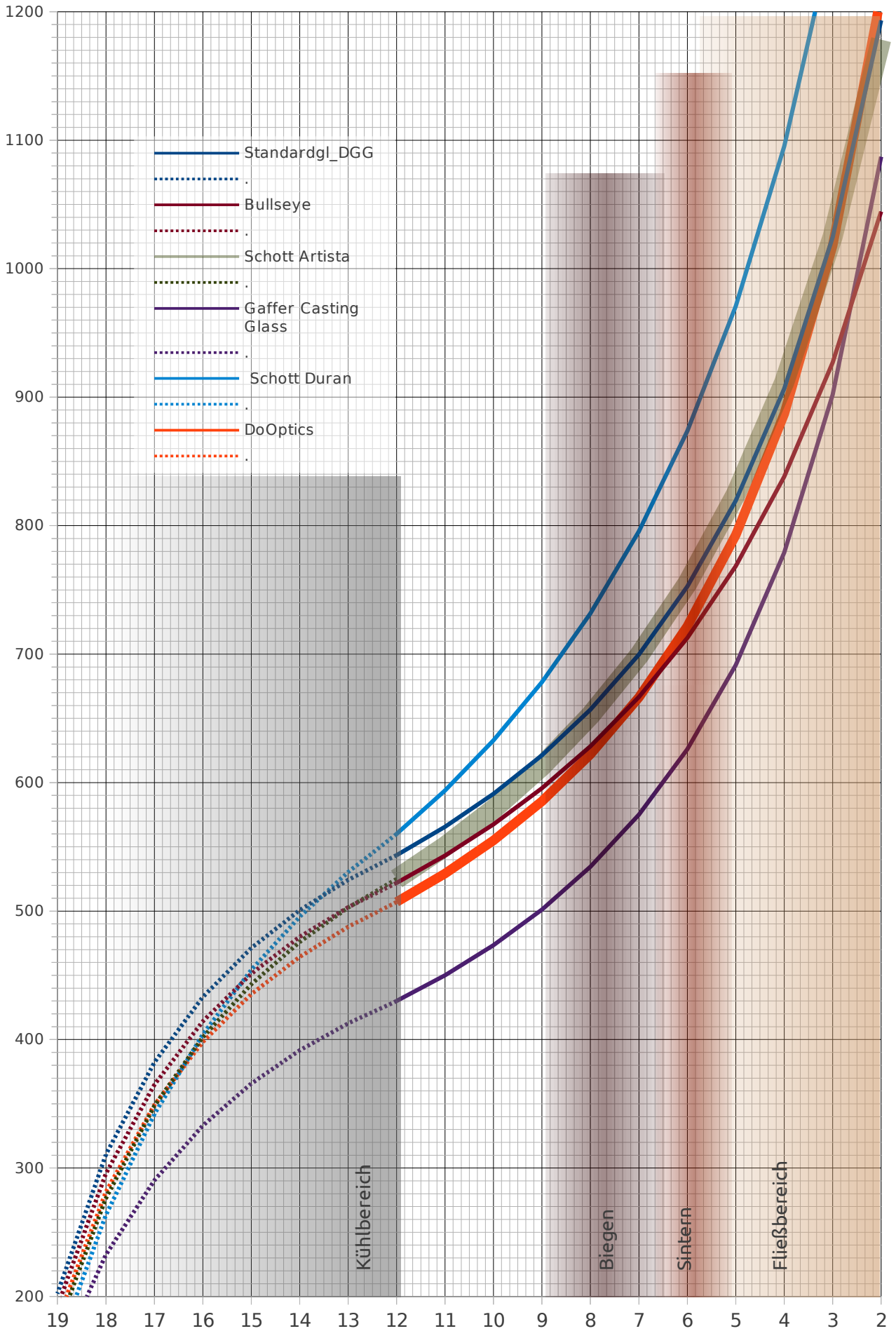
$$\lg \eta_{i,d} = \lg \eta_i + \lg(3 \cdot d')$$

	$d' \geq$	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	5 cm	10 cm	20 cm
ΔT	$\lg \eta \geq$	$T_n = T_{n-1} - X$	$\lg \eta + 0,5$	$\lg \eta + 0,8$	$\lg \eta + 1,0$	$\lg \eta + 1,2$	$\lg \eta + 1,5$	$\lg \eta + 1,8$
T_0	$1,5^\circ$	12	$T_G + 6^\circ$	$T_G + 6^\circ$	$T_G + 6^\circ$	$T_G + 6^\circ$	$T_G + 6^\circ$	$T_G + 6^\circ$
T_1	$2,25^\circ$	$13,5$	30°	42°	50°	55°	60°	69°
T_2	$3,75^\circ$	$14,5$	25°	27°	28°	30°	31°	33°
T_3	$7,5^\circ$	$15,5$	30°	33°	35°	36°	39°	44°

für Gussformen mit Hinterschnitte oder Kerne ist es u.U. wichtig, die Haltezeit schon bei niedrigerer Viskosität anzusetzen und die Kurve bis zu T_G annähernd symmetrisch zu gestalten, dafür kann dann die Haltezeit reduziert werden!

Fehlerrechnung: $T_{real} = T_{gemessen} \cdot (1 \pm f)$
 für die Haltezeit: $t'_0 = t_0 + t_{\sigma} \cdot \left(10^{\frac{fT}{18^\circ}} - 1 \right)$
 für die Temp.punkte der Kühlphase: $T'_i = T_i \cdot (1 - f)$

Viskositäten versch. Gläser **



zur Messung der Viskosität: vgl. S.11

Verschiedene Rezepte für den Formenbau

Grundrezept: 1 Teil Gips + 2 Teile Feuerfeststoffe

1. (ähnlich der Masse der Bronzegießerei) für große Formen

Altschamotte	1 T bis 8 T	345 g
= alte Formen, gemahlen (ital.: „luto“, amerik.: „grog“)		
Neuschamotte	1 T	600 g
= Ziegelsplitt (evt. aussieben: Siebkurve!)		
Alabastermodellgips	1 T	400 g
Wasser (für 1 Ltr. Gipsmasse)		600 cm ³

2. „Schludermasse“ (Bronzegießerei)

Schamotte, 0-1	2 T
Quarz, 0-0,2	1 T
Kalifeldspat, Mehl	1 T
Kaolin	1 T
Ziegelmehl, 0-1	2 T
Gips	8 T

3. „Dentalmasse“, relativ hart, für kleinere Formen

Quarzmehl	2 T
Quarzsand, 0-0,1	1 T
Zirkonsilikat Mehl	2 T
Zirkonsilikat Sand, 0-0,1	1 T
Hartformgips	2 T

4. „relativ hart, für kleinere Formen“

Quarzmehl	4 T	39 T
Kaolin	2 T	10 T
Gips	6 T	59 T
+Papierbrei		1 T
+Keramikfaserbrei		1 T

5.

Sand	1 T	2 T	1 T
Gips	1 T	1 T	1 T
Alte Formen			1 T

6. (Strasbourg), für große Formen, weich, leicht

Quarzsand 0-1 mm	3 T
Schamotte	6 T
Vermiculite	5 T
Gips	6 T

7. (?)“bis zu 820 °C, Größe 20 x 15 x 8 cm“

Sand	300 g
Vermiculite	75 g
Alte Formen	225 g
Gips	900 g
Wasser	ca. 1200 ml

8. (?)“ bis zu 700 °C“

Sand	375 g
Gips	1125 g
Wasser	980 ml

9. Formsand für Sandguss (Strassacker)

Quarzsand 0-0,5	87%
Bentonit	13%
Wasser	+6%

10.. Zementmassen (Heinzel)

Schamottemehl, 0-0,07	290 T
Schamotte, 0,07-0,3	180 T
Schamotte, 0,3-0,6	330 T
Schamotte, 0,6-1,6	50 T
Zement „Lafarge fondue“	68 T

(8-15 % der Trockenmasse)

+12% Wasser (nicht zu flüssig anmachen!) evt. 0,5% Tenside

zum Beschleunigen: +1% (des Zementanteils) Lithiumchloridlsg.(10%)

Sonstige Rezepte

11. Trennmittel (zum Isolieren von harten, spröden Formen gegen Glaskontakt)

a bis 650-700°C:

reicht i.d.R. Kreide, Gips, Bentonit oder Kaolin, auch Zementstaub (trocken!)

b Keramiktrennmittel für höhere Temp.:

Kaolin	5 T
Tonerdehydrat	5 T
Bentonit	2 T

c Gibersons Pasterelliwash:

Nephylensyenit	160 g	27,2%
Quarzmehl	160 g	27,2%
Knochenasche	140 g	23,8%
Kaolin	88 g	15,0%
Tonerde	40 g	6,8%

d Gibersons wiredip

Quarzmehl	9 T
Kaolin	1 T

e Graphit-Schlichte (Heinzel)

Graphit	96%	mit Wasser
Bentonit	3%	rel. flüssig
Dextrin (Maisstärke)	1%	anmachen

f Schmierwachs für heißes Glas

Bienenwachs	450g
Holzkohlestaub	150g
Kolophonium	1 gestr. Teelöffel
Kaugummi	1 Streifen

12. Dauerform (Heinzel)

Trass (oder Puzzolanerde), 0-1	180 T
Zement „Lafarge fondue“	20 T

13. Dauerform mit Glimmer

Feuerfestzement (Lafarge fondue)	1 T
Glimmer	1 T

14. mit Puzzolanerde (Heinzel)

Puzzolanerde	136 T
Gips	54 T

15. keramische Masse für Schmelztiegel / hochfeuerfeste Formen

Schamotte (aus alten Wannensteinen)	40%	47%
Tonmehl	8,33%	7,8%
Bentonit	0,67%	
Kaolin	6,0%	6,1%
Aluminiumoxid	27%	23,5%
Zirkonsilikat	18%	15,6%
Wasser	+20%	+15 - 25%

mischen und ziehen lassen (mauken), dann nochmal durchschlagen und in eine Gipsform stampfen; nach dem Trocknen bei 1200°C brennen

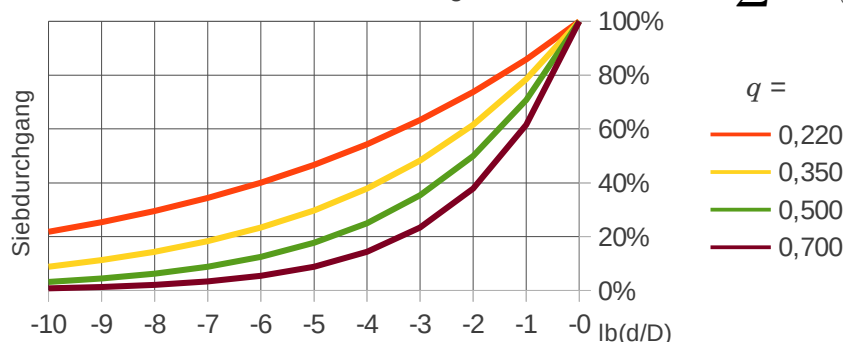
Sieblinie

theoretische Fuller-Parabel: Siebdurchgang einer bestimmten Maschengröße als Funktion der Relation zum größten Korn

$$\frac{m(d)}{\sum m} = \left(\frac{d}{D}\right)^q$$

Richtwerte für die max. Korngröße D bei einer best. Wandstärke B:

$$\frac{1}{10} \cdot B \leq D \leq \frac{1}{5} \cdot B$$



Legende

Ordnungszahl: **1** (rot), **2** (blau), **3** (grün), **4** (gelb), **5** (schwarz)

Name: **H** (rot), **Li** (blau), **Na** (grün), **K** (gelb), **Rb** (schwarz)

Atomgewicht: **1,0079** (rot), **7** (blau), **23** (grün), **39** (gelb), **85** (schwarz)

Elektronenkonfiguration: **1s¹** (rot), **1s²** (blau), **1s²2s¹** (grün), **1s²2s²2p¹** (gelb), **1s²2s²2p⁶3s¹** (schwarz)

Serie: **1** (rot), **2** (blau), **3** (grün), **4** (gelb), **5** (schwarz)

Symbol: **H** (rot), **Li** (blau), **Na** (grün), **K** (gelb), **Rb** (schwarz)

Ordnungszahl: **1** (rot), **2** (blau), **3** (grün), **4** (gelb), **5** (schwarz)

Schwarz = nicht radioaktiv
gelb = radioaktiv

Symbol: **H** (rot), **Li** (blau), **Na** (grün), **K** (gelb), **Rb** (schwarz)

Schwarz = Feststoff
rot = Gas
blau = Flüssigkeit

Serie: **1** (rot), **2** (blau), **3** (grün), **4** (gelb), **5** (schwarz)

durchgehend = natürliches Element
schraffiert = künstliches Element

Elektronegativität

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 Wasserstoff 1 1,0079 2/1 2,1	2 Helium 2 4,0026 2/1 4,0	3 Lithium 3 6,941 2/1 1,0	4 Beryllium 4 9,0122 2/2 1,5	5 Bor 5 10,811 2/3 2,0	6 Kohlenstoff 6 12,011 2/4 2,5	7 Stickstoff 7 14,007 2/5 3,0	8 Sauerstoff 8 15,999 2/6 3,5	9 Fluor 9 18,998 2/7 4,0	10 Neon 10 20,180 2/8 2/8	11 Natrium 11 22,990 2/8/1 0,9	12 Magnesium 12 24,305 2/8/2 1,2	13 Aluminium 13 26,982 2/8/3 1,5	14 Silicium 14 28,086 2/8/4 1,8	15 Phosphor 15 30,974 2/8/5 2,1	16 Schwefel 16 32,065 2/8/6 2,5	17 Chlor 17 35,453 2/8/7 3,0	18 Argon 18 39,948 2/8/8 2/8/8
19 Kalium 19 39,098 2/8/8/1 0,8	20 Calcium 20 40,078 2/8/8/2 1,0	21 Scandium 21 44,956 2/8/9/2 1,3	22 Titan 22 47,867 2/8/10/2 1,5	23 Vanadium 23 50,942 2/8/11/2 1,6	24 Chrom 24 51,996 2/8/13/1 1,6	25 Mangan 25 54,938 2/8/13/2 1,5	26 Eisen 26 55,845 2/8/14/2 1,8	27 Cobalt 27 58,933 2/8/15/2 1,8	28 Nickel 28 58,693 2/8/16/2 1,8	29 Kupfer 29 63,546 2/8/18/1 1,9	30 Zink 30 65,38 2/8/18/2 1,6	31 Gallium 31 69,723 2/8/18/3 1,6	32 Germanium 32 72,64 2/8/18/4 1,8	33 Arsen 33 74,922 2/8/18/5 2,0	34 Selen 34 78,96 2/8/18/6 2,4	35 Brom 35 79,904 2/8/18/7 2,8	36 Krypton 36 83,798 2/8/18/8 2/8/18/8
37 Rubidium 37 85,468 2/8/18/8/1 0,8	38 Strontium 38 87,62 2/8/18/8/2 1,0	39 Yttrium 39 88,906 2/8/18/10/2 1,3	40 Zirkonium 40 91,224 2/8/18/10/2 1,4	41 Niob 41 92,906 2/8/18/12/1 1,6	42 Molybdän 42 95,96 2/8/18/13/1 1,8	43 Technetium 43 98,91 2/8/18/15/1 1,9	44 Ruthenium 44 101,07 2/8/18/15/1 2,2	45 Rhodium 45 102,91 2/8/18/16/1 2,2	46 Palladium 46 106,42 2/8/18/18/1 2,2	47 Silber 47 107,87 2/8/18/18/1 1,9	48 Cadmium 48 112,41 2/8/18/18/2 1,7	49 Indium 49 114,82 2/8/18/18/3 1,7	50 Zinn 50 118,71 2/8/18/18/4 1,8	51 Antimon 51 121,76 2/8/18/18/5 1,9	52 Tellur 52 127,60 2/8/18/18/6 2,1	53 Iod 53 126,90 2/8/18/18/7 2,5	54 Xenon 54 131,29 2/8/18/18/8 2/8/18/18/8
55 Cäsium 55 132,91 2/8/18/18/8/1 0,7	56 Barium 56 137,33 2/8/18/18/8/2 0,9	57-71 siehe unten	72 Hafnium 72 178,49 2/8/18/32/10/2 1,3	73 Tantal 73 180,95 2/8/18/32/11/2 1,5	74 Wolfram 74 183,84 2/8/18/32/12/2 1,7	75 Rhenium 75 186,21 2/8/18/32/13/2 1,9	76 Osmium 76 190,23 2/8/18/32/14/2 2,2	77 Iridium 77 192,22 2/8/18/32/15/2 2,2	78 Platin 78 195,08 2/8/18/32/17/1 2,2	79 Gold 79 196,97 2/8/18/32/18/1 2,4	80 Quecksilber 80 200,59 2/8/18/32/18/2 1,9	81 Thallium 81 204,38 2/8/18/32/18/3 1,8	82 Blei 82 207,2 2/8/18/32/18/4 1,8	83 Bismut 83 208,98 2/8/18/32/18/5 1,9	84 Polonium 84 209,98 2/8/18/32/18/6 2,0	85 Astat 85 210 2/8/18/32/18/7 2,2	86 Radon 86 (222) 2/8/18/32/18/8 2,2
87 Francium 87 (223) 18/8/1 0,7	88 Radium 88 226,03 2/8/18/32/18/8/2 0,9	89-103 siehe unten	104 Rutherfordium 104 (261) 32/110/2	105 Dubnium 105 (262) 32/111/2	106 Seaborgium 106 (263) 32/112/2	107 Bohrium 107 (264) 32/113/2	108 Hassium 108 (265) 32/114/2	109 Meitnerium 109 (266) 32/115/2	110 Darmstadtium 110 (269) 32/117/1	111 Röntgenium 111 (272) 32/118/1	112 Copernicium 112 (277) 32/118/2	113 Ununtrium 113 (287) 32/118/3	114 Flerovium 114 (289) 32/118/4	115 Ununpentium 115 (288) 32/118/5	116 Livermorium 116 (289) 32/118/6	117 Ununseptium 117 (293) 32/118/7	118 Oganesson 118 (294) 32/118/8

57 Lanthan 57 138,91 2/8/18/18/9/2 1,1	58 Cer 58 140,12 2/8/18/19/9/2 1,1	59 Praseodym 59 140,91 2/8/18/21/9/2 1,1	60 Neodym 60 144,24 2/8/18/22/9/2 1,1	61 Promethium 61 146,90 2/8/18/23/9/2 1,1	62 Samarium 62 150,36 2/8/18/24/9/2 1,2	63 Europium 63 151,96 2/8/18/25/9/2 1,2	64 Gadolinium 64 157,25 2/8/18/25/9/2 1,2	65 Terbium 65 158,93 2/8/18/27/9/2 1,2	66 Dysprosium 66 162,50 2/8/18/28/9/2 1,2	67 Holmium 67 164,93 2/8/18/29/9/2 1,2	68 Erbium 68 167,26 2/8/18/30/9/2 1,2	69 Thulium 69 168,93 2/8/18/31/9/2 1,2	70 Ytterbium 70 173,05 2/8/18/32/9/2 1,2	71 Lutetium 71 174,97 2/8/18/32/9/2 1,2
89 Actinium 89 (227) 2/8/18/32/18/9/2 1,1	90 Thorium 90 232,04 2/8/18/32/18/10/2 1,3	91 Protaktinium 91 231,04 2/8/18/32/20/9/2 1,5	92 Uran 92 238,03 2/8/18/32/21/9/2 1,4	93 Neptunium 93 237,05 2/8/18/32/22/9/2 1,3	94 Plutonium 94 244,10 2/8/18/32/24/8/2 1,3	95 Americium 95 (243,10) 25/8/2 1,3	96 Curium 96 (247,10) 25/9/2 1,3	97 Berkelium 97 (247,10) 25/10/2 1,3	98 Californium 98 (251,10) 28/8/2 1,3	99 Einsteinium 99 (254,10) 29/8/2 1,3	100 Fermium 100 (257,10) 30/8/2 1,3	101 Mendelevium 101 (258) 31/8/2 1,3	102 Nobelium 102 (259) 32/8/2 1,3	103 Lawrencium 103 (260) 32/9/2 1,3

chem. Bezeichnung	Trivialname	Summenformel	mol-gewicht
Aluminiumhydroxid	Tonerdehydrat	Al(OH) ₃	78
Aluminiumoxid	Tonerde, Korund	Al ₂ O ₃	101,96
Antimonchlorid		SbCl ₃	228,11
Antimonoxid		Sb ₂ O ₃	291,5
Arsentrioxid	Arsenik	As ₂ O ₃	197,84
Bariumcarbonat		BaCO ₃	197,34
Bariumoxid		BaO	153,32
Bariumsulfat	Baryt, Blanc fixe	BaSO ₄	253,41
Blei(II,IV)-oxid	Mennige, Minium	Pb ₃ O ₄	685,57
Blei(II)-oxid	Massicot	PbO	223,19
Bleicarbonat, bas.	Bleiweiß	2 PbCO ₃ x Pb(OH) ₂	775,63
Bortrioxid	Borsäure	B ₂ O ₃	69,62
Cadmiumselenid	Cadmiumrot	CdSe	191,36
Cadmiumsulfid		CdS	144,48
Calciumborat		CaO x B ₂ O ₃ x 2H ₂ O	161,73
Calciumfluorid	Flussspat, Fluorit	CaF ₂	78,08
Calciumhydroxid	gelöschter Kalk	Ca(OH) ₂	74,1
Calciumkarbonat	Kalk, Kreide	CaCO ₃	100,09
Calciumoxid	gebrannter Kalk	CaO	56,08
Calziumphosphat	Kalkphosphat	Ca ₃ (PO ₄) ₂	310,18
Calciumtartrat	Weinstein	CaC ₄ H ₄ O ₆	188,2
Chom-III-Oxid	Chromoxidgrün, stumpf	Cr ₂ O ₃	151,99
Eisen-II Oxid	Eisenoxydul	FeO	71,85
Eisen-II-III-Oxid	Eisenhammerschlag, Eisenoxidschwarz	Fe ₃ O ₄	231,54
Eisen-III-Oxid	Eisenoxidrot	Fe ₂ O ₃	159,7
Fluor		F	18,99
Gold-III Chlorid		AuCl ₃	303,33
Kali-Feldspat		K ₂ O x Al ₂ O ₃ x 6SiO ₂	556,76
Kaliumcarbonat	Pottasche, calz.	K ₂ CO ₃	138,2
Kaliumchlorid		KCl	74,55
Kaliumdichromat		K ₂ Cr ₂ O ₇	294,19
Kaliumhydrogencarbonat		KHCO ₃	100,12
Kaliumhydrogentartrat	Weinstein	KC ₄ H ₅ O ₆	188,18
Kaliumnitrat	Kalisalpeter	KNO ₃	101,11
Kaliumoxid		K ₂ O	94,2
Kalk-Feldspat		CaO x Al ₂ O ₃ x 2SiO ₂	278,24
Kaolin		Al ₂ O ₃ x 2SiO ₄ x H ₂ O	240,145
Knochenasche		3Ca ₃ (PO ₄) ₂ x CaO	986,62
Kobaltcarbonat		CoCO ₃	118,94
Kobaltoxid		Co ₃ O ₄	240,8

chem. Bezeichnung	Trivialname	Summenformel	mol-gewic
Kohlenstoff	Kohle	C	12,011
Kupfer-I Oxid	Kupferoxydul, Kupferoxid, rot	Cu ₂ O	143,09
Kupfer-II Oxid	Kupferoxid, schwarz	CuO	79,545
Lepidolith		K(Li,Al) ₃ [(F,OH) ₂](Al,Si)Si ₃ O ₁₀]	383,46
Lithiumcarbonat		Li ₂ CO ₃	73,89
Lithiumchlorid		LiCl	42,39
Lithiumoxid		Li ₂ O	29,88
Lithium-Aluminiumsilikat	Spodumen	LiAl[Si ₂ O ₆]	186,09
Magnesiumcarbonat	Magnesit, Magnesia alba	MgCO ₃	84,31
Magnesiumoxid	gebrannte Magnesia	MgO	40,32
Magnesiumsilikathydrat	Talkum, Steatit	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	379,3
Mangan-II-III Oxid		Mn ₂ O ₃	228,81
Mangan-IV Oxid	Braunstein	MnO ₂	86,94
Mangancarbonat		MnCO ₃	114,95
Mullit		3Al ₂ O ₃ x2SiO ₂	426,05
Natriumcarbonat	Soda, calz.	Na ₂ CO ₃	105,99
Natriumcarbonat-Dekahydrat	Kristallsoda	Na ₂ CO ₃ x 10 H ₂ O	286,09
Natriumchlorid	Kochsalz	NaCl	58,44
Natriumhexafluorosilikat		Na ₂ SiF ₆	188,06
Natriumhydrogencarbonat	Natron	NaHCO ₃	84,06
Natriumnitrat	Salpeter	NaNO ₃	84,99
Natriumoxid		Na ₂ O	61,98
Natriumsulfat	Glaubersalz	Na ₂ SO ₄	142,04
Natriumtetraborat	Borax	Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄] ₄ x 8 H ₂ O	381,37
Natriumthiosulfat	Fixiersalz	Na ₂ S ₂ O ₃ x5H ₂ O	248,18
Natron-Feldspat		Na ₂ O x Al ₂ O ₃ x 6SiO ₂	524,54
Nephelin		3Na ₂ OxK ₂ Ox4Al ₂ O ₃ x8SiO ₂	1168,65
Phosphorpentoxid	Phosphorsäure	P ₂ O ₅	141,94
Titandioxid		TiO ₂	79,87
Schwefel		S	32,065
Schwefeltrioxid		SO ₃	80,06
Silbernitrat		AgNO ₃	169,87
Siliziumdioxid	Quarz, Silica	SiO ₂	60,08
Trinatriumaluminiumhexafluorid	Kryolith	Na ₃ AlF ₆	209,66
Ulexit		Na ₂ Ox2CaOx5B ₂ O ₃ x16H ₂ O	810,48
Zinkoxid	Zinkweiß	ZnO	81,39
Zinkselenid		ZnSe	144,33
Zinn-II Oxid	Zinnoxidul	SnO	134,7
Zinn-IV oxid	Zinnasche	SnO ₂	150,71
Zinnchlorid	Zinnsalz	SnCl ₂ x 2H ₂ O	225,74
Zirkonsilikat		Zr[SiO ₄]	183,31]

Oxide	WMF Alabaster	WMF-Lithalin	WMF-Goldrubin	WMF-Goldrubin II	WMF-Kupferrubin	WMF-Selenrubin	WMF-Goldtopas	Gibbs regular crystal	Gibbs Core Vessel Blue	Gibbs Bone Ash Opal	Gibbs Fluorine Opal	PolyTJ-1893-Kohlegelb	PolyTJ-1893-Kupferrubin I	PolyTJ-1893-Kupferrubin II	PolyTJ-1893-Emailglas I	PolyTJ-1893-Emailglas II	PolyTJ-1893-Emailglas III	
Li ₂ O																		
Na ₂ O	1,78%	11,39%	1,40%	1,59%	16,84%	11,80%	1,41%	15,62%	15,75%	14,20%	13,53%	0,22%	4,25%	4,14%	0,26%	0,88%	1,91%	
K ₂ O	13,93%	1,33%	11,07%	7,33%	0,63%	3,84%	11,07%	1,89%	0,88%	1,72%	1,00%	12,98%	6,31%	9,06%	4,75%	6,53%	5,56%	
MgO	4,50%																	
CaO																		
BaO																		
PbO																		
ZnO																		
B ₂ O ₃																		
Al ₂ O ₃																		
Sb ₂ O ₃																		
As ₂ O ₃																		
SiO ₂	71,67%	55,83%	70,98%	67,35%	70,49%	65,03%	71,28%	69,63%	70,22%	61,91%	49,05%	71,09%	71,21%	69,46%	67,09%	66,18%	64,30%	
CdSe																		
CdS																		
Cr ₂ O ₃																		
FeO																		
Fe ₃ O ₄																		
Fe ₂ O ₃																		
F	5,07%	19,20%	0,02%	0,02%	1,08%		0,01%			2,115%	20,80%							
AuCl ₃																		
Co ₃ O ₄																		
C																		
Cu ₂ O																		
CuO																		
MnO ₂																		
P ₂ O ₅																		
TiO ₂																		
S																		
SO ₃																		
AgNO ₃																		
ZnSe																		
ZnO																		
SnO ₂																		
Seggerformel	0,202	0,189	0,241	0,284	0,259	0,233	0,242	0,281	0,275	0,3	0,246	0,196	0,162	0,205	0,231	0,27	0,272	
	0,777	0,673	0,517	0,314	0,674	0,671	0,515	0,624	0,605	0,536	0,591	0,674	0,653	0,644	0,217	0,274	0,275	
	0,223	0,327	0,483	0,686	0,326	0,329	0,485	0,376	0,395	0,464	0,409	0,326	0,347	0,356	0,783	0,726	0,725	
	0,007	0,197	0,155	0,112	0,058	0,443	0,139	0,081	0,084	0,172	0,214	0,023	0,526	0,404	0,21	0,213	0,279	
	3,547	2,952	2,942	2,371	2,72	2,789	2,943	2,479	2,556	2,061	1,995	3,626	4,404	3,387	2,909	2,448	2,367	

Oxide	PolyTJ-1893 Emailglas IV																PolyTJ-1893-Kryolithglas I																PolyTJ-1893-Kryolithglas II																PolyTJ-1893-Spathglas I																PolyTJ-1893-Spathglas II																PolyTJ-1893-Spathglas III																polyTJ-1877-Beinglas I																polyTJ-1877-Beinglas II																PolyTJ-1863-Milchglas																PolyTJ-1879-Milchglas I																PolyTJ-1879-Milchglas II																PolyTJ-1879-Milchglas III																PolyTJ-1879-Milchglas IV																Cristallica 96																Lauscha K Glas																Philipps sada-lime 2500																Spiegelau																Do Optics																																																																																																																																																															
Li ₂ O	10,33%																6,48%																9,74%																4,86%																7,41%																7,53%																0,56%																0,56%																3,29%																9,70%																9,18%																11,37%																10,34%																0,008																12,1																14																12,4																5,8																1,65																																																																																																																																															
Na ₂ O	4,31%																																0,25%																3,75%																2,64%																2,22%																9,34%																11,43%																11,81%																9,70%																9,18%																11,37%																10,34%																4,8																5																2,7																8,2																5,93																																																																																																																																																															
K ₂ O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
MgO																	2,72%																4,00%																8,25%																8,19%																8,33%																13,08%																12,37%																12,78%																7,27%																8,87%																10,19%																12,13%																																4,9																5																6,9																4,8																6																																																																																																																																															
CaO																	0,62%																																0,85%																0,70%																0,71%																0,94%																																1,93%																8,05%																5,76%																																3,1																2,5																1,6																1,85																0,02																																																																																																																																																																															
PbO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
ZnO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
B ₂ O ₃																	4,13%																2,70%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Al ₂ O ₃																	1,97%																4,99%																4,33%																4,80%																5,45%																7,16%																0,84%																0,84%																0,78%																2,76%																0,91%																2,52%																3,03%																1,3																0,5																0,6																1,8																1,22																																																																																																																																															
Sb ₂ O ₃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
As ₂ O ₃																	1,76%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
SiO ₂	72,75%																82,48%																81,68%																77,50%																75,61%																74,06%																70,18%																69,56%																64,68%																72,23%																75,29%																75,92%																74,50%																72																68,5																69,7																77,55																72,55																																																																																																																																																															
CdSe																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
CdS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Cr ₂ O ₃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
FeO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Fe ₃ O ₄																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Fe ₂ O ₃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
F	6,585%																8,111%																20,06%																16,492%																21,874%																22,237%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
AuCl ₃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Co ₃ O ₄																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Cu ₂ O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
CuO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
MnO ₂																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
P ₂ O ₅																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
TiO ₂																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
S																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
SO ₃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
AgNO ₃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
ZnSe																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
SnO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
SnO ₂																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Segperformel	0,194																0,098																0,14																0,177																0,189																0,188																0,239																0,244																0,298																0,25																0,238																0,216																0,225																25,408																28,5																29,7																20,65																24,27																																																																																																																																																															
	0,755																0,66																0,714																0,486																0,531																0,519																0,414																0,492																0,507																0,388																0,386																0,527																0,46																0,665																0,667																0,508																0,678																0,67																																																																																																																																																															
	0,245																0,34																0,286																0,514																0,469																0,481																0,586																0,508																0,493																0,612																0,614																0,473																0,54																0,335																0,333																0,492																0,322																0,33																																																																																																																																																															
	0,405																0,784																0,309																0,271																0,288																0,381																0,082																0,08																0,038																0,11																0,038																0,117																0,135																0,114																0,14																0,03																0,087																0,06																																																																																																																																																															
	3,751																8,399																5,838																4,378																3,992																3,943																2,933																2,855																2,169																2,888																3,162																3,522																3,316																2,834																2,404																2,347																3,755																2,989																																																																																																																																																															

Warnung:

Alle Werte, Formeln und Grafiken sind von Hand zusammengetragen, das heißt auch, dass sich immer wieder Fehler einschleichen könnten! Auch mag nicht immer klar sein auf welche Elemente die Bezüge gelten sollen.

Also bitte nur mit Vorsicht und rationalem Misstrauen verwenden und im Zweifel noch einmal recherchieren! (und dann am besten gleich ausbessern!)

Mit ** gekennzeichnete Abschnitte sind ausdrücklich spekulativ und warten noch auf Bestätigung!