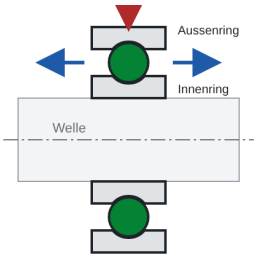
WERKSTATT · MONTAGE · AUSBILDUNG

Wi-8f

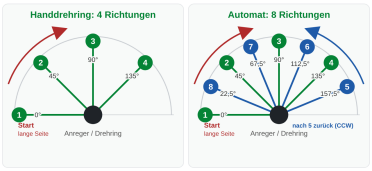
Technik-Handbuch WIAP

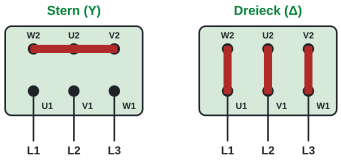
Technical Handbook · früher «WIAPs Monteurhandbuch»

50 Kapitel in 9 Bereichen · Ausgabe 2026 · kostenlos für Lernende und die Werkstatt



ganzes Lager im Schnitt (oben und unten)





Bereich 1 **Rechnen und Physik**	**Bereich 2** **Zeichnen, Messen, Toleranzen**	**Bereich 3** **Werkstoffe, Wärmebehandlung**
Bereich 4 **Maschinenelemente**	**Bereich 5** **Fertigung, Zerspanen, Schweissen**	**Bereich 6** **Hydraulik, Pneumatik, Elektro**
Bereich 7 **Werkzeugmaschinen prüfen**	**Bereich 8** **MEMV® und VSR®**	**Bereich 9** **Alltag und Büro**

WIAP AG Ltd SA
Dulliken, Schweiz
www.wiap-ag.ch

Wi_8_f_0_Technik-Handbuch_r2_cc_gesamt · Stand 01.11.2026

Inhaltsverzeichnis

Vorwort – warum es dieses Handbuch gibt 4
Wi-8f 0-a Mausmappe – Werkstatt-Hilfsblatt 5
Bereich 1 · Wi-8f Rechnen und Physik 6
Kapitel 1 · Technisches Rechnen und Winkel (Wi-8f 1-7) 6
Kapitel 2 · Physik und Einheiten (Wi-8f 1-6) 9
Kapitel 3 · Kraft, Drehmoment und Einheiten (Wi-8f 1-1) 10
Kapitel 4 · Reibung (Wi-8f 1-9) 11
Kapitel 5 · Temperatur und Wärmeausdehnung (Wi-8f 1-10) 11
Kapitel 6 · Druck (Wi-8f 1-13) 12
Bereich 2 · Wi-8f Zeichnen, Messen und Toleranzen 13
Kapitel 7 · Normen und Oberflächen (Wi-8f 1-19-b.1) 13
Kapitel 8 · Technisches Zeichnen und Skizzieren (Wi-8f 1-8-a) 14
Kapitel 9 · Messen und Prüfen (Wi-8f 1-19-f) 18
Kapitel 10 · Passungen und ISO-Toleranzen (Wi-8f 1-19-b.2) 19
Kapitel 11 · Form- und Lagetoleranzen (Wi-8f 1-19-b.3) 23
Bereich 3 · Wi-8f Werkstoffe und Wärmebehandlung 26
Kapitel 12 · Werkstoffe (Wi-8f 1-19-h.1) 26
Kapitel 13 · Halbzeuge, Profile und Kunststoffe (Wi-8f 1-19-h.3) 32
Kapitel 14 · Wärmebehandlung und Härten (Wi-8f 1-19-j.1) 39
Kapitel 15 · Härtemessung (Wi-8f 1-19-h.2) 43
Bereich 4 · Wi-8f Maschinenelemente 48
Kapitel 16 · Gewinde (Wi-8f 1-19-k) 48
Kapitel 17 · Schrauben (Wi-8f 1-19-i) 54
Kapitel 18 · Schraubensicherung, Dichten und Kleben (Wi-8f 1-19-q.1) 59
Kapitel 19 · Verstiften: Kegel-, Zylinder- und Spannstifte (Wi-8f 1-19-p) 61
Kapitel 20 · Federn und Verbindungstechnik (Wi-8f 1-19-l) 62
Kapitel 21 · Passfedern, Riemen, Ketten (Wi-8f 1-19-n) 65
Kapitel 22 · Zahnräder und Modul (Wi-8f 1-19-c.1) 66
Kapitel 23 · Wälzlager (Wi-8f 1-19-e) 69
Kapitel 24 · Kugelgewindetrieb und Trapezspindel (Wi-8f 1-19-c.2) 84
Kapitel 25 · Sicherungsringe, Dichtungen, Schläuche (Wi-8f 1-19-d.1) 86
Kapitel 26 · Öle und Schmierstoffe (Wi-8f 1-19-d.2) 88
Bereich 5 · Wi-8f Fertigung: Bearbeiten, Spannen, Zerspanen, Schweissen 92
Kapitel 27 · Bearbeitung, Senkungen, Kanten (Wi-8f 1-19-o.2) 92
Kapitel 28 · Schaben und Tuschieren (Wi-8f 1-19-o.1) 92
Kapitel 29 · Spanntechnik und Schneidstoffe (Wi-8f 1-19-m.1) 93
Kapitel 30 · Spindelnasen und Futterflansche (Drehmaschinen) (Wi-8f 1-19-m.2) 94
Kapitel 31 · Zentrierbohrungen (Wi-8f 1-4.2) 97
Kapitel 32 · Drehwerkzeuge (Wi-8f 1-4.1) 97
Kapitel 33 · Fräswerkzeuge (Wi-8f 1-5) 100
Kapitel 34 · Zerspanung (Wi-8f 1-3) 102
Kapitel 35 · Schweissen und Löten (Wi-8f 1-18-d) 104

Bereich 6 · Wi-8f Automation: Hydraulik, Pneumatik, Elektro 109
Kapitel 36 · Hydraulik (Wi-8f 1-19-d.3) 109
Kapitel 37 · Pneumatik (Wi-8f 1-19-d.4) 111
Kapitel 38 · Grundlagen Strom (Wi-8f 1-17.0) 112
Kapitel 39 · Elektro (Wi-8f 1-17.1) 119
Kapitel 40 · Elektromotoren (IEC-Normmotoren) (Wi-8f 1-17.2) 125
Kapitel 41 · Was ist ein Frequenzumrichter (FU)? (Wi-8f 1-17.3) 136
Kapitel 42 · Was ist eine SPS? (Wi-8f 1-16.0) 138
Kapitel 43 · Elektronik, Programmierung und Wirkungsgrad (Wi-8f 1-16) 143
Bereich 7 · Wi-8f Werkzeugmaschinen: Wartung und Prüfen 145
Kapitel 44 · Wartung und Pflege von Werkzeugmaschinen (Wi-8f 0) 145
Kapitel 45 · Werkzeugmaschinen prüfen und ausrichten (Wi-8f 84–86) 148
Bereich 8 · Wi-8f MEMV® und VSR® 153
Kapitel 46 · MEMV® und VSR®: Metallentspannen mit Vibration (Wi-8f 1-19-j.2) 153
Bereich 9 · Wi-8f Alltag und Büro 164
Kapitel 47 · Büro und Computer (Wi-8f 1-8-c) 164
Kapitel 48 · Fakten und Ansichten (Wi-8f 101-a) 165
Kapitel 49 · Richtig heizen mit Holz (Wi-8f 101-c) 166
Kapitel 50 · Rücksichtsvoll fahren – schont Nerven und Reifen (Wi-8f 101-d) 168
Schlusswort · Internationale Projekte (Wi-8f 1-20) 171
Fragen und Ergänzungen 171

Vorwort – warum es dieses Handbuch gibt

Dieses Handbuch ist aus der Praxis entstanden – und es soll in der Praxis helfen.

Die ersten Blätter haben wir vor vielen Jahren geschrieben, als wir im Ausland Lehrer und Lernende ausgebildet haben. Weil wir dort in mehreren Sprachen schulen mussten, brauchten wir eigene, aufeinander abgestimmte Unterlagen – also haben wir sie selbst erstellt: einfach, mit Skizzen und mit den Werten, die man in der Werkstatt wirklich braucht. Daraus sind die Wi-8f-Blätter entstanden.

Heute sehen wir in der Schweiz ein anderes Problem: Viele Lernende bekommen in der Lehre keine Fachbücher mehr. Was im Unterricht erklärt wird, ist nach dem Lehrabschluss oft schnell vergessen – Gleichstrom und Wechselstrom, was eine SPS macht oder wie ein Frequenzumrichter die Drehzahl regelt. Wir haben das in der eigenen Familie erlebt.

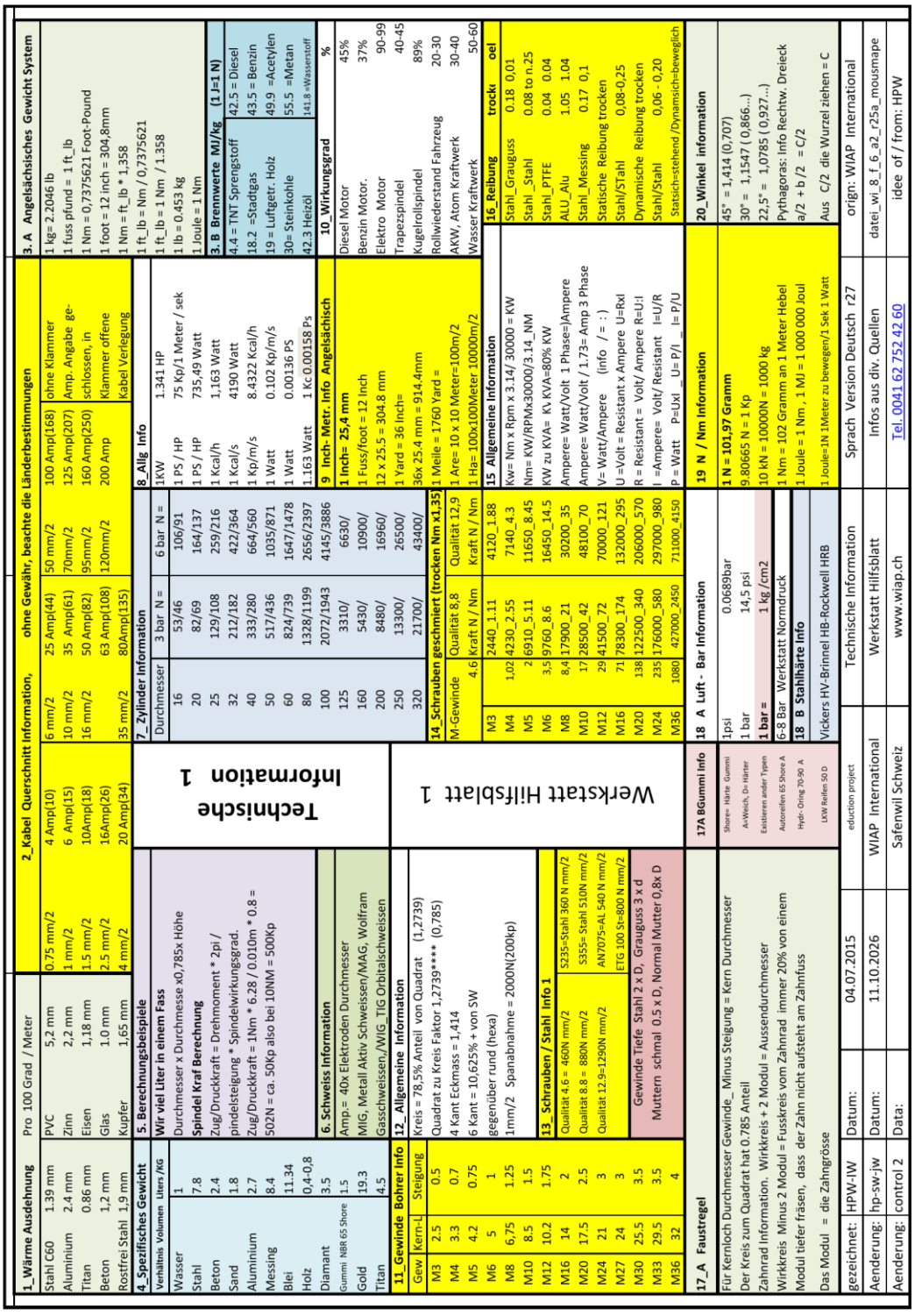
Darum haben wir unsere Unterlagen überarbeitet, ergänzt und stellen sie hier kostenlos zur Verfügung: als Nachschlagewerk für Lernende, Monteure und alle, die in der Werkstatt arbeiten. Niemand weiss alles – auch wir nicht. Darum ist alles einfach und praxisnah geschrieben, so dass man es in der Lehre versteht.

> **Bitte beachten:** Wir haben dieses Handbuch aus vielen alten Unterlagen zusammengestellt, überarbeitet und ergänzt. Es ist darum kein fehlerfreies Nachschlagewerk. Im Zweifelsfall bitte noch anderweitig nachforschen, zum Beispiel in den gültigen Normen und Herstellerangaben.
>
> Wenn Sie Themen erkennen, die nachgebessert werden sollten, oder wenn etwas fehlt, teilen Sie es uns bitte mit. Danke – und wir entschuldigen uns für allfällige Umtriebe.

WIAP AG, Dulliken

Wi-8f 0-a Mausmappe – Werkstatt-Hilfsblatt

Die wichtigsten Werte auf einer Seite: Gewinde, Schrauben, Zylinder, Einheiten, Umrechnungen. Zum Ausdrucken als Unterlage für die Maus (Original: Querformat A4).



Technische Information 1

Werkstatt Hilfsblatt 1

1_Wärme Ausdehnung (Pro 100 Grad / Meter)

Stahl C60	1.39 mm	PVC	5,2 mm
Aluminium	2.4 mm	Zinn	2,2 mm
Titan	0.86 mm	Eisen	1,18 mm
Beton	1.2 mm	Glas	1.0 mm
Rostfrei Stahl	1,9 mm	Kupfer	1,65 mm

4_Spezifisches Gewicht

Verhältnis	Volumen	Liters /KG
Wasser	1	
Stahl	7.8	
Beton	2.4	
Sand	1.8	
Aluminium	2.7	
Messing	8.4	
Blei	11.34	
Holz	0,4-0,8	
Diamant	3.5	
Gummi NBR 65 Shore	1.5	
Gold	19.3	
Titan	4.5	

11_Gewinde Bohrer Info

Gew	Kern-L	Steigung
M3	2.5	0.5
M4	3.3	0.7
M5	4.2	0.75
M6	5	1
M8	6,75	1.25
M10	8.5	1.5
M12	10.2	1.75
M16	14	2
M20	17.5	2.5
M24	21	3
M27	24	3
M30	25.5	3.5
M33	29.5	3.5
M36	32	4

17_A Faustregel

Für Kernloch Durchmesser Gewinde_ Minus Steigung = Kern Durchmesser
Der Kreis zum Quadrat hat 0.785 Anteil
Zahnrad Information. Wirkkreis + 2 Modul = Aussendurchmesser
Wirkkreis Minus 2 Modul = Fusskreis vom Zahnrad immer 20% von einem
Modul tiefer fräsen, dass der Zahn nicht aufsteht am Zahnfuss

Das Modul = die Zahngrösse

2_Kabel Querschnitt Information, ohne Gewähr, beachte die Länderbestimmungen

0.75 mm/2	4 Amp(10)	6 mm/2	25 Amp(44)	50 mm/2	100 Amp(168)
1 mm/2	6 Amp(15)	10 mm/2	35 Amp(61)	70mm/2	125 Amp(207)
1.5 mm/2	10Amp(18)	16 mm/2	50 Amp(82)	95mm/2	160 Amp(250)
2.5 mm/2	16Amp(26)		63 Amp(108)	120mm/2	200 Amp
4 mm/2	20 Amp(34)	35 mm/2	80Amp(135)		

5. Berechnungsbeispiele

Wir viel Liter in einem Fass
Durchmesser x Durchmesse x0,785x Höhe

Spindel Kraf Berechnung
Zug/Druckkraft = Drehmoment * 2pi / pindelsteigung * Spindelwirkungsgrad.
Zug/Druckkraft = 1Nm * 6.28 / 0.010m * 0.8 =
502N = ca. 50Kp also bei 10NM = 500Kp

6. Schweiss Information
Amp.= 40x Elektroden Durchmesser
MIG, Metall Aktiv Schweissen/MAG, Wolfram
Gasschweissen,/WIG_TIG Orbitalschweissen

12_Allgemeine Information
Kreis = 78,5% Anteil von Quadrat (1,2739)
Quadrat zu Kreis Faktor 1,2739**** (0,785)
4 Kant Eckmass = 1,414
6 Kant = 10,625% + von SW
gegenüber rund (hexa)
1mm/2 Spanabnahme = 2000N(200kp)

13_Schrauben / Stahl Info 1

Qualität 4.6 = 460N mm/2	S235=Stahl 360 N mm/2
Qualität 8.8 = 880N mm/2	S355= Stahl 510N mm/2
Qualität 12.9=1290N mm/2	AN7075=AL 540 N mm/2
	ETG 100 St=800 N mm/2

Gewinde Tiefe Stahl 2 x D, Grauguss 3 x d
Muttern schmal 0.5 x D, Normal Mutter 0,8x D

7_Zylinder Information

Durchmesser	3 bar N =	6 bar N =
16	53/46	106/91
20	82/69	164/137
25	129/108	259/216
32	212/182	422/364
40	333/280	664/560
50	517/436	1035/871
60	824/739	1647/1478
80	1328/1199	2656/2397
100	2072/1943	4145/3886
125	3310/	6630/
160	5430/	10900/
200	8480/	16960/
250	13300/	26500/
320	21700/	43400/

14_Schrauben geschmiert (trocken Nm x1.35)

M-Gewinde	Qualität 8,8	Qualität 12,9
4.6	Kraft N / Nm	Kraft N / Nm
M3	2440_1.11	4120_1.88
M4	1,02 4230_2.55	7140_4.3
M5	2 6910_5.11	11650_8.45
M6	3,5 9760_8.6	16450_14.5
M8	8,4 17900_21	30200_35
M10	17 28500_42	48100_70
M12	29 41500_72	70000_121
M16	71 78300_174	132000_295
M20	138 122500_340	206000_570
M24	235 176000_580	297000_980
M36	1080 427000_2450	711000_4150

17A BGummi Info

Shore- Härte Gummi
A=Weich, D= Härter
Existieren ander Typen
Autorefen 65 Shore A
Hydr- Oring 70-90 A
LKW Reifen 50 D

18 A Luft - Bar Information

1psi	0.0689bar	
1 bar	14,5 psi	
1 bar =	1 kg /cm2	
6-8 Bar	Werkstatt Normdruck	

18 B Stahlhärte Info

Vickers HV-Brinnel HB-Rockwell HRB

8_Allg_Info

1KW	1.341 HP
1 PS / HP	75 Kp/1 Meter / sek
1 PS / HP	735,49 Watt
1 Kcal/h	1,163 Watt
1 Kcal/s	4190 Watt
1 kp/m/s	8.4322 Kcal/h
1 Watt	0.102 Kp/m/s
1 Watt	0.00136 PS
1.163 Watt	1 Kc 0.00158 Ps

9 Inch- Metr. Info Angelsächisch

1 Inch= 25,4 mm
1 Fuss/foot = 12 Inch
12 x 25.5 = 304.8 mm
1 Yard = 36 Inch=
36x 25.4 mm = 914.4mm
1 Meile = 1760 Yard =
1 Are= 10 x 10 Meter=100m/2
1 Ha= 100x100Meter 10000m/2

15 Allgemeine Information

Kw= Nm x Rpm x 3.14/ 30000 = KW
Nm= KW/RPMx30000/3.14_NM
KW zu KVA= Kv KVA=80% KW
Ampere= Watt/Volt 1 Phase=Ampere
Ampere= Watt/Volt / 1.73= Amp 3 Phase
V= Watt/Ampere (info / = :)
U =Volt = Resistant x Ampere U=Rxl
R = Resistant = Volt/ Ampere R=U:I
I =Ampere= Volt/ Resistant I=U/R
P = Watt P=UxI _ U= P/I _ I= P/U

19 N / Nm information

1 N = 101,97 Gramm
9.80665 N = 1 Kp
10 kN = 10000N = 1000 kg
1 Nm = 102 Gramm an 1 Meter Hebel
1 Joule = 1 Nm , 1 MJ = 1 000 000 Joul

1 Joule=1N 1Meter zu bewegen/1 Sek 1 Watt

10_Wirkungsgrad %

Diesel Motor	45%
Benzin Motor.	37%
Elektro Motor	90-99
Trapezspindel	40-45
Kugelrollspindel	89%
Rollwiederstand Fahrzeug	20-30
AKW, Atom Kraftwerk	30-40
Wasser Kraftwerk	50-60

16_Reibung trocki oel

Stahl_Grauguss	0.18	0,01
Stahl _Stahl	0.08	to n.25
Stahl_PTFE	0.04	0.04
ALU_Alu	1.05	1.04
Stahl_Messing	0.17	0,1

Statische Reibung trocken
Stahl/Stahl 0,08-0,25
Dynamische Reibung trocken
Stahl/Stahl 0,06 - 0,20
Statsich=stehend /Dynamisch=beweglich

20_Winkel information

45° = 1,414 (0,707)
30° = 1,1547 (0,866...)
22,5° = 1,0785 (0,927...)
Pythagoras: Info Rechtw. Dreieck
a/2 + b /2 = C/2

Aus C/2 die Wurzel ziehen = C

gezeichnet:	HPW-IW	Datum:	04.07.2015	eduction project	Technische Information	Sprach Version Deutsch r27	origin: WIAP International
Aenderung:	hp-sw-jw	Datum:	11.10.2026	WIAP International	Werkstatt Hilfsblatt	Infos aus div. Quellen	datei_wi_8_f_6_a2_r25a_mousmape
Aenderung:	control 2	Data:		Safenwil Schweiz	www.wiap.ch	Tel. 0041 62 752 42 60	idee of / from: HPW

Bereich 1 · Wi-8f Rechnen und Physik

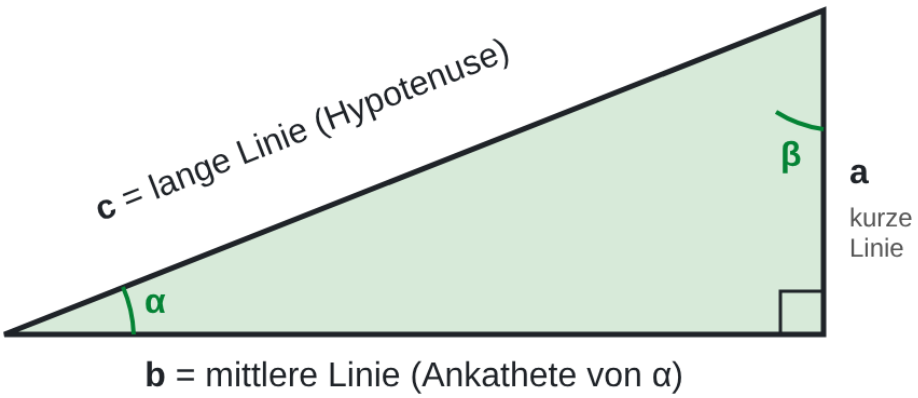
Technisches Rechnen, Winkel, Einheiten, Kraft und Drehmoment, Reibung, Wärmeausdehnung und Druck – die Grundlagen für alle weiteren Bereiche.

Kapitel 1 · Technisches Rechnen und Winkel (Wi-8f 1-7)

Pythagoras, Sinus, Cosinus und Tangens braucht man in der Werkstatt jeden Tag: für Schrägen, Fasen, Diagonalen, Lochbilder und Kontrollmasse. Dazu das Rechnen in dm für Volumen, Liter und Gewicht.

Merksatz: Im rechtwinkligen Dreieck ist **ein Winkel immer 90°**, alle drei Winkel zusammen ergeben **180°**. Die **lange Linie c** (Hypotenuse) liegt immer gegenüber dem 90°-Winkel.

Das rechtwinklige Dreieck: Namen der Seiten



Seite	WIAP-Name	Fachbegriff (vom Winkel α aus gesehen)
a	kurze Linie	Gegenkathete: liegt dem Winkel α gegenüber
b	mittlere Linie	Ankathete: berührt den Winkel α
c	lange Linie	Hypotenuse: liegt gegenüber dem 90°-Winkel

Achtung: Sieht man vom anderen Winkel β aus, tauschen Gegenkathete und Ankathete die Rollen. Die Hypotenuse c bleibt immer gleich. In alten WIAP-Blättern steht «a/2» für a² (a im Quadrat).

Satz des Pythagoras

$a^2 + b^2 = c^2$ · Die beiden kurzen Seiten im Quadrat zusammengezählt ergeben die lange Seite im Quadrat.

Gesucht	Rechnung	In Worten
c (lange Linie)	$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$	a × a plus b × b, dann die Wurzel ziehen
a (kurze Linie)	$a = \sqrt{(c^2 - b^2)}$	c × c minus b × b, dann die Wurzel ziehen
b (mittlere Linie)	$b = \sqrt{(c^2 - a^2)}$	c × c minus a × a, dann die Wurzel ziehen

Beispiel: a = 30 mm, b = 40 mm → $c^2 = 900 + 1600 = 2500$ → $c = \sqrt{2500}$ = **50 mm**. Das Dreieck 3 : 4 : 5 ist rechtwinklig. Damit kann man in der Werkstatt einen rechten Winkel abstecken (z. B. 3 m, 4 m, 5 m beim Aufstellen einer Maschine).

Sinus, Cosinus, Tangens, Cotangens

Die Winkelfunktionen sind nichts anderes als das **Verhältnis von zwei Seiten** (ein «Faktor»). Zu jedem Faktor gehört genau ein Winkel.

Funktion	Formel für Winkel α	WIAP-Kurzform	Faktor
Sinus	sin α = Gegenkathete / Hypotenuse	a / c = kurze / lange Linie	immer kleiner als 1

Funktion	Formel für Winkel α	WIAP-Kurzform	Faktor
Cosinus	cos α = Ankathete / Hypotenuse	b / c = mittlere / lange Linie	immer kleiner als 1
Tangens	tan α = Gegenkathete / Ankathete	a / b	unter 45° kleiner als 1, ab 45° grösser als 1
Cotangens	cot α = Ankathete / Gegenkathete	b / a = 1 / tan α	unter 45° grösser als 1

Gut zu wissen: sin α = cos β · cos α = sin β · tan α = cot β. Der berechnete Winkel liegt immer **gegenüber** der Seite im Zähler bzw. berührt sie nicht (beim Sinus) – darum zuerst klar machen, von welchem Winkel aus man rechnet.

Faktoren häufiger Winkel

Winkel	sin	cos	tan	1 / cos
5°	0,0872	0,9962	0,0875	1,0038
10°	0,1736	0,9848	0,1763	1,0154
15°	0,2588	0,9659	0,2679	1,0353
20°	0,3420	0,9397	0,3640	1,0642
22,5°	0,3827	0,9239	0,4142	1,0824
25°	0,4226	0,9063	0,4663	1,1034
30°	0,5000	0,8660	0,5774	1,1547
35°	0,5736	0,8192	0,7002	1,2208
40°	0,6428	0,7660	0,8391	1,3054
45°	0,7071	0,7071	1,0000	1,4142
50°	0,7660	0,6428	1,1918	1,5557
55°	0,8192	0,5736	1,4281	1,7434
60°	0,8660	0,5000	1,7321	2,0000
70°	0,9397	0,3420	2,7475	2,9238
75°	0,9659	0,2588	3,7321	3,8637
80°	0,9848	0,1736	5,6713	5,7588

Taschenrechner immer auf **DEG** (Grad) stellen, nicht RAD. Vom Faktor zurück zum Winkel: Taste **sin⁻¹**, **cos⁻¹** oder **tan⁻¹** (oft «2nd» oder «Shift» und dann sin/cos/tan). Beispiel: a / c = 0,6 → sin⁻¹ 0,6 = **36,87°**.

Faktoren für die Werkstatt

Was	Faktor	Beispiel
Quadrat: Eckmass (Diagonale)	Seite × 1,414	Vierkant 50 mm → Diagonale 70,7 mm
Sechskant: Eckmass	Schlüsselweite × 1,155	SW 24 → Eckmass ca. 27,7 mm (also ca. 15,5 % grösser)
Kreisfläche aus dem Quadrat	D × D × 0,785	Der Kreis hat 78,5 % der Fläche des umschliessenden Quadrats (0,785 = π / 4)
Quadrat zu Kreis	× 1,2732 (= 1 / 0,785)	Ein Quadrat hat 27,3 % mehr Fläche als der eingeschriebene Kreis
Dreieck: Fläche	a × b / 2	a = 30, b = 40 → 600 mm²

Bitte prüfen: Auf der alten Mausmappe steht beim Sechskant «10,625 %» und «Quadrat zu Kreis 1,2739». Gerechnet ergibt sich 15,5 % (Faktor 1,155) bzw. 1,2732. Der Lochkreis aus dem Lochabstand steht im Kapitel Spindelnasen.

Rückrechnung: eine Seite und ein Winkel bekannt

Kennt man nur **eine Seite und einen Winkel**, sucht man nach der WIAP-Methode zuerst die **lange Linie c** und rechnet von dort weiter. Den Faktor nimmt man aus der Winkeltabelle oder vom Taschenrechner.

Bekannt	c (lange Linie)	Andere Seite
a und α	c = a / sin α	b = a / tan α (oder b = c × cos α)
b und α	c = b / cos α	a = b × tan α (oder a = c × sin α)
c und α	–	a = c × sin α, b = c × cos α
Zweiter Winkel	β = 90° − α	

Beispiel	a mm	b mm	c mm	α	β	Fläche mm²
1 (b und α bekannt)	61,618	**88**	107,428	**35°**	55°	2711
2 (a und b bekannt)	**30**	**40**	50	36,87°	53,13°	600

Bekannt		c (lange Linie)		Andere Seite		
3 (a und α bekannt)	**200**	260,645	328,536	**37,5°**	52,5°	26 065

Fett = gegeben, der Rest ist gerechnet. Beispiel 1: c = 88 / cos 35° = 88 / 0,8192 = 107,43 mm; a = 88 × tan 35° = 88 × 0,7002 = 61,62 mm.

Rechnen in dm: Volumen, Liter und Gewicht

Maschinenbauer messen in mm, die Dichte steht aber in kg/dm³. Darum alle Masse zuerst in **Dezimeter (dm)** umrechnen: **Komma 2 Stellen nach links** (300 mm = 3 dm). Dann gilt: **1 dm³ = 1 Liter**, und dm³ × Dichte = kg.

mm	cm	dm	m
1 mm = 1000 µm	–	–	–
10	1	0,1	0,01
100	10	1	0,1
1000	100	10	1

Körper	Volumen in dm³ (= Liter)	Beispiel Stahl (7,85 kg/dm³)
Quader	Länge × Breite × Höhe	300 × 300 × 500 mm = 3 × 3 × 5 = 45 dm³ → **ca. 353 kg**
Zylinder (Variante 1)	r × r × 3,14 × Länge	Ø 700 × 1100 mm: 3,5 × 3,5 × 3,14 × 11 = 423 dm³ → **ca. 3320 kg**
Zylinder (Variante 2)	D × D × 0,785 × Länge	7 × 7 × 0,785 × 11 = 423 dm³ (gleiches Resultat)
Behälter, Fass	D × D × 0,785 × Höhe	Innen Ø 560 × 850 mm: 5,6 × 5,6 × 0,785 × 8,5 = **ca. 209 Liter**

Schreiner und Maurer rechnen oft in cm: dort das Komma nur 1 Stelle nach links schieben (cm → dm). Weitere Dichten siehe Kapitel Werkstoffe und Kapitel Physik und Einheiten.

Übungen (Lösung anklicken)

Übung 1: Eine Platte ist 1200 × 800 mm. Wie lang ist die Diagonale?

Lösung: c = √(1200² + 800²) = √(1 440 000 + 640 000) = √2 080 000 = **1442,2 mm**

Übung 2: c = 50 mm, a = 30 mm. Wie gross sind α und β?

Lösung: sin α = 30 / 50 = 0,6 → **α = 36,87°**, β = 90° − 36,87° = **53,13°**

Übung 3: c = 168,863 mm, a = 70 mm. Wie gross sind b, α und cos α?

Lösung: b = √(168,863² − 70²) = **153,67 mm**; sin α = 70 / 168,863 = 0,4145 → **α = 24,49°**; cos α = 153,67 / 168,863 = **0,910** (= sin β, β = 65,51°)

Übung 4: c = 50, b = 40, a = 30. Wie gross sind cos α und sin α?

Lösung: cos α = b / c = 40 / 50 = **0,8**; sin α = a / c = 30 / 50 = **0,6**

Übung 5: a = 25 mm, α = 40°. Wie lang sind b und c?

Lösung: c = 25 / sin 40° = 25 / 0,6428 = **38,89 mm**; b = 25 / tan 40° = 25 / 0,8391 = **29,79 mm**

Übung 6: a = 275 mm, b = 90 mm. Wie gross sind c und α?

Lösung: c = √(275² + 90²) = **289,35 mm**; tan α = 275 / 90 = 3,056 → **α = 71,88°**, β = 18,12°

Übung 7: a = 250 mm, b = 450 mm. Wie gross sind c, α und die Fläche?

Lösung: c = √(250² + 450²) = **514,78 mm**; tan α = 250 / 450 = 0,5556 → **α = 29,05°**; Fläche = 250 × 450 / 2 = **56 250 mm²**

Übung 8: Ein Stahlklotz misst 200 × 150 × 400 mm. Wie schwer ist er?

Lösung: 2 × 1,5 × 4 = 12 dm³ × 7,85 = **94,2 kg**

Kapitel 2 · Physik und Einheiten (Wi-8f 1-6)

Dichte, Heizwerte, Kabelquerschnitt und nützliche Werte von der WIAP-Mausmappe. Eigene Kapitel haben: Kapitel 3 Kraft, Drehmoment und Einheiten, Kapitel 4 Reibung, Kapitel 5 Temperatur, Kapitel 6 Druck und Kapitel 43 Wirkungsgrad.

Dichte weiterer Stoffe

Stoff	Dichte kg/dm³	Stoff	Dichte kg/dm³
Wasser	1,0	Blei	11,34
Holz	0,4–0,8	Gold	19,3
Sand	1,8	Diamant	3,5
Beton	2,4	Gummi NBR 65 Shore	1,5

Metalle (Stahl, Alu, Titan, Kupfer, Messing usw.) siehe Kapitel Werkstoffe. 1 dm³ = 1 Liter.

Heizwerte (Energie pro kg)

Stoff	MJ/kg	Stoff	MJ/kg
TNT (Sprengstoff)	4,4	Heizöl	42,3
Stadtgas	18,2	Diesel	42,5
Holz lufttrocken	19	Benzin	43,5
Steinkohle	30	Acetylen	49,9
Wasserstoff	141,8	Methan	55,5

Gut zu sehen: Diesel hat pro kg rund zehnmal mehr Energie als Sprengstoff – Sprengstoff setzt sie nur viel schneller frei.

Kabelquerschnitt und Strom (Richtwerte)

Querschnitt mm²	Strom A (geschlossen verlegt)	Strom A (offen verlegt)
0,75	4	10
1	6	15
1,5	10	18
2,5	16	26
4	20	34
6	25	44
10	35	61
16	50	82
25	63	108
35	80	135
50	100	168
70	125	207
95	160	250
120	200	–

Ohne Gewähr. Massgebend sind die Landesvorschriften (in der Schweiz NIN), Verlegeart, Leitungslänge und Umgebungstemperatur. Arbeiten an elektrischen Anlagen nur durch Fachpersonal!

Faustregeln von der Mausmappe

Thema	Faustregel
Elektrodenschweissen	Stromstärke A ≈ 40 × Elektroden-Ø mm (z. B. Elektrode 3,2 mm → ca. 130 A)
Zerspanen	1 mm² Spanquerschnitt braucht ca. 2000 N (200 kp) Schnittkraft (Stahl)
Mutterhöhe	Normale Mutter ca. 0,8 × D, flache Mutter ca. 0,5 × D
Kraft	10 N ≈ 1 kg, 10 kN ≈ 1000 kg

Übungen (Lösung anklicken)

Übung 1: Ein Stahlteil Ø 500 mm wird geschruppt und hat danach 45 °C, der Raum hat 27 °C. Wie viel wird es beim Abkühlen kleiner?

Lösung: 0,5 m × 0,012 × 18 °C = **0,108 mm**. Wer warm auf Fertigmass dreht, hat nach dem Abkühlen ein zu kleines Teil!

Übung 2: Das gleiche Teil aus Aluminium hat 55 °C (Raum 27 °C). Wie gross ist die Differenz?

Lösung: 0,5 m × 0,024 × 28 °C = **0,336 mm**

Übung 3: Wo wird ein Kalibrier-Messgerät aufbewahrt, und worauf muss man achten?

Lösung: In einem klimatisierten Raum mit **20 °C**. Vor dem Messen Messgerät und Werkstück auf die gleiche Temperatur bringen, Gerät sauber und geschützt lagern und nicht lange in der Hand halten.

Übung 4: Ein Stahlklotz von 500 kg soll auf Stahl verschoben werden (trocken). Mit welcher Kraft muss man rechnen?

Lösung: Gewichtskraft ca. 5000 N × Haftreibung 0,08 bis 0,25 = **ca. 400 bis 1250 N** (40 bis 125 kg). Mit PTFE-Unterlage (0,04) nur noch ca. 200 N.

Übung 5: Eine amerikanische Anleitung verlangt 75 ft-lb. Wie viele Nm sind das?

Lösung: 75 × 1,356 = **ca. 102 Nm**

Übung 6: Motor 0,9, Getriebe 0,95, Trapezspindel 0,45. Wie gross ist der Gesamtwirkungsgrad?

Lösung: 0,9 × 0,95 × 0,45 = **0,38**, also nur 38 %. Mit einem Kugelgewindetrieb (0,8) wären es 0,68.

Kapitel 3 · Kraft, Drehmoment und Einheiten (Wi-8f 1-1)

Newton, Newtonmeter, Arbeit und Leistung, dazu die Umrechnung amerikanischer und englischer Einheiten.

Kraft, Drehmoment, Arbeit und Leistung

Einheit	Umrechnung	Bemerkung
1 kp (Kilopond)	= 9,80665 N (≈ 10 N)	alte Einheit: die Gewichtskraft von 1 kg
1 kpm (Kilopondmeter)	= 9,80665 Nm	altes Drehmoment; 1 Nm = 0,102 kpm
1 Joule (J)	= 1 Nm = 1 Ws	Arbeit: 1 N über 1 m bewegen. 1 MJ = 1 000 000 J
1 Watt (W)	= 1 J pro Sekunde	1 W = 0,102 kpm/s = 0,00136 PS
1 kW	= 1,341 HP (engl. Pferdestärke)	1 PS = 735,5 W; 1 HP = 745,7 W
1 kcal/h	= 1,163 W	alte Wärmeleistung (Heizungen, Kühlgeräte)
1 kcal/s	= 4190 W	–
1 kpm/s	= 9,81 W = 8,43 kcal/h	–
kVA → kW	kW ≈ kVA × 0,8	bei cos φ = 0,8 (Trafo, Generator)

Strom aus Leistung (Richtwert): Wechselstrom I = P / U; Drehstrom I = P / (U × 1,73 × cos φ). Weitere Formeln siehe Kapitel Elektro.

Amerikanische und englische Einheiten

Grösse	Von → in	Rechnung	Zurück
Länge	Inch (in, Zoll) → mm	in × 25,4	mm × 0,03937 = in
Länge	Foot (ft, Fuss) → m	ft × 0,3048 (1 ft = 12 in = 304,8 mm)	m × 3,281 = ft
Länge	Yard → m	yd × 0,9144 (1 yd = 36 in = 914,4 mm)	m × 1,0936 = yd
Länge	Meile → km	Meile × 1,609 (1 Meile = 1760 yd)	km × 0,62 = Meilen
Masse	Pound (lb) → kg	lb × 0,4536	kg × 2,2046 = lb
Masse	Ounce (oz) → g	oz × 28	g × 0,035 = oz
Kraft	Pound-force (lbf) → N	lbf × 4,45	N × 0,225 = lbf
Drehmoment	Foot-pound (ft-lb) → Nm	ft-lb × 1,356	Nm × 0,7376 = ft-lb
Druck	psi → kp/cm² (≈ bar)	psi × 0,0703	kp/cm² × 14,22 = psi

Achtung beim Drehmoment: 1 ft-lb ist **grösser** als 1 Nm. Ein Wert von 100 ft-lb sind 135,6 Nm. Auf alten Blättern ist die Umrechnung teilweise verwirrend geschrieben – gültig ist: 1 Nm = 0,7376 ft-lb. psi ↔ bar siehe Kapitel Pneumatik. Flächen: 1 Are = 10 × 10 m = 100 m², 1 Hektare = 100 × 100 m = 10 000 m².

Kapitel 4 · Reibung (Wi-8f 1-9)

Reibwerte der wichtigsten Werkstoffpaarungen für Führungen, Lager und Klemmungen.

Reibung: Reibwerte von Werkstoffpaarungen

Haftreibung gilt, solange die Teile still stehen (Losbrechkraft). **Gleitreibung** gilt, wenn sie schon gleiten; sie ist meist etwas kleiner. Reibkraft = Reibwert μ × Anpresskraft.

Paarung	Haftreibung trocken	Gleitreibung trocken	geschmiert
Stahl / Stahl	0,08–0,25	0,06–0,20	–
Stahl / PTFE	0,04	0,04	–
Aluminium / Aluminium	1,05	1,04	–
Stahl / Grauguss	0,18–0,19		0,01
Stahl / Messing	0,17		0,1
Bronze / Stahl	0,19		0,18
Bronze / Bronze	0,18		0,11
Bronze / Guss	0,28		–
Gummi / Asphalt	0,9–1,3	0,8	–

Alle Werte sind Richtwerte. Wo nur ein Wert steht, ist nicht zwischen Haft- und Gleitreibung unterschieden. Die Reibungszahlen bei den Anziehdrehmomenten (Kapitel Gewinde und Schrauben) gelten für das Gewinde und die Kopfauflage, nicht für die Trennfuge.

Faustregel: Eine verschraubte Verbindung überträgt durch Reibung ca. **10 % der Klemmkraft** (μ ≈ 0,1). Beispiel: Vorspannkraft 120 kN → ca. 12 kN (ca. 1,2 t) Querkraft, bevor die Teile rutschen. Für mehr Querkraft: Stifte oder Passfedern setzen.

Kapitel 5 · Temperatur und Wärmeausdehnung (Wi-8f 1-10)

Wie stark Stahl und Aluminium bei Wärme wachsen und warum genau bei 20 °C gemessen wird.

Wärmeausdehnung

Merksatz: Stahl wächst pro Meter und pro Grad um ca. **0,012 mm**, Aluminium um ca. **0,024 mm** – also doppelt so viel. Bei genauen Toleranzen ist das sehr wichtig!

Werkstoff	mm pro Meter und °C	mm pro Meter bei 100 °C mehr
Stahl (allgemein)	0,012	1,2
Stahl C60	0,0139	1,39
Eisen	0,0118	1,18
Rostfreier Stahl	0,019	1,9
Aluminium	0,024	2,4
Titan	0,0086	0,86
Kupfer	0,0165	1,65
Zinn	0,022	2,2
Beton	0,012	1,2
Glas	0,010	1,0
PVC	0,052	5,2

Formel: Längenänderung ΔL [mm] = Länge [m] × Wert aus Tabelle × Temperaturunterschied [°C]. Bitte prüfen: Der Wert für rostfreien Stahl (0,019) ist eher hoch, bei üblichen austenitischen Sorten rechnet man oft mit ca. 0,016 bis 0,017.

Regel	Warum
Referenztemperatur 20 °C	Messmittel und Lehren sind auf 20 °C kalibriert. Kalibrier- und Einstellmessgeräte gehören in einen klimatisierten Raum mit 20 °C.
Restwärme beachten	Schruppen bringt Wärme ins Werkstück. Auch mit Emulsion bleibt oft Restwärme. Vor dem Fertigmass abkühlen lassen.
Gleiche Temperatur	Werkstück und Messmittel vor dem Messen auf gleiche Temperatur bringen. Messmittel nicht lange in der warmen Hand halten.

Kapitel 6 · Druck (Wi-8f 1-13)

Druck in bar und als Wassersäule. Hydraulik und Pneumatik siehe Kapitel 36 und Kapitel 37.

Druck einer Wassersäule

Eine Flüssigkeit drückt mit ihrem Gewicht nach unten: p = Dichte × g × Höhe. Für Wasser gilt: **10 m Wassersäule ≈ 1 bar** (genau 0,98 bar). Ein 2 m hoher Wassertank hat am Boden also ca. 0,2 bar. Bei Öl (Dichte ca. 0,9) ist der Druck entsprechend etwas kleiner.

Bereich 2 · Wi-8f Zeichnen, Messen und Toleranzen

Normen und Oberflächen, technisches Zeichnen und Skizzieren, Messen und Prüfen, Passungen mit Rechner sowie Form- und Lagetoleranzen.

Kapitel 7 · Normen und Oberflächen (Wi-8f 1-19-b.1)

Allgemeintoleranzen für Längenmasse (ISO 2768-1)

Gilt für Masse ohne eigene Toleranzangabe. Auf der Zeichnung z. B. «ISO 2768-m». Werte in mm (±).

Toleranzklasse	0,5 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 30	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1000	über 1000 bis 2000	über 2000 bis 4000
f (fein)	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	–
m (mittel)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2
c (grob)	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4
v (sehr grob)	–	0,5	1	1,5	2,5	4	6	8

Rauheit: Rauheitsklassen und Mittenrauwert Ra

Rauheitsklasse	Ra in µm	Typische Bearbeitung
N12	50	Schruppen, Brennschneiden
N11	25	Sägen, grobes Schruppen
N10	12,5	Schruppdrehen, Bohren
N9	6,3	Drehen, Fräsen, Bohren
N8	3,2	Schlichtdrehen, Schlichtfräsen
N7	1,6	Feindrehen, Reiben, Schleifen
N6	0,8	Feinschlichten, Schleifen
N5	0,4	Feinschleifen
N4	0,2	Honen, Läppen
N3	0,1	Läppen, Polieren
N2	0,05	Superfinish
N1	0,025	Superfinish, Polieren

Faustregel: Rz ist etwa 4- bis 7-mal grösser als Ra.

Werkstückkanten (ISO 13715)

Angabe	Bedeutung
+0,3	Grat oder Übergang nach aussen bis 0,3 mm zulässig
−0,3	Abtrag bis 0,3 mm verlangt (Fase oder Rundung), gratfrei
±0,05	Scharfkantig: Abweichung höchstens 0,05 mm nach aussen oder innen

Härteangaben in Zeichnungen (DIN 6773)

Bei wärmebehandelten Teilen steht auf der Zeichnung, wie das Teil behandelt wird und welche Werte danach gemessen werden. Härte und Härtetiefe werden immer mit Plus-Toleranz angegeben (Mindestwert + zulässiger Überschuss).

Kurzzeichen	Bedeutung
HRC / HV / HB	Härtewert nach Rockwell, Vickers oder Brinell (Messverfahren siehe Kap. 3)
Eht	Einsatzhärtungstiefe (einsatzgehärtete Teile)
Nht	Nitrierhärtetiefe (nitrierte Teile)
Rht	Einhärtungstiefe beim Randschichthärten (Induktions-, Flamm-, Laserhärten)
At	Aufkohlungstiefe
CLT	Dicke der Verbindungsschicht («weisse Schicht») beim Nitrieren

In neueren Normausgaben heissen die Härtetiefen CHD (statt Eht), NHD (statt Nht) und SHD (statt Rht). Gemeint ist dasselbe.

Wie liest man die Angabe? Zuerst das Verfahren, dann der Härtewert, dann die Härtetiefe:

Beispiel auf der Zeichnung	Bedeutung
vergütet 350 +50 HB 2,5/187,5	Ganzes Teil vergütet, Brinellhärte 350 bis 400 HB (Kugel Ø 2,5 mm, Prüfkraft 187,5 kp = 1839 N)
gehärtet und angelassen 58 +4 HRC	Härte 58 bis 62 HRC
nitriert ≥ 900 HV 10, Nht = 0,3 +0,1	Oberfläche mindestens 900 HV 10, Nitrierhärtetiefe 0,3 bis 0,4 mm
einsatzgehärtet und angelassen 60 +4 HRC, Eht = 0,5 +0,3	Oberfläche 60 bis 64 HRC, Einsatzhärtungstiefe 0,5 bis 0,8 mm
randschichtgehärtet 620 +120 HV 50, Rht 500 = 0,8 +0,8	Oberfläche 620 bis 740 HV 50; die Grenzhärte 500 HV muss in 0,8 bis 1,6 mm Tiefe liegen

Soll nur ein Teil der Oberfläche behandelt werden, zeichnet man den Bereich mit einer **breiten Strichpunktlinie** neben der Kontur (Bereich **muss** behandelt werden) oder mit einer **breiten Strichlinie** (Bereich **darf** behandelt werden) und bemasst ihn. Messpunkte für die Härteprüfung werden mit einem Symbol eingetragen und bemasst.

Härtetiefen und Toleranzen (Richtwerte, mm)

Übliche Abstufung: Härtetiefe + zulässige Toleranz (nur nach oben).

Verfahren	Härtetiefe + Toleranz in mm						
Einsatzhärten Eht	0,05 +0,03	0,1 +0,1	0,3 +0,2	0,5 +0,3	0,8 +0,4	1,2 +0,5	1,6 +0,6
Nitrieren Nht	0,05 +0,02	0,1 +0,05	0,15 +0,02 *	0,2 +0,1	0,25 +0,1	0,3 +0,1	0,35 +0,1
Induktionshärten Rht	0,2 +0,2	0,4 +0,4	0,6 +0,6	0,8 +0,8	1,0 +1,0	1,3 +1,1	1,6 +1,3
Laser-/Elektronenstrahlhärten Rht	0,2 +0,1	0,4 +0,2	0,6 +0,3	0,8 +0,4	1,0 +0,5	1,3 +0,6	1,6 +0,8

* Wert aus der alten Vorlage schlecht lesbar – bitte prüfen.

Härtetiefe	Gemessen bis zur Grenzhärte
Eht	550 HV 1
Nht	Kernhärte + 50 HV 0,5
Rht	0,8 × geforderte Mindest-Oberflächenhärte (in HV gerechnet)

Härtetiefe = Abstand von der Oberfläche bis zu der Stelle, an der die Härte auf die Grenzhärte abgefallen ist.

Aufgabe: Auf der Zeichnung steht «einsatzgehärtet 60 +4 HRC, Eht = 0,8 +0,4». Was heisst das?

Lösung: Die Oberfläche muss 60 bis 64 HRC haben. Die Härte von 550 HV 1 muss in einer Tiefe zwischen 0,8 mm und 1,2 mm erreicht sein.

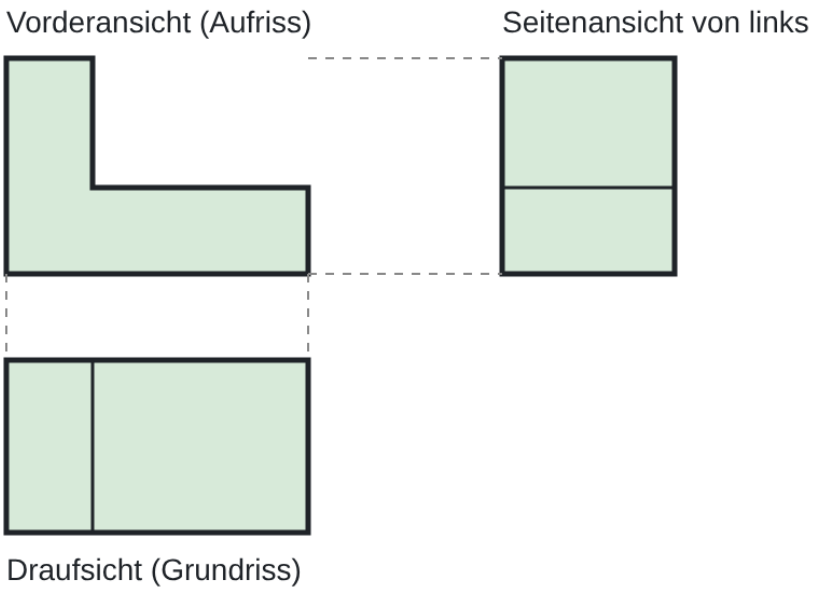
Kapitel 8 · Technisches Zeichnen und Skizzieren (Wi-8f 1-8-a)

Eine saubere Skizze spart Zeit und Missverständnisse – auf der Baustelle, beim Kunden und in der Werkstatt. Hier die Grundregeln: Ansichten, Linien, Schnitte, Maschinenelemente, Bemassung und die WIAP-Regeln für CAD-Skizzen.

Merksatz: Lerne zuerst **von Hand** zu skizzieren, in **3 Ansichten**, ohne Computer. Wer ein Teil von Hand in drei Ansichten zeichnen kann, kann auch jede Zeichnung lesen.

Die drei Ansichten

Ansicht	Alter Name	Blickrichtung	Lage auf dem Blatt (Europa, Projektionsmethode 1)
Vorderansicht	Aufriss	von vorn	Hauptansicht, in der Mitte. Zeigt das Teil möglichst aussagekräftig
Draufsicht	Grundriss	von oben	unter der Vorderansicht
Seitenansicht von links	Seitenriss	von links	rechts neben der Vorderansicht



Masse, die zusammengehören, liegen auf einer Linie: Die Höhe ist in Vorder- und Seitenansicht gleich, die Länge in Vorderansicht und Draufsicht. Darum die Ansichten immer genau untereinander bzw. nebeneinander zeichnen.

Skizzieren von Hand: so geht es

Schritt	Was tun
1. Anschauen	Teil drehen und überlegen: Welche Seite zeigt am meisten? Diese wird die Vorderansicht.
2. Platz einteilen	Grösse grob abschätzen und Platz für alle drei Ansichten und die Masse lassen. Häuschenpapier hilft.
3. Mittellinien	Zuerst die Mittellinien und Hauptkanten dünn vorzeichnen.
4. Umriss	Sichtbare Kanten kräftig nachziehen, verdeckte Kanten gestrichelt.
5. Masse	Masslinien und Masszahlen eintragen. Lieber ein Mass zu viel notieren als später nochmals messen gehen.
6. Schriftfeld	Name, Datum, Teilebezeichnung, Werkstoff, Stückzahl. Bei Kundenteilen: Maschine bzw. Projekt.

Linienarten und Linienbreiten

Linie	Breite	Verwendung
Volllinie	breit	sichtbare Kanten und Umrisse, Gewindeende
Volllinie	schmal	Masslinien, Masshilfslinien, Schraffur, Gewindegrund, Lichtkanten
Strichlinie	schmal (bzw. mittel)	verdeckte Kanten
Strichpunktlinie	schmal	Mittellinien, Symmetrielinien, Lochkreise, Teilkreise
Strichpunktlinie	breit	Kennzeichnung des Schnittverlaufs (an den Enden und Knickstellen)
Strich-Zweipunktlinie	schmal	Endlagen beweglicher Teile, angrenzende Teile
Freihand- oder Zickzacklinie	schmal	Bruchkanten, Grenze eines Teilschnitts

Liniengruppe	bevorzugt für Blatt	schmal mm	mittel mm	breit mm
0,5	A2 und kleiner	0,25	0,35	0,5
0,7	A1 und A0	0,35	0,5	0,7

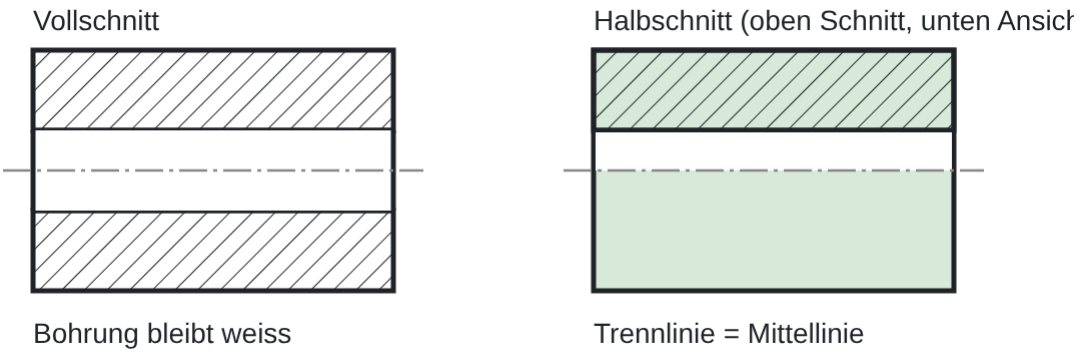
Breite Linien sind doppelt so breit wie schmale. Die mittlere Linienbreite (nach DIN 6776-1) wird für Schrift, Symbole und verdeckte Kanten verwendet. Linien nach ISO 128.

Schnitte

Mit einem Schnitt zeigt man das **Innere** eines Teils (Bohrungen, Nuten, Absätze) klarer als mit vielen verdeckten Kanten. Man schneidet das Teil gedanklich auf und zeichnet, was man auf der Schnittfläche sieht.

Schnittart	Was wird gezeigt	Wann verwenden

Schnittart	Was wird gezeigt	Wann verwenden
Vollschnitt	Das Teil ist ganz durchgeschnitten, die vordere Hälfte weggenommen	Innenformen, die über das ganze Teil gehen (Buchsen, Gehäuse)
Halbschnitt	Ein Viertel herausgeschnitten: eine Hälfte aussen, die andere innen. Trennlinie ist die Mittellinie	Nur bei symmetrischen Teilen: zeigt Aussen- und Innenform in einer Ansicht
Teilschnitt (Ausbruch)	Nur ein kleiner Bereich ist geschnitten, Grenze mit schmaler Freihandlinie	Einzelne Bohrung, Gewinde oder Nut zeigen, der Rest bleibt Ansicht

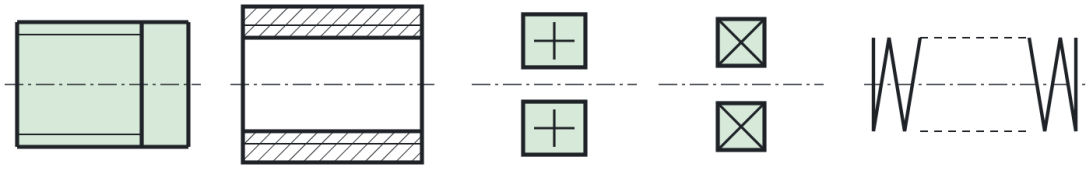


Regel	Erklärung
Schraffur	Schmale Volllinien unter 45° zu den Hauptkanten. Abstand passend zur Grösse der Fläche. Am gleichen Teil überall gleich schraffieren (gleicher Winkel, gleicher Abstand).
Benachbarte Teile	Zwei Teile, die sich berühren, in entgegengesetzter Richtung oder mit anderem Abstand schraffieren.
Schnittverlauf	Mit breiter Strichpunktlinie an den Enden (ausserhalb des Teils beginnend), Pfeile für die Blickrichtung, Grossbuchstaben. Über dem Schnitt steht dann «A–A».
Abgeknickter Schnitt	Mehrere parallel versetzte Schnittebenen in einem Schnitt. Spart weitere Schnitte. Knickstellen mit breiten Winkeln markieren.
Nicht längs schneiden	Volle Teile wie Wellen, Schrauben, Muttern, Stifte, Passfedern, Kugeln und Rippen werden im Längsschnitt nicht schraffiert, sondern in Ansicht gezeichnet.
Werkstoff-Schraffuren	Für verschiedene Stoffe (fest, flüssig, gasförmig) gibt es eigene Schraffurmuster nach DIN 201. Im Maschinenbau genügt meist die normale 45°-Schraffur.
Eindeutig ohne Kennzeichnung	Liegt der Schnitt klar auf der Mittellinie, braucht es keinen Schnittverlauf und keine Buchstaben.

Maschinenelemente vereinfacht darstellen

Normteile werden nicht naturgetreu gezeichnet, sondern vereinfacht. Das spart Zeit und jeder Fachmann versteht es.

Element	So wird es gezeichnet	Norm
Aussengewinde (Bolzen)	Aussen-Ø breite Volllinie, Kern-Ø schmale Volllinie. In der Stirnansicht der Kern als schmaler Dreiviertelkreis. Gewindeende als breite Querlinie.	ISO 6410
Innengewinde (Mutter, Bohrung)	Im Schnitt: Kernloch breit, Nenn-Ø schmal. Schraffur geht bis zur breiten Linie (Kernloch). In der Stirnansicht der Nenn-Ø als schmaler Dreiviertelkreis.	ISO 6410
Schraubenverbindung	Im Schnitt verdeckt das Aussengewinde (Schraube) das Innengewinde. Die Schraube selbst wird nicht geschnitten.	ISO 6410
Wälzlager	Vereinfacht als Rechteck mit aufrechtem Kreuz (+). Genauer: Symbol für Kugel oder Rolle im Rechteck.	ISO 8826
Dichtungen (Wellendichtring)	Vereinfacht als Rechteck mit diagonalem Kreuz (×). Die Dichtrichtung kann mit einem Zusatz angegeben werden.	ISO 9222
Federn	Schraubenfedern vereinfacht: nur die Enden zeichnen, dazwischen die Mittellinie; oder die Windungen als Zickzacklinie.	ISO 2162
Keilwellen, Kerbverzahnung	Kopfkreis breit, Fusskreis schmal (wie beim Gewinde). Profil mit Kurzzeichen in der Bezeichnung angeben.	ISO 6413
Sicherungsringe	Die Nut wird mit Durchmesser und Breite bemasst, der Ring meist nur angedeutet. Nutmasse siehe Kapitel Sicherungsringe.	DIN 471 / 472



Aussengewinde	Innengewinde (Schnitt)	Wälzlager	Wellendichtring	Schraubenfeder
Ende = breite Querlinie	Schraffur bis Kernloch	Rechteck mit +	Rechteck mit ×	nur Enden, Rest angedeutet

Breite Linie = sichtbare Kante bzw. Aussen-Ø (beim Innengewinde das Kernloch), schmale Linie = Gewindegrund. Strichpunktlinie = Mittellinie. Bei Lager und Dichtring zeigt die vereinfachte Darstellung nur «hier sitzt ein Lager / eine Dichtung» – Typ und Grösse stehen in der Stückliste.

WIAP-Prüfung: Schraubenskizze richtig oder falsch?

Richtig (OK)	Falsch (nicht OK)
Draufsicht zeigt den Innensechskant und die beiden Mittellinien	Draufsicht nur zwei Kreise, kein Sechskant, keine Mittellinien
Kern-Ø als schmale Linie bis zum Gewindeende sichtbar	Gewinde nicht erkennbar, Schaft wie ein glatter Bolzen
Fase (Kuppe) am Schraubenende gezeichnet	Ende falsch oder ohne Fase, Mittellinie viel zu lang über das Ende hinaus
Mittellinie wenige mm über das Teil hinaus	Linien durcheinander, Ansichten nicht ausgerichtet

Bemassung: die wichtigsten Regeln

Regel	Erklärung
Jedes Mass nur einmal	Kein Mass doppelt angeben, auch nicht in zwei Ansichten. Sonst weiss man nicht, welches gilt.
Von einer Bezugskante aus	Masse möglichst von einer Bezugskante oder Bohrung aus angeben, so wie das Teil gefertigt und geprüft wird. Keine Kettenmasse bei wichtigen Lagen (Fehler summieren sich).
Masslinie und Hilfslinie	Beide schmal. Die Masshilfslinie geht ca. 1 bis 2 mm über die Masslinie hinaus.
Masszahl	Über der Masslinie, lesbar von unten oder von rechts. Gleiche Schrifthöhe auf der ganzen Zeichnung.
Zeichen	Ø Durchmesser, R Radius, □ Vierkant, SW Schlüsselweite, Fase z. B. 1 × 45°.
Toleranzen	Masse ohne Toleranz nach Allgemeintoleranz (z. B. ISO 2768-m), siehe Kapitel Normen und Oberflächen.

Massstab für eine Skizze wählen

Das Teil soll ca. **60 % der Blattbreite** füllen, der Rest bleibt für Masse und Text.

Schritt	Beispiel: Maschine 7000 mm lang auf A4 quer (297 × 210 mm)
1. Nutzbare Breite	297 mm × 0,6 = 178 mm
2. Verhältnis	7000 mm / 178 mm = 39
3. Massstab	nächster runder Wert: **1 : 40**

Für Skizzen ist 1 : 40 in Ordnung. Auf Normzeichnungen werden bevorzugt 1 : 2, 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20, 1 : 50, 1 : 100 bzw. 2 : 1, 5 : 1 verwendet.

WIAP-Standard für CAD-Skizzen

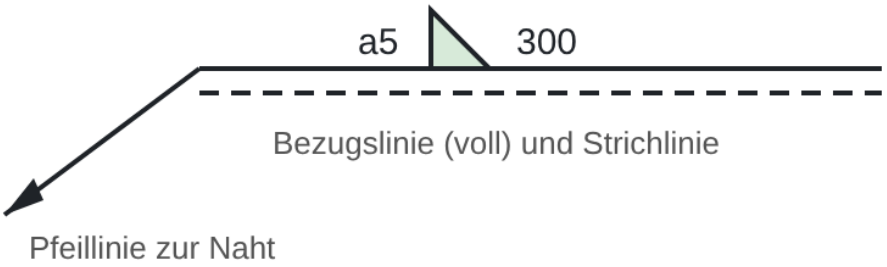
Punkt	WIAP-Regel
Massstabsfaktor	In den Zeichnungsoptionen den Faktor einstellen (z. B. 40 bei 1 : 40), damit die Masse in Originalgrösse angezeigt werden.
Winkelraster	Auf 5° stellen, nicht 10°, sonst kann man 45° nicht fangen.
Masstext	Über der Masslinie, ausgerichtet, horizontal und vertikal. Schrifthöhe z. B. 4 mm, im ganzen Projekt gleich.
Ansichten	Auf einem Blatt die 3 Ansichten zeigen.
Baugruppen-Nummern	BG00 = Gesamtzusammenstellung, BG01 = 1. Baugruppe, BG02 = 2. Baugruppe usw.
Linie mit Winkel	Startpunkt setzen, dann Länge und Winkel eintippen statt mit der Maus ziehen. Dann ist die

Punkt	WIAP-Regel
zeichnen	Linie genau gerade.

Winkelrichtung wie an der CNC-Maschine: 0° (= 360°) zeigt nach **rechts**, 90° nach **oben**, 180° nach **links**, 270° nach **unten**. Gezählt wird gegen den Uhrzeigersinn.

Schweisssymbole (ISO 2553)

Schweissnähte werden auf der Zeichnung mit einem Symbol an einer **Bezugslinie** angegeben. Die **Pfeillinie** zeigt auf die Stelle der Naht.



Naht	Symbol (Form)	Hinweis
Kehlnaht	rechtwinkliges Dreieck	häufigste Naht bei T- und Eckstössen; vor dem Symbol steht die Nahtdicke a (z. B. a5), danach die Länge
I-Naht	zwei senkrechte Striche	Stumpfstoss bei dünnen Blechen, ohne Fugenvorbereitung
V-Naht	V	Stumpfstoss, beide Kanten angeschrägt
HV-Naht	halbes V (ein Strich senkrecht)	nur eine Kante angeschrägt
Y- / U-Naht	V mit Steg bzw. U-Form	dicke Bleche
Punktnaht	Kreis	Widerstandspunktschweissen
Gegenlage	Halbkreis	Wurzel auf der Rückseite nachgeschweisst

Symbol auf der **Volllinie**: Naht auf der Pfeilseite. Symbol auf der **Strichlinie**: Naht auf der Gegenseite. Ein Kreis am Knick der Pfeillinie bedeutet «ringsum schweissen», ein Fähnchen «Montagenaht (auf der Baustelle)». Löt- und Klebenähte haben eigene Zusatzzeichen.

Kapitel 9 · Messen und Prüfen (Wi-8f 1-19-f)

Prüfverfahren für Werkstatt und Qualitätskontrolle. Härte messen siehe Kapitel 15, Form- und Lagetoleranzen siehe Kapitel 11.

Eigenspannungen messen: die Bohrlochmethode

Das MEMV-Protokoll zeigt, *dass* sich im Bauteil etwas verändert hat. Wie gross die Eigenspannungen an einer Stelle tatsächlich sind, kann man mit der Bohrlochmethode messen (Norm ASTM E 837).

Schritt	Was passiert
1. DMS-Rosette aufkleben	Eine Rosette aus mehreren Dehnmessstreifen wird auf die blanke Oberfläche geklebt.
2. Kleines Loch bohren	Genau in der Mitte der Rosette wird mit einem kleinen Fräser in feinen Tiefenschritten ein Loch gebohrt (Zentrierung mit Mikroskop).
3. Dehnung messen	Am Lochrand kann die Spannung nicht mehr wirken – das Material rund ums Loch «federt» ein wenig. Die Rosette misst diese Dehnung nach jedem Tiefenschritt.
4. Auswerten	Aus den Dehnungen werden mit Kalibrierfaktoren (abhängig von Lochdurchmesser, Rosette und Tiefe) die Eigenspannungen in MPa berechnet – auch als Verlauf über die Tiefe.
Vorteile	**Grenzen**
Relativ einfach durchzuführen · misst sehr	Teilzerstörend (kleines Loch im Bauteil) · nur oberflächennah: ab ca. 1

Schritt	Was passiert
örtlich · zeigt den Spannungsverlauf über die Tiefe	mm Tiefe keine verlässliche Auswertung mehr

Die Bohrlochmethode eignet sich als Stichprobe an Versuchsteilen, z. B. vorher/nachher an gleichen Teilen. Für die tägliche Arbeit ist das MEMV-Protokoll der Nachweis – und am Ende zählt das Ergebnis: kein Verzug bei der Bearbeitung.

Aufgabe: Warum darf man die gemessene Dehnung bei der Bohrlochmethode nicht einfach mit dem Hooke'schen Gesetz ($\sigma = E \cdot \varepsilon$) in Spannung umrechnen?

Lösung: Beim Bohren wird die Spannung nur teilweise frei, und das nur in der Umgebung des Lochs. Darum braucht es Kalibrierfaktoren, die von Lochdurchmesser, Rosette und Bohrtiefe abhängen.

Kapitel 10 · Passungen und ISO-Toleranzen (Wi-8f 1-19-b.2)

Werte nach ISO 286, in Mikrometer (µm). 1 µm = 0,001 mm.

Passungsrechner

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-zeichnen-toleranzen/

Die häufigsten Passungen

Passung	Art	Anwendung (Beispiele)
H7/p6	Presspassung	Teile werden aufgepresst oder warm aufgezogen: Buchsen, Zahnkränze, Lagerbuchsen
H7/n6	Übergangspassung, fest	Nur mit Presse fügbar: Kupplungen, Zahnräder auf Wellen
H7/m6	Übergangspassung	Mit Hammer fügbar: Riemenscheiben, Zahnräder, Passstifte
H7/k6	Übergangspassung, leicht	Mit leichten Schlägen fügbar: Kupplungen, Wälzlager-Innenringe
H7/h6	Gleitpassung	Von Hand verschiebbar, geschmiert: Zentrierungen, Wechselräder, Stellringe
H7/g6	Enge Spielpassung	Gleitet ohne merkliches Spiel: verschiebbare Räder, Präzisions-Gleitlager
H7/f7	Laufpassung	Merkliches Spiel: Gleitlager, Kolben, Schieber
H8/e8	Weite Laufpassung	Grösseres Spiel: Lager mit grossem Abstand, mehrfach gelagerte Wellen
H11/h11	Grobe Spielpassung	Für einfache Teile: Bolzen, Hebel, Distanzbuchsen

Weitere Passungen und Passungsempfehlungen

Ergänzung zur Tabelle oben. Die Fügeart sagt, womit sich die Teile zusammenbauen lassen.

Passung	Art	Fügen / Anwendung (Beispiele)
H8/d9	Spielpassung, sehr weit	Sehr reichlich Spiel: Distanzbuchsen auf Wellen, Lager an Baumaschinen, Transmissionsteile
H8/f7	Spielpassung, Laufsitz	Merkliches Spiel, von Hand fügbar: Gleitlager, mehrfach gelagerte Wellen, Kolben
H8/h9	Spielpassung, gering	Leicht einzuschieben: verschiebbare Zahnräder und Kupplungen, Distanzhülsen
H7/j6	Übergangspassung, eher Spiel	Mit dem Holz- oder Kunststoffhammer fügbar: leicht ausbaubare Zahnräder, Lagerbuchsen
H7/r6	Presspassung	Mit grösserem Druck fügbar: Buchsen in Gehäusen, Welle-Nabe-Verbindungen, Hebel
H7/s6	Presspassung, fest	Mit grossem Druck und meist Erwärmen der Nabe: Gleitlagerbuchsen, Welle-Nabe-Verbindungen. Für Grauguss die festeste noch zulässige Passung
H8/u8	Presspassung, sehr fest	Nur mit Presse oder Schrumpfen: Rad auf Achse
H8/x8	Schrumpfpassung	Nur durch Schrumpfen (Erwärmen/Unterkühlen) fügbar: hoch belastete Naben

Bevorzugte Passungen (DIN 7157): Möglichst aus Reihe 1 wählen, dann braucht die Werkstatt weniger Reibahlen und Lehren.

Reihe	Passungen
Reihe 1 (bevorzugt)	C11/h9, D10/h9, E9/h9, F8/h9, H8/f7, F8/h6, H7/f7, H8/h9, H7/h6, H7/n6, H7/r6, H8/x8 bzw. u8
Reihe 2	C11/h11, D10/h11, H8/d9, H8/e8, H7/g6, G7/h6, H11/h9, H7/j6, H7/k6, H7/s6

Einheitsbohrung oder Einheitswelle? Im Maschinenbau ist fast immer die Bohrung das H-Mass (Einheitsbohrung): Bohrungen werden mit Reibahle oder Feinbohrkopf auf H gebracht, die Wellen werden passend gedreht oder geschliffen. Bei gezogenen Wellen in einem Stück (z. B. Transmissionen, Achsen mit vielen Teilen) nimmt man die Einheitswelle h und passt die Bohrungen an:

Einheitsbohrung	gleichwertig Einheitswelle	Charakter
H8/d9	D10/h9	weites Spiel
H8/e8	E9/h9	reichliches Spiel
H8/f7	F8/h9	Laufsitz
H7/f7	F8/h6	Laufsitz, genauer
H7/g6	G7/h6	enger Gleitsitz
H8/h9	H8/h9	geringes Spiel
H7/h6	H7/h6	Gleitsitz, von Hand

Von diesen Empfehlungen nur in Ausnahmen abweichen, z. B. beim Einbau von Wälzlagern (siehe Kap. 12, Passungen für Wälzlager).

Begriffe und Grundformeln

Beispiel Bohrung Ø 20 H7, Welle Ø 20 s6: Die Zahl 20 ist das Nennmass, der Buchstabe das Grundabmass (Lage), die Ziffer der Toleranzgrad (Grösse der Toleranz).

Begriff	Bohrung	Welle	Erklärung
Nennmass	N	N	Mass auf der Zeichnung; ihm entspricht die Nulllinie
oberes Abmass	ES	es	Höchstmass minus Nennmass
unteres Abmass	EI	ei	Mindestmass minus Nennmass
Höchstmass	N + ES	N + es	grösstes zulässiges Mass
Mindestmass	N + EI	N + ei	kleinstes zulässiges Mass
Toleranz	ES − EI	es − ei	Höchstmass minus Mindestmass, immer positiv
Grundabmass	A … ZC	a … zc	das Abmass, das näher an der Nulllinie liegt; legt die Lage des Toleranzfeldes fest
Grundtoleranz (IT)	IT01 … IT18		Toleranzgrösse je Grad und Nennmassbereich (Tabellen unten)

Passungsart	Formeln
Spielpassung	Höchstspiel = Höchstmass Bohrung − Mindestmass Welle Mindestspiel = Mindestmass Bohrung − Höchstmass Welle
Übergangspassung	Höchstspiel = Höchstmass Bohrung − Mindestmass Welle Höchstübermass = Mindestmass Bohrung − Höchstmass Welle
Übermass- (Press-)passung	Höchstübermass = Mindestmass Bohrung − Höchstmass Welle Mindestübermass = Höchstmass Bohrung − Mindestmass Welle

Lage der Toleranzfelder: Bei den Wellen liegen a bis g unter der Nulllinie (Welle kleiner als Nennmass), h endet genau auf der Nulllinie, js liegt symmetrisch darum, und k bis zc liegen darüber (Welle grösser). Bei den Bohrungen ist es gespiegelt: A bis G liegen über der Nulllinie (Bohrung grösser), H beginnt auf der Nulllinie, K bis ZC liegen darunter. Darum gibt H-Bohrung mit Welle a–g eine Spielpassung, mit j–n meist eine Übergangspassung und mit p–zc eine Presspassung.

Grosse Buchstaben = Bohrung, kleine Buchstaben = Welle. H und h haben das Grundabmass 0.

Aufgabe: Passung Ø 30 H8/f7. Wie gross sind Höchst- und Mindestspiel? (H8 = +33/0 µm, f7 = −20/−41 µm)

Lösung: Bohrung 30,000 bis 30,033 mm, Welle 29,959 bis 29,980 mm. Höchstspiel = 30,033 − 29,959 = 0,074 mm. Mindestspiel = 30,000 − 29,980 = 0,020 mm.

Aufgabe: Welle Ø 20 e8 (−40/−73 µm). Mindestmass und Toleranz?

Lösung: Mindestmass = 20 − 0,073 = 19,927 mm. Toleranz = −40 − (−73) = 33 µm.

Grenzabmasse für Bohrungen und Wellen (µm)

Oben: oberes Abmass (blau), unten: unteres Abmass (rot). Beispiel: Welle Ø 40 g6 = −9 / −25 µm, also 39,991 bis 39,975 mm.

Nennmass mm	H7	H8	H11	e8	f7	g6	h6	h9	h11	js6	k6	m6	n6	p6
bis 3	+100	+140	+600	−14−28	−6−16	−2−8	0−6	0−25	0−60	+3−3	+60	+8+2	+10+4	+12+6
über 3 bis 6	+120	+180	+750	−20−38	−10−22	−4−12	0−8	0−30	0−75	+4−4	+9+1	+12+4	+16+8	+20+12
über 6 bis 10	+150	+220	+900	−25−47	−13−28	−5−14	0−9	0−36	0−90	+4.5−4.5	+10+1	+15+6	+19+10	+24+15
über 10 bis 18	+180	+270	+1100	−32−59	−16−34	−6−17	0−11	0−43	0−110	+5.5−5.5	+12+1	+18+7	+23+12	+29+18
über 18 bis 30	+210	+330	+1300	−40−73	−20−41	−7−20	0−13	0−52	0−130	+6.5−6.5	+15+2	+21+8	+28+15	+35+22
über 30 bis 50	+250	+390	+1600	−50−89	−25−50	−9−25	0−16	0−62	0−160	+8−8	+18+2	+25+9	+33+17	+42+26
über 50 bis 80	+300	+460	+1900	−60−106	−30−60	−10−29	0−19	0−74	0−190	+9.5−9.5	+21+2	+30+11	+39+20	+51+32
über 80 bis 120	+350	+540	+2200	−72−126	−36−71	−12−34	0−22	0−87	0−220	+11−11	+25+3	+35+13	+45+23	+59+37
über 120 bis 180	+400	+630	+2500	−85−148	−43−83	−14−39	0−25	0−100	0−250	+12.5−12.5	+28+3	+40+15	+52+27	+68+43
über 180 bis 250	+460	+720	+2900	−100−172	−50−96	−15−44	0−29	0−115	0−290	+14.5−14.5	+33+4	+46+17	+60+31	+79+50
über 250 bis 315	+520	+810	+3200	−110−191	−56−108	−17−49	0−32	0−130	0−320	+16−16	+36+4	+52+20	+66+34	+88+56
über 315 bis 400	+570	+890	+3600	−125−214	−62−119	−18−54	0−36	0−140	0−360	+18−18	+40+4	+57+21	+73+37	+98+62
über 400 bis 500	+630	+970	+4000	−135−232	−68−131	−20−60	0−40	0−155	0−400	+20−20	+45+5	+63+23	+80+40	+108+68

Weitere Toleranzfelder (µm)

Ergänzung zur Tabelle oben: oft gebrauchte Felder, z. B. für Wälzlagersitze (G7, K7, M7, N7, k5) und Spindellager (H6). Oben: oberes Abmass, unten: unteres Abmass. Beispiel: Bohrung Ø 40 K7 = +7 / −18 µm, also 40,007 bis 39,982 mm.

Nennmass mm	G7	H6	H9	K7	M7	N7	P7	d9	f6	h7	h8	k5
bis 3	+12+2	+60	+250	0−10	−2−12	−4−14	−6−16	−20−45	−6−12	0−10	0−14	+40
über 3 bis 6	+16+4	+80	+300	+3−9	0−12	−4−16	−8−20	−30−60	−10−18	0−12	0−18	+6+1
über 6 bis 10	+20+5	+90	+360	+5−10	0−15	−4−19	−9−24	−40−76	−13−22	0−15	0−22	+7+1
über 10 bis 18	+24+6	+110	+430	+6−12	0−18	−5−23	−11−29	−50−93	−16−27	0−18	0−27	+9+1
über 18 bis 30	+28+7	+130	+520	+6−15	0−21	−7−28	−14−35	−65−117	−20−33	0−21	0−33	+11+2
über 30 bis 50	+34+9	+160	+620	+7−18	0−25	−8−33	−17−42	−80−142	−25−41	0−25	0−39	+13+2
über 50 bis 80	+40+10	+190	+740	+9−21	0−30	−9−39	−21−51	−100−174	−30−49	0−30	0−46	+15+2
über 80 bis 120	+47+12	+220	+870	+10−25	0−35	−10−45	−24−59	−120−207	−36−58	0−35	0−54	+18+3
über 120 bis 180	+54+14	+250	+1000	+12−28	0−40	−12−52	−28−68	−145−245	−43−68	0−40	0−63	+21+3
über 180 bis 250	+61+15	+290	+1150	+13−33	0−46	−14−60	−33−79	−170−285	−50−79	0−46	0−72	+24+4

Nennmass mm	G7	H6	H9	K7	M7	N7	P7	d9	f6	h7	h8	k5
über 250 bis 315	+69+17	+320	+1300	+16−36	0−52	−14−66	−36−88	−190−320	−56−88	0−52	0−81	+27+4
über 315 bis 400	+75+18	+360	+1400	+17−40	0−57	−16−73	−41−98	−210−350	−62−98	0−57	0−89	+29+4
über 400 bis 500	+83+20	+400	+1550	+18−45	0−63	−17−80	−45−108	−230−385	−68−108	0−63	0−97	+32+5

Felder, die hier fehlen, lassen sich für h, H, js und JS direkt aus den Grundtoleranzen ableiten: h = 0 / −IT, H = +IT / 0, js und JS = ± IT/2. Beispiel Ø 60 h7: IT7 = 30 µm, also 0 / −30 µm.

Hauptspindellager der Toleranzklassen P5 und P6: Gehäusebohrung besser in H6 statt H7 ausführen (z. B. Ø 30–50 mm: H6 = 0 / +16 µm statt H7 = 0 / +25 µm). Für die Welle gilt: g = Schiebesitz, m = fester Sitz.

Messuhr ablesen: Bei einer Messuhr mit 0,5 mm pro Zeigerumdrehung entspricht ein Teilstrich 10 µm (0,01 mm), die beschrifteten Striche liegen 50 µm auseinander.

Grundtoleranzen IT5 bis IT11 (µm)

Nennmass mm	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
bis 3	4	6	10	14	25	40	60
über 3 bis 6	5	8	12	18	30	48	75
über 6 bis 10	6	9	15	22	36	58	90
über 10 bis 18	8	11	18	27	43	70	110
über 18 bis 30	9	13	21	33	52	84	130
über 30 bis 50	11	16	25	39	62	100	160
über 50 bis 80	13	19	30	46	74	120	190
über 80 bis 120	15	22	35	54	87	140	220
über 120 bis 180	18	25	40	63	100	160	250
über 180 bis 250	20	29	46	72	115	185	290
über 250 bis 315	23	32	52	81	130	210	320
über 315 bis 400	25	36	57	89	140	230	360
über 400 bis 500	27	40	63	97	155	250	400

Grundtoleranzen IT1 bis IT4 und IT12 bis IT16 (µm)

IT1 bis IT4: Messzeuge, Lehren, Präzisionsteile. IT12 bis IT16: grobe Teile, Rohmasse, Schweiss- und Brennteile. Die Grade IT5 bis IT11 stehen in der Tabelle oben.

Nennmass mm	IT1	IT2	IT3	IT4	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
bis 3	0,8	1,2	2	3	100	140	250	400	600
über 3 bis 6	1	1,5	2,5	4	120	180	300	480	750
über 6 bis 10	1	1,5	2,5	4	150	220	360	580	900
über 10 bis 18	1,2	2	3	5	180	270	430	700	1100
über 18 bis 30	1,5	2,5	4	6	210	330	520	840	1300
über 30 bis 50	1,5	2,5	4	7	250	390	620	1000	1600
über 50 bis 80	2	3	5	8	300	460	740	1200	1900
über 80 bis 120	2,5	4	6	10	350	540	870	1400	2200
über 120 bis 180	3,5	5	8	12	400	630	1000	1600	2500
über 180 bis 250	4,5	7	10	14	460	720	1150	1850	2900
über 250 bis 315	6	8	12	16	520	810	1300	2100	3200
über 315 bis 400	7	9	13	18	570	890	1400	2300	3600
über 400 bis 500	8	10	15	20	630	970	1550	2500	4000

Grosse Nennmasse über 500 bis 3150 mm

Für grosse Teile, z. B. Bettführungen, grosse Lagersitze und Umbauten an Grossmaschinen. Grundtoleranzen in µm:

Nennmass mm	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
über 500 bis 630	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400

Nennmass mm	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
über 630 bis 800	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000
über 800 bis 1000	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600
über 1000 bis 1250	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600
über 1250 bis 1600	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800
über 1600 bis 2000	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200
über 2000 bis 2500	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
über 2500 bis 3150	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500

Grundabmasse für Spielpassungen über 500 mm in µm. Bei den Wellen d, e, f, g ist das obere Abmass es = −Wert, bei den Bohrungen D, E, F, G ist das untere Abmass EI = +Wert. Das zweite Abmass erhält man mit der Grundtoleranz IT.

Nennmass mm	d / D	e / E	f / F	g / G	h / H
über 500 bis 630	260	145	76	22	0
über 630 bis 800	290	160	80	24	0
über 800 bis 1000	320	170	86	26	0
über 1000 bis 1250	350	195	98	28	0
über 1250 bis 1600	390	220	110	30	0
über 1600 bis 2000	430	240	120	32	0
über 2000 bis 2500	480	260	130	34	0
über 2500 bis 3150	520	290	145	38	0

Beispiel Welle Ø 800 g6: es = −24 µm, IT6 = 50 µm, also ei = −74 µm. Bohrung Ø 800 H7: 0 / +80 µm. Grösstspiel = 80 + 74 = 154 µm, Kleinstspiel = 24 µm.

Über 500 mm gilt: Wellen k haben unten 0 (ei = 0). Für js und JS gilt weiterhin ± IT/2.

Aufgabe: Welle Ø 1200 f7. Welche Grenzabmasse?

Lösung: Bereich über 1000 bis 1250 mm: Grundabmass f = 98 µm, also es = −98 µm. IT7 = 105 µm, also ei = −98 − 105 = −203 µm. Die Welle darf zwischen 1199,797 und 1199,902 mm liegen.

Kapitel 11 · Form- und Lagetoleranzen (Wi-8f 1-19-b.3)

Masstoleranzen sagen nur, wie gross ein Teil sein darf. Form- und Lagetoleranzen (ISO 1101) sagen, wie gerade, eben, rund oder parallel es sein muss und wie gut es zu einer Bezugsfläche oder -achse liegen muss. Für den Monteur sind sie wichtig, weil man genau diese Werte mit Messuhr, Haarlineal und Tuschierplatte prüft.

Die Symbole auf einen Blick

Symbol	Eigenschaft	Gruppe	Bezug nötig?	Toleranzzone (vereinfacht)
⏤	Geradheit	Form	nein	Achse in einem Zylinder Ø t, oder Linie zwischen zwei Geraden im Abstand t
▱	Ebenheit	Form	nein	zwei parallele Ebenen im Abstand t
○	Rundheit	Form	nein	in jedem Querschnitt zwei konzentrische Kreise im Abstand t
⌭	Zylinderform	Form	nein	zwei koaxiale Zylinder im Abstand t
⌒	Linienform (Profil einer Linie)	Form, mit Bezug auch Lage	möglich	Band um die Sollkontur, gebildet von Kreisen Ø t
⌓	Flächenform (Profil einer Fläche)	Form, mit Bezug auch Lage	möglich	Schale um die Sollfläche, gebildet von Kugeln Ø t
∥	Parallelität	Richtung	ja	zwei Ebenen parallel zum Bezug im Abstand t, oder Zylinder Ø t parallel zur Bezugsachse
⊥	Rechtwinkligkeit	Richtung	ja	zwei Ebenen rechtwinklig zum Bezug, oder Zylinder Ø t rechtwinklig zur Bezugsfläche
∠	Neigung (Winkligkeit)	Richtung	ja	zwei parallele Ebenen oder Linien im Abstand t, im Sollwinkel zum Bezug geneigt
⌖	Position	Ort	ja (meist)	Kreis oder Zylinder Ø t um die theoretisch genaue

Symbol	Eigenschaft	Gruppe	Bezug nötig?	Toleranzzone (vereinfacht)
				Lage
◎	Koaxialität / Konzentrizität	Ort	ja	Zylinder Ø t um die Bezugsachse
⌯	Symmetrie	Ort	ja	zwei Ebenen im Abstand t, symmetrisch zur Bezugs-Mittelebene
↗	Lauf (Rund- und Planlauf)	Lauf	ja	bei einer Umdrehung: Ausschlag in jedem Messquerschnitt höchstens t
⌰	Gesamtlauf (Rund- und Planlauf)	Lauf	ja	bei Drehen und gleichzeitigem Verschieben der Messuhr: Ausschlag über die ganze Fläche höchstens t

Auf älteren Zeichnungen heisst Koaxialität auch «Konzentrizität», der Gesamtlauf «Gesamtrundlauf» bzw. «Gesamtplanlauf».

Den Toleranzrahmen lesen

Die Angabe steht in einem Rahmen mit mehreren Feldern. Ein Pfeil zeigt auf das tolerierte Element:

Feld	Inhalt	Beispiel
1	Symbol der Eigenschaft	⊥
2	Toleranzwert t in mm; steht «Ø» davor, ist die Zone ein Zylinder oder Kreis	Ø 0,02
3 und weitere	Bezugsbuchstaben; mehrere Buchstaben in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit, «A-B» = gemeinsame Achse aus A und B	A

Beispiel: **| ⊥ | Ø 0,02 | A |** an einem Zapfen heisst: Die Achse des Zapfens muss in einem Zylinder von 0,02 mm Durchmesser liegen, der genau rechtwinklig zur Bezugsfläche A steht.

Bezug: Der Bezug ist mit einem Grossbuchstaben in einem Kästchen und einem ausgefüllten Dreieck gekennzeichnet. Steht das Dreieck auf der Massfläche oder an der Kontur, ist die Fläche der Bezug. Steht es in Verlängerung der Masslinie, ist die Achse oder Mittelebene gemeint. Das gilt genauso für den Pfeil am tolerierten Element.

Theoretisch genaue Masse stehen in einem Rahmen (z. B. **[30]**). Sie haben keine eigene Toleranz; die Abweichung wird nur über die Positionstoleranz begrenzt.

Ø vor dem Wert = runde Toleranzzone (Achse). Kein Ø = Zone zwischen zwei Ebenen oder Linien.

Prüfen in der Werkstatt

Eigenschaft	So prüft der Monteur (vereinfacht)
Geradheit	Haarlineal oder Richtlineal anlegen, Lichtspalt oder Fühlerlehre; lange Führungen mit Messuhr auf Schlitten oder mit Wasserwaage in Schritten
Ebenheit	Tuschieren auf der Richtplatte (Tragbild), oder Messuhr auf Messständer über die Fläche führen; Teil dabei auf drei Punkten abstützen
Rundheit	Zwischen Spitzen oder im Prisma drehen und in einem Querschnitt messen; das Prisma zeigt Ovale schlecht, besser Formmessgerät
Parallelität	Bezugsfläche auf die Messplatte legen, Messuhr über die tolerierte Fläche führen; grösster minus kleinster Wert
Rechtwinkligkeit	Anschlagwinkel oder Zylinderwinkel mit Lichtspalt; an der Maschine Messuhr an der Spindel und Planfläche umfahren
Rundlauf	Teil um die Bezugsachse drehen (zwischen Spitzen, in Lagern, in der Spindel), Messuhr senkrecht auf den Umfang, grösster Zeigerausschlag pro Querschnitt
Planlauf	Gleich wie Rundlauf, aber Messuhr axial auf die Stirnfläche, möglichst weit aussen messen
Gesamtlauf	Während des Drehens die Messuhr über die ganze Länge (radial) bzw. über die ganze Stirnfläche (axial) verschieben; der gesamte Ausschlag zählt

Rundlauf ist nicht Rundheit: Der Rundlauf enthält Rundheitsfehler **und** Aussermittigkeit zur Bezugsachse. Ein Teil kann also perfekt rund sein und trotzdem schlecht rundlaufen.

Messuhr immer senkrecht zur Messfläche ansetzen und mit etwas Vorspannung (etwa eine halbe bis eine Umdrehung). Vor dem Messen Fläche und Bezug reinigen; ein Span unter dem Prisma verfälscht alles.

Übungen (Lösung anklicken)

Aufgabe 1: An einer Welle steht | ↗ | 0,03 | A-B |. Was bedeutet das und wie misst du?

Lösung: Rundlauftoleranz 0,03 mm bezogen auf die gemeinsame Achse der Lagerstellen A und B. Welle auf A und B abstützen (z. B. in Prismen oder zwischen Spitzen, wenn die Zentrierungen die Achse A-B darstellen), Messuhr radial ansetzen, eine Umdrehung drehen. In jedem Querschnitt darf der Zeiger höchstens 0,03 mm ausschlagen.

Aufgabe 2: Was ist der Unterschied zwischen | ∥ | 0,02 | A | und | ∥ | Ø 0,02 | A |?

Lösung: Ohne Ø liegt die tolerierte Fläche (oder Achse) zwischen zwei Ebenen im Abstand 0,02 mm parallel zu A. Mit Ø muss die Achse in einem Zylinder von 0,02 mm Durchmesser liegen, der parallel zur Bezugsachse A ist – die Abweichung ist dann in alle Richtungen begrenzt.

Aufgabe 3: Eine Planfläche hat Ebenheit 0,01 mm, aber keine Parallelitätsangabe. Darf sie schief zur Unterseite liegen?

Lösung: Ja. Die Ebenheit braucht keinen Bezug und sagt nur, dass die Fläche in sich eben ist. Wie schief sie zur Unterseite liegt, begrenzen nur die Masstoleranz der Höhe oder eine zusätzliche Parallelitätstoleranz.

Bereich 3 · Wi-8f Werkstoffe und Wärmebehandlung

Stähle und andere Werkstoffe, Halbzeuge und Profile, Wärmebehandlung und Härtemessung mit Brinell-Rechner.

Kapitel 12 · Werkstoffe (Wi-8f 1-19-h.1)

Häufige Werkstoffe im Maschinenbau. Festigkeitswerte sind Richtwerte und hängen von Abmessung und Zustand ab.

Kurzname	Werkstoff-Nr.	Alte Bezeichnung	Gruppe	Zugfestigkeit Rm N/mm²	Typische Anwendung
S235JR	1.0038	St 37-2	Baustahl	360–510	Schweisskonstruktionen, Gestelle, Bleche
S355J2	1.0577	St 52-3	Baustahl	470–630	Hoch belastete Schweissteile, Maschinenrahmen
C45	1.0503	C45	Vergütungsstahl	ca. 650 (normalgeglüht)	Wellen, Bolzen, Zahnräder
42CrMo4	1.7225	42CrMo4	Vergütungsstahl	900–1100 (vergütet)	Hoch belastete Wellen, Spindeln, Schrauben
16MnCr5	1.7131	16MnCr5	Einsatzstahl	–	Zahnräder, Nocken, Bolzen (einsatzgehärtet)
11SMnPb30	1.0718	9SMnPb28	Automatenstahl	ca. 400–600	Drehteile in Serie
100Cr6	1.3505	100Cr6	Wälzlagerstahl	–	Lagerringe, Führungen, Messzeug
X153CrMoV12	1.2379	–	Kaltarbeitsstahl	–	Schneid- und Stanzwerkzeuge
90MnCrV8	1.2842	–	Kaltarbeitsstahl	–	Werkzeuge, Lehren, Messer
X5CrNi18-10	1.4301	V2A	Rostfreier Stahl	500–700	Allgemein rostfrei, Lebensmittelbereich
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	V4A	Rostfreier Stahl	500–700	Chemie, Meerwasser, säurebeständig
X8CrNiS18-9	1.4305	V2A Automat	Rostfreier Stahl	500–750	Rostfreie Drehteile
EN-GJL-250	0.6025	GG 25	Grauguss	250	Maschinenbetten, Gehäuse
EN-GJS-400-15	0.7040	GGG 40	Sphäroguss	400	Gehäuse, Hebel, belastete Gussteile
EN AW-6082	3.2315	AlMgSi1	Aluminium	ca. 310 (T6)	Profile, Platten, allgemeiner Maschinenbau
EN AW-5083	3.3547	AlMg4,5Mn	Aluminium	ca. 275	Platten, Vorrichtungen, gut schweissbar
EN AW-2007	3.1645	AlCuMgPb	Aluminium	ca. 370	Automaten-Drehteile
CuZn39Pb3	CW614N	Ms 58	Messing	ca. 360–500	Drehteile, Armaturen

Härtevergleich (Richtwerte für Stahl)

HRC	HV	HB	Zugfestigkeit Rm ca. N/mm²
20	238	226	770
25	266	253	860
30	302	286	970
35	345	327	1110
40	392	372	1260
45	446	421	1430
50	513	–	1640
55	595	–	–
60	697	–	–
65	832	–	–

Umrechnungen zwischen Härteskalen sind immer nur Näherungen.

Stahlgruppen: Übersicht

Die Werkstofftabelle oben zeigt nur einzelne Sorten. Hier die wichtigsten Stahlgruppen, ihre Normen und wofür man sie braucht.

Stahlgruppe	Norm	Eigenschaften	Typische Verwendung
Unlegierte Baustähle (warmgewalzt)	DIN EN 10025	Gut bearbeitbar, kalt und warm umformbar, schweissbar (ausser S185)	Schweisskonstruktionen, Gestelle, einfache Maschinenteile ohne Wärmebehandlung
Feinkornbaustähle	DIN EN 10113	Schweissbar, zäh, wenig spröde und alterungsbeständig	Hoch beanspruchte Schweisskonstruktionen im Maschinen- und Stahlbau
Vergütungsstähle	DIN EN 10083	Härtbar und vergütbar; weichgeglüht gut bearbeitbar	Wellen, Achsen, Zahnräder, hoch belastete Teile mit guter Zähigkeit
Einsatzstähle	DIN EN 10084	Wenig Kohlenstoff; nach dem Aufkohlen ist nur die Randschicht hart, der Kern bleibt zäh	Zahnräder, Bolzen, Nocken, Teile mit verschleissfester Oberfläche
Stähle für Flamm- und Induktionshärten	DIN 17212	Direkt härtbar; nur einzelne Stellen werden gehärtet (z. B. Zahnflanken). Vorher vergüten	Kurbel- und Nockenwellen, Antriebswellen, Schnecken
Nitrierstähle	DIN EN 10085	Nitrierhärtbar, sehr wenig Verzug beim Härten. Vorher vergüten	Verschleissteile, Spindeln, Teile mit hoher Dauerfestigkeit, bis ca. 500 °C
Automatenstähle	DIN EN 10087	Sehr gut zerspanbar (kurze Späne), nicht schweissbar, Härten nur unsicher	Drehteile in grosser Stückzahl
Federstähle	DIN EN 10270, DIN EN 10089	Sehr elastisch, hohe Dauerfestigkeit	Blatt-, Schrauben-, Teller- und Drehstabfedern
Kaltarbeitsstähle	DIN EN ISO 4957	Unlegiert: durchhärtend nur bis ca. Ø 10 mm, bis ca. 200 °C. Legiert: tiefere Härte, verschleissfester	Schneid-, Stanz- und Umformwerkzeuge
Warmarbeitsstähle	DIN EN ISO 4957	Härten über den ganzen Querschnitt durch, warmfest	Umformwerkzeuge über 200 °C, Druckgiessformen
Schnellarbeitsstähle (HSS)	DIN EN ISO 4957	Bleiben bis ca. 600 °C hart	Bohrer, Fräser, Gewindebohrer, hoch belastete Umformwerkzeuge
Rostfreie Stähle	DIN EN 10088	Ferritisch: nicht härtbar. Austenitisch (V2A, V4A): sehr gut kalt umformbar, schweissbar, nicht härtbar. Martensitisch: härtbar	Rostfreie Teile, Lebensmittel und Chemie; martensitisch für Messer, Wellen, Ventile

Einsatzstähle (Auswahl)

Werte für den Kern nach dem Einsatzhärten, gemessen an Proben mit 30 mm Durchmesser. Lieferzustand +A = weichgeglüht.

Kurzname	Werkstoff-Nr.	Härte +A max. HB	Rm Kern N/mm²	Re Kern N/mm²	A %
C10E	1.1121	131	490–640	295	16
C15E	1.1141	143	590–780	355	–
17Cr3	1.7016	174	700–900	450	11
16MnCr5	1.7131	207	780–1080	590	10
20MnCr5	1.7147	217	980–1270	685	8
20MoCr4	1.7321	207	880–1180	590	10
20NiCrMo2-2	1.6523	212	780–1080	590	10
15NiCr13	1.5752	229	920–1230	785	10
17NiCrMo6-4	1.6566	229	≥ 1000	–	–
18CrNiMo7-6	1.6587	229	1060–1320	785	8

Unlegierte Einsatzstähle (C10E, C15E) für kleine Teile mit mittlerer Belastung. Legierte Sorten für Getriebeteile mit wechselnder Belastung; 20MnCr5 und 18CrNiMo7-6 für grössere Querschnitte (Ritzelwellen, Zahnkränze). Sorten mit «S» im Namen (z. B. 16MnCrS5) enthalten etwas Schwefel und lassen sich besser zerspanen. Werkstoff-Nr. von 18CrNiMo7-6 auf dem alten Blatt schlecht lesbar (1.6687?), bitte prüfen.

Vergütungsstähle (Auswahl)

+N = normalgeglüht, +QT = vergütet. Die Festigkeit sinkt mit dem Durchmesser, darum zwei Spalten.

Kurzname	Werkstoff-Nr.	Zustand	Rm N/mm² Ø 16–40	Rm N/mm² Ø 40–100	Re N/mm² Ø 16–40	A %
C22E	1.1151	+QT	470–620	–	290	22
C35E	1.1181	+QT	600–750	550–700	380	19
C45	1.0503	+N	580	580	305	16
C45E	1.1191	+QT	650–800	630–780	430	16
C60E	1.1221	+QT	800–950	750–900	520	13
28Mn6	1.1170	+QT	700–850	650–800	490	15
46Cr2	1.7006	+QT	800–950	650–800	550	14
37Cr4	1.7034	+QT	850–1000	750–900	630	13
25CrMo4	1.7218	+QT	800–950	700–850	600	14
41Cr4	1.7035	+QT	900–1100	800–950	660	12
34CrMo4	1.7220	+QT	900–1100	800–950	650	12
42CrMo4	1.7225	+QT	1000–1200	900–1100	750	11
50CrMo4	1.7228	+QT	1000–1200	900–1100	780	10
51CrV4	1.8159	+QT	1000–1200	900–1100	800	10
34CrNiMo6	1.6582	+QT	1100–1300	1000–1200	900	10
30NiCrMo8	1.6580	+QT	1250–1450	1100–1300	1150	9

Unlegierte Sorten (C22 bis C60) für kleinere Querschnitte und geringere Belastung: Schrauben, Bolzen, Achsen. Cr- und CrMo-Stähle für grössere Durchmesser: Antriebswellen, Zahnräder, Schmiedeteile. CrNiMo-Stähle für die höchsten Belastungen bei grossen Querschnitten. Das «E» (z. B. C45E) bedeutet: höchster Schwefelgehalt vorgeschrieben. C22 bis C60 ohne «E» sind Qualitätsstähle, die übrigen Sorten Edelstähle.

Nitrierstähle und Stähle für Flamm-/Induktionshärten

Kurzname	Werkstoff-Nr.	Verfahren	Rm N/mm² (vergütet)	Re N/mm²	A %
31CrMo12	1.8515	Nitrieren	980–1180	785	11
31CrMoV9	1.8519	Nitrieren	1000–1200	800	10
34CrAlMo5-10	1.8507	Nitrieren	800–1000	600	14
40CrAlMo7-10	1.8509	Nitrieren	900–1100	720	13
34CrAlNi7-10	1.8550	Nitrieren	850–1050	650	12
Cf45	1.1193	Flamm/Induktion	660–800	410 (Ø 16–40)	16
45Cr2	1.7005	Flamm/Induktion	780–930	540 (Ø 16–40)	14
38Cr4	1.7043	Flamm/Induktion	830–980	630 (Ø 16–40)	13
42Cr4	1.7045	Flamm/Induktion	880–1080	670 (Ø 16–40)	12
41CrMo4	1.7223	Flamm/Induktion	980–1180	760 (Ø 16–40)	11

Nitrierstähle: Werte für Dicken 40 bis 100 mm. 31CrMo12 für Verschleissteile bis ca. 250 mm Dicke, 31CrMoV9 bis ca. 100 mm, 34CrAlMo5-10 bis ca. 80 mm, 40CrAlMo7-10 für warmfeste Verschleissteile bis ca. 500 °C, 34CrAlNi7-10 für grosse Teile wie Kolbenstangen und Spindeln. Nitrieren gibt sehr wenig Verzug, darum gut für fertig bearbeitete Maschinenteile.

Automatenstähle (Auswahl)

Werte für Dicken 16 bis 40 mm. +U = unbehandelt, +QT = vergütet. Sorten mit «Pb» enthalten Blei und zerspanen noch besser.

Kurzname	Werkstoff-Nr.	Zustand	Härte HB	Rm N/mm²	Gruppe
11SMn30	1.0715	+U	112–169	380–570	nicht für Wärmebehandlung
11SMn37	1.0736	+U	112–169	380–570	nicht für Wärmebehandlung
10S20	1.0721	+U	107–156	360–530	Einsatzhärten
15SMn13	1.0725	+U	128–178	430–600	Einsatzhärten
35S20	1.0726	+U	154–201	520–680	Vergüten
44SMn28	1.0762	+U	187–238	630–800	Vergüten
46S20	1.0727	+U	175–225	590–760	Vergüten
46SPb20	1.0757	+QT	–	650–800	Vergüten

Automatenstähle sind nicht schweissbar. Beim Einsatzhärten oder Vergüten ist das Ergebnis nicht so gleichmässig wie bei normalen Einsatz- oder Vergütungsstählen.

Werkstoffvergleich international (Baustähle und Kesselbleche)

Für Zeichnungen und Bestellungen aus dem Ausland. Die Sorten sind **ähnlich, aber nicht gleich**. GOST = Russland, BS = Grossbritannien, ASTM/AISI = USA.

EN-Kurzname	Werkstoff-Nr.	Alte DIN-Bezeichnung	GOST	BS	USA (AISI/SAE, ASTM)
S185	1.0035	St 33	St0	–	–
S235JR	1.0038	RSt 37-2	St2ps, St3ps, St3sp	–	AISI 1015; Rohre ASTM A 500 Gr. A
S275JR	1.0044	St 44-2	St4sp, St4ps	–	AISI 1020; Rohre ASTM A 500 Gr. B
S275J2	1.0144	St 44-3	–	43 D (BS 4360)	ASTM A 501
S355J2	1.0570	St 52-3	–	50 D (BS 4360)	AISI 1024 / 1524; ASTM A 618 Gr. III
E295	1.0050	St 50-2	St5ps, St5sp (35)	–	–
E335	1.0060	St 60-2	St6ps, St6sp (45)	–	–
E360	1.0070	St 70-2	55	–	–
C22	1.0402	C 22	20	–	AISI 1025 (nach altem Blatt)
P235GH	1.0345	H I	15K	–	ASTM A 285 Gr. A/B, A 515 Gr. 55
P265GH	1.0425	H II	20K	–	ASTM A 285 Gr. C, A 515 Gr. 60

Maschinenbaustähle: amerikanische Bezeichnungen (AISI/SAE)

*Für Zeichnungen und Ersatzteile aus den USA und aus Asien. Die Sorten sind **ähnlich, aber nicht gleich** – Festigkeit und Zusammensetzung im Zweifel immer mit dem Werkstoffzeugnis prüfen.*

EN-Kurzname	Werkstoff-Nr.	Gruppe	USA (AISI / SAE)	Typisch
C35	1.0501	Vergütungsstahl	1035	Wellen, Bolzen, wenig beansprucht
C45	1.0503	Vergütungsstahl	1045	Wellen, Achsen, Zahnräder
41Cr4	1.7035	Vergütungsstahl	5140	Achsen, Zahnräder, Schrauben
42CrMo4	1.7225	Vergütungsstahl	4140	hoch belastete Wellen, Spindeln, Zahnräder
34CrNiMo6	1.6582	Vergütungsstahl	4340	grosse Querschnitte, Kurbelwellen
16MnCr5	1.7131	Einsatzstahl	5115	Zahnräder, Nocken, Bolzen
20MnCr5	1.7147	Einsatzstahl	5120	grössere Zahnräder, Ritzelwellen
100Cr6	1.3505	Wälzlagerstahl	52100	Lagerringe, Führungen, Messzeug
51CrV4	1.8159	Federstahl	6150	Federn, Tellerfedern
11SMnPb30	1.0718	Automatenstahl	12L14	Drehteile in Serie
X5CrNi18-10	1.4301	rostfrei	304	Behälter, Abdeckungen, Lebensmittel
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	rostfrei (mit Mo)	316L	Chemie, Meerwasser, geschweisst
X20Cr13	1.4021	rostfrei härtbar	420	Messer, Wellen, Ventilteile
90MnCrV8	1.2842	Werkzeugstahl	O2	Schnitt- und Stanzwerkzeuge, Lehren
X153CrMoV12	1.2379	Werkzeugstahl	D2	Schneidwerkzeuge, Verschleissteile

Merksatz: Bei den AISI-Nummern zeigen die letzten zwei Ziffern den Kohlenstoff in Hundertstel-Prozent: 1045 = ca. 0,45 % C (wie C45), 4140 = ca. 0,40 % C (wie 42CrMo4).

Rohrstähle: Vergleich

Werkstoff-Nr.	DIN / EN	Verwendung	USA (ASTM / API)
1.0308	St 35 (S235G2T)	Präzisionsstahlrohr	SAE 1010, ASTM A 519
1.0408	St 45 (S255GT)	Präzisionsstahlrohr	SAE 1020, ASTM A 519

Werkstoff-Nr.	DIN / EN	Verwendung	USA (ASTM / API)
1.0580	St 52 (S355GT)	Präzisionsstahlrohr	SAE 1024 / 1524, ASTM A 519
1.0305	St 35.8	Warmfestes Rohr (Kessel)	ASTM A 106 Gr. A, A 53 Gr. A
1.0405	St 45.8	Warmfestes Rohr	ASTM A 106 Gr. B, A 210 Gr. A-1
1.0481	17Mn4	Warmfestes Rohr	ASTM A 106 Gr. C
1.7335	13CrMo4-5	Warmfestes Rohr	T 12 (A 213), P 12 (A 335)
1.7380	10CrMo9-10	Warmfestes Rohr	T 22 (A 213), P 22 (A 335)
1.4903	X10CrMoVNb9-1	Warmfestes Rohr	T 91 (A 213), P 91 (A 335)
1.4948	X6CrNi18-11	Hochwarmfest, rostfrei	TP 304 H
1.4941	X8CrNiTi18-10	Hochwarmfest, rostfrei	TP 321 H
1.0484	StE 290.7	Leitungsrohr	API 5L X 42
1.0582	StE 360.7	Leitungsrohr	API 5L X 52
1.8972	StE 415.7	Leitungsrohr	API 5L X 60

Merksatz: Ein Werkstoffvergleich zeigt nur **ähnliche** Sorten. Bei tragenden, geschweissten oder druckbelasteten Teilen immer das Werkstoffzeugnis (z. B. 3.1) und die Norm des Bestellers prüfen.

S355J2: Ältere Tabellen nennen 1.0570 (S355J2G3), die heutige Nummer ist 1.0577 (siehe Werkstofftabelle oben). Die alte Vergleichstabelle gilt gruppenweise: Ein Vergleich Zeile für Zeile kann zu Fehlern führen.

Eisengusswerkstoffe: Einteilung

Gussart	Norm	Beispiel (alte Bezeichnung)	Rm N/mm²	Eigenschaften / Verwendung
Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss)	DIN EN 1561	EN-GJL-150 (GG-15)	100–450	Sehr gut giessbar, dämpft Schwingungen, gute Notlaufeigenschaften. Maschinenbetten, Gehäuse
Gusseisen mit Kugelgraphit (Sphäroguss)	DIN EN 1563	EN-GJS-400 (GGG-40)	350–900	Hohe Festigkeit und Zähigkeit, Oberfläche härtbar. Belastete Gehäuse, Hebel, Kupplungsteile
Gusseisen mit Vermiculargraphit	DIN EN 1560	EN-GJV-200	200–600	Liegt zwischen GJL und GJS. Motoren- und Getriebegehäuse
Bainitisches Gusseisen (ADI)	DIN EN 1564	EN-GJS-800-8	800–1400	Durch Wärmebehandlung sehr fest und zäh. Radnaben, Zahnkränze
Verschleissfester Guss (Hartguss)	DIN EN 12513	EN-GJN-HV350	> 1000	Sehr hart (Karbide), auch mit Cr und Ni legiert. Walzen, Pumpenlaufräder
Temperguss, weiss	DIN EN 1562	EN-GJMW-350 (GTW-35)	270–570	Zäh, für dünnwandige, schlagbelastete Teile
Temperguss, schwarz	DIN EN 1562	EN-GJMB-450 (GTS-45)	300–800	Zäh, auch für dickere Wände. Hebel, Gelenkgabeln
Stahlguss allgemein	DIN 1681	GS-45 (1.0446)	380–600	Unlegiert bis niedrig legiert, allgemeiner Einsatz
Stahlguss schweissgeeignet	DIN 17182	GS-20Mn5 (1.1120)	430–650	Für Schweisskonstruktionen mit Gussteilen
Stahlguss für Druckbehälter	DIN EN 10213	GP280GH (1.0625)	420–960	Für hohe und tiefe Temperaturen
Vergütungsstahlguss	DIN 17205	G30CrMoV6-4 (1.7725)	500–1250	Sehr fest und zäh
Rostfreier Stahlguss	DIN EN 10283	GX6CrNiN26-7 (1.4347)	450–1100	Pumpenräder für Säuren
Hitzebeständiger Stahlguss	DIN EN 10295	GX25CrNiSi18-9 (1.4825)	400–550	Turbinenteile, Ofenroste

Grauguss und Sphäroguss: Sorten

Bei Grauguss ist die Zahl im Namen die Mindest-Zugfestigkeit. Bei Sphäroguss folgt nach der Festigkeit die Bruchdehnung in % (EN-GJS-400-15: 400 N/mm², 15 %).

Grauguss	Alt	Werkstoff-Nr.	Rm N/mm²
EN-GJL-100	GG-10	EN-JL1010	100–200
EN-GJL-150	GG-15	EN-JL1020	150–250
EN-GJL-200	GG-20	EN-JL1030	200–300
EN-GJL-250	GG-25	EN-JL1040	250–350

Grauguss	Alt	Werkstoff-Nr.	Rm N/mm²
EN-GJL-300	GG-30	EN-JL1050	300–400
EN-GJL-350	–	EN-JL1060	350–450

Sphäroguss	Alt	Rm N/mm²	Rp0,2 N/mm²	A %
EN-GJS-350-22	GGG-35.3	350	220	22
EN-GJS-400-18	–	400	250	18
EN-GJS-400-15	GGG-40	400	250	15
EN-GJS-450-10	–	450	310	10
EN-GJS-500-7	GGG-50	500	320	7
EN-GJS-600-3	–	600	370	3
EN-GJS-700-2	–	700	420	2
EN-GJS-800-2	–	800	480	2
EN-GJS-900-2	–	900	600	2

Grauguss gibt es auch nach Härte bestellt (z. B. EN-GJL-HB215: höchstens 215 HB), Sphäroguss ebenso (z. B. EN-GJS-HB200). Die Härte sagt mehr über die Bearbeitbarkeit aus. Grauguss: gut zerspanbar, gute Gleiteigenschaften, druckfest, aber spröde (nicht schlagen, nicht biegen). Die GJS-Sorten bis 450 sind gut bearbeitbar, die Sorten ab 800 für Zahnräder und stark verschleissende Teile.

Wie Stahl entsteht (Grundlagen)

Stahl ist Eisen mit wenig Kohlenstoff (unter ca. 2 %) und den gewünschten Legierungselementen. Heute gibt es zwei Hauptwege:

Schritt	Was passiert
Hochofen	Eisenerz (Stückerz, Pellets, Sinter) wird mit Koks und Zuschlägen wie Kalk eingefüllt. Heisse Luft («Wind») verbrennt den Koks; das entstehende Kohlenmonoxid entzieht dem Erz den Sauerstoff. Ergebnis: Roheisen mit viel Kohlenstoff, dazu Schlacke
Frischen im LD-Konverter	Flüssiges Roheisen und Schrott kommen in den Konverter. Über eine Lanze wird reiner Sauerstoff aufgeblasen. Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor usw. verbrennen und gehen ins Abgas oder in die Schlacke. Die Wärme dabei schmilzt den Schrott
Elektrostahlwerk	Schrott (auch Eisenschwamm) wird im Lichtbogenofen über drei Graphitelektroden geschmolzen. Der Lichtbogen erreicht bis ca. 3500 °C, darum lassen sich auch Wolfram und Molybdän zulegieren. Eine Schmelze dauert ca. 30 Minuten, typisch 100 bis 150 t. Vor allem für Qualitäts- und Edelstähle
Sekundärmetallurgie	Die Schmelze wird in der Pfanne fertig behandelt (Pfannenofen, Vakuumanlage): Legieren, Entgasen, genaue Analyse
Giessen	Heute meist Strangguss: Der Stahl läuft durch eine gekühlte Kokille und wird als Strang direkt zum Walzen weitergeführt. Früher Blockguss in Kokillen
Begriff	**Bedeutung**
Beruhigt vergossen	Der gelöste Sauerstoff wird mit Aluminium oder Silizium gebunden. Weniger Seigerungen, besserer Stahl
Seigerung	Entmischung beim Erstarren, z. B. Schwefel-Anreicherungen in der Mitte. Schwächt das Material
Lunker	Hohlraum durch das Schwinden beim Erkalten
Direktreduktion	Erz wird ohne Hochofen zu festem Eisenschwamm (HBI) reduziert, Kohlenstoff höchstens ca. 1 %. Geht danach in den Elektroofen. Weniger CO_2 als die Hochofenroute
Schlacke	Nebenprodukt aus Begleitstoffen und Zuschlägen; schwimmt auf der Schmelze
Zeit	**Verfahren**
ab ca. 1500 v. Chr.	Rennofen: Lehmofen mit Holzkohle und Erz, ca. 1200–1300 °C; die Schlacke «rinnt» ab, das Eisen bleibt als Luppe zum Schmieden
ab ca. 12. Jh.	Stückofen: oberirdisch, mit wassergetriebenen Blasebälgen und Hammerwerken
1784	Puddelverfahren: Roheisen wird von Hand an der Luft gefrischt
1855	Bessemer-Verfahren: Luft durch den Boden des Konverters
1864	Siemens-Martin-Ofen: Herdofen mit vorgewärmter Luft und Gas, Schrott und Roheisen
1878	Thomas-Verfahren («Thomasbirne»): wie Bessemer, aber basisch ausgemauert, entfernt auch Phosphor
1952	LD-Verfahren (Linz-Donawitz): Sauerstoff von oben, heute das wichtigste Verfahren

Dichte

Werkstoff	Dichte kg/dm³

Werkstoff	Dichte kg/dm³
Stahl	7,85
Rostfreier Stahl	7,9
Grauguss	7,2
Aluminium	2,7
Titan	4,5
Kupfer	8,96
Messing	8,5
Bronze	8,8

Masse = Volumen × Dichte. Beispiel: Stahlrundstab Ø 50 × 1000 mm = 1,963 dm³ × 7,85 = 15,4 kg.

Gewicht rechnen: Faustformel und Übungen

Masse = Volumen × Dichte. Am einfachsten in **dm** rechnen: 1 dm³ = 1 Liter. 1 Liter Wasser wiegt 1 kg, 1 Liter Stahl 7,85 kg, 1 Liter Aluminium 2,7 kg.

Merksatz: Kreisfläche ≈ d × d × 0,785. Ein Kreis hat also ungefähr 78,5 % der Fläche des Quadrats mit Seite d.

Übung 1: Würfel 0,1 m × 0,1 m × 0,1 m. Wie viele Liter (dm³)? Was wiegt er aus Wasser, Stahl, Aluminium?

Lösung: 1 dm × 1 dm × 1 dm = **1 dm³ = 1 Liter**. Wasser 1 kg, Stahl 1 × 7,85 = **7,85 kg**, Aluminium 1 × 2,7 = **2,7 kg**.

Übung 2: Quader 0,1 m × 0,15 m × 0,25 m. Volumen und Gewicht in Wasser, Stahl, Aluminium?

Lösung: 1 dm × 1,5 dm × 2,5 dm = **3,75 dm³**. Wasser 3,75 kg, Stahl 3,75 × 7,85 = **29,4 kg**, Aluminium 3,75 × 2,7 = **10,1 kg**.

Übung 3: Scheibe Ø 1250 mm, 125 mm dick. Volumen und Gewicht in Wasser, Stahl, Aluminium?

Lösung: Fläche = 12,5 dm × 12,5 dm × 0,785 = 122,7 dm². Volumen = 122,7 × 1,25 dm = **153 dm³**. Wasser ca. **153 kg**, Stahl 153 × 7,85 = **ca. 1200 kg**, Aluminium 153 × 2,7 = **ca. 414 kg**.

Kontrolle: Stahl wiegt fast 8-mal so viel wie Wasser, Aluminium knapp 3-mal. Längen- und Flächengewichte von Stäben und Blechen siehe Kapitel «Halbzeuge, Profile und Kunststoffe».

Kapitel 13 · Halbzeuge, Profile und Kunststoffe (Wi-8f 1-19-h.3)

Stäbe, Profile, Rohre und Bleche aus Stahl und Aluminium: Abmessungen, Toleranzen und Gewicht pro Meter. Dazu die wichtigsten Kunststoffe im Maschinenbau.

Warmgewalzte Stahlprofile: Übersicht

Profil	Bezeichnung	Norm	Lieferbare Grössen (mm)
Rundstahl	Rd, Ø d	DIN EN 10060	d = 8 bis 200
Vierkantstahl	Vkt, a	DIN EN 10059	a = 8 bis 120
Flachstahl	Fl, b × s	DIN EN 10058	10 × 5 bis 150 × 60
Gleichschenkliger Winkel	L a × a × t	DIN EN 10056-1	a = 20 bis 250
Ungleichschenkliger Winkel	L a × b × t	DIN EN 10056-1	30 × 20 bis 200 × 150
T-Stahl	T	DIN EN 10055	b = h = 30 bis 140
U-Stahl	U (UPN)	DIN 1026-1	h = 30 bis 400
Z-Stahl	Z	DIN 1027	h = 30 bis 200
Schmaler I-Träger	I (INP)	DIN 1025-1	h = 80 bis 550
Mittelbreiter I-Träger	IPE	DIN 1025-5	h = 80 bis 600
Breiter I-Träger, leicht	HE-A (alt IPBl)	DIN 1025-3	h = 100 bis 1000
Breiter I-Träger	HE-B (alt IPB)	DIN 1025-2	h = 100 bis 1000
Breiter I-Träger, verstärkt	HE-M (alt IPBv)	DIN 1025-4	h = 100 bis 1000
Rundrohr	D × s	DIN EN 10210-1	21,3 × 2,3 bis 1219 × 25
Quadratrohr	a × a × s	DIN EN 10210-2 / 10219-2	a = 20 bis 400
Rechteckrohr	a × b × s	DIN EN 10210-2 / 10219-2	50 × 25 bis 500 × 300

Bestellbeispiel: «Flachstahl EN 10058 – 20 × 5 × 6000 F – S235JR» = Flachstahl 20 mm breit, 5 mm dick, Normallänge 6000 mm, aus S235JR.

Rund-, Vierkant- und Flachstahl, warmgewalzt

Profil	Übliche Abmessungen (mm)
Rundstahl Ø d	10 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 18 – 19 – 20 – 22 – 24 – 25 – 26 – 27 – 28 – 30 – 32 – 35 – 36 – 38 – 40 – 42 – 45 – 48 – 50 – 52 – 55 – 60 – 63 – 65 – 70 – 73 – 75 – 80 – 85 – 90 – 95 – 100 – 105 – 110 – 115 – 120 – 125 – 130 – 135 – 140 – 145 – 150 – 155 – 160 – 165 – 170 – 175 – 180 – 190 – 200 – 220 – 250
Vierkantstahl a	8 – 10 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 18 – 20 – 22 – 24 – 25 – 26 – 28 – 30 – 32 – 35 – 40 – 45 – 50 – 55 – 60 – 65 – 70 – 75 – 80 – 90 – 100 – 110 – 120 – 130 – 140 – 150
Flachstahl Breite b	10 – 12 – 15 – 16 – 20 – 25 – 30 – 35 – 40 – 45 – 50 – 60 – 70 – 80 – 90 – 100 – 120 – 150
Flachstahl Dicke s	5 – 6 – 8 – 10 – 12 – 15 – 20 – 25 – 30 – 35 – 40 – 50 – 60 – 80

Rundstahl Ø d	Grenzabmass mm	Vierkant a	Grenzabmass mm
10–15	± 0,4	8–14	± 0,4
16–25	± 0,5	15–25	± 0,5
26–35	± 0,6	26–35	± 0,6
36–50	± 0,8	40–50	± 0,8
52–80	± 1,0	55–90	± 1,0
85–100	± 1,3	100	± 1,3
105–120	± 1,5	110–120	± 1,5
125–160	± 2,0	130–150	± 1,8
165–200	± 2,5	–	–
220	± 3,0	–	–
250	± 4,0	–	–

Flachstahl Breite b	Grenzabmass mm	Flachstahl Dicke s	Grenzabmass mm
10–40	± 0,75	5–20	± 0,5
45–80	± 1,0	25–40	± 1,0
85–100	± 1,5	50–80	± 1,5
120	± 2,0	–	–
150	± 2,5	–	–

Lieferlänge	Kürzel	Länge und Toleranz
Herstelllänge	M	3 m bis 13 m, Länge vom Werk bestimmt
Normallänge	F	bis 13 m, ± 100 mm
Genaulänge	E	unter 6 m: ± 25 mm; 6 m bis 13 m: ± 50 mm

Merksatz: Warmgewalzter Stahl hat grobe Toleranzen und Zunder. Für genaue Masse ohne Bearbeitung Blankstahl nehmen, sonst Bearbeitungszugabe vorsehen (bei Ø 50 schon ± 0,8 mm).

Blankstahl

Blankstahl ist gezogen, geschält oder geschliffen: saubere Oberfläche, enge Toleranzen, direkt verwendbar.

Kürzel	Zustand
+C	kaltgezogen
+SH	geschält
+SL	geschliffen
+PL	poliert
+A / +QT / +FP	Zusätzlich wärmebehandelt: weichgeglüht / vergütet / auf Ferrit-Perlit-Gefüge behandelt (z. B. +QT+C = vergütet und dann gezogen)
Profil	**Übliche Abmessungen (mm)**
Rund Ø d	2,5 bis 10 in 0,5er-Schritten; 11 bis 30 in 1er-Schritten; 32, 34, 35, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 63, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 100, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 180, 200
Polierter Rundstahl	1 bis 13 in 0,5er-Schritten; über 13 bis 25 in 1er-Schritten; über 25 bis 50 in 5er-Schritten
Vierkant a	4 – 4,5 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 16 – 18 – 20 – 22 – 25 – 28 – 36 – 40 – 45 – 50 – 63 – 70 – 80 – 100
Sechskant SW	2 bis 6 (in 0,5er-Schritten, dazu 3,2) – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17 – 19 –

Kürzel	Zustand
	21 – 22 – 24 – 27 – 30 – 32 – 36 – 38 – 41 – 46 – 50 – 55 – 60 – 65 – 70 – 75 – 80 – 85 – 90 – 95 – 100
Flach b × h	Breite 5 bis 100, Dicke 2 bis 40 (Dicken: 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5 – 6 – 8 – 10 – 12 – 15 – 16 – 20 – 25 – 30 – 32 – 35 – 40)

Längenart	Länge mm	Grenzabmass mm
Herstelllänge	3000–9000	± 500
Lagerlänge	3000–6000	0 / +200 (z. B. Lagerlänge 6000)
Genaulänge	bis 9000	nach Vereinbarung, mindestens ± 5

Längengewicht von Stahl (kg/m)

Werte für Stahl mit Dichte 7,85 kg/dm³.

Rund Ø mm	kg/m	Rund Ø mm	kg/m	Rund Ø mm	kg/m
3	0,055	18	2,00	60	22,2
4	0,099	20	2,47	70	30,2
5	0,154	25	3,85	80	39,5
6	0,222	30	5,55	100	61,7
8	0,395	35	7,55	120	88,8
10	0,617	40	9,86	140	121
12	0,888	45	12,5	150	139
15	1,39	50	15,4	160	158
16	1,58	55	18,7	200	247

Vierkant a mm	kg/m	Vierkant a mm	kg/m	Sechskant SW mm	kg/m	Sechskant SW mm	kg/m
6	0,283	30	7,07	6	0,245	25	4,25
8	0,502	35	9,62	8	0,435	30	6,12
10	0,785	40	12,6	10	0,680	35	8,33
12	1,13	50	19,6	12	0,979	40	10,9
16	2,01	60	28,3	16	1,74	50	17,0
20	3,14	80	50,2	20	2,72	60	24,5
25	4,91	100	78,5	22	3,29	100	68,0

Merksatz: Flachstahl: kg/m = Breite (mm) × Dicke (mm) × 0,00785. Rundstahl: kg/m ≈ d × d × 0,00617 (d in mm).

Flächengewicht von Stahlblech (kg/m²)

Dicke mm	kg/m²	Dicke mm	kg/m²	Dicke mm	kg/m²
0,5	3,93	2,5	19,6	6	47,1
0,8	6,28	3	23,6	8	62,8
1	7,85	4	31,4	10	78,5
1,5	11,8	5	39,3	12	94,2
2	15,7	4,75	37,3	15	118

Andere Werkstoffe: Stahlwert × (Dichte Werkstoff / 7,85). Beispiel Aluminiumblech AlMg3, 4 mm, Dichte 2,66 kg/dm³: 31,4 × 2,66 / 7,85 = **10,6 kg/m²**. Dichten siehe Kapitel Werkstoffe.

Übung 1: Was wiegt ein Flachstahl 80 × 10 mm, 6 m lang?

Lösung: 80 × 10 × 0,00785 = 6,28 kg/m. × 6 m = **37,7 kg**.

Übung 2: Was wiegt ein Stahlblech 2000 × 1000 × 10 mm?

Lösung: Fläche 2 m². 2 × 78,5 = **157 kg**.

Übung 3: Rundstahl Ø 100 mm, 2,5 m lang. Gewicht?

Lösung: 61,7 kg/m × 2,5 = **ca. 154 kg**.

IPE-Träger (mittelbreit, DIN 1025-5)

h = Höhe, b = Flanschbreite, s = Stegdicke, t = Flanschdicke. Wx = Widerstandsmoment um die starke Achse.

IPE	h mm	b mm	s mm	t mm	kg/m	Wx cm³
80	80	46	3,8	5,2	6,0	20,0
100	100	55	4,1	5,7	8,1	34,2
120	120	64	4,4	6,3	10,4	53,0
140	140	73	4,7	6,9	12,9	77,3
160	160	82	5,0	7,4	15,8	109
180	180	91	5,3	8,0	18,8	146
200	200	100	5,6	8,5	22,4	194
220	220	110	5,9	9,2	26,2	252
240	240	120	6,2	9,8	30,7	324
270	270	135	6,6	10,2	36,1	429
300	300	150	7,1	10,7	42,2	557
330	330	160	7,5	11,5	49,1	713
360	360	170	8,0	12,7	57,1	904
400	400	180	8,6	13,5	66,3	1160
450	450	190	9,4	14,6	77,6	1500
500	500	200	10,2	16,0	90,7	1930
550	550	210	11,1	17,2	106	2440
600	600	220	12,0	19,0	122	3070

HE-B-Träger (breit, DIN 1025-2, alt IPB)

HE-B	h mm	b mm	s mm	t mm	kg/m	Wx cm³
100	100	100	6	10	20,4	89,9
120	120	120	6,5	11	26,7	144
140	140	140	7	12	33,7	216
160	160	160	8	13	42,6	311
180	180	180	8,5	14	51,2	426
200	200	200	9	15	61,3	570
220	220	220	9,5	16	71,5	736
240	240	240	10	17	83,2	938
260	260	260	10	17,5	93,0	1150
280	280	280	10,5	18	103	1380
300	300	300	11	19	117	1680
340	340	300	12	21,5	134	2160
400	400	300	13,5	24	155	2880
500	500	300	14,5	28	187	4290
600	600	300	15,5	30	212	5700
800	800	300	17,5	33	262	8980
1000	1000	300	19	36	314	12890

Ab HE-B 300 bleibt die Flanschbreite 300 mm. IPE- und HE-Träger haben parallele Flanschflächen (Schrauben ohne Keilscheibe). Lieferung in Standardlängen 8 bis 16 m (h unter 300 mm) bzw. 8 bis 18 m (ab 300 mm), ± 50 mm.

Schmale I-Träger (DIN 1025-1, INP)

I	h mm	b mm	s mm	kg/m	Wx cm³
80	80	42	3,9	5,94	19,5
100	100	50	4,5	8,34	34,2
120	120	58	5,1	11,1	54,7
140	140	66	5,7	14,3	81,9
160	160	74	6,3	17,9	117
200	200	90	7,5	26,2	214
240	240	106	8,7	36,2	354
300	300	125	10,8	54,2	653

I	h mm	b mm	s mm	kg/m	Wx cm³
400	400	155	14,4	92,4	1460
500	500	185	18,0	141	2750

Schmale I-Träger haben geneigte Flanschinnenflächen (14 %). Für Schraubverbindungen am Flansch Keilscheiben verwenden.

U-Stahl (DIN 1026-1, UPN)

U	h mm	b mm	s mm	kg/m	Wx cm³
30	30	33	5	4,27	4,26
40	40	35	5	4,87	7,05
50	50	38	5	5,59	10,6
60	60	30	6	5,07	10,5
80	80	45	6	8,64	26,5
100	100	50	6	10,6	41,2
120	120	55	7	13,4	60,7
160	160	65	7,5	18,8	116
200	200	75	8,5	25,3	191
260	260	90	10	37,9	371
300	300	100	10	46,2	535
350	350	100	14	60,6	734
400	400	110	14	71,8	1020

Flanschneigung bis h = 300 mm: 8 %, darüber 5 %. Auch hier Keilscheiben für Schrauben am Flansch. Herstelllängen 3 bis 15 m.

T-Stahl (DIN EN 10055)

T	b = h mm	s = t mm	kg/m
30	30	4	1,77
35	35	4,5	2,33
40	40	5	2,96
50	50	6	4,44
60	60	7	6,23
70	70	8	8,23
80	80	9	10,7
100	100	11	16,4
120	120	13	23,2
140	140	15	31,3

Winkelstahl (DIN EN 10056-1)

Gleichschenklig L a × a × t	Querschnitt cm²	kg/m
20 × 20 × 3	1,12	0,882
25 × 25 × 3	1,42	1,12
30 × 30 × 3	1,74	1,36
30 × 30 × 4	2,27	1,78
40 × 40 × 4	3,08	2,42
40 × 40 × 5	3,79	2,97
50 × 50 × 5	4,80	3,77
50 × 50 × 6	5,69	4,47
60 × 60 × 6	6,91	5,42
70 × 70 × 7	9,40	7,38
80 × 80 × 8	12,3	9,63
90 × 90 × 9	15,5	12,2
100 × 100 × 10	19,2	15,0
120 × 120 × 12	27,5	21,6
150 × 150 × 15	43,0	33,8
Ungleichschenklig L a × b × t	**Querschnitt cm²**	**kg/m**
30 × 20 × 3	1,43	1,12

Gleichschenklig L a × a × t	Querschnitt cm²	kg/m
40 × 20 × 4	2,26	1,77
50 × 30 × 5	3,78	2,96
60 × 40 × 6	5,68	4,46
75 × 50 × 6	7,19	5,65
80 × 40 × 6	6,89	5,41
100 × 50 × 8	11,4	8,97
100 × 65 × 8	12,7	9,94
120 × 80 × 10	19,1	15,0
150 × 75 × 10	21,7	17,0

Bezeichnung: «L 70 × 70 × 7» = gleichschenklig, Schenkel 70 mm, Dicke 7 mm. Normallängen 6 bis 12 m, ± 100 mm.

Quadrat- und Rechteckrohre (Hohlprofile)

Warmgefertigt nach DIN EN 10210-2, kaltgefertigt geschweisst nach DIN EN 10219-2. Herstelllängen 4 bis 16 m.

Rohr a × b mm	Wand s mm	kg/m warm (10210)	kg/m kalt (10219)
30 × 30	2,0 / 3,0	–	1,68 / 2,36
40 × 40	3,0 / 4,0	3,41 / 4,39	3,30 / 4,20
50 × 50	2,5 / 3,0	3,68 / 4,35	–
60 × 60	3,0 / 4,0 / 5,0	5,29 / 6,90 / 8,42	–
80 × 80	3,0 / 4,0 / 5,0	–	7,07 / 9,22 / 11,3
40 × 20	2,0 / 3,0	–	1,68 / 2,36
60 × 40	3,0 / 4,0 / 5,0	4,35 / 5,64 / –	4,25 / 5,45 / 6,56
80 × 40	3,0 / 4,0 / 5,0	– / 6,90 / 8,42	5,19 / 6,71 / 8,13
100 × 40	3,0 / 4,0 / 5,0	–	6,13 / 7,97 / 9,70
100 × 50	4,0 / 5,0	8,78 / 10,8	–

Grosse Rechteck- und Quadratrohre (RHS, WIAP-Skizzenblatt), Gewicht in kg/m:

RHS mm	s = 5	s = 6,3	s = 8	s = 10	s = 12,5	s = 16
160 × 80	18	22,3	–	34,2	41,6	–
200 × 100	–	–	–	42,8	53,4	66,4
150 × 150	22,7	28,3	–	43,6	53,4	66,4
180 × 180	–	34,2	–	53	–	81,4
200 × 200	–	38,2	–	59,3	73	91,5
250 × 150	–	37,8	47,5	58,5	73	91
250 × 250	–	48,1	–	75	92,6	117
300 × 200	–	47,4	60	74,2	92,6	117
300 × 300	–	–	–	90,7	112	142
400 × 200	–	–	–	89,9	112	–
350 × 350	–	–	–	106	132	167
450 × 250	–	–	–	106	132	167
400 × 400	–	–	–	122	152	192

Merksatz: Rohre mit gleichem Umfang und gleicher Wand wiegen fast gleich viel (z. B. 300 × 200 und 250 × 250). So lässt sich ein fehlender Wert gut abschätzen.

Auf dem alten WIAP-Skizzenblatt sind einige Werte offensichtlich falsch abgeschrieben und hier weggelassen: 200 × 100 × 5 und × 6,3 (Blatt: 18 und 22,3 kg), 180 × 180 × 12,5 (Blatt: 73 kg), 400 × 200 × 16 (Blatt: 117 kg). Bitte prüfen bzw. beim Lieferanten nachschlagen.

Hohlprofile: Querschnitt, Flächen- und Widerstandsmoment

Für die Festigkeitsrechnung von Rahmen und Gestellen. Biegung um die x-Achse = Belastung auf die Seite a (die höhere Seite). w = warmgefertigt (DIN EN 10210-2), k = kaltgefertigt geschweisst (DIN EN 10219-2).

Rohr a × b × s mm	Art	kg/m	Querschnitt S cm²	I_x cm⁴	W_x cm³	I_y cm⁴	W_y cm³	Torsion I_t cm⁴	Torsion W_t cm³
30 × 30 × 2	k	1,68	2,14	2,72	1,81	2,72	1,81	4,54	2,75
30 × 30 × 3	k	2,36	3,01	3,50	2,34	3,50	2,34	6,15	3,58
40 × 40 × 2	k	2,31	2,94	6,94	3,47	6,94	3,47	11,3	5,23
40 × 40 × 3	w	3,41	4,34	9,78	4,89	9,78	4,89	15,7	7,10
40 × 40 × 4	w	4,39	5,59	11,8	5,91	11,8	5,91	19,5	8,54
50 × 50 × 3	w	4,35	5,54	20,2	8,08	20,2	8,08	32,1	11,8
60 × 60 × 3	w	5,29	6,74	36,2	12,1	36,2	12,1	56,9	17,7
60 × 60 × 4	w	6,90	8,79	45,4	15,1	45,4	15,1	72,5	22,0
60 × 60 × 5	w	8,42	10,7	53,3	17,8	53,3	17,8	86,4	25,7
80 × 80 × 3	k	7,07	9,01	87,8	22,0	87,8	22,0	140	33,0
80 × 80 × 4	k	9,22	11,7	111	27,8	111	27,8	180	41,8
80 × 80 × 5	k	11,3	14,4	131	32,9	131	32,9	218	49,7
40 × 20 × 2	k	1,68	2,14	4,05	2,02	1,34	1,34	3,45	2,36
50 × 30 × 3	w	3,41	4,34	13,6	5,43	5,94	3,96	13,5	6,51
60 × 40 × 3	w	4,35	5,54	26,5	8,82	13,9	6,95	29,2	11,2
60 × 40 × 4	w	5,64	7,19	32,8	10,9	17,0	8,52	36,7	13,7
80 × 40 × 3	k	5,19	6,61	52,3	13,1	17,6	8,78	43,9	15,3
80 × 40 × 4	w	6,90	8,79	68,2	17,1	22,2	11,1	55,2	18,9
80 × 40 × 5	w	8,42	10,7	80,3	20,1	25,7	12,9	65,1	21,9
100 × 40 × 4	k	7,97	10,1	116	23,1	26,7	13,3	74,5	24,0
100 × 50 × 4	w	8,78	11,2	140	27,9	46,2	18,5	113	31,4
100 × 50 × 5	w	10,8	13,7	167	33,3	54,3	21,7	135	36,9

So rechnet man damit: Biegespannung σ = M / W. Beispiel: Rohr 80 × 40 × 4 (w), hochkant belastet, Biegemoment M = 1500 N·m = 1 500 000 N·mm, W_x = 17,1 cm³ = 17 100 mm³ → σ = 1 500 000 / 17 100 ≈ 88 N/mm². Bei S235 (Streckgrenze 235 N/mm²) ist das gut 2,5-fache Sicherheit. Flach gelegt (W_y = 11,1 cm³) wären es schon ca. 135 N/mm² – darum Rechteckrohre wenn möglich hochkant einbauen.

Aluminium-Halbzeuge: Übersicht

Halbzeug	Herstellung	Abmessungen mm	Norm
Rundstange	stranggepresst / gezogen	d = 3–100 / 8–320	DIN EN 755-3 / 754-3
Vierkantstange	stranggepresst / gezogen	s = 10–220 / 3–100	DIN EN 755-4 / 754-4
Flachstange	stranggepresst	b = 10–600, s = 2–240	DIN EN 755-4
Flachstange	gezogen	b = 5–200, s = 2–60	DIN EN 754-4
Rundrohr	nahtlos gepresst / kalt gezogen	d = 20–250 / 3–270	DIN EN 755-7 / 754-7
Vierkantrohr	gepresst	a = 15–100	DIN EN 754-4
Rechteckrohr	gepresst / gezogen, nahtlos	a = 15–250, b = 10–100	DIN EN 755-7 / 754-7
Blech und Band	gewalzt	s = 0,4–15	DIN EN 485
L-, U-, T-Profile	scharfkantig oder gerundet	h = 10–200 (L), 10–160 (U), 15–100 (T)	DIN 1771, 9713, 9714 (zurückgezogen)

Aluminium: Rund-, Vierkant- und Flachstangen (kg/m)

Werte für Aluminium-Knetlegierungen, gezogen.

d bzw. a mm	Rund kg/m	Vierkant kg/m
10	0,21	0,27
12	0,31	0,39
16	0,54	0,69
20	0,85	1,08
25	1,33	1,69
30	1,91	2,43
35	2,60	3,31
40	3,40	4,32
45	4,30	5,47

d bzw. a mm	Rund kg/m		Vierkant kg/m
50	5,30		6,75
55	6,42		8,17
60	7,63		9,72
Flach b × h mm	**kg/m**	**Flach b × h mm**	**kg/m**
10 × 3	0,08	40 × 20	2,16
15 × 5	0,24	50 × 10	1,35
20 × 5	0,27	50 × 20	2,70
20 × 10	0,54	50 × 30	4,05
25 × 10	0,67	60 × 20	3,24
30 × 10	0,81	60 × 30	4,86
30 × 20	1,62	80 × 20	4,52
40 × 10	1,08	80 × 40	8,64
40 × 15	1,62	100 × 20	5,40
40 × 30	3,24	100 × 40	10,8

Faustregel: Aluminium wiegt rund ein Drittel von Stahl. Flachstange kg/m ≈ b × h × 0,0027 (mm). Kantenradius gezogener Flachstangen: bis 10 mm Dicke max. 0,6 mm, über 10 bis 30 mm max. 1,0 mm, über 30 bis 60 mm max. 2,0 mm. Der Wert 80 × 20 = 4,52 kg/m steht so auf dem alten Blatt (gerechnet wären es 4,32), bitte prüfen.

Kunststoffe im Maschinenbau (kurz)

Kurzzeichen	Name	Eigenschaften	Typische Verwendung
PA	Polyamid	Zäh, verschleissfest, gute Gleiteigenschaften. Nimmt Wasser auf und quillt dabei (Masse ändern sich)	Gleitlager, Zahnräder, Rollen, Führungsleisten
POM	Polyoxymethylen (Polyacetal)	Sehr massbeständig, kaum Wasseraufnahme, gut zerspanbar, gleitet gut	Präzise Drehteile, Zahnräder, Lagerbuchsen, Schnappverbindungen
PE-UHMW	Polyethylen, ultrahochmolekular	Sehr verschleissfest und schlagzäh, sehr gute Gleiteigenschaften, weich	Gleitleisten, Kettenführungen, Abstreifer, Fördertechnik
PTFE	Polytetrafluorethylen («Teflon»)	Kleinste Reibung, chemisch fast unangreifbar, hohe Temperatur; fliesst unter Last (kriecht)	Dichtungen, Gleitbeläge, Isolationen
PVC	Polyvinylchlorid	Chemisch beständig, gut schweiss- und klebbar, nicht für hohe Temperaturen	Rohre, Behälter, Abdeckungen
PMMA	Polymethylmethacrylat (Acrylglas)	Glasklar, hart, aber spröde und kerbempfindlich	Sichtfenster, Schutzabdeckungen
PC	Polycarbonat	Glasklar und sehr schlagzäh	Schutzscheiben an Maschinen

Merksatz: Kunststoffe dehnen sich bei Wärme viel stärker aus als Stahl und geben unter Dauerlast langsam nach (Kriechen). Passungen grosszügig wählen und Schrauben in Kunststoff nur mit kleinem Anziehmoment anziehen.

Für Festigkeit, Dichte und Temperaturgrenze immer das Datenblatt des Lieferanten verwenden. Für Schutzscheiben an Werkzeugmaschinen ist Polycarbonat üblich, Acrylglas (PMMA) splittert.

Kapitel 14 · Wärmebehandlung und Härten (Wi-8f 1-19-j.1)

Mit Wärme ändert man das Gefüge und damit die Eigenschaften von Stahl: weicher zum Bearbeiten, härter gegen Verschleiss, zäher gegen Bruch oder spannungsarm gegen Verzug. Werkstoffe siehe Kapitel 12, Härte messen siehe Kapitel 15.

Merksatz: Ohne Datenblatt keine Wärmebehandlung. Jeder Stahl hat eigene Temperaturen. Wer den Stahl nicht kennt, kann nicht sicher härten.

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm: das Wichtigste

Das Diagramm zeigt, welches Gefüge Stahl bei welcher Temperatur und welchem Kohlenstoffgehalt hat. Für die Werkstatt genügen diese Punkte:

Begriff	Bedeutung

Begriff	Bedeutung
Stahl / Gusseisen	Bis 2,06 % Kohlenstoff (C) ist es Stahl, darüber Gusseisen (bis 6,67 % C).
723 °C (Linie PSK)	Unterhalb dieser Linie verändert sich das Gefüge beim Erwärmen nicht. Hier liegen Spannungsarmglühen und Rekristallisationsglühen.
Austenit	Gefüge oberhalb der Linie GSE. Nur aus dem Austenit kann man härten. Reines Eisen wird bei 911 °C ganz austenitisch.
0,8 % C (Punkt S)	Stahl mit 0,8 % C besteht nur aus Perlit und wird bei 723 °C direkt austenitisch.
Schmelzpunkt	Reines Eisen schmilzt bei 1536 °C; mit mehr Kohlenstoff sinkt der Schmelzpunkt (tiefster Punkt bei 4,3 % C, Gusseisen).

Kohlenstoff	Gefüge bei Raumtemperatur	Eigenschaft
ca. 0,1 %	fast nur Ferrit	weich, gut verformbar, gut schweissbar
ca. 0,45 % (z. B. C45)	Ferrit und Perlit	fest und zäh, härtbar
0,8 %	nur Perlit	fest, gut härtbar
ca. 1,3 %	Perlit und Korngrenzenzementit	hart, spröde; Werkzeugstahl

Die Verfahren im Überblick

Verfahren	Ablauf	Wozu
Normalglühen	Knapp über die Linie GSK erwärmen (Austenit), halten, kontrolliert an Luft abkühlen	Feines, gleichmässiges Gefüge nach Walzen, Giessen, Schweissen, Schmieden
Weichglühen	Um 723 °C halten oder pendeln, langsam abkühlen	Bessere Zerspanbarkeit und Kaltumformung; Vorbereitung zum Härten
Spannungsarmglühen	Unter 723 °C erwärmen (kein Gefügeumbau), halten, langsam abkühlen	Eigenspannungen in Schweiss-, Guss- und Schmiedeteilen abbauen; weniger Verzug
Härten	Auf Härtetemperatur (Austenit) erwärmen, halten, schnell abschrecken in Wasser, Öl oder Luft, danach anlassen	Verschleissfeste Teile: Werkzeuge, Federn, Führungen. Stahl braucht mehr als ca. 0,3 % C
Anlassen	Nach dem Härten nochmals langsam erwärmen und halten, langsam abkühlen	Sprödigkeit abbauen; Gebrauchshärte einstellen
Vergüten	Härten und anschliessend bei hoher Temperatur anlassen	Hohe Festigkeit mit guter Zähigkeit: Wellen, Zahnräder, Schrauben
Einsatzhärten	Fertig bearbeitete Teile aus kohlenstoffarmem Stahl an der Oberfläche aufkohlen, dann härten und anlassen	Harte, verschleissfeste Oberfläche mit zähem Kern: Zahnräder, Wellen, Bolzen
Nitrieren	Fertig bearbeitete Teile in stickstoffhaltiger Umgebung glühen, langsam abkühlen	Sehr harte, verschleissfeste und warmfeste Randschicht, wenig Verzug: Spindeln, Ventile, Kolbenstangen
Flamm- und Induktionshärten	Nur die Oberfläche schnell erwärmen und sofort abschrecken	Gehärtete Laufflächen, z. B. Führungsbahnen, Wellenzapfen

Härten und Anlassen von Werkzeugstählen: Richtwerte

Stahl	Werkstoff-Nr.	Weichglühen °C	Härten °C	Abschrecken	HRC gehärtet	HRC angelassen 200 °C	300 °C	500 °C
C45U	1.1730	680–710	800–820	Wasser	58	54	48	–
C70U	1.1520	680–710	790–810	Wasser	64	60	53	–
102Cr6	1.2067	710–750	830–850	Öl	65	62	57	43
90MnCrV8	1.2842	680–720	780–800	Öl	65	62	56	42
X210CrW12	1.2436	800–840	960–980	Öl	64	62	60	56
X153CrMoV12	1.2379	800–850	1010–1030	Luft	63	61	59	58
60WCrV8	1.2550	710–750	900–920	Öl	62	60	58	48
X37CrMoV5-1 (Warmarbeit)	1.2343	750–800	1010–1030	Öl	53	52	52	54

Stahl	Werkstoff-Nr.	Weichglühen °C	Härten °C	Abschrecken	HRC gehärtet	HRC angelassen 200 °C	300 °C	500 °C
HS6-5-2C (Schnellarbeit)	1.3343	770–840	1200–1220	Öl, Warmbad, Luft	64	62	62	65

Haltezeit auf Härtetemperatur ca. 25 min bei Kaltarbeitsstählen, ca. 3 min bei Schnellarbeitsstahl; legierte Stähle stufenweise aufheizen. Schnellarbeitsstahl mindestens 2-mal bei 540 bis 570 °C anlassen, je mindestens 60 min. C45U und C70U: Werte für Ø 30 mm. Die Anlasstemperatur richtet sich nach der gewünschten Gebrauchshärte.

Vergüten: Richtwerte (EN 10083)

Stahl	Werkstoff-Nr.	Normalglühen °C	Härten °C	Abschrecken	Anlassen °C
C35	1.0501	860–900	840–880	Wasser oder Öl	550–660
C45	1.0503	840–880	820–860	Wasser oder Öl	550–660
C60	1.0601	820–860	800–840	Öl oder Wasser	550–660
41Cr4	1.7035	–	820–860	Öl oder Wasser	540–680
25CrMo4	1.7218	–	840–880	Wasser oder Öl	540–680
34CrMo4	1.7220	–	830–870	Öl oder Wasser	540–680
42CrMo4	1.7225	–	820–860	Öl oder Wasser	540–680
51CrV4	1.8159	–	820–860	Öl	540–680
34CrNiMo6	1.6582	–	830–860	Öl	540–660
30CrNiMo8	1.6580	–	830–860	Öl	540–660

Unterer Wert der Härtetemperatur beim Abschrecken in Wasser, oberer Wert beim Abschrecken in Öl. Anlassdauer mindestens 60 min.

Flamm- und Induktionshärten: Richtwerte

Stahl	Werkstoff-Nr.	Oberfläche härten °C (Wasser)	Härte mind. HRC
Cf35	1.1183	850–930	51
Cf45	1.1193	820–900	55
Cf53	1.1213	805–885	57
Cf70	1.1249	790–870	60
42Cr4	1.7045	820–900	54
41CrMo4	1.7223	820–900	54
49CrMo4	1.7238	820–900	56

Die Teile werden vorher meist vergütet (Anlassen ca. 540 bis 680 °C bzw. bei Cf-Stählen 550 bis 660 °C), damit der Kern zäh ist.

Einsatzhärten: Richtwerte (EN 10084)

Stahl	Werkstoff-Nr.	Aufkohlen °C	Kernhärten °C	Randhärten °C	Abschrecken	Anlassen °C
C10E / C15E	1.1121 / 1.1141	880–980	880–920	780–820	Wasser	150–200
16MnCr5	1.7131	880–980	860–900	780–820	Öl	150–200
20MnCr5	1.7147	880–980	860–900	780–820	Öl	150–200
20MoCr4	1.7321	880–980	860–900	780–820	Öl	150–200
17CrNi6-6	1.5918	880–980	830–870	780–820	Öl	150–200
18CrNiMo7-6	1.6587	880–980	830–870	780–820	Öl	150–200

Kernhärten = auf die Härtetemperatur des Kerns erwärmen: hohe Kernfestigkeit, aber harter, spröder Rand. Randhärten = auf die Härtetemperatur der aufgekohlten Randschicht: sehr verschleissfester Rand, Kern weniger fest.

Härteofen bedienen und Härten (WIAP-Praxis)

Beispiel kleiner Elektro-Härteofen: 12 kW, 3 × 25 A, Innenraum 400 × 670 × 350 mm (B × T × H), bis 1200 °C. Daneben ein Abschreckbehälter mit Öl und Werkstückkorb.

Schritt	Härten
1	Datenblatt des Stahls suchen und sich strikt an die Werte halten. Unbekannter Stahl: nicht härten.
2	Werkstück in den Ofen legen. Temperaturregler auf die Härtetemperatur stellen; bei einem Bereich «von – bis» die Mitte wählen. Zeituhr (bis 24 h) einstellen.
3	Aufheizen: Richtwert ca. 100 °C pro Stunde.

Schritt	Härten
4	Werkstück mit der Zange herausnehmen und sofort in den Korb im Abschreckbehälter fallen lassen. Der Vorgang muss schnell gehen.
5	Anlassen (siehe unten). Nie gehärtete Teile ohne Anlassen verwenden: Sie sind glashart und können springen.
Schritt	**Anlassen (WIAP-Faustregel)**
1	Nach dem Härten langsam auf ca. 300 °C erwärmen (oder nach Datenblatt auf die Temperatur für die gewünschte Härte).
2	Halten: pro 20 mm Wandstärke 1 Stunde, mindestens ca. 2 Stunden.
3	Langsam abkühlen lassen, **nicht** mehr abschrecken.

Stahl (Handelsname)	Härten °C	Abschrecken
K100	940–970	Öl
K460	780–820	Öl
K700	1000–1050	Wasser

Beispiele aus dem alten Fotobericht (Handelsnamen eines Stahlherstellers). Bitte prüfen: Der Wert für K700 (Abschrecken in Wasser bei 1000–1050 °C) ist ungewöhnlich; immer das aktuelle Datenblatt verwenden.

Sicherheit	Warum
Anzeige kann täuschen	Ist der Ofen stromlos, zeigt die Temperaturanzeige 0 °C, auch wenn innen noch 800 °C sind!
Kleidung	Keine synthetischen Kleider (schmelzen auf der Haut), keine offenen Hautstellen, Handschuhe und Gesichtsschutz tragen.
Abschrecköl	Nur geeignetes Härteöl verwenden. Deutlich mehr Öl als Werkstück, damit das Öl nicht zu heiss wird. Kein Altöl, besonders kein synthetisches: giftige Dämpfe.
Dämpfe und Flammen	Beim Eintauchen kann sich das Öl kurz entzünden. Abstand halten, Dämpfe nicht einatmen, für Lüftung sorgen.
Nichts an die Ofentür hängen	Schilder oder Folien aus Kunststoff an der heissen Tür sind gefährlich. Nur temperaturbeständige Beschriftungen.

Glühofen mit Programmsteuerung (WIAP-Praxis)

Grössere Glühöfen (Beispiel: Glühraum 2120 × 785 × 1300 mm) laufen mit einem Programmregler automatisch ab. Ein Schreiber zeichnet die Temperatur für das Protokoll auf.

Eingabe	Bedeutung	Beispiel
Rate 1	Aufheizgeschwindigkeit in °C pro Stunde	100
Level	Obere Temperatur (Haltetemperatur) in °C	220
Dwell	Haltezeit auf der oberen Temperatur (Stunden)	5
Rate 2	Abkühlgeschwindigkeit in °C pro Stunde	100

Schritt	Was tun
1	Glühraum vor dem Aufheizen kontrollieren (leer, sauber, nichts Brennbares).
2	Hauptschalter der Anlage einschalten.
3	Werkstück einlegen und Thermoelement am Werkstück anbringen. Stecker 1 am Programmregler = Thermoelement Werkstück, Stecker 2 = Leitung zum Schreiber; Schreiber am Stecker 1 einstecken.
4	Rate 1, Level, Dwell und Rate 2 eingeben.
5	Start drücken (Reset = Stopp). Nach ca. 10 Sekunden beginnt der Ofen zu heizen und das Programm läuft automatisch ab.
6	Schreiberprotokoll zum Auftrag ablegen.

Die Beispielwerte stammen aus dem alten Fotobericht. Temperatur, Haltezeit und Abkühlgeschwindigkeit immer nach Werkstoff und Vorgabe einstellen; dicke und ungleich dicke Teile langsamer aufheizen und abkühlen.

Spannungsarmglühen oder MEMV®?

Spannungsarmglühen baut Eigenspannungen durch Wärme ab. Es braucht einen Ofen, der gross genug ist, viel Energie und Zeit, und die Oberfläche verzundert. Grosse Schweisskonstruktionen passen oft gar nicht in einen Ofen.

Die Alternative ist das Metallentspannen mit Vibration **WIAP® MEMV® VSR®**: ohne Ofen, ohne Zunder, auch an sehr grossen Teilen und direkt zwischen Schruppen und Schlichten. Kernaussage: **MEMV = kein Verzug**. Ablauf, Befestigung und Protokolle siehe Kapitel 46.

Aufgabe: Ein Teil aus 90MnCrV8 (1.2842) soll gehärtet werden und eine Gebrauchshärte von ca. 62 HRC haben. Wie gehst du vor?

Lösung: Härten bei 780 bis 800 °C (Mitte: 790 °C), in Öl abschrecken (ca. 65 HRC), dann bei ca. 200 °C anlassen und langsam abkühlen. Ergebnis ca. 62 HRC.

Aufgabe: Ein Werkstück mit 60 mm Wandstärke wird angelassen. Wie lange wird gehalten?

Lösung: 1 Stunde pro 20 mm Wandstärke: 60 / 20 = 3 Stunden (mehr als das Minimum von 2 Stunden).

Aufgabe: Der Härteofen ist ausgeschaltet und zeigt 0 °C. Darf man die Tür öffnen und das Teil von Hand herausnehmen?

Lösung: Nein. Stromlos zeigt die Anzeige immer 0 °C, auch wenn innen noch 800 °C sind. Immer mit Handschuhen, Gesichtsschutz und Zange arbeiten und davon ausgehen, dass der Ofen heiss ist.

Kapitel 15 · Härtemessung (Wi-8f 1-19-h.2)

Mit einer Härtemessung kann man herausfinden, um welchen Werkstoff es sich handelt (z. B. S235 oder S355, welches Aluminium) oder ob ein Teil gehärtet ist. Das ist bei Reparaturen und Umbauten oft sehr wertvoll.

Merksatz: Je **kleiner der Eindruck**, desto **härter** der Werkstoff.
Faustregel für Stahl: **Zugfestigkeit Rm ≈ 3,45 × Brinellhärte** (z. B. 140 HB → ca. 480 N/mm²).

Die Messverfahren kurz erklärt

Verfahren	Prüfkörper	Was wird gemessen	Gut für
Brinell (HBW)	Hartmetallkugel (meist Ø 10, 5, 2,5 oder 1 mm)	Durchmesser des Eindrucks	Weiche bis mittelharte Werkstoffe: Baustahl, Guss, Aluminium, Messing. Auch mit einer Presse in der Werkstatt möglich
Vickers (HV)	Diamant-Pyramide 136°	Diagonalen des Eindrucks	Alle Werkstoffe, auch sehr hart und dünne Schichten; im Labor
Rockwell (HRC / HRB)	HRC: Diamantkegel 120°, 150 kp. HRB: Kugel 1/16 Zoll, 100 kp	Eindringtiefe, direkt am Gerät ablesbar	HRC: gehärteter Stahl (20 bis 70 HRC). HRB: weicher Stahl und Buntmetall
Leeb (HL, «LB»)	Schlagkörper mit Hartmetallkugel, wird auf das Teil geschossen	Rückprallgeschwindigkeit	Tragbares Gerät, schnell, auch an grossen Teilen und an der Maschine; rechnet in HB, HV, HRC um

Umrechnungen zwischen den Verfahren sind nur Näherungen (siehe Kapitel Werkstoffe, Härtevergleich).

Rockwell und Vickers: Prüfbedingungen (ISO 6508-1 / ISO 6507-1)

Bei Rockwell wird zuerst eine kleine **Vorkraft F0** aufgebracht (Nullpunkt), dann die **Zusatzkraft F1**. Nach dem Wegnehmen der Zusatzkraft misst das Gerät die bleibende Eindringtiefe h. Das Gerät zeigt den Härtewert direkt an.

Skala	Eindringkörper	Vorkraft F0	Zusatzkraft F1	Messbereich	Für
HRA	Diamantkegel 120°	98 N	490,3 N	20 bis 88 HRA	Gehärteter Stahl, hochfeste Metalle
HRC	Diamantkegel 120°	98 N	1373 N	20 bis 70 HRC	Gehärteter Stahl, hochfeste Metalle
HRB	Hartmetallkugel Ø 1,5875 mm (1/16 Zoll)	98 N	882,6 N	20 bis 100 HRB	Weicher Stahl, Buntmetalle
HRF	Hartmetallkugel Ø 1,5875 mm (1/16 Zoll)	98 N	490,3 N	20 bis 100 HRF	Weicher Stahl, Buntmetalle

Thema	Rockwell	Vickers
Formel	HRA, HRC = 100 − h / 0,002 mm HRB, HRF = 130 − h / 0,002 mm	HV = 0,1891 × F / d² (F in N, d in mm) d = (d1 + d2) / 2 (Mittel der beiden Diagonalen)
Oberfläche	geschliffen, Ra 0,8 bis 1,6 µm	geschliffen, Ra 0,4 bis 0,8 µm
Randabstand	mindestens 1 mm	mindestens 2,5 × d
Wichtig	Beim Vorbereiten der Prüffläche darf sich das Gefüge nicht verändern (nicht heiss schleifen). Die Probe muss dick genug sein, sonst misst man die Unterlage mit.	
Bezeichnung	65 HRC = 65 Rockwell C 70 HRBW = 70 Rockwell B mit Hartmetallkugel	540 HV 1/20 = 540 Vickers, Prüfkraft 1 kp (9,807 N), Einwirkzeit 20 s 650 HV 5 = 650 Vickers, Prüfkraft 5 kp (49,03 N), Einwirkzeit nicht angegeben (dann 10 bis 15 s)

Prüfstufe	HV100	HV50	HV30	HV20	HV10	HV5	HV3	HV2	HV1	HV0,5	HV0,3	HV0,2
Prüfkraft N	980,7	490,3	294,2	196,1	98,07	49,03	29,42	19,61	9,807	4,903	2,942	1,961

Die Zahl hinter HV ist die Prüfkraft in kp (1 kp = 9,807 N). Kleine Prüfkräfte (HV0,2 bis HV1) für dünne Schichten und kleine Teile, grosse Prüfkräfte für normale Bauteile.

Aufgabe: Ein Vickers-Eindruck mit HV10 hat die Diagonalen d1 = 0,20 mm und d2 = 0,22 mm. Wie gross ist die Härte?

Lösung: d = (0,20 + 0,22) / 2 = 0,21 mm. F = 98,07 N. HV = 0,1891 × 98,07 / 0,21² = 18,55 / 0,0441 ≈ 420 HV10.

Brinell mit der Presse: Rechner

Kugel auf das Teil legen, mit der Presse die gewählte Last aufbringen und ca. 10 bis 15 Sekunden halten. Dann den Eindruck-Durchmesser mit der Messlupe **zweimal um 90° versetzt** messen und den Mittelwert eingeben.

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-werkstoffe/

Formel (Norm ISO 6506): **$HBW = 0{,}102 \times 2F / (\pi \times D \times (D - \sqrt{(D^2 - d^2)}))$** mit F in N, D und d in mm. 1 t = 1000 kp = 9807 N.

WIAP-Praxis (Werkstatt-Methode mit der Presse):
• Als Prüfkugel kann eine gehärtete **Kugellagerkugel** dienen, z. B. **Ø 11,1 mm (7/16 Zoll)** oder Ø 5,6 mm.
• Last mit der Presse aufbringen, z. B. **1000 kp**.
• Eindruck an **2 Stellen um 90° versetzt** messen (d1 und d2): So erkennt man auch, ob der Eindruck oval ist.
• Beispiel Flachstahl S355: Kugel 11,1 mm, 1000 kp, d1 = d2 = 3,2 mm → **122 HB**.
Für Vergleiche immer die gleiche Kugel und die gleiche Last verwenden. Werte mit Werkstatt-Kugel und kleiner Last können vom genormten Wert (Hartmetallkugel 10 mm, 3000 kp) etwas abweichen. Stahlkugeln nur bis ca. 450 HB verwenden, bei härteren Teilen verformt sich die Kugel.

Tabelle für Kugel Ø 10 mm

Eindruck d mm	1 t (1000 kp) HBW	2 t (2000 kp) HBW	3 t (3000 kp) HBW
2,4	218	436	654
2,6	185	370	555
2,8	159	318	478
3,0	138	277	415
3,2	121	242	363
3,4	107	214	321
3,6	95	190	285
3,8	85	170	255
4,0	76	153	229
4,2	69	138	207
4,4	62	125	187
4,6	57	114	170

Eindruck d mm	1 t (1000 kp) HBW	2 t (2000 kp) HBW	3 t (3000 kp) HBW
4,8	52	104	156
5,0	48	95	143
5,2	44	87	131
5,4	40	80	121
5,6	37	74	111
5,8	34	69	103
6,0	32	64	96

Nach Norm: 3 t (3000 kp) für Stahl und Guss, 1 t (1000 kp) für Aluminium-Legierungen und Kupfer. Gültig ist die Messung, wenn d zwischen 2,4 und 6,0 mm liegt.

Welcher Werkstoff hat welche Härte? (Richtwerte)

Werkstoff	Brinellhärte HB ca.
Reinaluminium (weich)	20 bis 30
Aluminium EN AW-5083	ca. 75
Aluminium EN AW-6082 T6 (AlMgSi1)	ca. 90 bis 100
Aluminium EN AW-2007 (Automaten)	ca. 100 bis 115
Aluminium EN AW-7075 T6	ca. 140 bis 150
Messing CuZn39Pb3 (Ms 58)	ca. 90 bis 140
Baustahl S235JR	ca. 105 bis 145
Baustahl S355J2	ca. 140 bis 180
C45 normalgeglüht	ca. 180 bis 210
42CrMo4 vergütet	ca. 270 bis 330
Grauguss EN-GJL-250 (GG 25)	ca. 180 bis 250
Sphäroguss EN-GJS-400 (GGG 40)	ca. 130 bis 180
Rostfrei 1.4301 (V2A)	ca. 150 bis 200

Tipps für eine gute Messung

Regel	Warum
Fläche blank schleifen und eben	Zunder, Farbe und Rost verfälschen das Ergebnis
Teil dick genug (mindestens ca. 8-mal die Eindrucktiefe)	Sonst drückt die Kugel durch und misst die Unterlage mit
Abstand zum Rand mind. 2,5 × d, zwischen zwei Eindrücken mind. 3 × d	Sonst verformt sich das Material seitlich
Last ruhig aufbringen und halten	Schläge oder zu kurze Haltezeit ergeben falsche Werte
Manometer der Presse prüfen	Die Last muss stimmen: 10 % zu viel Last gibt deutlich andere Werte
Mehrere Messungen machen	Mittelwert nehmen, Ausreisser weglassen

Leeb-Härtemessgerät (Equotip) bedienen: WIAP-Praxis

Das tragbare Gerät misst nach Leeb: Ein Schlagkörper wird auf das Teil geschossen, das Gerät misst den Rückprall und zeigt einen **L-Wert** (z. B. HLD für Schlaggerät Typ D). Mit der Umrechnungstabelle in der Box liest man daraus HV, HB, HRB, HRC oder HS ab.

Schritt	Was tun
1	Vor der ersten Messung die Bedienungsanleitung in der Box sorgfältig lesen.
2	Schlaggerät (bei uns Typ D) am Stecker «Input» anschliessen.
3	Schalter auf ON stellen und mindestens 5 Sekunden warten.
4	Laden: die schwarze Kunststoffhülse ca. 30 mm nach rechts schieben (Ladebewegung).
5	Schlaggerät auf das Werkstück aufsetzen und gut andrücken, damit es nicht federt.
6	Oben auf den Auslöseknopf drücken, bis innen ein leises Geräusch kommt. Der Wert erscheint auf der Anzeige.
7	L-Wert mit der Umrechnungstabelle in die gewünschte Härte umrechnen.
8	Sorgfältig wegräumen: Kabel und seitlichen Stecker des Schlaggerätes nach unten legen, sonst wird der Stecker beim Schliessen der Box beschädigt.
Tipp	**Warum**

Schritt	Was tun
Leichte Teile mit Koppelpaste auf eine schwere Unterlage kleben	Leichte Teile federn beim Schlag mit, der Wert wird zu tief. Die Koppelpaste liegt der Box bei.
Prüfplatte gut halten (z. B. im Schraubstock)	Federt die Platte nach, gibt es unterschiedliche Messresultate.

Kontrolle (Kalibrierung) alle 6 Monate, durch den Maschinenunterhalt:

Schritt	Was tun
1	Prüfplatte 1 im Schraubstock einspannen.
2	Gerät wie oben vorbereiten und messen.
3	Prüfer 1 misst 3-mal und schreibt die Werte auf, danach Prüfer 2 ebenfalls 3-mal.
4	Werte mit dem Sollwert der Prüfplatte vergleichen (bei uns: Platte 1 = 758 ± 6, Platte 2 = 763 ± 6). Liegen die Werte darin, ist das Gerät in Ordnung.
5	Weicht das Gerät ab: nach den Reparaturanweisungen des Herstellers vorgehen. Prüfprotokoll in der Gerätebox nachführen.

Bitte prüfen: Im alten Blatt stehen als zulässige Abweichung «0,002 %» (Messung wiederholen) und «0,005 %» (Gerät i. O.). Diese Prozentwerte sind sehr klein und vermutlich falsch übertragen; massgebend sind die Toleranz der Prüfplatte und die Anleitung des Herstellers.

Werkstoffprüfung: weitere Verfahren im Überblick

Verfahren	So funktioniert es	Wofür
Zugversuch	Eine genormte Probe wird bis zum Bruch gezogen. Kraft und Dehnung werden aufgezeichnet (Spannungs-Dehnungs-Kurve).	Kennwerte wie Zugfestigkeit Rm und Streckgrenze; Grundlage für Festigkeitsrechnung und Umformung
Brinell, Rockwell, Vickers	siehe oben	Härte von Metallen. Brinell nur für nicht gehärtete Werkstoffe bis ca. 650 HB
Martenshärte (ISO 14577)	Diamantpyramide wird belastet, Kraft und Eindringtiefe werden während der Belastung laufend gemessen.	Alle Werkstoffe: Metalle, Kunststoffe, Hartmetall, Keramik; dünne Schichten (z. B. Beschichtungen, Lack)
Kugeleindruckhärte	Kugel mit Vorkraft, dann Prüfkraft; Eindringtiefe nach 30 s messen.	Kunststoffe und Hartgummi

Martenshärte: HM = F / (26,43 × h²) mit F in N und h in mm. Makrobereich 2 N ≤ F ≤ 30 kN, Mikrobereich F < 2 N, Nanobereich h ≤ 0,2 µm.

Verfahren	So funktioniert es	Wofür
Kerbschlagbiegeversuch (Charpy, ISO 148-1)	Eine gekerbte Probe (10 × 10 mm) wird von einem Pendelhammer mit einem Schlag gebrochen. Gemessen wird die verbrauchte Schlagarbeit in Joule – bei einer bestimmten Temperatur.	Zeigt, ob ein Stahl zäh oder spröde bricht, besonders in der Kälte. Wichtig für Schweisskonstruktionen und Teile mit Stossbelastung.

So liest man die Gütegruppe beim Baustahl: Der Zusatz hinter S235 / S355 sagt, bei welcher Temperatur mindestens **27 J** Kerbschlagarbeit garantiert sind: **JR** = bei +20 °C, **J0** = bei 0 °C, **J2** = bei −20 °C. Beim S355 gibt es zusätzlich **K2** mit höherer Kerbschlagarbeit. Für Rahmen und Gestelle, die geschweisst und gerüttelt werden, ist J2 die sichere Wahl.

Umwertung für weichere Stähle (HRB, ISO 18265)

Ergänzt den Härtevergleich in Kapitel 12 nach unten. Gilt für unlegierte und niedriglegierte Stähle und Stahlguss. Bei vergüteten, kaltverfestigten oder hochlegierten Stählen sind grosse Abweichungen möglich.

Zugfestigkeit Rm N/mm²	HV	HB	HRB	HRC	HRA
285	90	86	48	–	–
320	100	95	56	–	–
385	120	114	67	–	–
450	140	133	75	–	–
510	160	152	82	–	–
575	180	171	87	–	–
640	200	190	92	–	–
705	220	209	95	–	–
770	240	228	98	20	61
800	250	238	100	22	62

Zugfestigkeit Rm N/mm²	HV	HB	HRB	HRC	HRA
865	270	257	–	26	63
965	300	285	–	30	65

Umrechnungen sind immer nur Näherungen. Im Streitfall gilt die Messung mit dem Verfahren, das auf der Zeichnung steht.

Bereich 4 · Wi-8f Maschinenelemente

Gewinde und Schrauben, Sicherungen, Stifte, Federn, Antriebe, Zahnräder, Wälzlager, Spindeln, Dichtungen und Schmierstoffe.

Kapitel 16 · Gewinde (Wi-8f 1-19-k)

Metrisches Regelgewinde

Gewinde	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm	Durchgangsloch (mittel) mm	Schlüsselweite Sechskant mm	Innensechskant (Zylinderschraube) mm
M3	0,5	2,5	3,4	5,5	2,5
M4	0,7	3,3	4,5	7	3
M5	0,8	4,2	5,5	8	4
M6	1	5	6,6	10	5
M8	1,25	6,8	9	13	6
M10	1,5	8,5	11	16	8
M12	1,75	10,2	13,5	18	10
M14	2	12	15,5	21	12
M16	2	14	17,5	24	14
M20	2,5	17,5	22	30	17
M24	3	21	26	36	19
M30	3,5	26,5	33	46	22
M36	4	32	39	55	27

Kernloch-Bohrer = Nenndurchmesser minus Steigung. Schlüsselweiten nach ISO; bei älteren DIN-Schrauben: M10 = SW 17, M12 = SW 19, M14 = SW 22.

Regelgewinde: kleine, grosse und Zwischengrössen

Gewinde	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
M1	0,25	0,75
M1,1	0,25	0,85
M1,2	0,25	0,95
M1,4	0,3	1,1
M1,6	0,35	1,25
M1,8	0,35	1,45
M2	0,4	1,6 [1]
M2,2	0,45	1,75
M2,5	0,45	2,05
M3,5	0,6	2,9
M7	1	6
M9	1,25	7,8
M11	1,5	9,5
M18	2,5	15,5
M22	2,5	19,5
M27	3	24
M33	3,5	29,5
M39	4	35
M42	4,5	37,5
M45	4,5	40,5
M48	5	43
M52	5	47
M56	5,5	50,5
M60	5,5	54,5
M64	6	58
M68	6	62

Ergänzt die Tabelle oben: sehr kleine Gewinde (Feinwerktechnik, Messgeräte), Zwischengrössen und grosse Gewinde bis M68. Zwischengrössen wie M7, M9, M11, M18, M22, M27 und M33 findet man vor allem an älteren Maschinen und bei Reparaturen. ¹ Im alten Blatt stand bei M2 der Bohrer 1,5 mm; nach der Regel «Nenndurchmesser minus Steigung» gilt 1,6 mm – bitte prüfen.

Merksatz: Bei kleinen Gewinden unter M3 den Bohrer nie «nach Gefühl» wählen: schon 0,1 mm zu klein lässt den Gewindebohrer abbrechen.

Metrisches Feingewinde

Feingewinde	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
M8 × 1	1	7
M10 × 1	1	9
M10 × 1,25	1,25	8,75
M12 × 1,5	1,5	10,5
M14 × 1,5	1,5	12,5
M16 × 1,5	1,5	14,5
M20 × 1,5	1,5	18,5
M24 × 2	2	22
M30 × 2	2	28

Weitere Feingewinde: Steigungen und Kernloch-Bohrer

Pro Durchmesser gibt es meist mehrere Feinsteigungen. Angabe: Steigung → Kernloch-Bohrer in mm.

Gewinde	Steigung → Bohrer mm
M2,5	× 0,35 → 2,2
M3	× 0,35 → 2,6
M3,5	× 0,35 → 3,1
M4	× 0,5 → 3,5
M4,5	× 0,5 → 4
M5	× 0,5 → 4,5
M5,5	× 0,5 → 5
M6	× 0,75 → 5,2
M7	× 0,75 → 6,2
M8	× 0,75 → 7,2 ¹ · × 1 → 7
M9	× 0,75 → 8,2 · × 1 → 8
M10	× 0,75 → 9,2 · × 1 → 9 · × 1,25 → 8,8 ¹
M11	× 0,75 → 10,2 ¹ · × 1 → 10
M12	× 1 → 11 · × 1,25 → 10,8 · × 1,5 → 10,5
M14	× 1 → 13 · × 1,25 → 12,8 ¹ · × 1,5 → 12,5
M15	× 1 → 14 · × 1,5 → 13,5
M16	× 1 → 15 · × 1,5 → 14,5
M17	× 1 → 16 · × 1,5 → 15,5
M18	× 1 → 17 · × 1,5 → 16,5 · × 2 → 16
M20	× 1 → 19 · × 1,5 → 18,5 · × 2 → 18
M22	× 1 → 21 · × 1,5 → 20,5 · × 2 → 20
M24	× 1 → 23 · × 1,5 → 22,5 · × 2 → 22
M25	× 1 → 24 · × 1,5 → 23,5 · × 2 → 23
M27	× 1 → 26 · × 1,5 → 25,5 · × 2 → 25
M28	× 1 → 27 · × 1,5 → 26,5 · × 2 → 26
M30	× 1 → 29 · × 1,5 → 28,5 · × 2 → 28 · × 3 → 27
M32	× 1,5 → 30,5 · × 2 → 30 ¹
M33	× 1,5 → 31,5 · × 2 → 31 · × 3 → 30
M35	× 1,5 → 33,5
M36	× 1,5 → 34,5 · × 2 → 34 · × 3 → 33
M39	× 1,5 → 37,5 · × 2 → 37 · × 3 → 36 ¹
M40	× 1,5 → 38,5 · × 2 → 38 · × 3 → 37
M42	× 1,5 → 40,5 · × 2 → 40 · × 3 → 39

Gewinde	Steigung → Bohrer mm
M45	× 1,5 → 43,5 · × 2 → 43 · × 3 → 42
M48	× 1,5 → 46,5 · × 2 → 46 · × 3 → 45
M50	× 1,5 → 48,5 · × 2 → 48 · × 3 → 47
M52	× 1,5 → 50,5 · × 2 → 50

Regel wie beim Regelgewinde: Bohrer = Nenndurchmesser minus Steigung (bei Steigung 0,35 und 0,75 leicht abgerundet). Die Steigung immer mit der Gewindelehre prüfen – M12 × 1,25 und M12 × 1,5 sehen fast gleich aus. [1] Diese Werte waren im alten Blatt offensichtlich verschrieben und wurden nach der Regel d − P eingesetzt – bitte prüfen.

Rohrgewinde (ISO 228, zylindrisch)

Gewinde	Gänge pro Zoll	Aussendurchmesser mm	Kernloch-Bohrer mm
G 1/8	28	9,728	8,8
G 1/4	19	13,157	11,8
G 3/8	19	16,662	15,25
G 1/2	14	20,955	19
G 3/4	14	26,441	24,5
G 1	11	33,249	30,75
G 1 1/4	11	41,91	39,5
G 1 1/2	11	47,803	45,25
G 2	11	59,614	57

Rohrgewinde G: weitere Grössen

Gewinde	Gänge pro Zoll	Aussendurchmesser mm	Kernloch-Bohrer mm
G 5/8	14	22,911	20,75
G 7/8	14	30,201	28
G 1 3/4	11	53,746	51
G 2 1/4	11	65,710	63
G 2 1/2	11	75,184	72,5
G 2 3/4	11	81,534	79
G 3	11	87,884	86,5
G 3 1/2	11	100,330	97,75
G 4	11	113,030	110,5

Ab G 1 haben alle Rohrgewinde 11 Gänge pro Zoll. Die Grösse in Zoll ist nicht der Aussendurchmesser, sondern die alte lichte Weite des Rohres: G 1 misst aussen rund 33 mm.

Trapezgewinde (ISO 2904)

Gewinde	Steigung mm	Kernloch Mutter mm (d − P)
Tr 10 × 2	2	8
Tr 12 × 3	3	9
Tr 14 × 3	3	11
Tr 16 × 4	4	12
Tr 20 × 4	4	16
Tr 24 × 5	5	19
Tr 28 × 5	5	23
Tr 32 × 6	6	26
Tr 36 × 6	6	30
Tr 40 × 7	7	33

Sägengewinde: für Kraft in eine Richtung

*Das Sägengewinde (Kennbuchstabe S, z. B. S 40 × 7) hat eine fast senkrechte Flanke und eine schräge Flanke. Es trägt sehr hohe Kräfte, aber nur in **einer** Richtung.*

Thema	Sägengewinde S	Trapezgewinde Tr
Flanken	tragende Flanke fast senkrecht (ca. 3°), Rückflanke schräg (ca. 30°)	beide Flanken gleich, zusammen 30°
Kraftrichtung	nur eine Richtung, dafür sehr hoch	beide Richtungen

Thema	Sägengewinde S	Trapezgewinde Tr
Typisch	Spindelpressen, Hubspindeln, Spannvorrichtungen mit hoher Axialkraft in einer Richtung	Leitspindeln, Vorschubspindeln, Schieber
Einbau	auf die Kraftrichtung achten: die steile Flanke muss die Last tragen	richtungsunabhängig

Merksatz: Sägengewinde nie verkehrt herum einbauen – trägt die schräge Flanke, drückt das Gewinde die Mutter auseinander und die Kraft ist viel kleiner.

Zollgewinde (für ältere und amerikanische / englische Maschinen)

Merksatz: 1 Zoll = 25,4 mm. Zollgewinde werden in **Gängen pro Zoll** angegeben: Steigung = 25,4 / Gänge. **Achtung:** UNC und UNF haben 60° Flankenwinkel (wie metrisch), Whitworth (BSW) hat **55°**. Nie mischen, auch wenn die Gangzahl gleich ist!

UNC – Unified Grobgewinde (USA, 60°)

Grösse	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
1/4"	6,35	20	1,270	5,1
5/16"	7,94	18	1,411	6,6
3/8"	9,52	16	1,587	8
7/16"	11,11	14	1,814	9,4
1/2"	12,70	13	1,954	10,8
9/16"	14,29	12	2,117	12,2
5/8"	15,88	11	2,309	13,5
3/4"	19,05	10	2,540	16,5
7/8"	22,22	9	2,822	19,5
1"	25,40	8	3,175	22,25
1 1/8"	28,57	7	3,629	25
1 1/4"	31,75	7	3,629	28
1 1/2"	38,10	6	4,233	34

UNF – Unified Feingewinde (USA, 60°)

Grösse	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
1/4"	6,35	28	0,907	5,5
5/16"	7,94	24	1,058	6,9
3/8"	9,52	24	1,058	8,5
7/16"	11,11	20	1,270	9,9
1/2"	12,70	20	1,270	11,5
9/16"	14,29	18	1,411	12,9
5/8"	15,88	18	1,411	14,5
3/4"	19,05	16	1,587	17,5
7/8"	22,22	14	1,814	20,4
1"	25,40	12	2,117	23,25

Nummerngewinde (UNC / UNF unter 1/4")

Amerikanische Gewinde unter 1/4" haben keine Zollgrösse, sondern eine Nummer. Schreibweise z. B. «10-32 UNF» = Nummer 10 mit 32 Gängen pro Zoll.

Grösse	Aussen-Ø mm	UNC Gänge pro Zoll	UNC Bohrer mm	UNF Gänge pro Zoll	UNF Bohrer mm
Nr. 0	1,52	–	–	80	1,2
Nr. 1	1,85	– [2]	–	72	1,5
Nr. 2	2,18	56	1,8	64	1,8
Nr. 3	2,51	48	2,0	56	2,1
Nr. 4	2,84	40	2,3	48	2,4
Nr. 5	3,18	40	2,6	44	2,5 [1]
Nr. 6	3,51	32	2,7	40	2,9
Nr. 8	4,17	32	3,6 [1]	36	3,5
Nr. 10	4,83	24	3,6 [1]	32	4,0
Nr. 12	5,49	24	4,5	28	4,6

Aussen-Ø = (0,060" + Nummer × 0,013") × 25,4. Beispiel Nr. 10: (0,060 + 0,130) × 25,4 = 4,83 mm. [1] Wert aus dem alten Blatt unsicher (passt nicht zum Kerndurchmesser) – bitte prüfen. [2] Gangzahl im alten Blatt nicht eindeutig, darum weggelassen.

UNEF – Unified Extrafeingewinde (USA, 60°)

Grösse	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
1/4"	6,35	32	0,794	5,6
5/16"	7,94	32	0,794	7,2
3/8"	9,52	32	0,794	8,8
7/16"	11,11	28	0,907	10,2
1/2"	12,70	28	0,907	11,8
9/16"	14,29	24	1,058	13,2
5/8"	15,88	24	1,058	14,75
11/16"	17,46	24	1,058	16,4
3/4"	19,05	20	1,270	17,75
13/16"	20,64	20	1,270	19,25
7/8"	22,22	20	1,270	21
15/16"	23,81	20	1,270	22,5
1"	25,40	20	1,270	24,25

UNC und UNF: grosse Grössen

Gewinde	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
UNC 1 3/4"	44,45	5	5,080	39
UNC 2"	50,80	4,5	5,644	45
UNF 1 1/8"	28,57	12	2,117	26,5
UNF 1 1/4"	31,75	12	2,117	29,75
UNF 1 3/8"	34,92	12	2,117	33
UNF 1 1/2"	38,10	12	2,117	36

Ergänzt die UNC- und UNF-Tabellen oben nach oben hin.

BSW – Whitworth-Gewinde (England, 55°)

Grösse	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
1/4"	6,35	20	1,270	5,1
5/16"	7,94	18	1,411	6,5
3/8"	9,52	16	1,587	7,9
7/16"	11,11	14	1,814	9,3
1/2"	12,70	12	2,117	10,5
5/8"	15,88	11	2,309	13,5
3/4"	19,05	10	2,540	16,25
7/8"	22,22	9	2,822	19,25
1"	25,40	8	3,175	22

Rohrgewinde G (zylindrisch) siehe oben. Bei Rohrgewinde R (kegelig) ist die Gangzahl gleich wie bei G. Kernloch-Bohrer sind übliche Werkstattwerte.

BSW – Whitworth: weitere Grössen

Grösse	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
1/8"	3,18	40	0,635	2,5
3/16"	4,76	24	1,058	3,6
9/16"	14,29	12	2,117	11,9
1 1/8"	28,57	7	3,629	24,5
1 1/4"	31,75	7	3,629	27,75
1 3/8"	34,92	6	4,233	30,25
1 1/2"	38,10	6	4,233	33,5
1 5/8"	41,27	5	5,080	35,5
1 3/4"	44,45	5	5,080	38,5
1 7/8"	47,62	4,5	5,644	41,25
2"	50,80	4,5	5,644	44,5

Grösse	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
2 1/4"	57,15	4	6,350	50
2 1/2"	63,50	4	6,350	56
2 3/4"	69,85	3,5	7,257	61,5
3"	76,20	3,5	7,257	68

BSF – Whitworth-Feingewinde (England, 55°)

Grösse	Aussen-Ø mm	Gänge pro Zoll	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm
3/16"	4,76	32	0,794	4,0
7/32"	5,56	28	0,907	4,6
1/4"	6,35	26	0,977	5,3
9/32"	7,14	26	0,977	6,1
5/16"	7,94	22	1,155	6,8
3/8"	9,52	20	1,270	8,3
7/16"	11,11	18	1,411	9,7
1/2"	12,70	16	1,588	11,1
9/16"	14,29	16	1,588	12,7
5/8"	15,88	14	1,814	14
11/16"	17,46	14	1,814	15,5
3/4"	19,05	12	2,117	16,75
7/8"	22,22	11	2,309	19,75
1"	25,40	10	2,540	22,75
1 1/8"	28,57	9	2,822	25,5
1 1/4"	31,75	9	2,822	28,75
1 3/8"	34,92	8	3,175	31,5
1 1/2"	38,10	8	3,175	34,5
1 5/8"	41,27	8	3,175	38
1 3/4"	44,45	7	3,629	40,5
2"	50,80	7	3,629	47

BSF hat wie BSW 55° Flankenwinkel. Auf alten englischen Maschinen kommen BSW und BSF oft gemischt vor: Gänge pro Zoll immer mit der Whitworth-Gewindelehre (55°) zählen.

Gewindeeinsätze (Helicoil)

Ein Gewindeeinsatz ist eine Drahtspirale mit Innen- und Aussengewinde. Er gibt weichen Werkstoffen (Alu, Guss, Magnesium) ein verschleissfestes Gewinde und repariert ausgerissene Gewinde. Nach dem Einbau passt wieder die normale Schraube.

Gewinde (Schraube)	Steigung mm	Kernloch-Bohrer mm	Einsatzlänge 1 d / 1,5 d / 2 d mm
M2,5	0,45	2,6	2,5 / 3,75 / 5
M3	0,5	3,2	3 / 4,5 / 6
M3,5	0,6	3,7	3,5 / 5,25 / 7
M4	0,7	4,2	4 / 6 / 8
M5	0,8	5,2	5 / 7,5 / 10
M6	1	6,3	6 / 9 / 12
M8	1,25	8,4	8 / 12 / 16
M8 × 1	1	8,3	8 / 12 / 16
M10	1,5	10,5	10 / 15 / 20
M10 × 1	1	10,25	10 / 15 / 20
M10 × 1,25	1,25	10,4	10 / 15 / 20
M12	1,75	12,5	12 / 18 / 24
M14 [1]	2	14,5	14 / 21 / 28
M16	2	16,5	16 / 24 / 32
M18 [1]	2,5	18,75	18 / 27 / 36
M20	2,5	20,75	20 / 30 / 40

Der Bohrer ist grösser als beim normalen Gewinde, weil der Einsatz Platz braucht. [1] M14 und M18 für Neukonstruktionen nicht verwenden. Kernloch mindestens Einsatzlänge plus etwa 4 bis 5 Gewindegänge tief bohren.

Schritt	Was tun
1. Bohren	Kernloch mit dem Bohrer aus der Tabelle bohren, leicht ansenken, Späne entfernen
2. Gewinde schneiden	Nur mit dem Spezial-Gewindebohrer für Gewindeeinsätze (Kennzeichnung «EG» bzw. STI), nicht mit einem normalen Gewindebohrer
3. Einsatz eindrehen	Mit dem Einbauwerkzeug eindrehen, bis der Einsatz ca. 1/4 bis 1/2 Gang unter der Oberfläche liegt
4. Zapfen entfernen	Mitnehmerzapfen mit dem Zapfenbrecher abbrechen und herausnehmen (bei Sacklöchern nötig, wenn die Schraube ganz durch muss)

Merksatz: Gewindeeinsätze sind die beste Reparatur für ein ausgerissenes Gewinde: Das Bauteil braucht keine grössere Schraube, und das neue Gewinde ist stärker als das alte.

Anziehdrehmomente, Schraubenarten, Festigkeitsklassen und Kopfmasse: siehe Kapitel 17.

Kapitel 17 · Schrauben (Wi-8f 1-19-i)

Anziehdrehmomente, Schraubenarten, Festigkeitsklassen, Durchgangslöcher und Kopfmasse. Die Gewindetabellen stehen in Kapitel 16.

Anziehdrehmomente und Vorspannkraft (Richtwerte)

Wichtig: Geschmierte Schrauben brauchen **weniger** Drehmoment für die gleiche Klemmkraft. Wer eine geschmierte Schraube mit dem Wert für «ungeschmiert» anzieht, überdehnt sie oder reisst sie ab! **Vorspannkraft** = die Kraft, mit der die angezogene Schraube die Teile zusammendrückt (Klemmkraft).

Geschmiert (Öl, Fett, MoS_2-Paste) · Reibungszahl μ ≈ 0,10

	8.8		10.9		12.9	
Gewinde	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN
M4	**2,7**	4,5≈ 460 kg	**4**	6,7≈ 680 kg	**4,7**	7,8≈ 800 kg
M5	**5,4**	7,4≈ 750 kg	**7,9**	11≈ 1’100 kg	**9,2**	13≈ 1’300 kg
M6	**9,2**	10≈ 1’100 kg	**14**	15≈ 1’600 kg	**16**	18≈ 1’800 kg
M8	**22**	19≈ 1’900 kg	**33**	28≈ 2’900 kg	**38**	33≈ 3’300 kg
M10	**44**	30≈ 3’100 kg	**64**	45≈ 4’500 kg	**75**	52≈ 5’300 kg
M12	**75**	44≈ 4’500 kg	**110**	65≈ 6’600 kg	**130**	76≈ 7’700 kg
M14	**120**	61≈ 6’200 kg	**175**	89≈ 9’100 kg	**205**	104≈ 10’600 kg
M16	**185**	83≈ 8’500 kg	**270**	122≈ 12’400 kg	**315**	143≈ 14’500 kg
M20	**370**	134≈ 13’600 kg	**525**	190≈ 19’400 kg	**615**	223≈ 22’700 kg
M24	**635**	192≈ 19’600 kg	**905**	274≈ 27’900 kg	**1’060**	321≈ 32’700 kg
M27	**935**	252≈ 25’700 kg	**1’330**	359≈ 36’600 kg	**1’560**	420≈ 42’900 kg
M30	**1’270**	307≈ 31’300 kg	**1’810**	437≈ 44’600 kg	**2’120**	512≈ 52’200 kg
M33	**1’710**	381≈ 38’900 kg	**2’440**	543≈ 55’400 kg	**2’860**	636≈ 64’800 kg
M36	**2’210**	448≈ 45’700 kg	**3’150**	639≈ 65’100 kg	**3’680**	747≈ 76’200 kg

Ungeschmiert (trocken, blank oder brüniert) · Reibungszahl μ ≈ 0,14

	8.8		10.9		12.9	
Gewinde	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN
M4	**3,5**	4,3≈ 440 kg	**5,1**	6,3≈ 640 kg	**5,9**	7,4≈ 750 kg
M5	**6,8**	7≈ 710 kg	**9,9**	10≈ 1’000 kg	**12**	12≈ 1’200 kg
M6	**12**	9,9≈ 1’000 kg	**17**	15≈ 1’500 kg	**20**	17≈ 1’700 kg
M8	**28**	18≈ 1’800 kg	**41**	27≈ 2’700 kg	**48**	31≈ 3’200 kg

Gewinde	8.8		10.9		12.9	
	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN	Anziehmoment Nm	Vorspannkraft kN
M10	**55**	29≈ 2’900 kg	**81**	42≈ 4’300 kg	**95**	50≈ 5’100 kg
M12	**95**	42≈ 4’300 kg	**140**	62≈ 6’300 kg	**165**	72≈ 7’400 kg
M14	**150**	58≈ 5’900 kg	**220**	85≈ 8’600 kg	**260**	99≈ 10’100 kg
M16	**235**	79≈ 8’000 kg	**345**	116≈ 11’800 kg	**400**	136≈ 13’800 kg
M20	**470**	127≈ 13’000 kg	**670**	181≈ 18’500 kg	**785**	212≈ 21’600 kg
M24	**815**	183≈ 18’700 kg	**1’160**	261≈ 26’600 kg	**1’360**	305≈ 31’100 kg
M27	**1’200**	240≈ 24’500 kg	**1’710**	342≈ 34’900 kg	**2’000**	401≈ 40’800 kg
M30	**1’630**	292≈ 29’800 kg	**2’320**	417≈ 42’500 kg	**2’720**	487≈ 49’700 kg
M33	**2’210**	364≈ 37’100 kg	**3’140**	518≈ 52’800 kg	**3’680**	606≈ 61’800 kg
M36	**2’840**	427≈ 43’600 kg	**4’040**	609≈ 62’100 kg	**4’730**	712≈ 72’600 kg

Gerechnet nach VDI 2230 für Schaftschrauben mit Sechskantkopf und Regelgewinde, 90 % Ausnutzung der Streckgrenze. Die Vorspannkraft ist bei Schmierung höher, weil weniger Kraft in der Reibung verloren geht. Neue Schrauben im Lieferzustand (leicht geölt) liegen meist dazwischen (μ ≈ 0,12). Bei verzinkten oder beschichteten Schrauben, Senkschrauben und sicherheitsrelevanten Verbindungen gelten die Angaben des Herstellers.

Schraubenarten und Normen (neu ISO – früher DIN)

Viele alte Zeichnungen und Stücklisten nennen noch die DIN-Nummer. Die Schrauben sind weitgehend gleich, bei einigen Grössen hat aber die Schlüsselweite geändert (siehe Hinweis beim metrischen Regelgewinde).

Schraube	Norm heute	früher	Bereich	Hinweis
Sechskantschraube mit Schaft	ISO 4014	DIN 931	M1,6–M64	Häufigste Schraube im Maschinenbau
Sechskantschraube, Gewinde bis Kopf	ISO 4017	DIN 933	M1,6–M64	Wenn die ganze Länge Gewinde braucht
Sechskantschraube mit Schaft, Feingewinde	ISO 8765	DIN 960	M8 × 1–M64 × 4	Kleinere Gewindetiefe, höher belastbar
Sechskantschraube, Feingewinde bis Kopf	ISO 8676	DIN 961	M8 × 1–M64 × 4	Wie oben, ganz mit Gewinde
Sechskant-Passschraube	DIN 609	–	M8–M48	Geschliffener Passschaft (k6) nimmt Querkräfte auf
Sechskantschraube Stahlbau (HV)	DIN 6914	–	M12–M36	Grosse Schlüsselweite, immer 10.9
Zylinderschraube mit Innensechskant	ISO 4762	DIN 912	M1,6–M64	Kopf versenkbar, wenig Platzbedarf
Zylinderschraube Innensechskant, Feingewinde	ISO 21269	–	M8 × 1–M64 × 4	Feingewinde-Ausführung der ISO 4762
Zylinderschraube, niedriger Kopf	DIN 7984	–	M3–M24	Kleine Bauhöhe, weniger belastbar
Zylinderschraube mit Schlitz	ISO 1207	–	M1,6–M10	Kleine Schrauben, kleine Kräfte
Senkschraube mit Innensechskant	ISO 10642	DIN 7991	M3–M20	Kegelsenkung 90°, Kopf bündig
Senkschraube mit Schlitz	ISO 2009	–	M1,6–M10	Kleine Schrauben
Gewindestift (Innensechskant)	ISO 4026 / 4027 / 4028	–	M1,6–M24	Flach / Spitze / Zapfen; sichert Lage, überträgt kein Drehmoment
Stiftschraube	DIN 938 / 939 / 835	–	M4–M48	Einschraubende 1 × d (Stahl) / 1,25 × d (Guss) / 2 × d (Alu)
Verschlussschraube	DIN 908 / 910	–	M10 × 1–M52 × 1,5	Öl-Einfüll- und Ablassschraube; Dichtfläche plan fräsen
Ringschraube	DIN 580	–	M8–M100 × 6	Transportöse; Tragkraft hängt vom Zugwinkel ab, Auflage plan fräsen

Schraube	Norm heute	früher	Bereich	Hinweis
Blechschraube	ISO 7049 / 7050 / 7051	–	ST2,2–ST9,5	Formt ihr Gewinde im vorgebohrten Blech selbst
Gewindefurchende Schraube	DIN 7500	–	M2–M10	Furcht metrisches Gewinde in Stahlblech und NE-Metallen, kleine Belastung

Bezeichnung einer Schraube lesen

Teil	Beispiel	Bedeutung
Norm	ISO 4762	Zylinderschraube mit Innensechskant
Gewinde	M10	Metrisches Regelgewinde, Nenn-Ø 10 mm (Feingewinde z. B. M10 × 1,25)
Länge	55	Schaftlänge l in mm (bei Senkschrauben inkl. Kopf)
Festigkeit / Werkstoff	10.9	Festigkeitsklasse (Stahl) oder z. B. A2-70, A4-70 (rostfrei), St, CuZn

Merksatz: «ISO 4762 – M10 × 55 – 10.9» = Zylinderschraube M10, 55 mm lang, Festigkeit 10.9. Steht ISO in der Bezeichnung, ist die Schraube nach ISO genormt; steht DIN, gibt es (noch) keine ISO-Norm.

Festigkeitsklassen von Schrauben

Die Zahl auf dem Schraubenkopf sagt, wie stark die Schraube ist. Bei Stahlschrauben (z. B. 8.8): **erste Zahl × 100** = Zugfestigkeit R_m in N/mm²; **erste Zahl × zweite Zahl × 10** = Streckgrenze R_e in N/mm². Bei rostfreien Schrauben (z. B. A2-70): A2 = Stahlgruppe (Cr-Ni), A4 = mit Molybdän (säurebeständiger), 70 × 10 = Zugfestigkeit 700 N/mm².

Klasse	Zugfestigkeit R_m N/mm²	Streckgrenze R_e N/mm²	Bruchdehnung %
5.8	500	400	10
6.8	600	480	8
8.8	800	640	12
9.8	900	720	10
10.9	1000	900	9
12.9	1200	1080	8
A2-50 / A4-50	500	210	20
A2-70 / A4-70	700	450	13

Werte gelten für Gewinde bis M20. Rostfreie Schrauben A2-70 haben eine viel tiefere Streckgrenze als 8.8 – nie einfach eine 8.8-Schraube durch A2 ersetzen und mit dem gleichen Drehmoment anziehen.

Produktklasse	Toleranz	Bedeutung
A	fein	Genaue Masse und Formen; z. B. Sechskantschrauben bis M24, Zylinderschrauben
B	mittel	z. B. grössere Sechskantschrauben (ab M30 oder grosse Längen)
C	grob	z. B. Stahlbauschrauben (HV)

Übung 1: Was bedeutet 12.9?

Lösung: R_m = 12 × 100 = **1200 N/mm²**, R_e = 12 × 9 × 10 = **1080 N/mm²**.

Übung 2: Eine Schraube hat «A4-70». Was heisst das?

Lösung: Rostfrei, Gruppe A4 (Cr-Ni-Mo, säurebeständiger als A2), Zugfestigkeit **700 N/mm²**.

Werkstoffe für hochfeste und warmfeste Schrauben

Werkstoff	Werkstoff-Nr.	Gruppe	Zugfestigkeit R_m N/mm²	Streckgrenze R_e / $R_{p0,2}$ N/mm²	Bruchdehnung A %
C35E (früher Ck35)	1.1181	Vergütungsstahl	600–720	430 (d < 16) / 370 (d 16–40)	18
24CrMo5	1.7258	Vergütungsstahl, warmfest	600–750	440	18
21CrMoV5-7	1.7709	Vergütungsstahl, warmfest	700–850	550	16
42CrMo4	1.7225	Vergütungsstahl	1100–1300	900 (d < 16) / 750 (d 16–40)	11
34CrNiMo6	1.6582	Vergütungsstahl	1100–1300	1000 (d < 16) / 900 (d 16–40)	min. 10
X5CrNi18-12 [1]	1.4303	Rostfrei	> 700 [1]	190	45

Werkstoff	Werkstoff-Nr.	Gruppe	Zugfestigkeit R_m N/mm²	Streckgrenze R_e / $R_{p0,2}$ N/mm²	Bruchdehnung A %
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	Rostfrei	> 700 [1]	200	40
X22CrMoV12-1	1.4923	Warmfest (12 % Cr)	800–950	600	14
X19CrMoNbVN11-1	1.4913	Warmfest (12 % Cr)	900–1050	750	12

Bei Vergütungsstählen hängt die Festigkeit vom Durchmesser ab, darum zwei Werte. [1] Die Zugfestigkeit > 700 N/mm² gilt für kaltverfestigtes Material; die Bezeichnung von 1.4303 lautet heute X4CrNi18-12 – bitte prüfen.

Durchgangslöcher fein, mittel, grob (ISO 273)

Gewinde	fein (H12) mm	mittel (H13) mm	grob (H14) mm
M1	1,1	1,2	1,3
M1,2	1,3	1,4	1,5
M1,6	1,7	1,8	2
M2	2,2	2,4	2,6
M2,5	2,7	2,9	3,1
M3	3,2	3,4	3,6
M4	4,3	4,5	4,8
M5	5,3	5,5	5,8
M6	6,4	6,6	7
M8	8,4	9	10
M10	10,5	11	12
M12	13	13,5	14,5
M16	17	17,5	18,5
M20	21	22	24
M24	25	26	28
M30	31	33	35
M36	37	39	42
M42	43	45	48
M48	50	52	56
M56	58	62	66
M64	66	70	74

fein: wenn die Teile genau sitzen müssen (wenig Spiel). **mittel**: Standard im Maschinenbau. **grob**: Schweisskonstruktionen, Stahlbau und überall, wo Lochabstände nicht genau stimmen.

Einschraubtiefe in Sacklöchern

Ist die Schraube zu wenig tief eingeschraubt, reisst das Gewinde im Bauteil aus, bevor die Schraube voll trägt. Die Einschraubtiefe wird als Vielfaches des Gewinde-Nenndurchmessers d angegeben.

Werkstoff des Bauteils	WIAP-Faustregel (Montage)
Stahl	mindestens 1,5 bis 2 × d, gut 2,5 × d
Grauguss	3,5 × d
Aluminium	2,5 bis 3 × d
Mutter / kurzes Gewinde	mindestens 0,5 × d

Merksatz: Je weicher der Werkstoff, desto tiefer einschrauben. M10 in Stahl: mindestens 15 bis 20 mm, in Alu 25 bis 30 mm, in Grauguss 35 mm.

Mindestwerte nach Tabellenbuch (Regelgewinde, Sackloch), je nach Festigkeitsklasse der Schraube:

Bauteil-Werkstoff	3.6 / 4.6	4.8 bis 6.8	8.8	10.9
Baustahl R_m bis 400 N/mm²	0,8 d	1,2 d	–	–
Baustahl R_m 400–600 N/mm²	0,8 d	1,2 d	1,2 d	–
Baustahl R_m 600–800 N/mm²	0,8 d	1,2 d	1,2 d	1,2 d
Stahl R_m über 800 N/mm²	0,8 d	1,2 d	1,0 d	1,0 d
Gusseisen	1,3 d	1,5 d	1,5 d	–
Kupferlegierungen	1,3 d	1,3 d	–	–

Bauteil-Werkstoff	3.6 / 4.6	4.8 bis 6.8	8.8	10.9
Aluminium-Gusslegierungen	1,6 d	2,2 d	–	–
Aluminium, ausgehärtet	0,8 d	1,2 d	1,6 d	–
Aluminium, nicht ausgehärtet	1,2 d	1,6 d	–	–
Kunststoffe	2,5 d	–	–	–

«–» = Kombination nicht sinnvoll. Bei Feingewinde die Werte × 1,25 nehmen. Das sind Mindestwerte; die WIAP-Faustregel liegt bewusst darüber, weil Gewinde in der Werkstatt oft mehrmals gelöst werden. Sackloch immer um mindestens 3 Gewindegänge tiefer bohren als das nutzbare Gewinde. Bei Stiftschrauben ist die Einschraubseite genormt: DIN 938 = 1 × d (Stahl), DIN 939 = 1,25 × d (Guss), DIN 835 = 2 × d (Aluminium).

Übung 3: Eine Zylinderschraube M12 soll in ein Gussgehäuse. Wie tief einschrauben (WIAP-Regel)?

Lösung: 3,5 × 12 = **42 mm**.

Übung 4: M8 in eine Alu-Platte. Wie tief mindestens?

Lösung: 2,5 bis 3 × 8 = **20 bis 24 mm**.

Kopfmasse der wichtigsten Schrauben

Gewinde	Sechskant ISO 4014/4017: Kopfhöhe k mm	Zylinder ISO 4762: Kopf-Ø / Kopfhöhe mm	Zylinder niedrig DIN 7984: SW / Kopf-Ø / Kopfhöhe mm	Senkschraube ISO 10642: SW / Kopf-Ø / Kopfhöhe mm
M3	2	5,5 / 3	2 / 5,5 / 2	2 / 5,5 / 1,9
M4	2,8	7 / 4	2,5 / 7 / 2,8	2,5 / 7,5 / 2,5
M5	3,5	8,5 / 5	3 / 8,5 / 3,5	3 / 9,4 / 3,1
M6	4	10 / 6	4 / 10 / 4	4 / 11,3 / 3,7
M8	5,3	13 / 8	5 / 13 / 5	5 / 15,2 / 5
M10	6,4	16 / 10	7 / 16 / 6	6 / 19,2 / 6,2
M12	7,5	18 / 12	8 / 18 / 7	8 / 23,1 / 7,4
M16	10	24 / 16	12 / 24 / 9	10 / 29 / 8,8
M20	12,5	30 / 20	14 / 30 / 11	12 / 36 / 10,2
M24	15	36 / 24	17 / 36 / 13	–
M30	18,7	45 / 30	–	–
M36	22,5	54 / 36	–	–

Merksatz: Bei der Zylinderschraube ISO 4762 ist die Kopfhöhe gleich dem Gewinde-Ø (M10 → 10 mm). Senkschrauben und niedrige Zylinderschrauben haben oft einen **kleineren Innensechskant** als die normale Zylinderschraube: M10 = SW 8 bei ISO 4762, aber SW 7 bei DIN 7984 und SW 6 bei ISO 10642.

Sechskantschrauben ISO 4014 und ISO 4017: Masse und Längen

ISO 4014 = Schaft mit Teilgewinde (früher DIN 931) · ISO 4017 = Gewinde bis zum Kopf (früher DIN 933). Kopfmasse sind bei beiden gleich. Werte in mm.

Gewinde	SW	Kopfhöhe k	Eckmasse	Auflage-Ø dw	Gewindelänge b (ISO 4014) l ≤ 125 / 125–200 / über 200	Längen ISO 4014 von–bis	Längen ISO 4017 von–bis
M3	5,5	2	6	4,6	12 / – / –	20–30	6–30
M4	7	2,8	7,7	5,9	14 / – / –	25–40	8–40
M5	8	3,5	8,8	6,9	16 / – / –	25–50	10–50
M6	10	4	11,1	8,9	18 / – / –	30–60	12–60
M8	13	5,3	14,4	11,6	22 / – / –	40–80	16–80
M10	16	6,4	17,8	14,6	26 / – / –	45–100	20–100
M12	18	7,5	20	16,6	30 / – / –	50–120	25–120
M16	24	10	26,2	22	38 / 44 / –	65–160	30–200
M20	30	12,5	33	27,7	46 / 52 / –	80–200	40–200
M24	36	15	39,6	33,3	54 / 60 / 73	90–240	50–200
M30	46	18,7	50,9	42,8	66 / 72 / 85	110–300	60–200
M36	55	22,5	60,8	51,1	– / 84 / 97	140–360	70–200
M42	65	26	71,3	60	– / 96 / 109	160–440	80–200

Gewinde	SW	Kopfhöhe k	Eckmasse	Auflage-Ø dw	Gewindelänge b (ISO 4014) l ≤ 125 / 125–200 / über 200	Längen ISO 4014 von–bis	Längen ISO 4017 von–bis
M48	75	30	82,6	69,5	– / 108 / 121	180–480	100–200

Thema	Hinweis
Normlängen ISO 4014	12, 16, 20, 25, 30, 35 bis 60 in 5er-Schritten, 65, 70, 80, 90 bis 140 in 10er-Schritten, 150, 160, 180, 200 bis 460 in 20er-Schritten, 480, 500
Normlängen ISO 4017	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35 bis 60 in 5er-Schritten, 65, 70, 80, 90 bis 140 in 10er-Schritten, 150, 160, 180, 200
Festigkeitsklassen ab Lager	Stahl 5.6, 8.8, 9.8, 10.9 · rostfrei A2-70 / A4-70 bis M24, A2-50 / A4-50 für M30 und M36 · grösser nach Vereinbarung
Produktklasse (Genauigkeit)	A = genauer, B = gröber. Bis M12 immer A. M16 bis M24: A bis Länge 150 mm, B ab 160 mm. Ab M30 immer B.
Bezeichnung	Sechskantschraube ISO 4014 – M10 × 60 – 8.8 (Teilgewinde) · Sechskantschraube ISO 4017 – M8 × 40 – A4-50 (Vollgewinde)

Merksatz: Liegt die Länge über dem Bereich von ISO 4017, gibt es die Schraube nur mit Teilgewinde (ISO 4014). Bei ISO 4014 bleibt unter dem Kopf ein glatter Schaft – gut für Scherkräfte und Passschrauben, das Gewinde reicht nur die Länge b.

Blechschrauben: Kernloch im Blech

Blechschrauben (ST) formen ihr Gewinde selbst. Die Zahl nach ST ist der Aussen-Ø in mm (ST 4,2 ≈ 4,2 mm). Das Kernloch hängt von der Blechdicke ab: dickes Blech braucht ein grösseres Loch.

Blechdicke mm	ST 2,2	ST 2,9	ST 3,5	ST 4,2	ST 4,8	ST 5,5	ST 6,3
0 bis 0,5	1,6	2,2	2,6	–	–	–	–
0,6 bis 0,8	1,7	2,3	2,7	3,2	3,7	–	–
0,9 bis 1,1	1,8	2,4	2,8	3,2	3,7	4,9	6,4
1,2 bis 1,4	1,8	2,4	2,8	3,3	3,9	4,9	6,4
1,5 bis 1,7	–	2,5	2,9	3,5	3,9	5,0	6,5
1,8 bis 2,0	–	2,6	3,0	3,5	4,0	5,2	6,7
2,0 bis 2,5	–	–	3,0	3,5	4,0	5,3	6,8
2,6 bis 3,0	–	–	3,0	3,8	4,1	5,3	6,8
3,1 bis 3,5	–	–	–	3,9	4,3	5,8	7,2

Kernloch-Ø in mm (Stahlblech). Form C = mit Spitze, Form F = mit Zapfen. Gewindefurchende Schrauben (DIN 7500) erzeugen dagegen ein metrisches Gewinde und brauchen keine Schraubensicherung.

Kapitel 18 · Schraubensicherung, Dichten und Kleben (Wi-8f 1-19-q.1)

Merksatz: Teile immer zuerst **fettfrei reinigen** (z. B. Schnellreiniger). Wenig Produkt genügt. Handfest nach ca. 10 bis 20 Minuten, voll belastbar nach ca. 24 Stunden.
Die Produktnummern sind Beispiele von Loctite. Gleichwertige Produkte anderer Hersteller sind ebenso geeignet.

Schraubensicherung

Festigkeit	Farbe	Beispiel	Bis Gewinde	Lösen	Typische Anwendung
Niedrig	Violett	222	M36	leicht, mit normalem Werkzeug	Stellschrauben, kleine Schrauben, Teile die oft eingestellt werden
Mittel	Blau	243 (flüssig), 248 (Stift)	M36	mit normalem Werkzeug	Standard im Maschinenbau: Getriebe, Motoren, Pumpen, Werkzeugmaschinen
Hoch	Grün / Rot	2701 / 270 (flüssig), 268 (Stift)	M20 bis M50	nur mit Wärme (ca. 250 °C)	Stehbolzen, stark vibrierende Verbindungen, die nicht mehr gelöst werden

Gewinde dichten (Hydraulik, Pneumatik, Wasser)

Anwendung	Beispiel	Hinweis
Grobe Metall- und Rohrgewinde	577	Mittelfest, demontierbar, ersetzt Hanf und Teflonband

Anwendung	Beispiel	Hinweis
Feingewinde an Hydraulik und Pneumatik	542	Für Verschraubungen und Anschlüsse aus Metall
Metall- und Kunststoffgewinde, Sanitär	55 (Dichtfaden)	Sofort dicht, nachjustierbar
Rohrgewinde, Stiftform	561	Sauber, ohne Tropfen

Kein Teflonband in Hydraulik und Pneumatik: Abgerissene Fasern verstopfen Ventile und Düsen.

Flächen dichten (Flansche, Deckel)

Flanschart	Beispiel	Spalt bis	Hinweis
Steif (Stahl, Guss, Alu)	518	0,25 mm	Getriebe- und Pumpengehäuse
Steif, hohe Temperatur	510	0,25 mm	Bis ca. 200 °C
Flexibel (Deckel, Blech)	5910 / 5699	grösser	Silikon, dauerelastisch, ersetzt Papier- und Korkdichtungen

Fügen: Lager, Wellen, Buchsen

Anwendung	Beispiel	Spalt bis	Hinweis
Lager befestigen (Lagersitz)	603	0,1 mm	Öltolerant, von Lagerherstellern empfohlen
Universal, hohe Festigkeit	638	0,25 mm	Wellen, Buchsen, Zahnräder, Passfedern
Hohe Temperatur	648	0,15 mm	Bis ca. 175 °C
Reparatur ausgeschlagener Sitze	660 mit Aktivator 7240	0,5 mm	Lagersitze, Buchsen, Passfedernuten

Gefügte Teile lassen sich meist nur mit Wärme (ca. 250 °C) und Abzieher wieder lösen.

Montagepaste, Rostlöser und Reiniger

Produkt	Beispiel	Anwendung
Anti-Seize auf Aluminium-Basis	8150	Schrauben und Muttern gegen Festfressen
Anti-Seize auf Kupfer-Basis	8008 (C5-A)	Hohe Temperaturen, Abgasanlagen
Anti-Seize metallfrei	8009	Rostfreier Stahl und Titan (kein Kupfer!)
Rostlöser	8018 / 8201	Festgefressene Schrauben und Muttern lösen
Schnellreiniger	7063	Reinigen vor dem Kleben und Dichten

Bei Montagepaste auf dem Gewinde ist die Reibung kleiner: Anziehmoment reduzieren (siehe Tabelle «geschmiert» im Kapitel Gewinde).

Grundlagen: Verbindungsarten

Bauteile werden auf drei Arten zusammengehalten: durch Kraft (Reibung), durch Form oder durch einen Stoff. Zusätzlich unterscheidet man lösbare und unlösbare Verbindungen.

Art	Wie hält sie?	Beispiele	Lösbar?
Kraftschlüssig	Das Verbindungsmittel erzeugt eine Kraft; die Teile halten durch Reibung, Haft- oder Klemmkraft	Verschrauben, Aufschrumpfen, Kegel-Pressverband, Klemmverbindung	meist ja
Formschlüssig	Die Form der Teile greift ineinander	Passfedern, Stifte, Bolzen, Nieten, Bördeln, Falzen	Stifte, Passfedern ja; Nieten, Bördeln, Falzen nein
Stoffschlüssig	Ein Stoff verbindet die Teile	Schweissen, Löten, Kleben	nein

Lösbar ist eine Verbindung, die man ohne Zerstörung wieder trennen kann (Schrauben, Stifte, Kupplungen, Kegelverbindungen). Bei einer **unlösbaren** Verbindung wird beim Trennen mindestens das Verbindungsmittel, oft auch das Bauteil zerstört oder beschädigt. Alle stoffschlüssigen und die meisten formschlüssigen Verbindungen sind unlösbar.

Merksatz: Die Schraube hält kraftschlüssig, der Stift positioniert formschlüssig. Darum: Schrauben spannen, Stifte bestimmen die Lage (siehe Kapitel Verstiften).

Übung 1: Ein Zahnrad sitzt mit einer Passfeder auf der Welle. Welche Verbindungsart?

Lösung: **Formschlüssig** und **lösbar**.

Übung 2: Ein Lager ist mit Fügeklebstoff in das Gehäuse geklebt. Welche Verbindungsart?

Lösung: **Stoffschlüssig**; sie gilt als unlösbar und geht nur mit Wärme und Abzieher wieder auseinander.

Übung 3: Eine Nabe ist warm auf die Welle aufgeschrumpft. Welche Verbindungsart?

Lösung: **Kraftschlüssig** (Pressung, Reibung).

Kapitel 19 · Verstiften: Kegel-, Zylinder- und Spannstifte (Wi-8f 1-19-p)

Stifte bestimmen die genaue **Lage** von zwei Teilen zueinander. Die Schrauben halten die Teile nur zusammen. Nach einer Demontage findet ein gut verstiftetes Teil wieder genau an seinen Platz.

Merksatz: Schrauben klemmen, Stifte positionieren.
Mit konischen Stiften (Kegelstiften) ist eine Wiedermontage auf ca. **0,02 mm** genau möglich. Darum verwenden wir sie im Werkzeugmaschinenbau.

Welcher Stift wofür?

Stiftart	Norm (Beispiel)	Bohrung	Eigenschaften	Typische Anwendung
Kegelstift	ISO 2339 (DIN 1)	gebohrt und kegelig gerieben 1:50 (konische Reibahle)	Sehr genau, beliebig oft demontierbar, sitzt immer wieder spielfrei	Maschinenbau: Schlitten, Führungsleisten, Lagerböcke, Getriebe
Kegelstift mit Innengewinde	ISO 8736 (DIN 7978)	wie Kegelstift	Kann mit dem Stiftzieher herausgezogen werden	Sacklöcher, wenn man nicht von hinten austreiben kann
Kegelstift mit Gewindezapfen	ISO 8737 (DIN 7977)	wie Kegelstift	Wird mit einer Mutter herausgezogen	Durchgangslöcher, schlecht zugängliche Stellen
Zylinderstift	ISO 2338 (DIN 7), gehärtet ISO 8734 (DIN 6325)	gerieben H7	Genau, Presssitz; wird beim häufigen Demontieren lose	Vorrichtungen, Werkzeuge, Positionierungen
Zylinderstift mit Innengewinde	ISO 8735 (DIN 7979)	gerieben H7	Ausziehbar, für Sacklöcher	Vorrichtungen, Sacklöcher
Spannstift (geschlitzt)	ISO 8752 schwer, ISO 13337 leicht (DIN 1481)	nur gebohrt (H12)	Federt, günstig, schnell montiert; nicht für genaue Lage	Hebel, Griffe, Achsen, einfache Sicherungen
Spiral-Spannstift	ISO 8750	nur gebohrt	Sehr elastisch, gut gegen Vibration	Teile mit Schlägen und Schwingungen
Kerbstift	ISO 8739 bis 8745	nur gebohrt	Hält durch eingepresste Kerben	Einfache Befestigungen, Achsen

Kegelstift: der Kegel 1:50

Ein Kegelstift wird auf 50 mm Länge um 1 mm dicker. Die Grösse eines Kegelstiftes ist immer der **kleine Durchmesser d**. Der grosse Durchmesser ist D = d + Länge / 50.

Beispiel: Kegelstift 8 × 60: kleiner Ø 8 mm, grosser Ø = 8 + 60 / 50 = 9,2 mm.

Die richtigen Reibahlen: immer zwei!

Für Kegelstifte braucht es immer zwei kegelige Reibahlen 1:50 (früher «konische Reibahlen» genannt):
1. die **Maschinenreibahle** zum Vorreiben (in der Bohrmaschine, langsam, mit Schneidöl)
2. die **Handreibahle** zum Fertigreiben (mit dem Windeisen, von Hand, mit Gefühl)
Mit der Handreibahle allein dauert es zu lange, mit der Maschinenreibahle allein wird die Bohrung nicht genau genug.
↻ **Reibahle nie rückwärts drehen – immer im Uhrzeigersinn**, auch beim Herausziehen. Rückwärts drehen bricht die Schneiden aus und verdirbt die Bohrung.

Werkzeug	Norm (Beispiel)	Wofür
Bohrer im Stift-Nenndurchmesser	–	Vorbohren durch beide Teile (kleiner Ø des Stiftes)
Maschinen-Kegelreibahle 1:50 (konische Reibahle)	DIN 2179 (Zylinderschaft), DIN 2180 (Morsekegelschaft)	Vorreiben in der Bohrmaschine. Als Schälreibahle mit Spiralnuten nimmt sie viel Material weg
Hand-Kegelreibahle 1:50 (konische Reibahle)	DIN 9	Fertigreiben von Hand mit dem Windeisen. Immer wieder den Stift probieren
Windeisen	–	Zum gleichmässigen Drehen der Handreibahle, nie verkanten

Reibahlen nie rückwärts drehen: Die Schneiden brechen aus. Reibahlen in einer Schutzhülse aufbewahren. Die Grösse der Reibahle entspricht dem Stift-Nenndurchmesser (z. B. Reibahle 8 für Kegelstift 8).

Konisch verstiften: so machen wir es bei WIAP

Schritt	Was tun
1. Teile ausrichten	Bauteil genau ausrichten und die Schrauben fest anziehen. Erst dann verstiften
2. Vorbohren	Mit dem Bohrer im Nenndurchmesser des Stiftes (kleiner Ø) durch beide Teile bohren, z. B. 8 mm für einen Kegelstift 8. Bei langen Stiften stufenweise vorbohren
3. Vorreiben	Mit der konischen **Maschinenreibahle** vorreiben
4. Fertig reiben	Mit der konischen **Handreibahle** sauber nachreiben und den Stift immer wieder probieren. **Eine Reibahle nie rückwärts drehen!**
5. Reinigen	Bohrung gut mit Luft ausblasen, Späne und Öl entfernen
6. Stift setzen	Stift mit leichten Hammerschlägen eintreiben. Er soll ca. **3 mm versenkt** sitzen
7. Durchgangsloch	Der Stift darf auf der anderen Seite **nicht vorstehen**, er soll mindestens 1 bis 2 mm im Loch bleiben

Tipps aus der Praxis

Thema	Hinweis
Zwei Stifte pro Teil	Möglichst weit auseinander setzen, am besten diagonal. Ein Stift allein verhindert das Verdrehen nicht
Kein Platz von oben?	Nicht überall kann man einen Stift gut bohren. Man kann den Stift auch **seitlich in die Trennfuge** der Auflageflächen setzen
Stift ausziehen	Mit dem Stiftzieher (WIAP-KFKOK-Set für Innengewinde M4 bis M20) vorsichtig herausziehen und das Gewinde im Stift nicht beschädigen
Ohne Stiftzieher	Lange Schraube mit Mutter und Unterlagscheiben als Abzieher verwenden: Schraube in den Stift, Mutter über einer Hülse anziehen
Zylinderstift im Sackloch	Luft kann nicht entweichen und drückt den Stift zurück: Stift mit Entlüftungsrille oder mit Innengewinde verwenden
Spannstift	Bohrung im Nenndurchmesser bohren (nicht reiben). Den Schlitz nicht in die Kraftrichtung legen. Für mehr Festigkeit zwei Spannstifte ineinander stecken, Schlitze um 180° versetzt

Bohren und Reiben für Zylinderstifte

Stift-Ø mm	Vorbohren mm	Reiben
2	1,8	H7
3	2,8	H7
4	3,8	H7
5	4,8	H7
6	5,8	H7
8	7,7	H7
10	9,7	H7
12	11,7	H7
16	15,6	H7
20	19,6	H7

Reibzugabe je nach Werkstoff ca. 0,2 bis 0,4 mm. Zylinderstifte haben die Toleranz m6 und werden in die geriebene Bohrung H7 eingepresst.

Kapitel 20 · Federn und Verbindungstechnik (Wi-8f 1-19-l)

Teller- und Druckfedern richtig auswählen und einbauen, Blindnietmuttern und Einpressmuttern in Blech setzen.

Tellerfedern: Begriffe

Zeichen	Bedeutung
D_e	Aussendurchmesser
D_i	Innendurchmesser (Führung auf dem Bolzen)
t	Dicke der Feder
h_0	Federweg bis die Feder flach ist (Höhe des Kegels)
l_0	Bauhöhe der ungespannten Feder: $l_0 = t + h_0$

Zeichen	Bedeutung
F	Federkraft bei einem bestimmten Federweg s

Tellerfedern sind kegelige Scheiben. Sie erzeugen auf sehr kleinem Weg sehr grosse Kräfte: z. B. in Spannsystemen, Werkzeugspannern von Spindeln, Rutschkupplungen und zum Vorspannen von Lagern.

Tellerfedern schichten

Schichtung	Bild	Wirkung
Gleichsinnig (Paket)	(((– alle Teller gleich herum	Kraft × Anzahl Teller, Federweg wie ein Teller
Wechselsinnig (Säule)	()() – Teller abwechselnd	Federweg × Anzahl Teller, Kraft wie ein Teller
Kombiniert	z. B. Pakete zu 2 wechselsinnig	Kraft × Teller pro Paket, Weg × Anzahl Pakete

Tellerfedern: Masse und Kräfte (Richtwerte)

D_e mm	D_i mm	t mm	h_0 mm	l_0 mm	F bei s = 0,75 h_0 N	F flach (s = h_0) N
10	3,2	0,4	0,3	0,7	181	223
10	3,2	0,5	0,25	0,75	281	363
10	4,2	0,4	0,3	0,7	191	234
10	4,2	0,5	0,25	0,75	296	351
10	5,2	0,4	0,3	0,7	212	260
10	5,2	0,5	0,25	0,75	330	424
12	5,2	0,5	0,4	0,9	353	427
12	6,2	0,5	0,35	0,85	332	410
12	6,2	0,6	0,35	0,95	559	708
12,5	6,2	0,5	0,35	0,85	295	368
14	7,2	0,5	0,4	0,9	283	342
15	5,2	0,4	0,55	0,95	183	183
15	5,2	0,7	0,4	1,1	563	714
15	6,2	0,6	0,45	1,05	430	525
15	6,2	0,7	0,4	1,1	584	741
18	6,2	0,4	0,6	1	141	139
18	6,2	0,6	0,6	1,2	407	465
18	6,2	0,8	0,5	1,3	736	926
18	8,2	0,7	0,5	1,2	574	709
18	8,2	0,8	0,5	1,3	781	981
18	8,2	1	0,4	1,4	1275	1654

Kräfte für einen einzelnen Teller aus einem alten WIAP-Blatt (dort in kp) in Newton umgerechnet (1 kp = 9,81 N). Für die Auslegung gelten die Angaben des Herstellers bzw. DIN EN 16983 (früher DIN 2093).

Merksatz: Tellerfedern im Betrieb nur bis ca. 0,75 × h_0 einfedern, nie ganz flach drücken. Teller innen auf einem gehärteten Bolzen führen, mit etwas Spiel, und die Säule an beiden Enden auf gehärtete, glatte Flächen legen.

Übung 1: Ein Paket aus 3 gleichsinnig geschichteten Tellern 18 × 8,2 × 0,8 wird um 0,375 mm (0,75 h_0) zusammengedrückt. Welche Kraft?

Lösung: Ein Teller ≈ 781 N, gleichsinnig × 3 → **ca. 2340 N**.

Übung 2: Eine Säule aus 10 wechselsinnig geschichteten Tellern 10 × 5,2 × 0,5 (h_0 = 0,25 mm). Wie viel Federweg bis 0,75 h_0?

Lösung: 10 × 0,75 × 0,25 = **1,875 mm**, Kraft wie ein Teller ≈ 330 N.

Druckfedern: Begriffe und Federrate

Zeichen	Bedeutung
d	Drahtdurchmesser
D_e / D_i	Aussen- / Innendurchmesser der Feder
D_m	Mittlerer Windungsdurchmesser: $D_m = D_e - d$
L_0	Ungespannte Länge
L_c	Blocklänge (alle Windungen liegen aufeinander)

Zeichen	Bedeutung
n	Anzahl federnde Windungen (bei angelegten Enden: Gesamtwindungen minus 2)
R	Federrate in N/mm: so viel Kraft braucht 1 mm Federweg
Grösse	**Formel**
Federkraft	$F [N] = R [N/mm] \times s [mm]$
Federrate	$R = G \times d^4 / (8 \times D_m^3 \times n)$, $G \approx 81'500$ N/mm² (Federstahl)
Zwei Federn parallel (nebeneinander)	$R = R_1 + R_2$
Zwei Federn in Reihe (hintereinander)	$1 / R = 1 / R_1 + 1 / R_2$

Merksatz: Doppelter Draht-Ø → 16-mal steifere Feder. Doppelter Windungs-Ø → 8-mal weichere Feder. Halb so viele Windungen → doppelt so steif.

Punkt	Hinweis
Nicht auf Block	Feder nie bis auf Blocklänge zusammendrücken; im Betrieb nur ca. 80 % des möglichen Weges nutzen
Führung	Lange, schlanke Federn knicken aus: innen auf einem Dorn oder aussen in einer Hülse führen, mit Spiel
Ersatz	Ersatzfeder mit gleichem Draht-Ø, gleichem Aussen-Ø, gleicher Länge und Windungszahl; Federrate prüfen
Enden	Angelegte und geschliffene Enden stehen gerade und drücken gleichmässig
Sicherheit	Vorgespannte Federn nur mit Vorrichtung ein- und ausbauen – sie können wegspringen

Übung 3: Druckfeder: d = 2 mm, D_m = 16 mm, n = 8. Wie gross ist die Federrate, und welche Kraft bei 10 mm Weg?

Lösung: $R = 81'500 \times 2^4 / (8 \times 16^3 \times 8) = 1'304'000 / 262'144 \approx$ **5 N/mm**; $F = 5 \times 10 =$ **50 N**.

Blindnietmuttern setzen

Mit Blindnietmuttern (z. B. «Tubtara») bekommt man ein tragfähiges Gewinde in dünnes Blech, auch wenn die Rückseite nicht zugänglich ist. Es braucht keine Mutter: Die Nietmutter wird wie eine Niete ins Blech gepresst. So kann man z. B. schon in 2 mm Blech eine M6-Schraube montieren.

Schritt	Was tun
1. Loch bohren	Loch nach Angabe des Herstellers bohren (Tabelle im Deckel der Box) und entgraten
2. Zange rüsten	Einsatz für die Grösse und den Werkstoff (Alu- oder Stahlmutter) einsetzen, Zugschraube mit dem passenden Gewinde einschrauben
3. Mutter aufdrehen	Blindnietmutter ganz bis nach hinten auf die Zugschraube drehen
4. Setzen	Mutter ins Loch stecken, Zange gerade halten und fest zudrücken: Die Mutter staucht sich hinter dem Blech und verbindet sich fest damit
5. Zugschraube lösen	Mit der Rändelmutter hinten an der Zange die Zugschraube herausdrehen – die Mutter sitzt fest im Loch

Der Bund der Mutter liegt oben auf dem Blech auf und steht etwas vor; dafür hält die Mutter von beiden Seiten. Dreht die Mutter beim Anziehen der Schraube mit, war das Loch zu gross oder die Mutter nicht ganz gestaucht.

Einpressmuttern

Einpressmuttern werden in ein gestanztes oder gebohrtes Loch eines Blechs mit einer Presse gerade eingepresst. Das Blechmaterial fliesst dabei in die Rändelung bzw. Nut der Mutter; so ist die Mutter gegen Verdrehen und Herausdrücken gesichert.

Punkt	Hinweis
Loch	Lochdurchmesser genau nach Hersteller, Loch nicht ansenken
Blech	Das Blech muss weicher sein als die Mutter und die Mindestdicke haben
Einpressen	Mit der Presse parallel und bis zum Anschlag einpressen, nicht mit dem Hammer einschlagen
Seite	Von der Seite einpressen, die der Hersteller angibt; meist liegt der Kopf danach bündig

Merksatz: Blindnietmutter = von einer Seite mit der Zange, auch bei geschlossenen Profilen. Einpressmutter = mit der Presse, nur wenn man von beiden Seiten an das Blech kommt.

Kapitel 21 · Passfedern, Riemen, Ketten (Wi-8f 1-19-n)

Passfedern (DIN 6885 Form A)

Wellendurchmesser mm	Passfeder b × h mm	Nuttiefe Welle t1 mm	Nuttiefe Nabe t2 mm
6 bis 8	2 × 2	1,2	1
über 8 bis 10	3 × 3	1,8	1,4
über 10 bis 12	4 × 4	2,5	1,8
über 12 bis 17	5 × 5	3	2,3
über 17 bis 22	6 × 6	3,5	2,8
über 22 bis 30	8 × 7	4	3,3
über 30 bis 38	10 × 8	5	3,3
über 38 bis 44	12 × 8	5	3,3
über 44 bis 50	14 × 9	5,5	3,8
über 50 bis 58	16 × 10	6	4,3
über 58 bis 65	18 × 11	7	4,4
über 65 bis 75	20 × 12	7,5	4,9
über 75 bis 85	22 × 14	9	5,4
über 85 bis 95	25 × 14	9	5,4
über 95 bis 110	28 × 16	10	6,4

Nutbreite Welle meist P9 (fester Sitz) oder N9, Nabe JS9 oder P9.

Keilriemen

Profil	Obere Breite × Höhe mm	Art
SPZ	9,7 × 8	Schmalkeilriemen
SPA	12,7 × 10	Schmalkeilriemen
SPB	16,3 × 13	Schmalkeilriemen
SPC	22 × 18	Schmalkeilriemen
Z (10)	10 × 6	Normalkeilriemen
A (13)	13 × 8	Normalkeilriemen
B (17)	17 × 11	Normalkeilriemen
C (22)	22 × 14	Normalkeilriemen

Schmalkeilriemen: Rillenmasse der Scheibe (DIN 2211)

Mass	SPZ	SPA	SPB	SPC
Wirkbreite b_w mm	8,5	11	14	19
Rillenbreite oben b mm	9,7	12,7	16,3	22
Rillentiefe h mm (min.)	11	14	18	24
Höhe über Wirkdurchmesser c mm	2	2,8	3,5	4,8
Rillenabstand e mm	12 ± 0,3	15 ± 0,3	19 ± 0,4	26 ± 0,5
Randabstand f mm	8 ± 0,6	10 ± 0,6	12,5 ± 0,6	17 ± 1
Rillenwinkel 34° bei d_w mm	63 bis 80	90 bis 118	140 bis 190	224 bis 315
Rillenwinkel 38° bei d_w mm	über 80	über 118	über 190	über 315

Rillenwinkel-Toleranz ± 1°. Der Wirkdurchmesser d_w ist für die Übersetzung massgebend und wird auf der Zeichnung mit Toleranz eingetragen. Kleine Scheiben haben den spitzeren Winkel (34°), weil sich der Riemen beim engen Umlenken in der Breite verformt.

Merksatz: Der Riemen darf nicht auf dem Rillengrund aufliegen. Liegt er auf, ist die Rille ausgelaufen oder das Profil falsch – der Riemen rutscht.

Keilriemen-Profile: Umrechnung und Wirkbreite

Profil	Breite × Höhe mm	Untere Breite mm	Wirkbreite (Richtbreite) mm
5	5 × 3	2,8	4,2
Y / 6	6 × 4	3,3	5,3
8	8 × 5	4,5	6,7
Z / 10, ZX / X10	10 × 6	5,9	8,5
A / 13, AX / X13	13 × 8	7,5	11

Profil	Breite × Höhe mm	Untere Breite mm	Wirkbreite (Richtbreite) mm
B / 17, BX / X17	17 × 11	9,4	14
20	20 × 12,5	11,4	17
C / 22, CX / X22	22 × 14	12,3	19
25	25 × 16	14	21
SPZ, XPZ	9,7 × 8	4,2	8,5
SPA, XPA	12,7 × 10	5,8	11
SPB, XPB	16,3 × 13	7,3	14
SPC, XPC	22 × 18	9,6	19

Ein X im Namen (XPZ, AX …) bedeutet gezahnte, flankenoffene Ausführung: gleiches Profil, aber biegewilliger, für kleine Scheiben. Bei klassischen Riemen gibt es zwei Namen: Buchstabe oder obere Breite in mm (A = 13).

Rollenketten (Europäische Bauart, DIN 8187 / ISO 606 B)

Kette	Teilung mm	Teilung Zoll	Innere Breite mm	Rollen-Ø mm
06B	9,525	3/8	5,72	6,35
08B	12,7	1/2	7,75	8,51
10B	15,875	5/8	9,65	10,16
12B	19,05	3/4	11,68	12,07
16B	25,4	1	17,02	15,88
20B	31,75	1 1/4	19,56	19,05

Riemen- und Kettenspannung nach Angabe des Herstellers einstellen. Kettenrad und Riemenscheibe immer fluchtend montieren.

Zahnriemen mit Zoll-Teilung (MXL bis XXH)

Zahnriemen aus Polychloropren mit trapezförmigen Zähnen. Sie übertragen ohne Schlupf und werden für Vorschübe, Spindelantriebe und Geber eingesetzt.

Profil	Teilung Zoll	Teilung mm	Zahnhöhe mm	Breiten mm (Code)	Längen lieferbar (Beispiele)
MXL	0,080"	2,032	0,51	–	–
XL	1/5"	5,080	1,27	6,4 (025), 7,9 (031), 9,5 (037)	46-XL (116,84 mm) bis 770-XL (1955,80 mm)
L	3/8"	9,525	1,91	12,7 (050), 19,1 (075), 25,4 (100)	124-L (314,33 mm) bis 660-L (1676,40 mm)
H	1/2"	12,700	2,29	19,1 (075), 25,4 (100), 38,1 (150), 50,8 (200), 76,2 (300)	240-H (609,60 mm) bis 1700-H (4318,00 mm)
XH	7/8"	22,225	6,22	50,8 (200), 76,2 (300), 101,6 (400), 127 (500)	507-XH (1289,05 mm) bis 1750-XH (4445,00 mm)
XXH	1 1/4"	31,750	9,35	50,8 (200), 76,2 (300), 101,6 (400), 127 (500)	700-XXH (1778,00 mm) bis 1800-XXH (4572,00 mm)

Merksatz: Die Zahl vor dem Profil ist die Wirklänge in Zehntelzoll: 150-XL = 15,0" = 381 mm. Wirklänge = Zähnezahl × Teilung. Der Breitencode ist die Breite in Hundertstelzoll: 037 = 0,37" = 9,5 mm.

Nicht jede rechnerische Länge ist lieferbar – immer die Liste des Lieferanten prüfen. Zahnriemen nie knicken und nicht über die Bordscheibe aufzwängen; Achsabstand zum Montieren verstellen.

Übung 1: Ein Riemen trägt die Bezeichnung 210-L 075. Wie lang ist er, wie viele Zähne hat er, wie breit ist er?

Lösung: 21,0" × 25,4 = **533,4 mm**; 533,4 / 9,525 = **56 Zähne**; Breite 0,75" = **19,1 mm**.

Übung 2: Ein XL-Riemen hat 100 Zähne. Wie heisst er?

Lösung: 100 × 5,08 = 508 mm = 20,0" → **200-XL**.

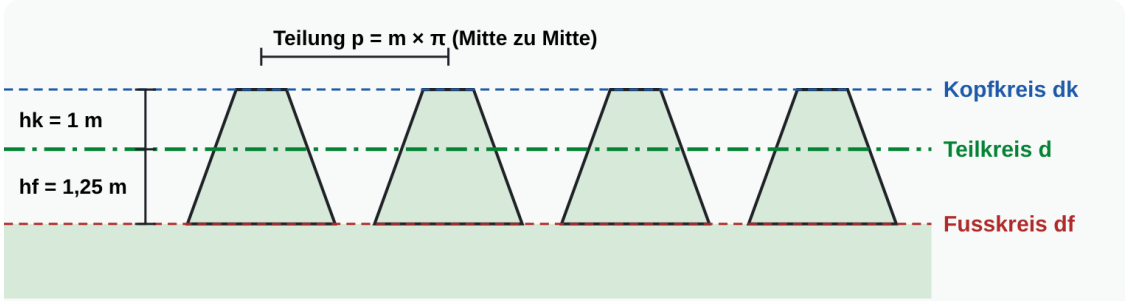
Kapitel 22 · Zahnräder und Modul (Wi-8f 1-19-c.1)

Der **Modul** ist bei Zahnrädern die wichtigste Zahl. Wer ihn verstanden hat, kann jedes Zahnrad ausmessen, nachbestellen oder selber berechnen.

Merksatz: Der Modul ist die **Grösse eines Zahnes** in Millimeter.
Grosser Modul = grosse, starke Zähne. Kleiner Modul = kleine, feine Zähne.
Zwei Zahnräder passen nur zusammen, wenn sie den gleichen Modul haben (und den gleichen Eingriffswinkel, heute fast immer 20°).

Was ist der Modul? Schritt für Schritt

Schritt	Erklärung
1. Teilung	Der Abstand von einem Zahn zum nächsten, gemessen auf dem Teilkreis, heisst **Teilung p**
2. Umfang	Rund um den Teilkreis haben alle Zähne Platz: Umfang = Zähnezahl × Teilung, also d × π = z × p
3. Das Problem	Mit der Teilung p bekommt man immer «krumme» Durchmesser, weil π = 3,14159… darin steckt
4. Die Lösung: der Modul	Man teilt die Teilung durch π: **m = p / π**. Dann wird es ganz einfach: **d = m × z**
5. Beispiel	Modul 2 und 30 Zähne: d = 2 × 30 = 60 mm. Ohne π, ohne Taschenrechner!



Zahnform «abgewickelt» (wie eine Zahnstange). m = Modul. Ganze Zahnhöhe h = 2,25 m

Warum «plus 2 Zähne»?

Über dem Teilkreis steht der Zahnkopf. Er ist genau **1 Modul** hoch, auf beiden Seiten des Rades. Der Aussendurchmesser ist also um 2 Modul grösser als der Teilkreis:

dk = d + 2 × m = m × z + 2 × m = **m × (z + 2)**
Darum gilt beim Ausmessen: **Modul = Aussendurchmesser / (Zähnezahl + 2)**. Die «2 Zähne mehr» sind die zwei Zahnköpfe.

Warum ist der Zahnfuss tiefer als der Kopf?

Der Zahnfuss ist **1,25 Modul** tief, also 0,25 Modul tiefer als der Kopf des Gegenrades hoch ist. Dieser Abstand heisst **Kopfspiel**. So stösst der Zahnkopf nicht unten auf («steht nicht auf»), und es bleibt Platz für Öl und Schmutz. Darum: beim Fräsen immer etwa 20 bis 25 % von einem Modul tiefer gehen.

Alle Formeln

Grösse	Zeichen	Formel
Teilkreis-Ø	d	m × z
Kopfkreis-Ø (aussen)	dk	m × (z + 2) = d + 2 m
Fusskreis-Ø	df	d − 2,5 m
Kopfhöhe	hk	1 × m
Fusshöhe	hf	1,25 × m
Ganze Zahnhöhe (Frästiefe)	h	2,25 × m
Teilung	p	m × π
Achsabstand zweier Räder	a	m × (z1 + z2) / 2
Übersetzung	i	z2 / z1 = n1 / n2
Zahnbreite (Richtwert)	b	ca. 6 bis 12 × m

Zahnrad-Rechner

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-maschinenelemente/

Modul ermitteln: Zahnrad ausmessen

Aussendurchmesser mit der Schieblehre messen und Zähne zählen:

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-maschinenelemente/

Normmodule (DIN 780, Reihe 1)

Modul m	Teilung p mm	Zahnhöhe h mm
0,5	1,57	1,13
0,6	1,88	1,35
0,8	2,51	1,8
1	3,14	2,25
1,25	3,93	2,81
1,5	4,71	3,38
2	6,28	4,5
2,5	7,85	5,63
3	9,42	6,75
4	12,57	9
5	15,71	11,25
6	18,85	13,5
8	25,13	18
10	31,42	22,5
12	37,7	27
16	50,27	36
20	62,83	45

Normmodule Reihe 2 und kleine Module

Bereich	Reihe 1 (bevorzugt)	Reihe 2
unter 0,5	0,05 · 0,06 · 0,08 · 0,1 · 0,12 · 0,16 · 0,2 · 0,25 · 0,3 · 0,4	0,055 · 0,07 · 0,09 · 0,11 · 0,14 · 0,18 · 0,22 · 0,28 · 0,35 · 0,45
0,5 bis 1	0,5 · 0,6 · 0,7 · 0,8 · 0,9 · 1	0,55 · 0,65 · 0,75 · 0,85 · 0,95
über 1 bis 10	1,25 · 1,5 · 2 · 2,5 · 3 · 4 · 5 · 6 · 8 · 10	1,125 · 1,375 · 1,75 · 2,25 · 2,75 · 3,5 · 4,5 · 5,5 · 7 · 9
über 10	12 · 16 · 20 · 25 · 32 · 40 · 50 · 60	11 · 14 · 18 · 22 · 28 · 36 · 45 · 55 · 70

Neue Zahnräder möglichst in Reihe 1 auslegen. Reihe 2 trifft man an älteren Maschinen an: Wer z. B. Modul 1,75 misst, hat nicht einen abgenutzten Modul 2, sondern einen echten Normmodul.

Radarten

Radart	Wellenlage	Hinweis
Stirnrad	Wellen parallel	Gerade oder schräg verzahnt; das häufigste Zahnrad in Getrieben und Vorschüben
Kegelrad	Wellen schneiden sich (meist 90°)	Umlenkung der Drehbewegung; Übersetzung pro Stufe bis ca. 1:4
Schneckenradsatz	Wellen kreuzen sich (90°)	Grosse Übersetzung in einer Stufe, bis ca. 1:100; bei kleiner Steigung selbsthemmend
Kettenrad	Wellen parallel	Für Rollenketten (siehe Kapitel Passfedern, Riemen, Ketten)
Zahnstange	gerade	Macht aus der Drehung eine gerade Bewegung; gleicher Modul wie das Ritzel

Verzahnungsqualität (DIN 3961)

Es gibt 12 Verzahnungsqualitäten: 1 ist die feinste, 12 die gröbste. Welche Qualität erreicht wird, hängt vom Fertigungsverfahren ab.

Qualität	Fertigungsverfahren
1 bis 6	gehont
2 bis 7	geschliffen
5 bis 7	geschabt (Zahnradschaben), kaltgewalzt
5 bis 9	wälzgefräst, wälzgehobelt, wälzgestossen

Qualität	Fertigungsverfahren
7 bis 12	formgefräst, formgestossen
8 bis 12	gestanzt, gepresst, gesintert, gespritzt

Merksatz: Je kleiner die Zahl, desto genauer und leiser das Zahnrad. Werkzeugmaschinen-Getriebe liegen meist bei Qualität 5 bis 7 (geschliffen oder geschabt).

Zoll-Zahnräder: Diametral Pitch (DP)

Amerikanische und englische Zahnräder haben keinen Modul, sondern den **Diametral Pitch DP** = Zähne pro Zoll Teilkreis-Durchmesser. Umrechnung: **m = 25,4 / DP**.

DP	entspricht Modul	nächster Normmodul
64	0,397	0,5
48	0,529	0,5
32	0,794	0,8
24	1,058	1
20	1,27	1,25
16	1,587	1,5
12	2,117	2
10	2,54	2,5
8	3,175	3
6	4,233	4
5	5,08	5
4	6,35	6

Achtung: Ein Zahnrad DP 16 (Modul 1,588) sieht fast gleich aus wie Modul 1,5, passt aber **nicht** zusammen! Bei alten Maschinen immer prüfen, ob Modul oder DP.

Übungen (Lösung anklicken)

Übung 1: Ein Zahnrad hat 48 Zähne, gemessen dk = 74,9 mm. Welcher Modul?

Lösung: m = 74,9 / (48 + 2) = 1,498 → **Modul 1,5** (der Kopf ist leicht abgenutzt)

Übung 2: dk = 123 mm, 80 Zähne. Welcher Modul?

Lösung: m = 123 / (80 + 2) = **1,5**

Übung 3: dk = 99,3 mm, 64 Zähne. Welcher Modul?

Lösung: m = 99,3 / (64 + 2) = 1,505 → **Modul 1,5**

Übung 4: Teilkreis d = 300 mm, Modul 3. Wie viele Zähne, dk und df?

Lösung: z = 300 / 3 = **100 Zähne**, dk = 300 + 2 × 3 = **306 mm**, df = 300 − 2,5 × 3 = **292,5 mm**

Übung 5 (Achtung!): Teilkreis d = 139 mm, Modul 3. Wie viele Zähne?

Lösung: 139 / 3 = 46,33: **geht nicht!** Die Zähnezahl muss eine ganze Zahl sein. Möglich sind z = 46 (d = 138 mm) oder z = 47 (d = 141 mm)

Kapitel 23 · Wälzlager (Wi-8f 1-19-e)

Lagerbezeichnung lesen

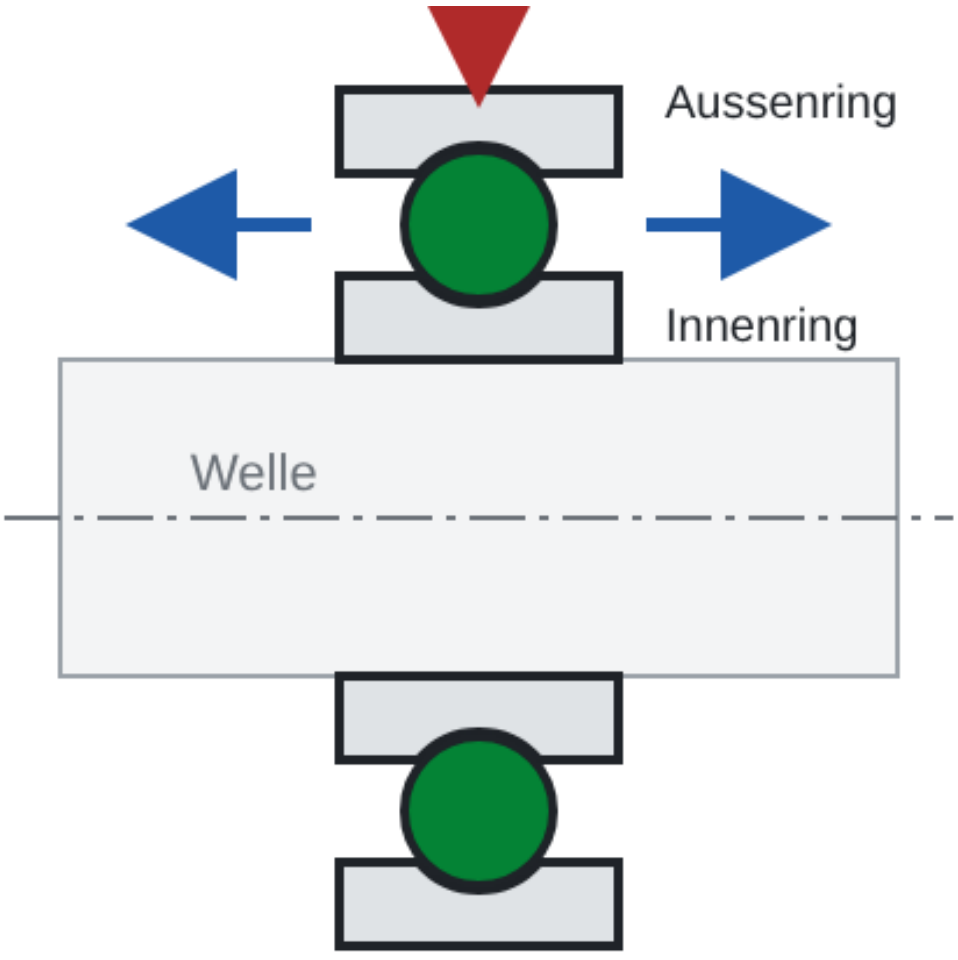
Teil	Bedeutung
6…	Bauart: 6 = Rillenkugellager, 7 = Schrägkugellager, 2 = Pendelrollenlager, 3 = Kegelrollenlager, N = Zylinderrollenlager
…2… / …3…	Massreihe: 0 = leicht, 2 = mittel, 3 = schwer
letzte 2 Ziffern	Bohrung: 00 = 10 mm, 01 = 12 mm, 02 = 15 mm, 03 = 17 mm, ab 04: Zahl × 5 (z. B. 08 = 40 mm)
2RS / 2RSH	Beidseitig Gummi-Dichtung

Teil	Bedeutung
2Z / ZZ	Beidseitig Deckscheibe aus Stahl
C3	Lagerluft grösser als normal (z. B. für Elektromotoren)
K	Kegelige Bohrung 1:12

Lagerbauarten auf einen Blick: Skizzen

*Die Skizzen zeigen vereinfacht das Lager im Schnitt: beim Rillenkugellager das ganze Lager auf der Welle, bei den anderen nur die **obere Hälfte** (Welle unten). Grau = Ringe, grün = Wälzkörper. Roter Pfeil = Radialkraft, blauer Pfeil = Axialkraft, ✕ = nimmt in diese Richtung keine Kraft auf. Wer sieht, wo der Ring den Wälzkörper seitlich stützt, weiss, wohin das Lager Kraft aufnimmt.*

Rillenkugellager
Reihe 60, 62, 63 (z. B. 6205)

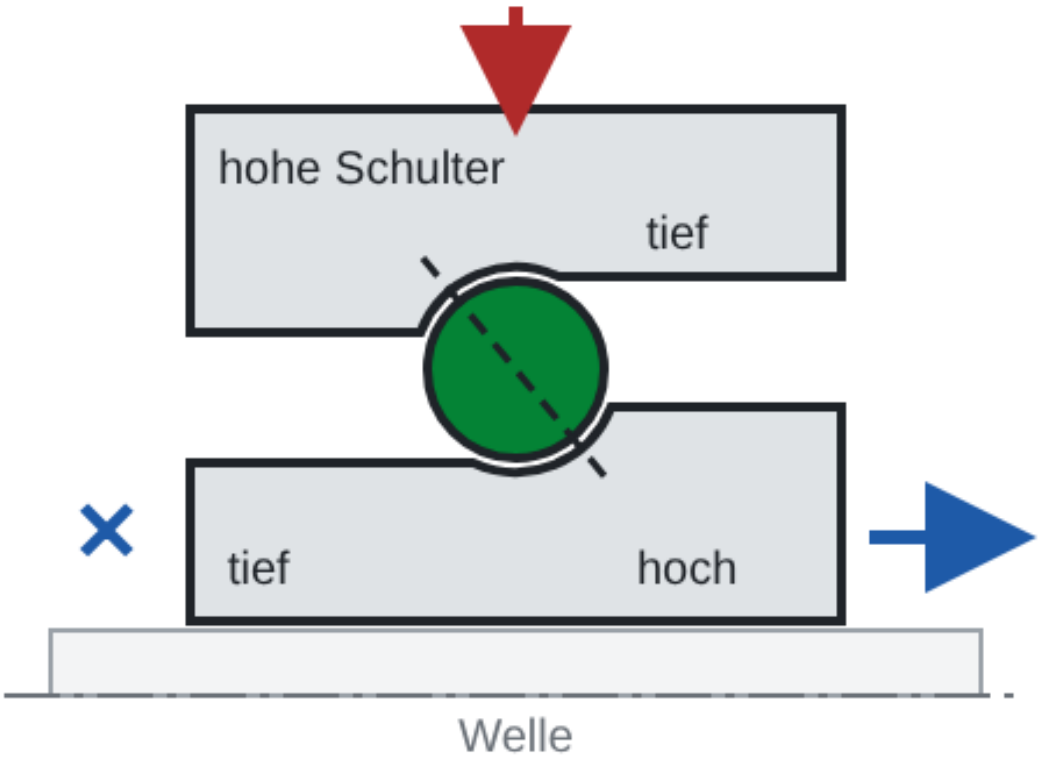


ganzes Lager im Schnitt (oben und unten)

Tiefe Rillen in beiden Ringen: die Kugel ist seitlich geführt. Trägt radial und axial in **beide** Richtungen (axial mittel).

Radial	✔ hoch
Axial	✔ beidseitig, mittel
Drehzahl	sehr hoch
Typisch	Motoren, Getriebe, allgemein

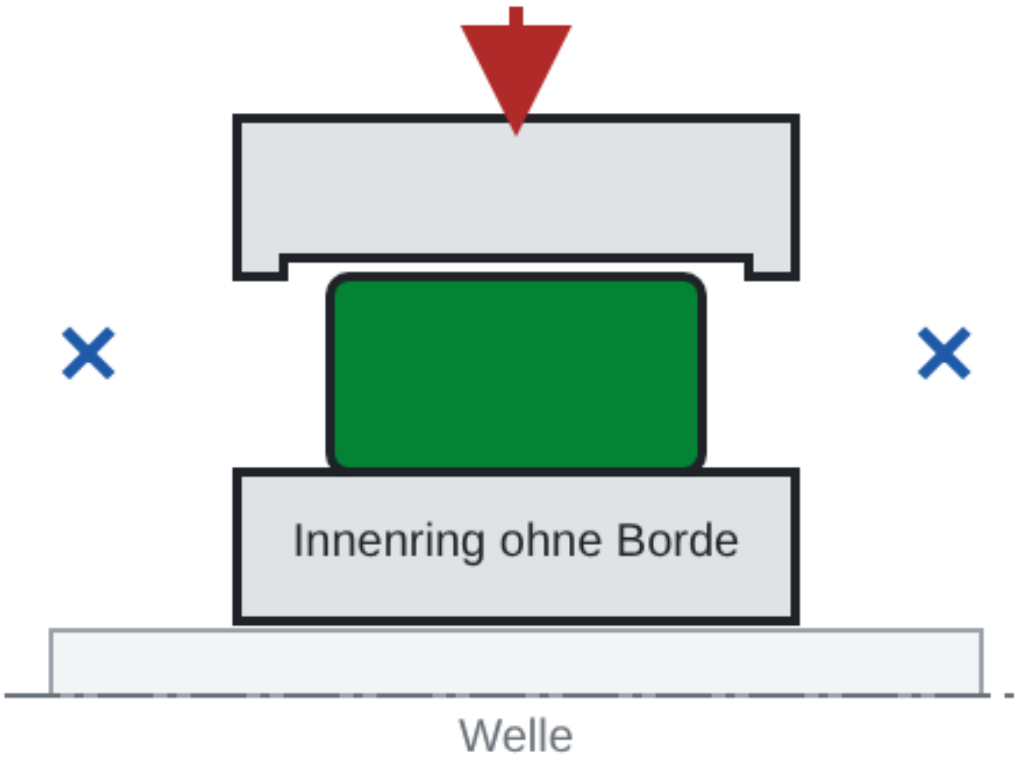
Schrägkugellager / Spindellager
Reihe 70, 72, 73 (z. B. 7206 B, 7010 C)



Die Schulter ist nur auf **einer** Seite hoch, die Kraft läuft schräg (Druckwinkel 15°, 25° oder 40°). Axial nur in **eine** Richtung, darum immer paarweise (O oder X) einbauen.

Radial	✔ **hoch**
Axial	✔ nur einseitig, hoch
Drehzahl	sehr hoch (Spindellager)
Typisch	Spindeln, Pumpen, Kugelgewindetrieb

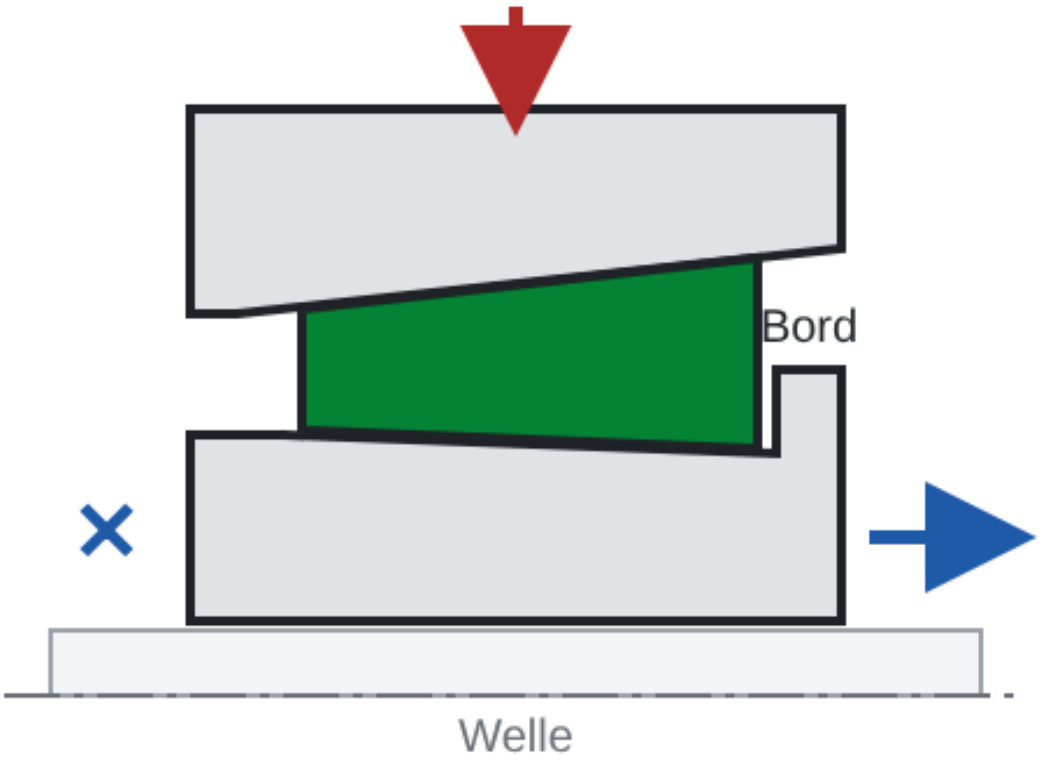
Zylinderrollenlager
NU, N, NJ, NN 30, NNU 49



Linienberührung der Rolle: sehr hohe Radialkraft, sehr steif. Bei NU/N/NN ist ein Ring ohne Borde: **keine Axialkraft**, die Welle kann sich bei Wärme verschieben (Loslager).

Radial	✔ **sehr hoch**
Axial	✕ (NU, N, NN)
Drehzahl	hoch
Typisch	Hauptspindeln, Getriebe

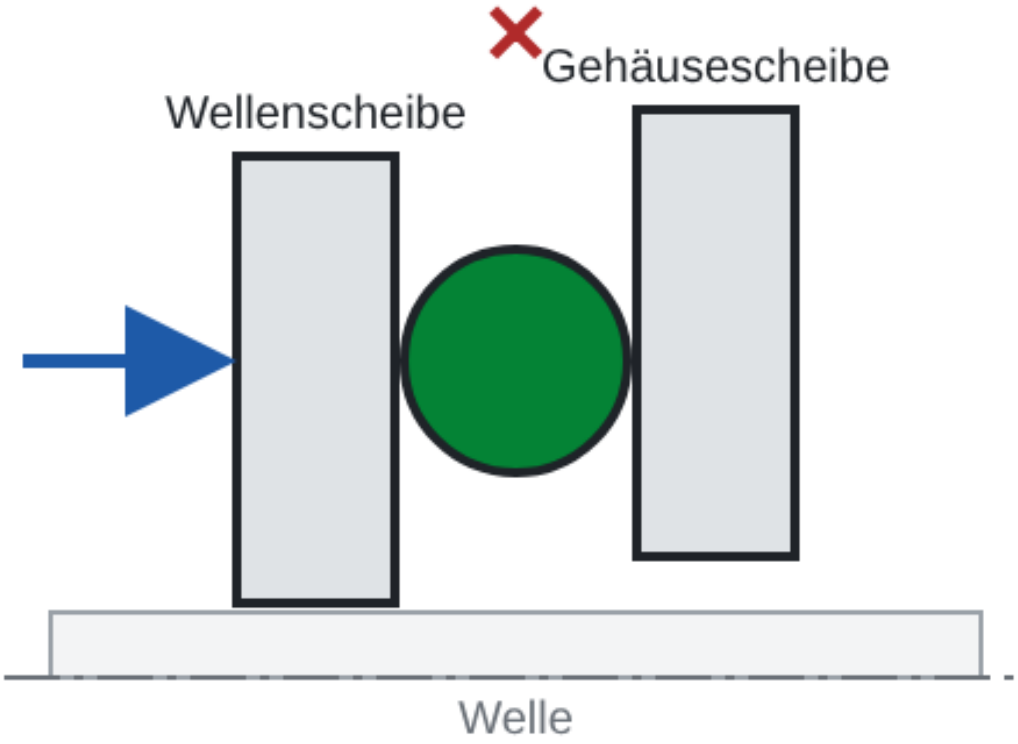
Kegelrollenlager
Reihe 302, 303, 322 (z. B. 30206)



Kegelige Rollen, Bord am Innenring nur auf einer Seite. Trägt radial und axial in **eine** Richtung, immer paarweise und eingestellt.

Radial	✔ **sehr hoch**
Axial	✔ nur einseitig, hoch
Drehzahl	mittel
Typisch	Radnaben, Reitstock, Getriebe

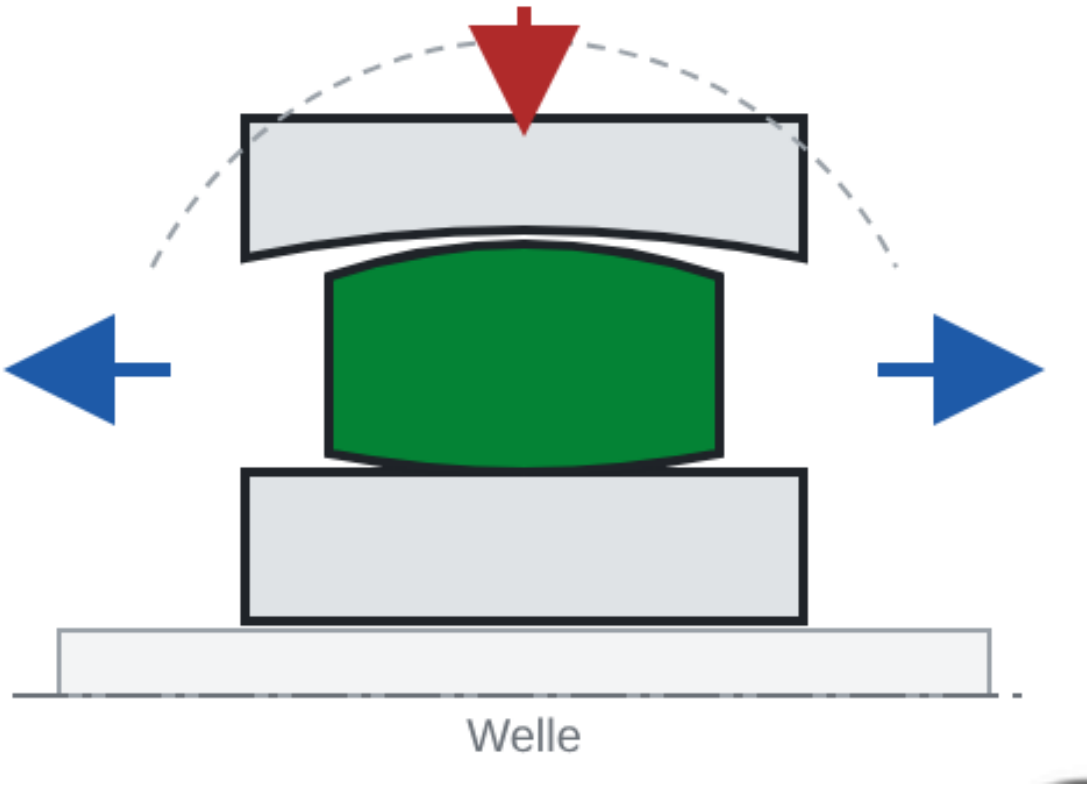
Axial-Rillenkugellager
Reihe 511, 512, 513 (z. B. 51206)



Wellen- und Gehäusescheibe liegen nebeneinander. Nur **Axialkraft** in eine Richtung, keine Radialkraft (Radiallager zusätzlich nötig).

Radial	✕
Axial	✔ nur einseitig
Drehzahl	niedrig
Typisch	Drehtische, Reitstockpinole, Spindelstock axial

Pendelrollenlager
Reihe 222, 223, 230



Zwei Reihen Tonnenrollen, Aussenring kugelig: gleicht Schiefstellung und Wellendurchbiegung aus (ca. 1–2°). Sehr hohe Radialkraft, axial mittel in beide Richtungen.

Radial	✔ **sehr hoch**
Axial	✔ beidseitig, mittel
Drehzahl	mittel
Typisch	Walzen, Brecher, schwere Wellen

Merke: **Rillenkugellager** = Allrounder in beide Richtungen. **Schrägkugel- und Kegelrollenlager** = axial nur auf einer Seite, darum immer zu zweit. **Zylinderrollenlager NU/NN** = nur radial (Loslager). **Axiallager** = nur axial. Skizzen vereinfacht, nicht massstäblich; eigene WIAP-Darstellung.

Rillenkugellager Reihe 60

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	Drehzahl offen / 2Z ca. 1/min	Drehzahl 2RS ca. 1/min
6000	10	26	8	36’000	18’000
6001	12	28	8	32’500	16’000
6002	15	32	9	27’500	13’500
6003	17	35	10	25’000	12’500
6004	20	42	12	21’000	10’500
6005	25	47	12	18’000	9’000
6006	30	55	13	15’500	7’500
6007	35	62	14	13’500	6’500
6008	40	68	15	12’000	6’000
6009	45	75	16	11’000	5’500
6010	50	80	16	10’000	5’000

Rillenkugellager Reihe 62

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	Drehzahl offen / 2Z ca. 1/min	Drehzahl 2RS ca. 1/min
6200	10	30	9	32’500	16’000
6201	12	32	10	29’500	14’500
6202	15	35	11	26’000	13’000
6203	17	40	12	23’000	11’000

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	Drehzahl offen / 2Z ca. 1/min	Drehzahl 2RS ca. 1/min
6204	20	47	14	19’500	9’500
6205	25	52	15	17’000	8’500
6206	30	62	16	14’000	7’000
6207	35	72	17	12’000	6’000
6208	40	80	18	11’000	5’500
6209	45	85	19	10’000	5’000
6210	50	90	20	9’500	4’500

Rillenkugellager Reihe 63

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	Drehzahl offen / 2Z ca. 1/min	Drehzahl 2RS ca. 1/min
6300	10	35	11	25’500	12’500
6301	12	37	12	23’500	11’500
6302	15	42	13	20’000	10’000
6303	17	47	14	18’000	9’000
6304	20	52	15	16’000	8’000
6305	25	62	17	13’000	6’500
6306	30	72	19	11’000	5’500
6307	35	80	21	10’000	5’000
6308	40	90	23	9’000	4’500
6309	45	100	25	8’000	4’000
6310	50	110	27	7’000	3’500

Drehzahlen sind ungefähre Grenzwerte bei Fettschmierung und normaler Belastung (Richtwert). Mit Ölschmierung sind höhere Drehzahlen möglich. Die genauen Werte stehen im Katalog des Lagerherstellers.

Massplan Radiallager: Durchmesser- und Breitenreihen

Die Lagerreihe setzt sich aus **Breitenreihe** und **Durchmesserreihe** zusammen. Bei gleicher Bohrung d gehört zu jeder Durchmesserreihe ein bestimmter Aussen-Ø D; die Breitenreihe gibt dazu verschiedene Breiten B. So passen z. B. ein Rillenkugellager 6208, ein Zylinderrollenlager N 208 und ein Pendelrollenlager 22208 in die gleiche Gehäusebohrung (D = 80 mm), sind aber verschieden breit.

Durchmesserreihe	Breitenreihe (Massreihe)	Beispiele Lagerreihen
0 (leicht)	10 · 30	60.., 160.., NN 30.., N 10..
2 (mittel)	02 · 22	62.., 72.., N 2.., 12.., 222..
3 (schwer)	03 · 23	63.., 73.., N 3.., 13.., 213.., 223..
4 (sehr schwer)	04	64.., N 4..

Die Massreihe ist eine zweistellige Zahl: erste Ziffer = Breitenreihe, zweite Ziffer = Durchmesserreihe (z. B. 23 = Breitenreihe 2, Durchmesserreihe 3). Bei Rillenkugellagern wird die Breitenziffer meist weggelassen (62.. statt 02..).

d 10 bis 50 mm: D und B der Reihen 60, 62, 63 stehen in den Tabellen oben; hier nur die zusätzlichen Breiten und die Reihe 4. Masse in mm.

d	B Reihe 30 (D wie 60)	B Reihe 22 (D wie 62)	B Reihe 23 (D wie 63)	D Reihe 04	B Reihe 04
10	12	14	17	37	12
12	12	14	17	42	13
15	13	14	17	52	15
17	14	16	19	62	17
20	16	18	21	72	19
25	16	18	24	80	24
30	19	20	27	90	25
35	20	23	31	100	25
40	21	23	33	110	27
45	23	23	36	120	29
50	23	23	40	130	31

d 55 bis 200 mm, Masse in mm:

d	D Reihe 0	B 10 (60..)	B 30 (NN 30..)	D Reihe 2	B 02 (62..)	B 22	D Reihe 3	B 03 (63..)	B 23	D Reihe 4	B 04
55	90	18	26	100	21	25	120	29	43	140	33
60	95	18	26	110	22	28	130	31	45	150	35
65	100	18	26	120	23	31	140	33	48	160	37
70	110	20	30	125	24	31	150	35	51	180	42
75	115	20	30	130	25	31	160	37	55	190	45
80	125	22	34	140	26	33	170	39	58	200	48
85	130	22	34	150	28	36	180	41	60	210	52
90	140	24	37	160	30	40	190	43	64	225	54
95	145	24	37	170	32	43	200	45	67	240	55
100	150	24	37	180	34	46	215	47	73	250	58
105	160	26	41	190	36	50	225	49	77	260	60
110	170	28	45	200	38	53	240	50	80	280	65
120	180	28	46	215	40	59	260	55	86	310	72
130	200	33	52	230	40	64	280	58	93	340	78
140	210	33	53	250	42	68	300	62	102	360	82
150	225	35	56	270	45	73	320	65	108	380	85
160	240	38	60	290	48	80	340	68	114	400	88
170	260	42	67	310	52	85	360	72	120	420	92
180	280	46	74	320	52	85	380	75	126	440	95
190	290	46	75	340	55	92	400	78	132	460	98
200	310	51	82	360	58	98	420	80	138	480	102

Normmassplan aus dem WIAP-Schulungsblatt, neu aufgebaut. Nicht jede Grösse wird von jedem Hersteller in jeder Bauart geliefert: Lieferbarkeit und genaue Masse immer im Katalog prüfen.

Schrägkugellager und Spindellager

Merksatz: Die **60er, 62er, 63er** Reihe sind **Rillenkugellager**. Die **70er, 72er, 73er** Reihe sind **Schrägkugellager mit den gleichen Massen** (z. B. 7205 = gleich gross wie 6205).
Ein Schrägkugellager trägt axial **nur in eine Richtung**. Darum braucht es **immer 2 Lager** (oder ein Gegenlager).

Lager-Reihe	Bauart	Gleiche Masse wie
60xx, 62xx, 63xx	Rillenkugellager: radial und axial in beide Richtungen, einfach und günstig	–
70xx	Schrägkugellager / Spindellager, leichte Reihe	60xx
72xx	Schrägkugellager, mittlere Reihe	62xx
73xx	Schrägkugellager, schwere Reihe	63xx
719xx	Spindellager, sehr leichte Reihe	619xx

Druckwinkel: was passt wofür?

Druckwinkel	Kennzeichen (Nachsetzzeichen)	Eigenschaften	Typische Anwendung
15°	C	Sehr hohe Drehzahl, hohe Präzision, kleine Axiallast	Spindellager: Schleif- und schnelle Frässpindeln
25°	AC oder E	Mittelweg: hohe Drehzahl und gute Axiallast	Spindellager: Dreh- und Frässpindeln
40°	B oder BE	Wesentlich besser für hohe axiale Belastung, dafür tiefere Drehzahl	Normale Schrägkugellager: Getriebe, Pumpen, Schneckenwellen, Kugelgewindetriebe

Faustregel: Je grösser der Druckwinkel, desto mehr Axiallast, aber desto tiefer die mögliche Drehzahl. Die Buchstaben können je nach Hersteller leicht abweichen, bitte im Katalog prüfen.

Drehzahlen im Vergleich

Lager (gleiche Grösse)	Drehzahl im Vergleich zum Rillenkugellager
Schrägkugellager 40° (72xx B, 73xx B)	etwas tiefer, ca. 70 bis 90 %
Spindellager 25° (70xx AC/E), Fett	ca. 1,3- bis 1,5-mal höher

Lager (gleiche Grösse)	Drehzahl im Vergleich zum Rillenkugellager
Spindellager 15° (70xx C), Fett	ca. 1,5- bis 2-mal höher
Spindellager Hybrid (Keramikkugeln), Öl-Luft	bis ca. 2,5- bis 3-mal höher

Spindellager Reihe 70 (gleiche Masse wie 60)

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	15° (C) Fett ca. 1/min	25° (AC/E) Fett ca. 1/min	15° Hybrid, Öl-Luft ca. 1/min
7000	10	26	8	55’500	47’000	100’000
7001	12	28	8	50’000	42’500	90’000
7002	15	32	9	42’500	36’000	76’500
7003	17	35	10	38’500	32’500	69’000
7004	20	42	12	32’500	27’500	58’000
7005	25	47	12	28’000	23’500	50’000
7006	30	55	13	23’500	20’000	42’500
7007	35	62	14	20’500	17’500	37’000
7008	40	68	15	18’500	15’500	33’500
7009	45	75	16	16’500	14’000	30’000
7010	50	80	16	15’500	13’000	27’500

Schrägkugellager Reihe 72 B, 40° (gleiche Masse wie 62)

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	40° (B) offen, Fett ca. 1/min	40° (B) 2RS (geschlossen) ca. 1/min
7200 B	10	30	9	26’000	13’000
7201 B	12	32	10	23’500	12’000
7202 B	15	35	11	21’000	10’500
7203 B	17	40	12	18’000	9’000
7204 B	20	47	14	15’500	8’000
7205 B	25	52	15	13’500	7’000
7206 B	30	62	16	11’500	5’500
7207 B	35	72	17	9’500	5’000
7208 B	40	80	18	8’500	4’500
7209 B	45	85	19	8’000	4’000
7210 B	50	90	20	7’500	3’500

Schrägkugellager Reihe 73 B, 40° (gleiche Masse wie 63)

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	40° (B) offen, Fett ca. 1/min	40° (B) 2RS (geschlossen) ca. 1/min
7300 B	10	35	11	20’500	10’000
7301 B	12	37	12	19’000	9’500
7302 B	15	42	13	16’000	8’000
7303 B	17	47	14	14’500	7’000
7304 B	20	52	15	13’000	6’500
7305 B	25	62	17	10’500	5’500
7306	30	72	19	9’000	4’500

Lager	Bohrung d mm	Aussen-Ø D mm	Breite B mm	40° (B) offen, Fett ca. 1/min	40° (B) 2RS (geschlossen) ca. 1/min
B					
7307 B	35	80	21	8’000	4’000
7308 B	40	90	23	7’000	3’500
7309 B	45	100	25	6’500	3’000
7310 B	50	110	27	6’000	3’000

Kennzeichen	Bedeutung bei Schrägkugellagern
2RS / 2RSR	Beidseitig geschlossen mit Gummi-Dichtscheiben (schleifend), mit Fett gefüllt, wartungsfrei. Drehzahl ca. halb so hoch wie offen
2Z / 2RZ	Beidseitig geschlossen mit Deckscheiben bzw. berührungsarmen Dichtungen, höhere Drehzahl als 2RS
TVP / TVH	Käfig aus Polyamid (Kunststoff): leicht und leise, bis ca. 120 °C
M / MP	Massiver Messingkäfig: robust, für hohe Temperaturen, Stösse und Vibrationen
J / JP	Stahlblechkäfig: Standard, günstig

Geschlossene Schrägkugellager werden oft dort eingesetzt, wo kein Ölkreislauf vorhanden ist (z. B. Kugelgewinde-Lagerungen, Pumpen, Rollen). Kennzeichen je nach Hersteller leicht verschieden, bitte im Katalog prüfen.

Drehzahlen sind ungefähre Richtwerte für ein einzelnes Lager mit leichter Vorspannung. Bei Lagerpaaren ca. 80 %, bei mittlerer Vorspannung ca. 75 %, bei schwerer Vorspannung ca. 50 % dieser Werte. Spindellager erreichen diese Drehzahlen nur mit Genauigkeitsklasse P4/P2, korrektem Einbau und Einlaufen. Massgebend ist immer der Katalog des Herstellers (z. B. SKF, FAG, GMN).

Einbau in Paaren

Anordnung	Kurzzeichen	Eigenschaften
O-Anordnung	DB	Druckrichtungen zeigen nach aussen. Sehr steif gegen Kippen. Standard bei Werkzeugmaschinen-Spindeln
X-Anordnung	DF	Druckrichtungen zeigen nach innen. Weniger kippsteif, gleicht kleine Fluchtfehler besser aus
Tandem-Anordnung	DT	Beide Lager tragen in die gleiche Richtung, teilen sich eine hohe Axiallast. Braucht ein Gegenlager für die andere Richtung

Gepaarte Lager immer als Satz verwenden und nicht mit Lagern aus anderen Sätzen mischen. Nur «universell gepaarte» Lager (Nachsetzzeichen z. B. UA, UB, UO) dürfen frei kombiniert werden. Die V-Markierung auf den Aussenringen zeigt, wie der Satz zusammengehört.

Zweireihige Zylinderrollenlager NN 30 und NNU 49 (Hauptspindeln)

Zweireihige Zylinderrollenlager tragen sehr hohe **Radialkräfte** und sind sehr steif, nehmen aber **keine Axialkräfte** auf. Darum werden sie in Hauptspindeln meist mit einem Axiallager oder einem Spindellagersatz kombiniert. Sie sind **Loslager**: Die Spindel kann sich bei Erwärmung axial ausdehnen.

Bezeichnung	Bedeutung
NN 30..	Borde am Innenring, Aussenring ohne Borde (Aussenring abnehmbar). Massreihe 30
NNU 49..	Borde am Aussenring, Innenring ohne Borde (Innenring abnehmbar). Massreihe 49: sehr schmaler Querschnitt
K	Kegelige Bohrung 1:12. Die Radialluft bzw. Vorspannung wird durch Aufschieben des Innenrings auf den Spindelkegel eingestellt
SP, UP	Erhöhte Genauigkeit (Hochgenauigkeitslager, Bezeichnung je nach Hersteller)

d mm	NN 30.. K: D × B mm	NNU 49.. K: D × B mm
340	520 × 133	460 × 118
360	540 × 134	480 × 118
380	560 × 135	520 × 140
400	600 × 148	540 × 140
420	620 × 150	560 × 140
440	650 × 157	600 × 160
460	680 × 163	620 × 160

Bezeichnung	Bedeutung	
480	700 × 165	650 × 170
500	720 × 167	670 × 170

Beispiel grosse Bauarten, wie sie bei Grossdrehmaschinen vorkommen (Bezeichnung 68 = d 340 mm, 72 = 360 mm …, ab d 500 mm mit Schrägstrich: NN 30/500). Kleinere Grössen und alle Tragzahlen, Drehzahlen und Anschlussmasse stehen im Katalog des Lagerherstellers.

Herstellerkataloge für Hochgenauigkeitslager (Spindellager, Zylinderrollenlager, Axial-Schrägkugellager) geben zu jedem Lager Masse, Tragzahlen, Grenzdrehzahlen für Fett und Öl, Vorspannkräfte (leicht L, mittel M, schwer H), axiale Steifigkeit und die Anschlussmasse für Welle und Gehäuse an. Beim Ersatz eines Spindellagers darum immer die **vollständige Bezeichnung mit allen Nachsetzzeichen** (Druckwinkel, Genauigkeit, Vorspannung, Paarung) vom alten Lager ablesen und im Katalog nachschlagen.

Spindellager von Hand befetten

Spindellager und Zylinderrollenlager für Hauptspindeln bekommen nur **wenig Fett**. Zu viel Fett erzeugt Reibung und Wärme, die Spindel läuft heiss. Richtwert eines Lagerherstellers: **Schrägkugellager ca. 15 %**, **Zylinderrollenlager ca. 10 %** des freien Raums im Lager.

d mm	719.. (79..)	70..	72..	NN 49..	NN 39..	NN 30..
5	–	–	0,03	–	–	–
6	–	0,04	0,07	–	–	–
7	–	0,07	–	–	–	–
8	–	0,12	0,1	–	–	–
10	0,06	0,13	0,16	–	–	–
12	0,06	0,14	0,23	–	–	–
15	0,11	0,18	0,29	–	–	–
17	0,13	0,24	0,41	–	–	–
20	0,23	0,44	0,68	–	–	–
25	0,27	0,52	0,85	–	–	0,4
30	0,31	0,69	1,2	–	–	0,6
35	0,48	0,98	1,7	–	–	0,8
40	0,75	1,2	2,1	–	–	1
45	0,83	1,5	2,6	–	–	1,3
50	0,91	1,6	3	–	–	1,4
55	1,1	2,4	3,9	–	–	2
60	1,2	2,6	4,8	–	–	2,1
65	1,3	2,6	5,7	–	–	2,2
70	2,1	3,6	6,5	–	–	3,2
75	2,3	3,6	7	–	–	3,5
80	2,4	5,1	8,7	–	–	4,7
85	3,5	5,3	11	–	–	4,9
90	3,6	6,6	13	–	–	6,5
95	3,6	6,8	16	–	–	6,6
100	4,9	7,2	19	5,4	4,5	6,8
105	5,1	9	23	5,6	4,6	9,3
110	5,2	12	27	5,7	4,8	11
120	7,9	12	31	8,4	6,5	12,5
130	9	18	34	11	8,5	18
140	9,9	20	42	12	9,3	20
150	14	25	53	24	14	23
160	16	34	–	20	15	29

Fettmenge pro Lager in cm³ (Einheit aus der Herstellertabelle übernommen, bitte prüfen). Es gilt immer die Angabe des Lager- bzw. Spindelherstellers und das vorgeschriebene Spindellagerfett.

Lager	So wird befettet
Schrägkugellager / Spindellager	Fett gleichmässig zwischen Innen- und Aussenring einbringen. Bei aussenringgeführtem Käfig (z. B. Hartgewebe) die Führungsfläche leicht einfetten. Danach das Lager von Hand durchdrehen, damit sich das Fett auf Laufbahnen, Kugeln und Käfig verteilt

Lager	So wird befettet
Zylinderrollenlager	Etwa 80 % der Menge gleichmässig auf die Rollen-Laufbahn geben, Rollen (Mantel und Stirnseiten) und Käfigtaschen leicht einfetten. Die restlichen ca. 20 % als dünnen Film auf die Aussenring-Laufbahn streichen. Nicht zu viel Fett in die Käfigbohrung: Es verteilt sich schlecht, das Lager wird heiss und braucht länger zum Einlaufen

Merksatz: Eine frisch befettete Spindel **nie sofort mit Höchstdrehzahl** laufen lassen. Das Fett muss zuerst **eingelaufen** werden: Drehzahl stufenweise steigern und die Lagertemperatur beobachten (Vorgehen nach Angabe des Lager- oder Spindelherstellers).

Hauptspindel mit Kegelrollenlagern (Timken-Bauart)

Viele Drehmaschinen haben eine Hauptspindel mit vorgespannten **Kegelrollenlagern** vorne und hinten (bekannt als Timken-Lagerung). Die Lagerung ist **robust** und gut für schwere Maschinen.

Nr.	Teil
1	Lager vorne
2	Stützring vorne
3	Hauptspindel
4	Mutter hinten (Vorspannung)
5	Stützring hinten
6	Lager hinten
7	Spindelgehäuse (Spindelstock)
8	Dichtring innen
Thema	**Hinweis**
Wärme	Nachteil: Spindel und Gehäuse werden im Betrieb verschieden warm und wachsen nicht gleich. Dadurch ändert sich die Vorspannung der Kegelrollenlager
Lagerabstand	WIAP-Richtwert: Lagerabstand ca. 2,5- bis 3-mal der Lager-Innendurchmesser d1
Ersatzteile	Die Lager kommen praktisch nur von einem Hersteller: grosse Abhängigkeit, hoher Preis, lange Lieferzeit. Mit einer Lagerung aus Standard-Spindellagern (verschiedene Hersteller) ist Ersatz meist schneller zu beschaffen

Vorspannung beim Einstellen mit der Mutter hinten immer nach Angabe des Maschinenherstellers.

Offen, 2Z oder 2RS? Abdichtung und Drehzahl

Ausführung	Abdichtung	Drehzahl	Wann verwenden?
Offen	keine	am höchsten (mit Ölschmierung noch höher)	Schmierung von aussen, z. B. Spindeln, Getriebe mit Öl
2Z / ZZ	Deckscheiben aus Stahl, berührungsfrei	fast gleich wie offen	Mit Fett gefüllt, wartungsfrei; schützt gegen Staub, nicht gegen Wasser
2RZ / 2RSL	Dichtscheiben, berührungsarm	etwas tiefer	Kompromiss zwischen Abdichtung und Drehzahl
2RS / 2RSH	Gummi-Dichtscheiben, schleifend	tief: oft nur etwa halb so hoch wie offen	Schmutz, Spritzwasser, Kühlmittel; erzeugt mehr Reibung und Wärme

Die genaue Drehzahlgrenze steht im Katalog des Herstellers (Grenzdrehzahl). Abgedichtete Lager sind mit Fett gefüllt und werden nicht nachgeschmiert.

Kegelrollenlager: Massplan (Reihen 302, 322, 303, 313, 323)

Kegelrollenlager tragen hohe Radial- und Axialkräfte, axial aber nur in **eine Richtung**. Sie werden darum immer paarweise eingebaut (O- oder X-Anordnung) und gegeneinander angestellt. Innenring mit Rollen und Aussenring sind getrennt einbaubar. **B** = Breite Innenring, **T** = gesamte Lagerbreite (Einbaubreite). Die letzten zwei Ziffern sind wie üblich die Bohrungskennzahl (z. B. 30208: d = 40 mm).

d	D Reihe 2	B / T 302..	B / T 322..	D Reihe 3	B / T 303..	B / T 313..	B / T 323..
10	30	9 / 9,7	14 / 14,7	35	11 / 11,9	–	17 / 17,9
12	32	10 / 10,75	14 / 14,75	37	12 / 12,9	–	17 / 17,9
15	35	11 / 11,75	14 / 14,75	42	13 / 14,25	–	17 / 18,25
17	40	12 / 13,25	16 / 17,25	47	14 / 15,25	–	19 / 20,25
20	47	14 / 15,25	18 / 19,25	52	15 / 15,25 ?	–	21 / 22,25
25	52	15 / 16,25	18 / 19,25	62	17 / 18,25	17 / 18,25	24 / 25,25

d	D Reihe 2	B / T 302..	B / T 322..	D Reihe 3	B / T 303..	B / T 313..	B / T 323..
30	62	16 / 17,25	20 / 21,25	72	19 / 20,75	19 / 20,75	27 / 28,75
35	72	17 / 18,25	23 / 24,25	80	21 / 22,75	21 / 22,75	31 / 32,75
40	80	18 / 19,75	23 / 24,75	90	23 / 25,25	23 / 25,25	33 / 35,25
45	85	19 / 20,75	23 / 24,75	100	25 / 27,25	25 / 27,25	36 / 38,25
50	90	20 / 21,75	23 / 24,75	110	27 / 29,25	27 / 29,25	40 / 42,25
55	100	21 / 22,75	25 / 26,75	120	29 / 31,5	29 / 31,5	43 / 45,5
60	110	22 / 23,75	28 / 29,75	130	31 / 33,5	31 / 33,5	46 / 48,5
65	120	23 / 24,75	31 / 32,75	140	33 / 36	33 / 36	48 / 51
70	125	24 / 26,25	31 / 33,25	150	35 / 36 ?	35 / 38	51 / 54
75	130	25 / 27,25	31 / 33,25	160	37 / 40	–	55 / 58
80	140	26 / 28,25	33 / 35,25	170	39 / 42,5	–	58 / 61,5
85	150	28 / 30,5	36 / 38,5	180	41 / 44,5	–	60 / 63,5
90	160	30 / 32,5	40 / 42,5	190	43 / 46,5	–	64 / 67,5
95	170	32 / 34,5	43 / 45,5	200	45 / 49,5	–	67 / 71,5
100	180	34 / 37	46 / 49	215	47 / 51,5	–	73 / 77,5
105	190	36 / 39	50 / 53	225	49 / 53,5	–	77 / 81,5
110	200	38 / 41	53 / 56	240	50 / 54,5	–	80 / 84,5
120	215	40 / 43,5	58 / 61,5	260	55 / 59,5	–	86 / 90,5
130	230	40 / 43,75	64 / 67,75	280	58 / 63,75	–	93 / 98,75
140	250	42 / 45,75	68 / 71,75	300	62 / 67,75	–	102 / 107,75
150	270	45 / 49	73 / 77	320	65 / 72	–	108 / 114
160	290	48 / 52	80 / 86 ?	340	68 / 75	–	–
170	310	52 / 57	86 / 91	360	72 / 80	–	–
180	320	52 / 57	86 / 91	380	75 / 83	–	–
190	340	55 / 60	92 / 97	400	78 / 86	–	–
200	360	58 / 64	98 / 104	420	80 / 89	–	–

Masse in mm. Lagerbezeichnung: 3 + Massreihe + Bohrungskennzahl (z. B. 30208, 32208, 30308). «?» = Wert im alten Blatt zweifelhaft, bitte im Katalog prüfen. 313.. sind Lager mit steilem Kontaktwinkel für hohe Axiallast.

Axial-Rillenkugellager: Massplan (Reihen 511, 512, 513, 514)

Einseitig wirkende Axial-Rillenkugellager nehmen nur **Axialkraft in eine Richtung** auf, keine Radialkraft. Sie bestehen aus Wellenscheibe, Gehäusescheibe und Kugelkranz. Die **Wellenscheibe** (kleinere Bohrung) sitzt fest auf der Welle, die Gehäusescheibe hat Luft zur Welle.

d	511.. D × H	512.. D × H	513.. D × H	514.. D × H
10	24 × 9	25 ? × 11	30 × 14	–
12	26 × 9	28 × 11	32 × 14	–
15	28 × 9	32 × 12	37 × 15	–
17	30 × 9	35 × 12	40 × 16	–
20	35 × 10	40 × 14	47 × 18	–
25	42 × 11	47 × 15	52 × 18	60 × 24
30	47 × 11	52 × 16	60 × 21	70 × 28
35	50 × 12	58 × 18	63 × 24	80 × 30
40	60 × 13	68 × 19	78 × 26	90 × 36
45	65 × 14	73 × 20	85 × 28	100 × 39
50	70 × 14	78 × 22	95 × 31	110 × 43
55	78 × 16	90 × 25	105 × 35	120 × 48
60	85 × 17	95 × 26	110 × 35	130 × 51
65	90 × 18	100 × 27	115 × 36	140 × 56
70	95 × 18	105 × 27	125 × 40	150 × 60
75	100 × 19	110 × 27	135 × 44	160 × 65
80	105 × 19	115 × 28	140 × 44	170 × 68
85	110 × 19	125 × 31	150 × 49	180 × 72
90	120 × 22	135 × 35	155 × 50	190 × 77
100	135 × 25	150 × 38	170 × 55	210 × 85

d	511.. D × H	512.. D × H	513.. D × H	514.. D × H
110	145 × 25	160 × 38	190 × 63	230 × 95
120	155 × 25	170 × 39	210 × 70	250 × 102
130	170 × 30	190 × 45	225 × 75	270 × 110
140	180 × 31	200 × 46	240 × 80	280 × 112
150	190 × 31	215 × 50	250 × 80	300 × 120
160	200 × 31	225 × 51	270 × 87	320 × 130
170	215 × 34	240 × 55	280 × 87	340 × 135
180	225 × 34	250 × 56	300 × 95	360 × 140
190	240 × 37	270 × 62	320 × 105	380 × 150
200	250 × 37	280 × 62	340 × 110	400 × 155
220	270 × 37	300 × 63	360 × 112	420 × 160
240	300 × 45	340 × 78	380 × 112	440 × 160

Masse in mm, H = Gesamthöhe. Reihe 511 = Durchmesserreihe 1 (leicht) bis 514 = Durchmesserreihe 4 (schwer). Bei d = 10 mm steht im alten Blatt D = 25 mm für die Reihe 512, bitte prüfen (übliches Lager 51200: 26 × 11 mm). Axial-Rillenkugellager vertragen keine hohen Drehzahlen und brauchen immer eine Mindest-Axiallast.

Passungen für Wälzlager (Richtwerte)

Fall	Welle	Gehäuse
Innenring dreht, normale Last	k5 / k6	H7
Innenring dreht, hohe Last	m6 / n6	H7
Innenring steht (z. B. Laufrolle)	g6 / h6	M7 / N7 (Aussenring dreht)
Loslager, Aussenring verschiebbar	k6	H7 / G7

Lager nie über die Wälzkörper einpressen: Kraft immer auf den Ring geben, der die Passung hat.

Umfangslast oder Punktlast? So wählt man die Passung

Für die Passung ist entscheidend, ob sich der Ring **gegenüber der Last dreht**:

Begriff	Bedeutung		Passung
Umfangslast	Der Ring dreht sich gegenüber der Lastrichtung (z. B. Innenring auf einer drehenden Welle bei feststehender Last). Jeder Punkt des Rings wird nacheinander belastet		Fester Sitz (Übergangs- oder Presspassung), sonst «wandert» der Ring und frisst sich fest
Punktlast	Der Ring steht gegenüber der Lastrichtung still (z. B. Aussenring im Gehäuse bei feststehender Last). Immer die gleiche Stelle wird belastet		Loser Sitz (Spielpassung) möglich, z. B. für das Loslager
Ring / Lastfall	**Belastung**	**Kugellager**	**Rollenlager**
Innenring, Umfangslast	klein	h, k	k, m
Innenring, Umfangslast	mittel	j, k, m	k, m, n, p
Innenring, Umfangslast	hoch	m, n	n, p, r
Innenring, Punktlast	beliebig	j, h, g, f	j, h, g, f
Aussenring, Punktlast	beliebig	J, H, G, F	J, H, G, F
Aussenring, Umfangslast	klein	J	K
Aussenring, Umfangslast	mittel	K, M	M, N
Aussenring, Umfangslast	hoch	–	N, P
Axiallager	**Wellenscheibe (Welle)**		**Gehäusescheibe (Gehäuse)**
Kombinierte Last (Schrägkugel-, Pendelrollen-, Kegelrollenlager), Umfangslast	j, k, m		K, M
Kombinierte Last, Punktlast	j		H, J
Reine Axiallast (Axial-Kugel- und -Rollenlager)	h, j, k		H, G, E

Toleranzfelder nach DIN 5425 (Grundabmasse, Richtwerte); die Qualität (z. B. k5, k6, H7) richtet sich nach der Lagergenauigkeit. Für Spindellager gelten die engeren Angaben des Lagerherstellers.

Form- und Lagetoleranzen auf Lagerzeichnungen lesen

Lagersitze müssen nicht nur das richtige Mass haben, sondern auch rund, gerade und koaxial sein. Auf der Zeichnung steht das in einem **Toleranzrahmen**: Symbol – Toleranzwert in mm – Bezugsbuchstabe. Der **Bezug** (Dreieck mit Buchstabe, z. B. A) ist das Element, an dem gemessen wird, meist die Achse eines anderen Lagersitzes.

Beispiel im Rahmen	Bedeutung
⊥ Ø0,04 A	Die Achse der Bohrung muss innerhalb eines Zylinders von Ø 0,04 mm rechtwinklig zur Bezugsfläche A stehen
⌯ 0,1 A	Die Mittelebene der Nut muss symmetrisch zur Mittelebene A liegen (Toleranz 0,1 mm)
↗ 0,05 B	Rundlauf: Die Fläche darf beim Drehen um die Achse B höchstens 0,05 mm schlagen (Messuhr)
// 0,02 C	Parallelität zur Achse C innerhalb 0,02 mm

Allgemeine Regeln nach ISO 1101. Zeigt der Bezugspfeil auf die Masslinie, ist die **Achse** bzw. Mittelebene gemeint; zeigt er auf die Kontur (deutlich neben der Masslinie), ist die **Fläche** gemeint.

Welche Werte vorschreiben? Richtwerte für Lagersitze (nach Angaben der Wälzlager-Hersteller, Normal-Toleranz). t_1 = Zylinderform bzw. Rundheit des Sitzes, t_2 = Planlauf der Anlageschulter. IT-Werte siehe Kapitel Passungen.

Lagergenauigkeit	Welle: Zylinderform t_1	Welle: Planlauf Schulter t_2	Gehäuse: Zylinderform t_1	Gehäuse: Planlauf Schulter t_2
Normal (P0) – allgemeiner Maschinenbau	IT5 / 2	IT5	IT6 / 2	IT6

Sitz	Rauheit Ra (Richtwert)
Welle, Passung IT6 (z. B. k6, m6)	0,8 µm (bis Ø 80), 1,6 µm (darüber)
Gehäuse, Passung IT7 (z. B. H7, J7)	1,6 µm (bis Ø 80), 3,2 µm (darüber)

Für genauere Lager (P6, P5, Hauptspindeln) die Form eine bis zwei IT-Stufen feiner wählen – die genauen Werte immer aus dem Katalog des Lagerherstellers (SKF, Schaeffler) nehmen.

Beispiel: Welle Ø 60 k6 für ein normales Rillenkugellager. IT5 bei Ø 50–80 = 13 µm → Zylinderform t_1 = 13 / 2 ≈ 0,006 mm, Planlauf der Wellenschulter t_2 = 0,013 mm. Auf der Zeichnung: ⌭ 0,006 am Lagersitz und ↗ 0,013 A an der Schulter.

Kapitel 24 · Kugelgewindetrieb und Trapezspindel (Wi-8f 1-19-c.2)

Merksatz: Ein Kugelgewindetrieb ist **nicht selbsthemmend**. Eine senkrechte Achse fällt ohne Bremse oder Gewichtsausgleich herunter!
Eine Trapezspindel mit kleiner Steigung ist meist selbsthemmend, hat dafür viel mehr Reibung.

Vergleich

Eigenschaft	Kugelgewindetrieb	Trapezspindel
Wirkungsgrad	ca. 90 %	ca. 30 bis 50 %
Selbsthemmung	nein	meist ja (kleine Steigung)
Spiel	spielfrei mit Vorspannung	hat Spiel, nutzt sich ab
Genauigkeit	sehr hoch	mittel
Einsatz	CNC-Achsen, Positionieren	Handverstellungen, Hubtische, einfache Antriebe

Bezeichnung und Genauigkeit

Angabe	Bedeutung
40 × 10	Nenndurchmesser 40 mm, Steigung 10 mm (eine Umdrehung = 10 mm Weg)
Klasse C0, C1, C3	Sehr genau, geschliffen: Präzisions- und Schleifmaschinen
Klasse C5	Geschliffen: übliche Werkzeugmaschinen
Klasse C7, C10	Gerollt: Transport- und Handlingachsen

Kraft und Antriebsmoment

Grösse	Formel

Grösse	Formel
Axialkraft	F [N] = M [Nm] × 2 π × η / P [m]
Antriebsmoment	M [Nm] = F [N] × P [m] / (2 π × η)

Beispiel: 1 Nm an einer Spindel mit 10 mm Steigung und η = 0,8 ergibt F = 1 × 6,28 × 0,8 / 0,010 = 502 N, also ca. 50 kg. Mit 10 Nm sind es ca. 500 kg. P = Steigung in Meter.

Vorschubkraft mit Riemen oder Getriebe berechnen

Sitzt zwischen Motor und Spindel ein Zahnriemen oder Getriebe, wird das Motormoment zuerst mit der **Übersetzung i** multipliziert. i = Zähnezahl (oder Ø) der Scheibe an der Spindel / Zähnezahl der Scheibe am Motor (Scheibe 2 / Scheibe 1).

Schritt	Rechnung
1. Motormoment	M_{Motor} [Nm] vom Typenschild oder Datenblatt (oder M = 9550 × P [kW] / n [1/min])
2. Moment an der Spindel	$M_{Spindel} = M_{Motor} \times i$
3. Vorschubkraft	F [N] = $M_{Spindel}$ × 2 π / P [m] × η
Alles in einer Formel	$F = M_{Motor} \times i \times 6{,}28 / P\,[m] \times \eta$

Wirkungsgrad η: Kugelgewindetrieb ca. 0,8, Trapezspindel ca. 0,5 (WIAP-Rechenwerte). P = Steigung in Meter (10 mm = 0,01 m). Zum Vergleich: Beim Drehen von Stahl rechnet man pro 1 mm² Spanquerschnitt mit ca. 2000 N Schnittkraft.

Moment und Kraft an der Hauptspindel

Grösse	Rechnung
Drehzahl Spindel	$n_{Spindel} = n_{Motor} / i$ (für jede Getriebestufe, z. B. M41 bis M44)
Moment Spindel	$M_{Spindel} = M_{Motor} \times i$
Kraft am Werkstück	F [N] = $M_{Spindel}$ [Nm] / Radius [m]; z. B. Ø 1000 mm → / 0,5 · Ø 500 mm → / 0,25 · Ø 300 mm → / 0,15

Übung 1: Vorschubmotor 19,8 Nm, Riemenübersetzung i = 3, Kugelgewindetrieb Steigung 10 mm, η = 0,8. Welche Vorschubkraft ist möglich?

Lösung: F = 19,8 × 3 × 6,28 / 0,01 × 0,8 = **ca. 29’860 N ≈ 30 kN** (ca. 3 t). Mit Trapezspindel (η = 0,5) wären es nur ca. 18’700 N.

Übung 2: Hauptmotor 15 kW bei 1500 1/min, Getriebestufe mit i = 4. Welches Moment hat die Spindel und welche Kraft wirkt am Ø 300 mm?

Lösung: M_{Motor} = 9550 × 15 / 1500 = 95,5 Nm; $M_{Spindel}$ = 95,5 × 4 = **382 Nm** bei 1500 / 4 = 375 1/min; F = 382 / 0,15 = **ca. 2550 N**. Am Ø 1000 mm sind es nur 382 / 0,5 = ca. 760 N.

Montage: worauf achten (WIAP-Praxis)

Punkt	Hinweis
Die Führungen sind der «Chef»	Die Spindel muss genau parallel zu den Führungen liegen. Abweichung über den ganzen Weg höchstens ca. 0,03 mm, horizontal und vertikal
Drei Punkte in einer Linie	Festlager, Mutter und Loslager (bzw. Motoranschluss) müssen genau fluchten. Diese Toleranz ist anspruchsvoll
Ausrichten	Mit Messuhr über den ganzen Verfahrweg prüfen, Mutter in beiden Endlagen und in der Mitte kontrollieren
Mutter nie einfach abdrehen	Ohne Montagehülse fallen die Kugeln heraus
Lagerung	Festlager meist mit Axial-Schrägkugellagern (60°) paarweise, Loslager mit Rillenkugellager
Vorspannung prüfen	Leerlauf-Drehmoment messen: Schnur mit Gewicht über eine Scheibe auf der Spindel legen und prüfen, ob sich die Spindel gleichmässig dreht
Mutter mit Klemmschraube (z. B. Star)	Die Klemmschraube so weit anziehen, bis das **Umkehrspiel** weg ist, aber nicht weiter: Sonst wird die Mutter zu streng, wird warm und verschleisst. Danach das Leerlauf-Drehmoment kontrollieren. Richtwerte aus der WIAP-Praxis (Klasse C1): 63 × 10 ca. 3,6 Nm, 31 × 10 ca. 0,8 Nm
Umkehrspiel messen	Messuhr an den Schlitten setzen, Achse in eine Richtung fahren, Uhr auf null stellen, dann in die Gegenrichtung fahren: Der Weg, bis sich der Schlitten bewegt, ist das Umkehrspiel
Schmierung und Schutz	Regelmässig schmieren, Abstreifer und Abdeckungen prüfen; Späne zerstören die Kugelbahnen

Kritische Drehzahl und Knicklänge der Spindel immer nach Angaben des Herstellers prüfen, besonders bei langen, dünnen Spindeln.

Kapitel 25 · Sicherungsringe, Dichtungen, Schläuche (Wi-8f 1-19-d.1)

Sicherungsringe für Wellen (DIN 471)

Wellen-Ø mm	Nut-Ø mm	Nutbreite mm	Ringdicke mm
10	9,6	1,1	1
12	11,5	1,1	1
15	14,3	1,1	1
17	16,2	1,1	1
20	19	1,3	1,2
25	23,9	1,3	1,2
30	28,6	1,6	1,5
35	33	1,6	1,5
40	37,5	1,85	1,75
45	42,5	1,85	1,75
50	47	2,15	2

Sicherungsringe für Bohrungen (DIN 472)

Bohrungs-Ø mm	Nut-Ø mm	Nutbreite mm	Ringdicke mm
20	21	1,1	1
25	26,2	1,3	1,2
30	31,4	1,3	1,2
35	37	1,6	1,5
40	42,5	1,85	1,75
47	49,5	1,85	1,75
52	55	2,15	2
62	65	2,15	2
72	75	2,65	2,5
80	83,5	2,65	2,5

O-Ringe: Grundregeln

Thema	Richtwert
Verpressung statisch	15 bis 30 % der Schnurstärke
Verpressung dynamisch	10 bis 20 % der Schnurstärke
Nutbreite	ca. 1,3 bis 1,5 × Schnurstärke
Füllgrad der Nut	höchstens ca. 85 %
Montage	Einführschräge 15° bis 20°, Kanten entgraten, O-Ring einfetten, nicht über Gewinde ziehen
Werkstoff	NBR: Öl, Hydraulik bis ca. 100 °C · FKM (Viton): hohe Temperatur bis ca. 200 °C · EPDM: Wasser, Dampf, nicht für Mineralöl

O-Ring-Nuten: Masse nach Schnurstärke

Schnur-stärke d2	statisch radial t / b	Fase C	statisch axial (Flansch, Druck von aussen) t / b	dynamisch Hydraulik t / b	dynamisch Pneumatik t / b
1,5	1,1 / 2	1,5	1,1 / 2,1	1,3 / 1,9	1,35 / 1,8
1,78	1,3 / 2,4	1,5	1,3 / 2,5	1,5 / 2,3	1,55 / 2,2
2	1,5 / 2,6	2	1,5 / 2,8	1,7 / 2,6	1,8 / 2,4
2,5	1,9 / 3,3	2	1,9 / 3,5	2,2 / 3,1	2,25 / 3
2,62	2 / 3,5	2	2 / 3,7	2,2 / 3,4	2,35 / 3,1
3	2,3 / 3,9	2,5	2,3 / 4,1	2,6 / 3,8	2,7 / 3,6
3,53	2,7 / 4,7	2,5	2,7 / 4,9	3,1 / 4,5	3,2 / 4,3
4	3,2 / 5,2	3	3,1 / 5,5	3,5 / 5,1	3,7 / 4,8
5	4 / 6,5	3	4 / 6,7	4,4 / 6,4	4,65 / 5,9
5,33	4,3 / 7,1	3,5	4,2 / 7,3	4,7 / 6,9	4,95 / 6,4
6,99	5,8 / 9,2	4	5,7 / 9,7	6,2 / 8,8	6,55 / 8,4

Masse in mm, Richtwerte aus einer O-Ring-Herstellertabelle, neu zusammengestellt. t = Nuttiefe (Toleranz +0,05), b = Nutbreite (+0,25). Je kleiner t gegenüber d2, desto stärker die Verpressung: statisch ca. 25 %, Hydraulik dynamisch ca. 15 %, Pneumatik noch weniger (wenig Reibung). Fase C gilt für statisch radial; dynamisch ist sie etwas kürzer.

Thema	Hinweis
Oberflächen	Statisch: Dichtfläche Ra ≤ 1,6 µm, Nutgrund und Flanken Ra ≤ 3,2 µm. Dynamisch: Gleitfläche (Stange, Zylinderrohr) Ra ≤ 0,4 µm
Passungen radial	Bohrung H8, Welle bzw. Kolben f7, Nutgrund h9 bzw. H9: der Spalt muss klein bleiben, sonst wird der O-Ring hineingedrückt
Hoher Druck	Statisch sind bei richtiger Nut bis ca. 1000 bar möglich, ab höherem Druck oder grösserem Spalt mit Stützring
Dünnwandige Teile	Nut ins starre Teil legen (z. B. Zylinderboden, nicht ins Zylinderrohr): Das Rohr weitet sich unter Druck, der Spalt würde grösser
Flansch, Druck von innen	O-Ring liegt am Aussen-Ø der Nut an (O-Ring Aussen-Ø gleich oder bis ca. 3 % grösser)
Flansch, Druck von aussen	O-Ring liegt am Innen-Ø der Nut an (O-Ring Innen-Ø gleich oder bis ca. 6 % kleiner)
Deckel verschrauben	Schrauben kräftig genug wählen: Öffnet sich der Spalt unter Druck, wird der O-Ring herausgequetscht
Trapeznut	Nur wenn der O-Ring in der Nut halten muss (über Kopf, bewegte Deckel), sinnvoll ab ca. 2 mm Schnurstärke; teuer in der Herstellung
Vakuum	Nut fast 100 % gefüllt, Verpressung ca. 30 %, sehr feine Oberflächen, Vakuumfett, Werkstoff FKM
Hydraulik dynamisch	O-Ring als Kolben- oder Stangendichtung nur bei wenig Platz, kurzen Hüben und wenn kleine Leckage erlaubt ist

O-Ringe: übliche Schnurstärken

Reihe	Schnurstärken d2 mm	Hinweis
Zollreihe (AS 568, Bezeichnung mit Innen-Ø × d2)	1,78 · 2,62 · 3,53 · 5,34 · 6,99	Häufig bei Maschinen und Hydraulikteilen aus USA/England. 5,34 und 5,33 werden je nach Liste verwendet
Metrische Reihe	1 · 1,5 · 2 · 2,5 · 3 · 4 · 5 · 7 (weitere auf Anfrage)	Bezeichnung: Innen-Ø d1 × Schnurstärke d2, z. B. 40 × 3

Standard-Lagerware: NBR 70 Shore A, schwarz, nach ISO 3601 bzw. DIN 3771. Zoll- und metrische O-Ringe sehen fast gleich aus: Immer Innen-Ø **und** Schnurstärke messen.

Radial-Wellendichtringe (Simmerring)

Ein Radial-Wellendichtring dichtet eine **drehende Welle** gegen ein Gehäuse ab, z. B. Öl in einem Getriebe. Eine Zugfeder drückt die Dichtlippe auf die Welle. Bezeichnung: Typ, Wellen-Ø × Aussen-Ø × Breite (z. B. BA 40 × 62 × 8).

Typ	Aufbau	Einsatz
BA	Eine Dichtlippe mit Feder, aussen ganz mit NBR-Gummi überzogen (Metall-Versteifungsring innen)	Standard für drucklose Gehäuse; dichtet nur bis ca. 0,5 bar
B1	Wie BA, aber Aussenmantel aus blankem Metall	Lässt sich leichter einpressen; dichtet aussen weniger gut, darum evtl. mit Dichtpaste einsetzen
B2	Verstärkte Ausführung, Metallmantel beidseitig geschlossen	Für grobe Montage und enge Platzverhältnisse
BASL (bzw. B1SL, B2SL)	Zusätzliche Schutzlippe (Staublippe) ohne Feder auf der Aussenseite	Bei Staub und Schmutz von aussen
BAOF	Wie BA, aber ohne Feder	Für Fett oder sehr kleinen Anpressdruck
FKM (Viton)	Dichtlippe aus Fluor-Kautschuk, Feder rostfrei	Bis ca. 200 °C, beständig gegen viele Öle, Säuren und Kraftstoffe; ca. 2- bis 3-mal höhere Drehzahl als NBR möglich

Montage: Dichtlippe (Federseite) zeigt zum abzudichtenden Medium, also nach innen zum Öl. Dichtlippe leicht einfetten, nie trocken laufen lassen. Über Gewinde, Passfedernuten und scharfe Kanten eine Montagehülse verwenden. Ring gerade mit einem Einpressdorn auf den Aussenring einpressen. Ist auf der alten Laufstelle eine Rille, den neuen Ring etwas versetzt einbauen oder eine Laufhülse verwenden.

Hydraulikschläuche: Nennweiten

Nennweite DN	Innen-Ø Zoll	Innen-Ø mm ca.
DN 6	1/4	6,4
DN 8	5/16	7,9
DN 10	3/8	9,5
DN 12	1/2	12,7
DN 16	5/8	15,9
DN 19	3/4	19
DN 25	1	25,4
DN 31	1 1/4	31,8

Schläuche ohne Verdrehung und mit genügend Biegeradius einbauen. Betriebsdruck des Schlauches muss mindestens dem Systemdruck entsprechen.

Kapitel 26 · Öle und Schmierstoffe (Wi-8f 1-19-d.2)

Viele alte Maschinen haben auf dem Schmierplan nur einen **Markennamen** (z. B. «Mobil DTE Oil Medium» oder «Shell Tonna 68»), aber keine Angabe zur Dicke des Öls. Mit den Tabellen hier findet man die **Viskositätsklasse ISO VG** und die **Öl-Art** und kann ein heutiges, gleichwertiges Öl wählen.

Merksatz: Die Zahl hinter ISO VG ist die Dicke (Viskosität) bei 40 °C in mm²/s. **Grössere Zahl = dickeres Öl.**
Wichtig ist immer beides: die **Dicke (VG)** und die **Art** (Hydrauliköl, Gleitbahnöl, Getriebeöl). Ein Gleitbahnöl VG 68 ist **nicht** das gleiche wie ein Hydrauliköl VG 68!

Wichtige Praxisregeln:
• **Gleitbahnöl VG 68** für **Flachbett**-Maschinen und waagrechte Führungen.
• **Gleitbahnöl VG 220** für **Schrägbett**-Maschinen und senkrechte Führungen: Das dickere Öl bleibt besser auf der schrägen Bahn und läuft nicht so schnell ab.
• **Pneumatik-Öl ist dünn** (meist VG 32). Achtung: Viele neue Pneumatik-Teile sind ab Werk «lebensdauergeschmiert» und brauchen kein Öl. Hat man aber einmal geölt, muss man immer weiter ölen, weil das Öl das Werksfett auswäscht.
• **Hydrauliköl** in Werkzeugmaschinen meist VG 32 oder 46, **Getriebeöl** meist VG 220.

Öl-Arten (Kennbuchstaben nach DIN 51502)

Kennzeichen	Öl-Art	Typische Verwendung	Übliche Dicke
HLP	Hydrauliköl mit Verschleissschutz	Hydraulikaggregate, Spannhydraulik	VG 32, 46, 68
HVLP	Hydrauliköl, wenig temperaturabhängig	Hydraulik draussen oder mit starken Temperaturschwankungen	VG 32, 46, 68
CGLP	Gleitbahnöl mit Haftzusätzen (gegen Ruckgleiten)	Führungsbahnen, Zentralschmierung	VG 68 für Flachbett und waagrechte Führungen, VG 220 für Schrägbett und senkrechte Führungen
CLP	Getriebeöl mit Hochdruckzusätzen	Zahnradgetriebe	VG 68 bis 460
FD / Spindelöl	Sehr dünnes Öl	Schnelllaufende Spindeln, Öl-Nebel-Schmierung	VG 2 bis 22
Pneumatik-Öl	Dünnes Öl für den Druckluft-Öler (Wartungseinheit)	Druckluftzylinder und Ventile, die geölt werden müssen	dünn: meist VG 32 (VG 10 bis 32)

So liest man die Tabellen: Alten Namen vom Schmierplan oder vom Ölfass suchen → **Öl-Art** und **ISO VG** ablesen → heutiges Öl mit gleicher Art und gleicher VG nehmen.
✓ **sicher** = gut bekannt. ⚠ **noch zu klären** (gelb) = Angabe unsicher, bitte mit dem Öl-Lieferanten oder dem Datenblatt prüfen.

Hydrauliköle und Umlauföle

Marke	Alter Name	Öl-Art	ISO VG	Heutiger Name (ca.)	Status
Mobil	DTE Oil Light	Hydraulik / Umlauf HLP	**32**	DTE 24 / DTE 24 Ultra	✓ sicher

Marke	Alter Name	Öl-Art	ISO VG	Heutiger Name (ca.)	Status
Mobil	DTE Oil Medium	Hydraulik / Umlauf HLP	**46**	DTE 25 / DTE 25 Ultra	✓ sicher
Mobil	DTE Oil Heavy Medium	Hydraulik / Umlauf HLP	**68**	DTE 26 / DTE 26 Ultra	✓ sicher
Mobil	DTE Oil Heavy	Hydraulik / Umlauf HLP	**100**	DTE 27 / DTE Oil Heavy	✓ sicher
Mobil	DTE Oil Extra Heavy	Umlauföl	**150**	DTE Oil Extra Heavy	⚠ noch zu klären
Mobil	DTE Oil BB	Umlauföl	**220**	DTE Oil BB	⚠ noch zu klären
Mobil	DTE Oil AA	Umlauföl	**320 ?**	DTE Oil AA	⚠ noch zu klären
Shell	Tellus 32 / 46 / 68	Hydraulik HLP	**32 / 46 / 68**	Tellus S2 M 32 / 46 / 68	✓ sicher
Shell	Tellus 22 / 27 / 33 / 37 (vor 1975)	Hydraulik	**unbekannt**	–	⚠ noch zu klären
Shell	Vitrea 32 bis 460	Umlauföl CL	**Zahl = VG**	Morlina S1 B	✓ sicher
Esso	Nuto H 32 / 46 / 68	Hydraulik HLP	**32 / 46 / 68**	Nuto H	✓ sicher
Esso	Teresso 32 / 46 / 68	Umlauf- / Turbinenöl	**32 / 46 / 68**	Teresso	✓ sicher
BP	Energol HLP-HM 32 / 46 / 68	Hydraulik HLP	**32 / 46 / 68**	Energol HLP-HM / Castrol Hyspin	✓ sicher
BP	Energol CS 32 bis 460	Umlauföl CL	**Zahl = VG**	–	✓ sicher
Castrol	Hyspin AWS 32 / 46 / 68	Hydraulik HLP	**32 / 46 / 68**	Hyspin AWS	✓ sicher
Fuchs	Renolin B 10 / B 15 / B 20	Hydraulik HLP	**32 / 46 / 68 ?**	Renolin B / MR	⚠ noch zu klären
Motorex	Corex HLP 32 / 46 / 68	Hydraulik HLP	**32 / 46 / 68**	Corex HLP	✓ sicher

Gleitbahnöle

Marke	Alter Name	Öl-Art	ISO VG	Heutiger Name (ca.)	Status
Mobil	Vactra Oil No. 1	Gleitbahn CGLP	**32 ?**	Vactra No. 1	⚠ noch zu klären
Mobil	Vactra Oil No. 2	Gleitbahn CGLP	**68**	Vactra No. 2	✓ sicher
Mobil	Vactra Oil No. 3	Gleitbahn CGLP	**150 ?**	Vactra No. 3	⚠ noch zu klären
Mobil	Vactra Oil No. 4	Gleitbahn CGLP	**220**	Vactra No. 4	✓ sicher
Mobil	Gargoyle Vactra Oil (sehr alt)	Gleitbahn	**unbekannt**	Vactra	⚠ noch zu klären
Shell	Tonna T 68 / T 220	Gleitbahn CGLP	**68 / 220**	Tonna S3 M 68 / 220	✓ sicher
Shell	Tonna 33 / 72 (vor 1975)	Gleitbahn	**unbekannt**	Tonna S3 M	⚠ noch zu klären
Esso	Febis K 68 / K 220	Gleitbahn CGLP	**68 / 220**	Febis K	✓ sicher
BP	Maccurat 68 / 220	Gleitbahn CGLP	**68 / 220**	Castrol Magna BD	✓ sicher
Castrol	Magna BD 68 / BD 220	Gleitbahn CGLP	**68 / 220**	Magna BD	✓ sicher

Getriebeöle

Marke	Alter Name	Öl-Art	ISO VG	Heutiger Name (ca.)	Status
Mobil	Mobilgear 626	Getriebe CLP	**68**	Mobilgear 600 XP 68	✓ sicher
Mobil	Mobilgear 627	Getriebe CLP	**100**	Mobilgear 600 XP 100	✓ sicher
Mobil	Mobilgear 629	Getriebe CLP	**150**	Mobilgear 600 XP 150	✓ sicher
Mobil	Mobilgear 630	Getriebe CLP	**220**	Mobilgear 600 XP 220	✓ sicher
Mobil	Mobilgear 632	Getriebe CLP	**320**	Mobilgear 600 XP 320	✓ sicher
Mobil	Mobilgear 634	Getriebe CLP	**460**	Mobilgear 600 XP 460	✓ sicher
Mobil	Mobilgear 636	Getriebe CLP	**680**	Mobilgear 600 XP 680	✓ sicher
Shell	Omala 68 bis 680	Getriebe CLP	**Zahl = VG**	Omala S2 G / S2 GX	✓ sicher
Esso	Spartan EP 68 bis 680	Getriebe CLP	**Zahl = VG**	Spartan EP	✓ sicher
BP	Energol GR-XP 68 bis 680	Getriebe CLP	**Zahl = VG**	Castrol Optigear BM	✓ sicher
Castrol	Alpha SP 68 bis 680	Getriebe CLP	**Zahl = VG**	Optigear BM	✓ sicher

Spindelöle

Marke	Alter Name	Öl-Art	ISO VG	Heutiger Name (ca.)	Status
Mobil	Velocite Oil No. 3	Spindelöl	**2 ?**	Velocite No. 3	⚠ noch zu klären
Mobil	Velocite Oil No. 4	Spindelöl	**3 oder 5 ?**	Velocite No. 4	⚠ noch zu klären
Mobil	Velocite Oil No. 6	Spindelöl	**10**	Velocite No. 6	✓ sicher
Mobil	Velocite Oil No. 10	Spindelöl	**22**	Velocite No. 10	✓ sicher
Esso	Spinesso 10 / 22	Spindelöl	**10 / 22**	Spinesso	✓ sicher
Shell	Morlina 10	Spindelöl	**10**	Morlina S2 BL 10	✓ sicher

Weitere Namen aus der WIAP-Öltabelle

Marke	Alter Name	Öl-Art	ISO VG	Status
Texaco / Caltex	Rando Oil HDA 32	Hydraulik HLP	32	✓ sicher
Texaco / Caltex	Rando Oil HDC 68	Hydraulik HLP	68	✓ sicher
Chevron	Way Lubricant 220	Gleitbahn CGLP	220	✓ sicher
BP	Maccurat 68 D	Gleitbahn CGLP	68	✓ sicher
BP	Energol HLP-D 32 / 68	Hydraulik HLP (mit Reinigungszusätzen)	32 / 68	⚠ noch zu klären
Castrol	Magna CF 220	Gleitbahn	220	⚠ noch zu klären
LE	6401 / 6403	Hydraulik	32 / 68	⚠ noch zu klären
LE	601	Gleitbahn	220	⚠ noch zu klären
ÖMV	HLP-M 46	Hydraulik HLP	46	⚠ noch zu klären

Aus der alten WIAP-Öl-Vergleichstabelle (nach Hersteller sortiert). Bei «noch zu klären» ist die Zuordnung der Spalten im alten Blatt nicht sicher lesbar, bitte mit dem Datenblatt prüfen.

Unbekanntes Öl auf einer alten Maschine?

Schritt	Was tun
1. Suchen	Schmierplan, Typenschild, Betriebsanleitung, Aufschrift auf Ölkanne oder Fass suchen
2. Verwendung bestimmen	Wo ist das Öl? Hydraulik → HLP, Führungsbahn / Zentralschmierung → CGLP, Zahnradgetriebe → CLP, schnelle Spindel → Spindelöl
3. Dicke schätzen	Wenn nichts bekannt ist: übliche Dicke der Öl-Art nehmen (Hydraulik VG 46, Gleitbahn VG 68, Getriebe VG 220)
4. Probe abgeben	Bei wichtigen Maschinen eine Ölprobe beim Öl-Lieferanten analysieren lassen
5. Aufschreiben	Neues Öl (Marke, Name, Art, ISO VG) gut sichtbar auf den Schmierplan und an die Maschine schreiben

Die Namen der Hersteller ändern sich immer wieder. Vor dem Wechsel immer das aktuelle Datenblatt prüfen oder beim Öl-Lieferanten nachfragen.

Alte Angaben umrechnen: SAE, Engler, cSt bei 50 °C

Sehr alte Schmierpläne geben die Dicke oft in **°E (Grad Engler) bei 50 °C**, in **cSt bei 50 °C** oder als **SAE-Klasse** an. Die Tabelle zeigt die ungefähre Entsprechung:

ISO VG (40 °C)	ca. cSt bei 50 °C	ca. °E bei 50 °C	ca. SAE Motoröl	ca. SAE Getriebeöl
10	7	1,6	–	–
22	15	2,3	5W	–
32	21	3	10W	–
46	29	4	15W / 20	75W
68	41	5,5	20 / 20W	80W
100	58	7,7	30	80W / 85W
150	82	11	40	85W-90
220	118	16	50	90
320	165	22	–	90 / 140
460	230	31	–	140

Die Umrechnung ist nur ein Richtwert (für Öle mit normalem Viskositätsindex). Motoröle gehören nicht in Hydraulik oder Getriebe einer Werkzeugmaschine: Sie enthalten andere Zusätze.

Regeln für den Ölwechsel

Regel	Warum
Öle nicht mischen	Verschiedene Zusätze können sich nicht vertragen: Schaum, Schlamm, verstopfte Filter
Beim Umstellen spülen	Altes Öl ganz ablassen, bei Hydraulik mit dem neuen Öl spülen und den Filter wechseln
Gleitbahnöl nicht ins Hydrauliksystem	Haftzusätze verkleben Ventile. Ausnahme: Maschinen, bei denen der Hersteller ein gemeinsames Öl vorschreibt
Sauberkeit	Öl immer über einen Filter oder mit sauberen Kannen einfüllen. Schmutz ist der grösste Feind der Hydraulik
Schmierplan anpassen	Die neue Ölbezeichnung (Marke, Name, ISO VG) auf den Schmierplan der Maschine schreiben

Zentralschmierung (WIAP-Praxis)

Eine Zentralschmierung pumpt in festen Abständen eine kleine, genau dosierte Ölmenge zu Führungen, Kugelgewindetrieben und anderen Schmierstellen. Bei jedem Pumpenimpuls gibt jede **Dosiereinheit** ihren «Tropfen» ab; ein Rückschlagventil verhindert, dass das Öl zurückfliesst.

Thema	Richtwert / Hinweis
Anschlüsse Dosiereinheit	Eingang meist M10 × 1, Ausgang meist M8 × 1
Leitungen	Hauptleitung Rohr 6 mm, Leitungen zu den Schmierstellen 4 mm, mit Schneidring-Verschraubung
Druck	ca. 15 bar
Intervall	Beispiel: ca. alle 15 Minuten ein Impuls (einstellbar an der Pumpe oder in der Steuerung)
Dosiergrössen	Dosiereinheiten gibt es in verschiedenen Grössen (im alten Blatt: 0,03 / 0,06 / 1,0 / 1,6)
Kugelgewinde, Führungen	Brauchen grosse Tropfen
Kurze Achswege	Mehr Schmierstellen vorsehen: Bei kurzem Weg verteilt sich das Öl sonst nicht über die ganze Bahn
Umbau	Nie kleinere Dosiereinheiten einbauen als vorgesehen. Der Maschinenhersteller ist massgebend: Vor einer Änderung zuerst nachfragen
Tank	Schmiertank einmal im Jahr innen reinigen. Das Sieb im Einfüllstutzen nie entfernen
Verbrauch	Je nach Maschine ca. 1 bis 2 Tankfüllungen pro Woche, oder nach Angabe des Maschinenherstellers. Bleibt der Ölstand gleich, stimmt etwas nicht (Pumpe, Leitung, Dosiereinheit)

Dosiergrössen: Einheit im alten Blatt nicht angegeben; üblich sind cm³ pro Impuls. Die Werte 1,0 und 1,6 sind eventuell 0,10 und 0,16 – bitte prüfen. Öl für die Zentralschmierung: Gleitbahnöl CGLP (siehe oben).

Bereich 5 · Wi-8f Fertigung: Bearbeiten, Spannen, Zerspanen, Schweissen

Senkungen und Kanten, Schaben und Tuschieren, Spanntechnik, Spindelnasen, Dreh- und Fräswerkzeuge, Zerspanung sowie Schweissen und Löten.

Kapitel 27 · Bearbeitung, Senkungen, Kanten (Wi-8f 1-19-o.2)

Senkungen für Schrauben

Gewinde	Durchgangsloch mm	Zylindersenkung Ø mm (Zylinderschraube ISO 4762)	Senktiefe mm	Kegelsenkung 90° Ø mm (Senkschraube ISO 10642)
M3	3,4	6,5	3,4	6,5
M4	4,5	8	4,4	9
M5	5,5	10	5,4	11,5
M6	6,6	11	6,4	13,5
M8	9	15	8,6	18
M10	11	18	10,6	22,5
M12	13,5	20	12,6	27
M16	17,5	26	16,6	34
M20	22	33	20,6	40,5
M24	26	40	24,8	–

Senktiefe so, dass der Schraubenkopf leicht versenkt ist. Bei Unterlegscheiben Senkung entsprechend grösser.

Kanten und Fasen: Empfehlungen

Bauteil	Empfehlung
Allgemeine Aussenkanten	Fase 0,3 bis 0,5 × 45° oder gemäss Zeichnung (ISO 13715)
Gewinde-Anfang	Fase bis zum Kerndurchmesser, 45° (Bolzen) bzw. 90°- bis 120°-Senkung (Mutter)
Wellenabsatz	Übergangsradius oder Freistich (DIN 509), keine scharfe Innenkante
Lagersitze	Kantenabstand kleiner als Lager-Kantenabstand, damit das Lager satt anliegt
Passbohrungen	Einführfase 15° bis 30° erleichtert die Montage

Kapitel 28 · Schaben und Tuschieren (Wi-8f 1-19-o.1)

Schaben ist ein Kernkönnen im Werkzeugmaschinenbau und bei Retrofits. Geschabte Führungen tragen gleichmässig, halten Öl in den kleinen Vertiefungen und laufen dadurch ruhig und genau.

Merksatz: Auf 1 Quadratzoll (25,4 × 25,4 mm) sollen **10 tragende Punkte** sein, bei Schleifmaschinen bis **25 Punkte**.
Pro Durchgang nur ca. **60 % der blauen Punkte** wegschaben und immer **über das Kreuz** unter 45° schaben.

Vorgehen Schritt für Schritt

Schritt	Was tun
1. Vorbereiten	Teil und Tuschierplatte bzw. Lineal entgraten und sauber reinigen
2. Tuschieren	Tuschierfarbe sehr dünn auf die Tuschierplatte oder das Lineal auftragen. Werkstück darauf hin und her reiben
3. Tragbild lesen	Die blauen Stellen sind die hohen, tragenden Punkte
4. Schaben	Ca. 60 % der blauen Punkte wegschaben. Schabrichtung 45° zur Kante, bei jedem Durchgang die Richtung um 90° wechseln (über das Kreuz)
5. Wiederholen	Tuschieren und Schaben wiederholen, bis die Punktezahl pro Zoll erreicht und gleichmässig verteilt ist
6. Prüfen	Punkte in einem Quadrat von 25,4 × 25,4 mm zählen, an mehreren Stellen

Schabmaschine einstellen

Arbeitsgang	Messerwinkel	Hub

Arbeitsgang	Messerwinkel	Hub
Schruppen	25°	ca. 7 mm
Schlichten / Fertigschaben	40°	ca. 2 bis 2,5 mm

Hublänge einstellbar 0 bis 20 mm (mit 6-mm-Innensechskantschlüssel), Hubzahl bis ca. 1600 Hübe pro Minute.

Schabmesser schleifen

Werkzeug	Vorgehen
Hartmetall-Schabmesser	Auf der Diamantscheibe mit 5° Freiwinkel schleifen. Mit Petrol kühlen. Nur ganz leichter Anpressdruck (maximal ca. 20 Gramm)
Feile als Schaber (selber machen)	Normale Flachfeile an der Schleifscheibe mit 5° Freiwinkel anschleifen, zwei Seiten und vorne flach. Immer gut mit Wasser kühlen: Wird die Feile blau, verliert sie ihre Härte

Abziehstein reinigen

Schmutzigen Abziehstein mit feinem Quarzsand (ca. 0,1 mm) bestreuen, etwa 0,05 Liter Petrol daraufgeben und mit grossen Kreisbewegungen abziehen. Danach den Stein gut waschen.

Wichtig: Zum Reinigen eine eigene Reinigerplatte aus Baustahl (S235, früher St 37) oder ähnlich verwenden und am Waschplatz arbeiten. Danach den Stein immer gründlich auswaschen: **nie mit einem Stein, an dem noch Sand haftet, Führungen abziehen** – die Quarzkörner zerkratzen die geschabte Fläche und können grossen Schaden anrichten.

Zubehör in der Schaberei

Zubehör	Verwendung
Tuschierplatten (z. B. 1800 × 1200 mm, 800 × 600 mm)	Ebene Flächen tuschieren
Tuschierlineale, auch für Schwalbenschwanz	Führungsbahnen und Schwalbenschwanzführungen
Grosses Lineal ca. 400 mm breit	Lange Maschinenbetten (bis ca. 20 m) abschnittweise tuschieren
Geschliffene Wellen und Konen	Bohrungen und Kegel tuschieren
Geschabter Präzisionswinkel	Rechtwinkligkeit prüfen
Tuschierfarbe	Dose immer sauber und geschlossen halten; Auftragrolle in einem sauberen Plastiksack aufbewahren

Ein Staubkorn auf der Tuschierplatte verfälscht das ganze Tragbild: Sauberkeit ist beim Schaben das Wichtigste.

Kapitel 29 · Spanntechnik und Schneidstoffe (Wi-8f 1-19-m.1)

Schneidstoffe: ISO-Anwendungsgruppen

Gruppe	Farbe	Werkstoff
P	Blau	Stahl, Stahlguss
M	Gelb	Rostfreier Stahl
K	Rot	Grauguss, Sphäroguss
N	Grün	Aluminium, Kupfer, Messing, Kunststoffe
S	Braun	Titan, Nickel-Legierungen, hitzebeständige Stähle
H	Grau	Gehärteter Stahl, Hartguss

Zusatzzahl: klein (z. B. P10) = verschleissfest, für hohe Schnittgeschwindigkeit; gross (z. B. P40) = zäh, für unterbrochene Schnitte.

Wendeschneidplatten lesen (ISO 1832), Beispiel CNMG 12 04 08

Stelle	Beispiel	Bedeutung
1	C	Plattenform: C = Rhombus 80°, D = Rhombus 55°, S = Quadrat, T = Dreieck, V = Rhombus 35°, W = Trigon, R = rund
2	N	Freiwinkel: N = 0° (negativ), B = 5°, C = 7°, P = 11°
3	M	Toleranzklasse der Platte
4	G	Befestigung und Spanbrecher: G = Loch, Spanbrecher beidseitig; M = Loch, einseitig; T = Senkloch; A = Loch ohne Spanbrecher
5	12	Schneidenlänge in mm
6	04	Plattendicke in mm
7	08	Eckenradius: 04 = 0,4 mm, 08 = 0,8 mm, 12 = 1,2 mm

Spannzylinder und Spannkraft

Grösse	Formel / Hinweis
Spannkraft Zylinder	F [daN] = p [bar] × A [cm²] × η (η ≈ 0,9)
Zugseite (Ringfläche)	A = (D² − d²) × π / 400, D = Kolben, d = Kolbenstange in mm
Spannfutter	Spannkraft nimmt mit der Drehzahl ab (Fliehkraft). Höchstdrehzahl des Futters nie überschreiten
Kontrolle	Spannkraft regelmässig mit Spannkraftmesser prüfen, Futter schmieren

Kapitel 30 · Spindelnasen und Futterflansche (Drehmaschinen) (Wi-8f 1-19-m.2)

Welchen Spindelkopf hat die Drehmaschine? Das muss man wissen, bevor man ein Futter, einen Futterflansch oder eine Planscheibe bestellt. Hier stehen alle üblichen Arten mit den Massen. Am Schluss hilft ein Rechner, die Grösse aus den gemessenen Werten zu finden.

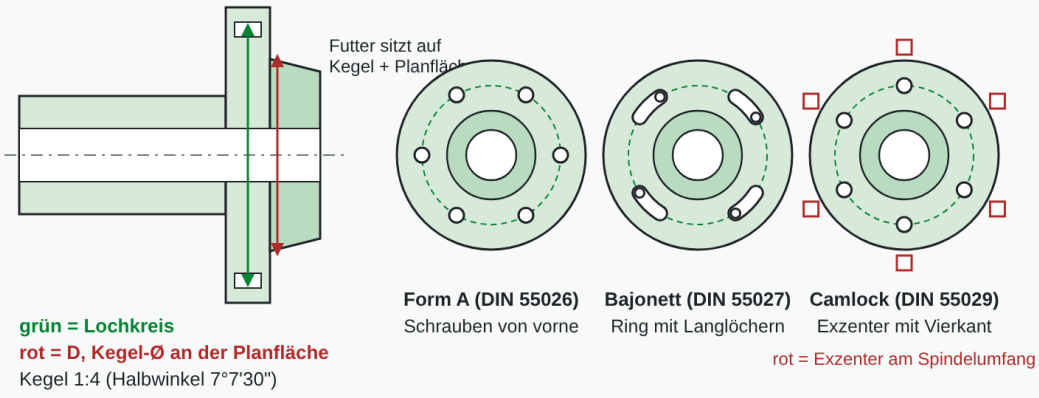
In diesem Kapitel: Welche Arten gibt es?Die ZapfenKurzkegel-TabelleLangkegel Typ LErkennen und messenSpindelnasen-Finder

Welche Arten gibt es?

Art	Norm	Kegel	So wird das Futter befestigt
Kurzkegel Form A (A1 / A2)	DIN 55026, ISO 702-1 (früher DIN 55021, «ASA»)	1:4	Schrauben von vorne durch das Futter in den Spindelflansch. A2 = ein Lochkreis, A1 = zusätzlich ein innerer Lochkreis
Bajonett	DIN 55027, ISO 702-3	1:4	Stiftschrauben mit Muttern am Futter, hinten am Spindelflansch ein drehbarer Ring mit Langlöchern. Einstecken, Ring drehen, Muttern anziehen
Camlock D1	DIN 55029, ISO 702-2	1:4	Bolzen im Futter, in der Spindel Exzenter (Nocken). Mit dem Vierkant- bzw. Sechskantschlüssel drehen, bis die Markierung stimmt
Langkegel Typ L	American Long-Nose Taper (ASA B5.9)	3,5" pro Fuss	Futter auf den langen Kegel mit Passfeder, dann grosse Überwurfmutter mit dem Hakenschlüssel anziehen
Gewindespindel (alt)	verschieden, oft Zoll	kein Kegel	Futter direkt auf das Spindelgewinde geschraubt. Achtung: kann sich beim Bremsen oder im Linkslauf lösen

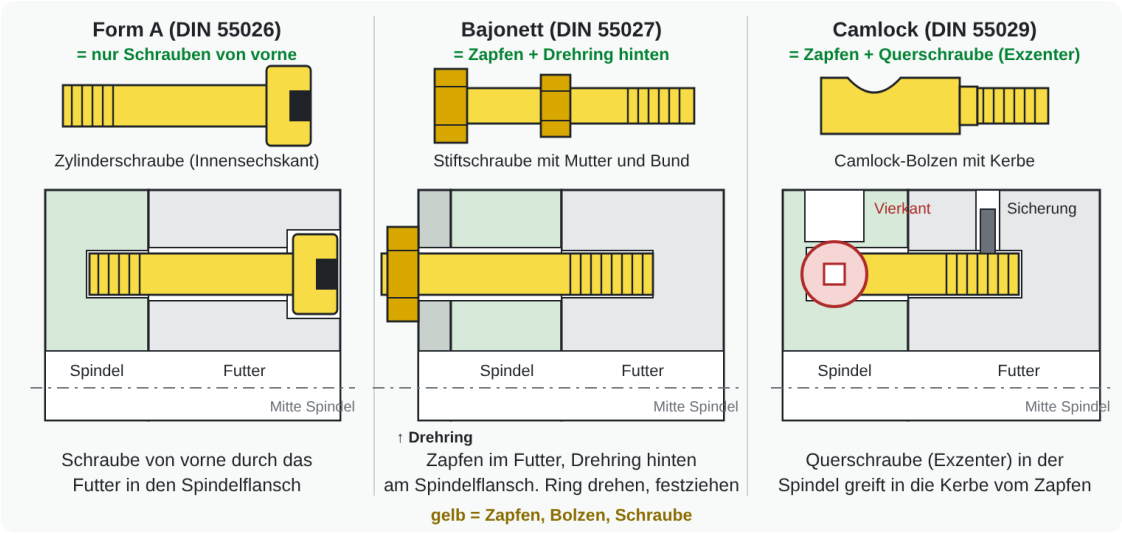
Wichtig zu wissen: Alle Kurzkegel (DIN 55021, 55026, 55027 und 55029) haben den **gleichen Kegel 1:4** und pro Grösse den **gleichen Kegel-Ø**. Sie unterscheiden sich nur in der **Befestigung**. Die Grösse (3, 4, 5, 6, 8, 11 …) ist ungefähr der Kegel-Ø in Zoll.

Kurzkegel 1:4 von der Seite



Die Zapfen: Schrauben, Stiftschrauben und Camlock-Bolzen

So sehen die Befestigungen im Schnitt aus (nach den WIAP-Skizzen im Blatt Wi_8_f_19_m30). Links ist immer die Spindel, rechts das Futter.



Der Unterschied in einem Satz:
• **Form A:** nur Schrauben, von vorne durch das Futter. Sie sitzen auf dem **gleichen Lochkreis**, wo beim Camlock die Zapfen hineingehen.
• **Bajonett:** Zapfen im Futter + **Drehring hinten** am Spindelflansch.
• **Camlock:** Zapfen im Futter + **Querschraube (Exzenter)** in der Spindel, die in die Kerbe vom Zapfen greift.

Art	Zapfen / Schraube	Worauf achten
Form A	Zylinderschrauben (Innensechskant), Gewinde im Spindelflansch: Grösse 5 M10, 6 M12, 8 M16, 11 M20, 15 und 20 M24, 28 M30	Nur hochfeste Schrauben in der Festigkeit, die der Futterhersteller vorgibt. Über Kreuz anziehen, Anzugsmoment nach Futterhersteller
Bajonett	Stiftschrauben mit Mutter, fest im Futter eingeschraubt. Hinten am Spindelflansch ein drehbarer Bajonettring mit Langlöchern	Futter aufsetzen, Ring drehen, bis die Zapfen gehalten sind, dann über Kreuz festziehen. Stiftschrauben müssen gleich weit herausstehen
Camlock	Camlock-Bolzen mit Kerbe, im Futter eingeschraubt und mit einer Sicherungsschraube gehalten. In der Spindel Exzenter (Nocken) mit Vierkant	Exzenter mit dem Vierkantschlüssel drehen. Die Markierung am Exzenter muss im geschlossenen Zustand zwischen den zwei Marken an der Spindel stehen. Steht sie ausserhalb, Bolzen nachstellen (Sicherungsschraube lösen, Bolzen eine Umdrehung rein oder raus). Bolzen nicht zwischen Futtern tauschen
Langkegel L	Keine Zapfen: Passfeder auf dem Kegel und grosse Überwurfmutter	Kegel und Mutter sauber, Mutter mit dem Hakenschlüssel fest anziehen

Kurzkegel 1:4: Masse pro Grösse

Grösse	D Kegel-Ø mm (an der Planfläche)	Lochkreis mm (A2, Bajonett, Camlock)	innerer Lochkreis A1 mm	Schraube Form A	Anzahl Bajonett	Anzahl Camlock
3	53,975	70,6	–	–	3	3
4	63,513	82,6	–	–	3	3
5	82,563	104,8	61,5 ⚠	M10	4	6
6	106,375	133,4	82,6	M12	4	6
8	139,719	171,4	111,1	M16	4	6
11	196,869	235,0	165,1	M20	6	6
15	285,775	330,2	247,6	M24	–	6
20	412,775	463,6	368,3	M24	–	6
28	584,225	647,7	–	M30	–	–

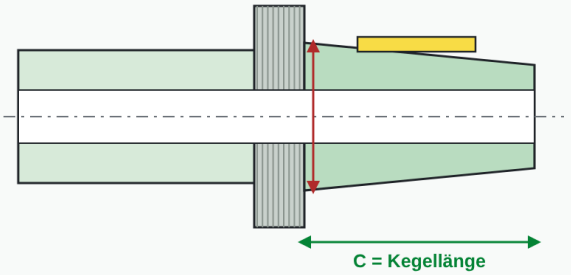
Toleranz von D: Kleinstmass wie in der Tabelle, Grösstmass etwa 0,013 bis 0,027 mm grösser. Bei Grösse 3 und 4 sind die Lochkreise nur für Bajonett und Camlock genormt. Die Anzahl Schrauben bei Form A hängt vom Futter ab (meist 3, 4 oder 6): am Futter zählen. Gelb mit ⚠ = noch zu klären.

Achtung bei alten Unterlagen: In alten Tabellen und Katalogen sind bei den Grössen 8, 15 und 20 oft der äussere und der innere Lochkreis vermischt (z. B. 368,3 mm bei Grösse 20: Das ist der innere Lochkreis A1, der äussere ist 463,6 mm). Darum immer beide Lochkreise am Teil nachmessen.

Langkegel Typ L (American Long-Nose Taper)

Der Langkegel L00 bis L3 war vor der Camlock-Zeit an vielen amerikanischen und europäischen Drehmaschinen. Er hat einen langen Kegel mit Passfeder und eine grosse Überwurfmutter mit Zollgewinde. Unsere eigene Werkstattmaschine, eine Angelini AVM 165, hat laut Betriebsanleitung die Spindelnase **L00** (auf Wunsch gab es sie auch mit Camlock).

Langkegel Typ L von der Seite



gelb = Passfeder (Keil) auf dem Kegel

grau = Überwurfmutter mit Zollgewinde (A), wird mit dem Hakenschlüssel angezogen

rot = B, grösster Kegel-Ø

Kegel 3,5 Zoll pro Fuss (Halbwinkel 8°17'50")

Grösse	B grösster Kegel-Ø mm	A Mutter-Gewinde (UNS)	Gewinde-Ø / Steigung mm	C Kegellänge mm	Mutterfläche bis Flanschfläche mm	Passfeder Breite mm	Passfeder Länge mm	Passfeder Höhe F mm
L00	69,850	3 3/4" – 6 Gg	95,25 / 4,23	50,80	14,3 / 16,7 ⚠	9,53	38,1	34,80
L0	82,550	4 1/2" – 6 Gg	114,30 / 4,23	60,33	15,9 / 17,5 ⚠	9,53	44,45	41,15
L1	104,775	6" – 6 Gg	152,40 / 4,23	73,03	19,1	15,88	60,32	52,26
L2	133,350	7 3/4" – 5 Gg	196,85 / 5,08	85,73	25,4	19,05	73,2	66,55
L3	165,100	10 3/8" – 4 Gg	263,53 / 6,35 ⚠	98,43	28,6 / 27,0 ⚠	25,40	82,55	82,42

Kegel 3,5 Zoll pro Fuss, das heisst Kegelwinkel 16°35'40", Halbwinkel 8°17'50". Gg = Gänge pro Zoll. ⚠ Mutterfläche bis Flanschfläche: In den WIAP-Unterlagen und in anderen Quellen stehen bei L00, L0 und L3 zwei verschiedene Werte, noch zu klären. ⚠ L3: 10 3/8 Zoll = 263,53 mm (im alten WIAP-Blatt stand 259,5).

Warnung: Einige europäische Hersteller haben nur den **Kegel** vom Typ L übernommen. Das **Gewinde der Mutter** und manchmal auch die **Passfeder** sind metrisch. Beispiel: Bei einer Maschine von Meuser mit L0 soll die Mutter **M115 × 3** haben statt normal 114,3 mm mit 4,23 mm Steigung (4 1/2" – 6 Gg). Darum immer **Gewinde-Ø, Steigung, Kegellänge und Passfeder** messen, bevor man bestellt.

Erkennen und messen in 4 Schritten

Schritt	Was tun
1. Befestigung anschauen	Schrauben von vorne durch das Futter → **Form A**. Drehbarer Ring hinten am Spindelflansch → **Bajonett**. Vierkant-Löcher am Spindelumfang → **Camlock**. Grosse Ringmutter mit Nuten und Passfeder → **Langkegel L**. Gewinde auf der Spindel → **Gewindespindel**
2. Kegel-Ø messen	Am grossen Ende des Kegels, direkt an der Planfläche. Wenn man weiter vorne misst, ist der Wert kleiner: Bei Kegel 1:4 wird der Ø pro 4 mm Länge 1 mm kleiner
3. Lochkreis messen	Bei gerader Anzahl Löcher: Mitte bis Mitte von zwei gegenüberliegenden Löchern = Lochkreis. Sonst den Abstand von zwei Nachbarlöchern messen und den Rechner unten nehmen
4. Schrauben und Gewinde	Anzahl Schrauben oder Bolzen zählen, Gewinde messen (metrisch oder Zoll?)

Spindelnasen-Finder

Gemessenen Kegel-Ø eingeben. Wenn möglich auch die Anzahl Löcher und den Abstand von zwei Nachbarlöchern (Mitte bis Mitte), dann rechnet der Finder den Lochkreis aus.

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-fertigung/

Formel Lochkreis: LK = Abstand ÷ sin(180° ÷ Anzahl Löcher). Bei 3 Löchern: Abstand ÷ 0,866, bei 4 Löchern: Abstand × 1,414, bei 6 Löchern: Abstand × 2.

Morsekegel (DIN 228-1)

Der Morsekegel (MK) hält Bohrer, Bohrfutter, Reitstockspitzen und Reduzierhülsen durch **Selbsthemmung**: Der Kegel ist so schlank (ca. 1:20), dass er allein durch Reibung hält und das Drehmoment überträgt. Gelöst wird er mit einem Austreiber (Keil) durch das Querloch.

MK	D mm (Bezugs-Ø)	D1 mm	d2 mm	L3 mm	L4 mm	b mm (Lappen)	Kegel %
0	9,045	9,2	6,1	56,5	59,5	3,9	5,205
1	12,065	12,2	9,0	62,0	65,5	5,2	4,988
2	17,780	18,0	14,0	75,0	80,0	6,3	4,995
3	23,825	24,1	19,1	94,0	99,0	7,9	5,020
4	31,267	31,6	25,2	117,5	124,0	11,9	5,194
5	44,399	44,7	36,5	149,5	156,0	15,9	5,263
6	63,348	63,8	52,4	210,0	218,0	19,0	5,214

D = Durchmesser in der Bezugsebene (grosses Ende des Kegels), D1 = grösster Schaft-Ø, d2 = Ø am kleinen Ende, b = Dicke des Austreiblappens, L3 / L4 = Kegellänge bzw. Gesamtlänge des Schafts (Bezeichnung nach dem alten WIAP-Blatt, bitte prüfen). Kegel % = Durchmesseränderung pro 100 mm Länge (ca. 5 % ≈ 1:20).

Praxis	Hinweis
Sauber halten	Kegel und Aufnahme vor dem Einsetzen reinigen und trocken halten. Ein Span oder Öl im Kegel: Er hält nicht, dreht durch und beschädigt die Aufnahme
Prüfen	Tuschierfarbe dünn auf den Kegel, eindrehen: Er muss auf der ganzen Länge tragen. Grate mit dem Ölstein entfernen
Lösen	Nur mit dem passenden Austreiber, nie mit Hammer auf den Kegel schlagen
Reduzierhülsen	Erlauben kleinere MK in grösseren Aufnahmen (z. B. MK 2 in MK 4); jede Hülse erhöht aber den Rundlauffehler

Kapitel 31 · Zentrierbohrungen (Wi-8f 1-4.2)

Zentrierbohrungen nach ISO 6411 / DIN 332-1, Senkwinkel 60°.

Bohrungs-Ø d mm	Form A: Senk-Ø mm	Form B: Schutzsenkung-Ø mm
1	2,12	3,15
1,25	2,65	4
1,6	3,35	5
2	4,25	6,3
2,5	5,3	8
3,15	6,7	10
4	8,5	12,5
5	10,6	16
6,3	13,2	18
8	17	22,4
10	21,2	28

Form	Beschreibung
A	60°-Senkung ohne Schutzsenkung, Standard
B	60°-Senkung mit 120°-Schutzsenkung, schützt die Zentrierung vor Beschädigung
R	Gewölbte Laufbahn, bessere Lage auf der Spitze, für genaue Teile

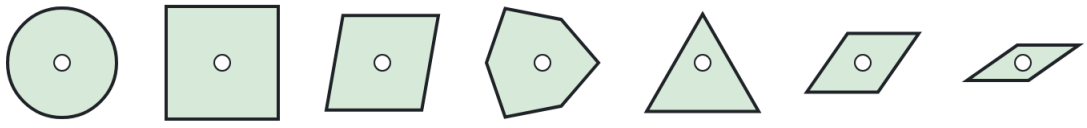
Zeichnungsangabe z. B. «ISO 6411-A2,5/5,3». Zentrierbohrer vor dem Bohren genau auf Mitte setzen, mit hoher Drehzahl und kleinem Vorschub arbeiten.

Kapitel 32 · Drehwerkzeuge (Wi-8f 1-4.1)

Die richtige Wendeschneidplatte und ein stabil gespannter Drehmeissel entscheiden über Oberfläche, Massgenauigkeit und Standzeit.

Merksatz: Kurz und stabil spannen, Schneide genau **auf Drehmitte**, und die Platte passend zur Arbeit wählen: **grosser Eckenwinkel und Radius zum Schruppen**, **spitze Platte und kleiner Radius zum Schlichten und Kopieren**.

Wendeplattenformen

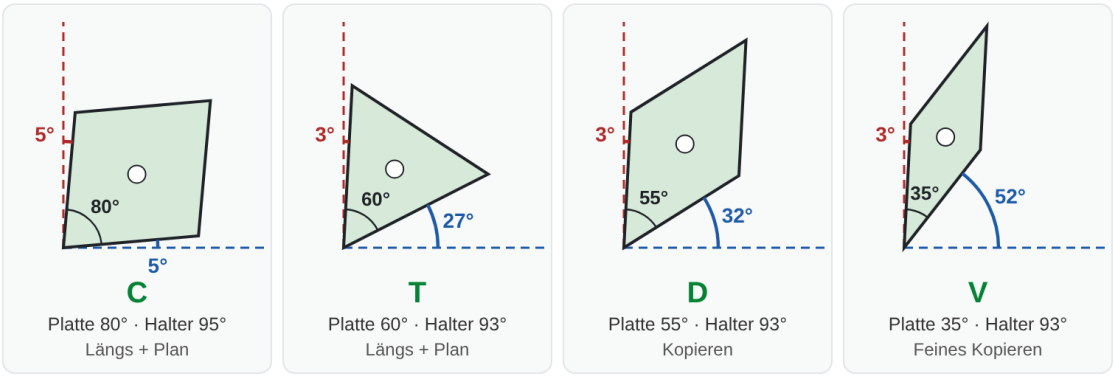


R rund | **S** 90° | **C** 80° | **W** 80° Trigon | **T** 60° | **D** 55° | **V** 35°

◄ stabiler, für Schruppenspitzer, besser zugänglich, für Kopieren ►

Form	Eckenwinkel	Eigenschaften	Typische Arbeit
R	rund	Stabilste Schneide, viele Schneiden-Stellen	Kopierdrehen, Schruppen, schwer zerspanbare Werkstoffe
S	90°	Sehr stabil, 4 Ecken (negativ 8)	Schruppen, Fasen unter 45°
C	80°	Stabil und vielseitig	Längs- und Plandrehen, Schruppen und Schlichten
W	80° (Trigon)	Stabil, 3 Ecken (negativ 6)	Längs- und Plandrehen, gute Allround-Platte
T	60°	Viele Ecken, gut zugänglich	Allgemeines Drehen, Gewinde-ähnliche Profile
D	55°	Spitzer, gut zugänglich	Kopierdrehen, Konturen
V	35°	Sehr spitz, empfindlich	Feines Kopierdrehen, Hinterdrehungen, Profile

So sitzen die Platten im Halter: die Freistellwinkel



– – – Planfläche (Stirnseite)**– – –** Drehfläche (Durchmesser)Ansicht von oben, Spitze nach unten wie bei einer Schrägbettmaschine

Was zeigen die kleinen Winkel? Die Schneiden dürfen weder an der Planfläche noch an der fertigen Drehfläche reiben. Darum stehen sie um einen kleinen Winkel frei:
• **C-Platte (80°) im 95°-Halter:** 5° zur Planfläche und 5° zur Drehfläche. Ideal für Längs- und Plandrehen bis in die Ecke.
• **T-, D- und V-Platte im 93°-Halter:** 3° zur Planfläche und je nach Platte 27°, 32° oder 52° zur Drehfläche. Je spitzer die Platte, desto mehr Platz zum Kopieren und Hinterdrehen.

Begriff	Wo	Bedeutung
Freistellwinkel	Ansicht von oben (Zeichnung oben)	Abstand der Schneiden zur Plan- und Drehfläche, damit nichts reibt. Ergibt sich aus Halter-Einstellwinkel und Plattenform
Freiwinkel	Ansicht von der Seite (unter der Schneide)	Ist im 2. Buchstaben der Platte: N = 0° (negativ), B = 5°, C = 7°, P = 11°. Eine negative Platte bekommt ihren Freiwinkel erst durch das Neigen im Halter (ca. 6°)
Einstellwinkel	Ansicht von oben	Winkel der Hauptschneide zur Vorschubrichtung, im Halter festgelegt (z. B. L = 95°, J = 93°)

Bezeichnung lesen (ISO 1832) mit 4 Beispielen

Stelle	Bedeutung	CNMM 120408	DNMG 150408	VBMT 160402	TNMG 160412
1	Plattenform	C = 80°	D = 55°	V = 35°	T = 60°
2	Freiwinkel	N = 0° (negativ)	N = 0° (negativ)	B = 5° (positiv)	N = 0° (negativ)
3	Toleranzklasse	M	M	M	M

Stelle	Bedeutung	CNMM 120408	DNMG 150408	VBMT 160402	TNMG 160412
4	Loch und Spanbrecher	M = Loch, Spanbrecher einseitig	G = Loch, Spanbrecher beidseitig	T = Senkloch, Spanbrecher einseitig	G = Loch, Spanbrecher beidseitig
5	Schneidenlänge mm	12	15	16	16
6	Plattendicke mm	04 = 4,76	04 = 4,76	04 = 4,76	04 = 4,76
7	Eckenradius mm	08 = 0,8	08 = 0,8	02 = 0,2	12 = 1,2

Nach den 7 Stellen folgt oft ein Hersteller-Zeichen für den Spanbrecher (z. B. -PM, -MF). Die Dicke «04» bedeutet 4,76 mm (3/16 Zoll). Weitere Erklärungen siehe Kapitel «Spanntechnik und Schneidstoffe».

Negative oder positive Platte?

	Negativ (Freiwinkel N = 0°)	Positiv (Freiwinkel B, C, P)
Schneide	Sehr stabil, auf beiden Seiten nutzbar (doppelt so viele Ecken)	Scharf, leichter Schnitt, nur eine Seite nutzbar
Schnittkraft	Höher	Kleiner
Gut für	Schruppen, grosse Spantiefen, stabile Maschinen	Schlichten, schlanke Teile, Innendrehen, kleine Maschinen

Eckenradius und Oberfläche

Die Rautiefe hängt vor allem vom **Vorschub f** und vom **Eckenradius r** ab: **$Rt \approx f^2 / (8 \times r)$**. Doppelter Vorschub ergibt die vierfache Rautiefe!

Vorschub f mm/U	r = 0,4	r = 0,8	r = 1,2	r = 1,6
0,1	3,1	1,6	1,0	0,8
0,15	7,0	3,5	2,3	1,8
0,2	13	6,3	4,2	3,1
0,25	20	9,8	6,5	4,9
0,3	28	14	9,4	7,0
0,4	50	25	17	13

Werte: theoretische Rautiefe Rt in µm. Ra ist etwa Rt / 4. Faustregel: Vorschub höchstens ca. die Hälfte des Eckenradius (Schlichten) bzw. bis zum Eckenradius (Schruppen). Kleiner Radius gibt weniger Vibrationen bei schlanken Teilen.

Drehmeissel-Halter lesen (ISO 5608), Beispiel PCLNR 2525 M12

Teil	Beispiel	Bedeutung
Klemmung	P	Hebelklemmung über das Loch (weitere: C = Klemmfinger oben, M = Finger und Loch, S = Schraube)
Plattenform	C	Für Platte C (80°)
Einstellwinkel	L	95°, Längs- und Plandrehen (weitere: J = 93°, K = 75°, S = 45°)
Freiwinkel Platte	N	Für negative Platte
Ausführung	R	Rechts (L = links, N = neutral)
Schaft	2525	Schafthöhe 25 mm × Schaftbreite 25 mm
Länge	M	150 mm
Schneidenlänge	12	Passend für Platte CNMG 12…

Schneide auf Drehmitte

Die Schneidenspitze muss genau auf der Drehmitte stehen (Toleranz ca. ± 0,1 mm).

Schneide zu hoch	Schneide zu tief
Freifläche reibt, Wärme, Verschleiss, schlechte Oberfläche	Beim Plandrehen bleibt in der Mitte ein Zapfen stehen, Platte kann brechen

Prüfen: Mit der Reitstockspitze vergleichen oder eine Plan-Probe drehen; bleibt in der Mitte ein Zapfen stehen, steht die Schneide zu tief. Unterlagen nur aus geschliffenem Stahl, nie mehrere dünne Bleche.

Bohrstangen und Innendrehen: wie weit darf man auskragen?

Merksatz: Die Auskraglänge wird in «× Bohrstangen-Durchmesser (BD)» angegeben. **Immer die dickste mögliche Bohrstange und die kürzeste mögliche Auskragung** wählen.

Bohrstange	Max. Auskragung ca.
Massive Stahlbohrstange	bis 4 × BD
Hartmetall-Bohrstange	bis 6 × BD
Stahl, schwingungsgedämpft, kurz	4 bis 7 × BD
Stahl, schwingungsgedämpft, lang	7 bis 10 × BD
Hartmetallverstärkt, schwingungsgedämpft	10 bis 14 × BD

Beispiel: Bohrstange Ø 32 mm aus Stahl: höchstens ca. 4 × 32 = 128 mm herausstehen lassen. Für Innendrehen positive Platten mit kleinem Eckenradius wählen und das Kühlmittel durch die Bohrstange führen, damit die Späne herauskommen.

Probleme beim Drehen und was hilft

Problem	Mögliche Ursache	Was tun
Vibrationen, Rattern	Zu lange Auskragung, zu grosser Eckenradius, zu kleiner Vorschub	Kürzer spannen, kleineren Radius, positive Platte, Vorschub etwas erhöhen, Drehzahl ändern
Schlechte Oberfläche	Zu grosser Vorschub, verschlissene Ecke, Aufbauschneide	Vorschub senken oder Radius vergrössern, Ecke wechseln, Schnittgeschwindigkeit erhöhen
Aufbauschneide (Material klebt an der Schneide)	Schnittgeschwindigkeit zu tief, Werkstoff klebt (Alu, rostfrei)	Schnittgeschwindigkeit erhöhen, scharfe positive Platte, Kühlschmierung
Lange Wirrspäne	Falscher Spanbrecher, zu kleiner Vorschub oder Spantiefe	Spanbrecher passend wählen, Vorschub oder Spantiefe erhöhen
Schneide bricht	Zu grosser Vorschub, unterbrochener Schnitt, Schneide zu tief	Zähere Sorte, stabilere Plattenform, Vorschub senken, Spitzenhöhe prüfen
Schneller Verschleiss	Schnittgeschwindigkeit zu hoch, falsche Sorte	Schnittgeschwindigkeit senken, passende ISO-Gruppe wählen (P, M, K, N, S, H)

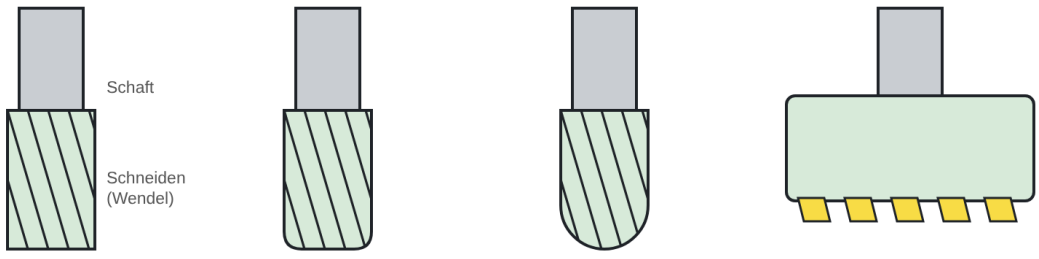
Schnittgeschwindigkeiten und Drehzahlrechner siehe Kapitel Zerspanung.

Kapitel 33 · Fräswerkzeuge (Wi-8f 1-5)

Ein einfacher Überblick über die wichtigsten Fräswerkzeuge. Weitere Unterkapitel folgen.

Merksatz: Fräser **so kurz wie möglich spannen** und auf guten **Rundlauf** achten.
Auf CNC-Maschinen meist im **Gleichlauf** fräsen, auf alten Maschinen mit Spiel in der Spindel im **Gegenlauf**.
Für Aluminium **wenige Schneiden** (viel Platz für Späne), für Stahl mehr Schneiden.

Die wichtigsten Fräser



Schaftfräser
gerade Stirn, scharfe Ecke

Torusfräser
Stirn mit Eckenradius

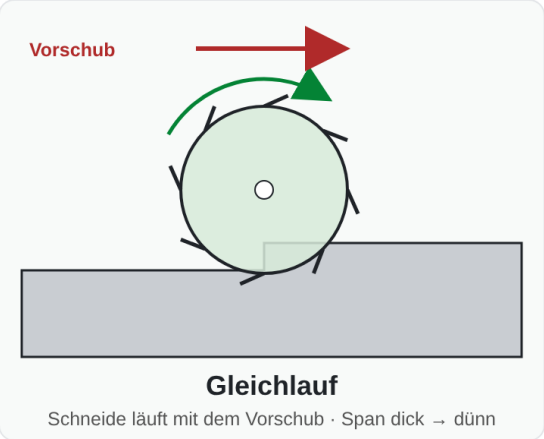
Kugelfräser
halbrunde Stirn

Planfräser
mit Wendeplatten

Fräser	Wofür
Schaftfräser 2 Schneiden	Nuten, Taschen, Eintauchen (über Mitte schneidend), Aluminium
Schaftfräser 3 bis 4 Schneiden	Seiten- und Nutenfräsen in Stahl, Schlichten
Schaftfräser 5 bis 6 und mehr Schneiden	Schlichten, harte Werkstoffe, hohe Vorschübe

Fräser	Wofür
Torusfräser (Eckenradius)	Taschen mit Radius im Grund, stabile Ecken, Schruppen
Kugelfräser	3D-Formen, Rundungen, Kopierfräsen
Planfräser / Messerkopf	Grosse ebene Flächen, mit Wendeplatten; Einstellwinkel 45° (ruhig) oder 90° (bis an die Schulter)
Eckfräser 90°	Absätze und Schultern mit Wendeplatten
Scheibenfräser	Tiefe, schmale Nuten, Schlitze
T-Nutenfräser	T-Nuten in Maschinentischen
Schwalbenschwanzfräser	Schwalbenschwanzführungen
Fasenfräser (z. B. 90°)	Fasen und Entgraten
Gewindefräser	Innen- und Aussengewinde auf CNC (Zirkularfräsen)

Gleichlauf oder Gegenlauf?



Fräser dreht im Uhrzeigersinn (grüner Pfeil). Grau = Werkstück, die tiefere Fläche ist schon gefräst. Gleichlauf: Die Zähne treten oben in das Material ein und laufen nach unten (Span beginnt dick). Gegenlauf: Die Zähne treten unten ein und laufen nach oben (Span beginnt dünn, die Schneide reibt zuerst).

	Gleichlauf	Gegenlauf
Bewegung	Schneide und Vorschub laufen in gleicher Richtung	Schneide läuft gegen den Vorschub
Span	Beginnt dick, endet dünn	Beginnt dünn, endet dick
Vorteile	Bessere Oberfläche, längere Standzeit, weniger Wärme	Funktioniert auch mit Spiel in der Vorschubspindel
Wann	CNC-Maschinen mit spielfreiem Kugelgewindetrieb	Alte, konventionelle Maschinen mit Trapezspindel; harte Gusshaut

Achtung: Im Gleichlauf auf einer Maschine mit Spiel kann der Fräser das Werkstück oder den Tisch «hineinziehen». Das ist gefährlich und kann den Fräser zerbrechen.

Fräs-Rechner

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-fertigung/

Formeln

Grösse	Formel
Drehzahl	n [1/min] = vc × 1000 / (π × D)
Vorschubgeschwindigkeit	vf [mm/min] = fz × z × n
Vorschub pro Zahn	fz [mm] = vf / (z × n)

Richtwerte für Vollhartmetall-Schaftfräser

Werkstoff	vc m/min	fz bei Ø 6 mm	fz bei Ø 10 mm	fz bei Ø 16 mm	fz bei Ø 20 mm
Baustahl	120 bis 180	0,03	0,05	0,07	0,08
Vergütungsstahl	80 bis 140	0,025	0,04	0,06	0,07
Rostfreier Stahl	50 bis 90	0,02	0,035	0,05	0,06
Grauguss	100 bis 160	0,03	0,05	0,07	0,08

Werkstoff	vc m/min	fz bei Ø 6 mm	fz bei Ø 10 mm	fz bei Ø 16 mm	fz bei Ø 20 mm
Aluminium	300 bis 600	0,04	0,07	0,10	0,12

Richtwerte für Seitenfräsen mit mittlerer Schnittbreite. Beim Nutenfräsen (volle Breite) Vorschub um ca. 30 % senken. HSS-Fräser: Schnittgeschwindigkeit ca. 1/4 bis 1/3 davon. Die Angaben des Werkzeugherstellers haben Vorrang.

Spannen

Aufnahme	Eigenschaften
Spannzange (z. B. ER)	Vielseitig, guter Rundlauf, für viele Durchmesser
Weldon-Aufnahme	Spannschraube auf Spannfläche am Schaft, sehr fest, Fräser kann nicht herausrutschen; Rundlauf mittel
Schrumpffutter	Sehr guter Rundlauf und Halt, für hohe Drehzahlen; braucht Schrumpfgerät
Hydrodehnspannfutter	Sehr guter Rundlauf, dämpft Vibrationen, gut zum Schlichten

Probleme beim Fräsen und was hilft

Problem	Was tun
Rattern, Vibrationen	Kürzer spannen, Drehzahl ändern, kleinere Schnittbreite, Fräser mit ungleicher Teilung
Fräser bricht	Vorschub pro Zahn senken, Späne besser abführen (Luft, Kühlmittel), Gegenlauf auf alten Maschinen
Späne verstopfen (Alu)	Weniger Schneiden, polierte Spannuten, viel Kühlmittel oder Luft
Schlechte Oberfläche	Gleichlauf, schärfere Schneide, Rundlauf prüfen, Schlichtzugabe klein und gleichmässig

Kapitel 34 · Zerspanung (Wi-8f 1-3)

Drehzahlrechner

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-fertigung/

Formeln

Grösse	Formel
Schnittgeschwindigkeit	vc [m/min] = π × d [mm] × n [1/min] / 1000
Drehzahl	n [1/min] = vc × 1000 / (π × d)
Vorschubgeschwindigkeit	vf [mm/min] = f [mm/U] × n (Fräsen: fz × Zähne × n)
Schnittkraft	Fc [N] = ap [mm] × f [mm] × kc [N/mm²]
Schnittleistung	Pc [kW] = Fc [N] × vc [m/min] / 60 000 (kW × 1,36 = PS)
Motorleistung	P = Pc / η, η ≈ 0,7 bis 0,85

Schnittgeschwindigkeit Drehen (Richtwerte m/min)

Werkstoff	Hartmetall beschichtet	HSS
Baustahl (S235, S355)	180 bis 300	25 bis 35
Vergütungsstahl (C45, 42CrMo4)	150 bis 250	20 bis 30
Rostfreier Stahl	120 bis 200	10 bis 20
Grauguss	150 bis 300	15 bis 25
Aluminium	300 bis 1000	60 bis 150
Messing	200 bis 400	50 bis 100

WIAP-Startwerte für die Schnittgeschwindigkeit (alle Werkstoffe)

Vorsichtige Startwerte aus dem WIAP-Schulungsblatt, z. B. für ältere oder konventionelle Maschinen und unbekannte Werkzeuge. Mit modernen beschichteten Platten auf stabilen Maschinen sind die höheren Werte der Tabelle oben möglich.

Schneidstoff	Stahl bis 500 N/mm²	Stahl 500 bis 800	Stahl 800 bis 1200	Rostfreier Stahl	Werkzeugstahl	Grauguss	Messing	Alu-Legierung	Kunststoff (PVC)
HSS	24	18	12	8	12	18	50	70	45

Schneidstoff	Stahl bis 500 N/mm²	Stahl 500 bis 800	Stahl 800 bis 1200	Rostfreier Stahl	Werkzeugstahl	Grauguss	Messing	Alu-Legierung	Kunststoff (PVC)
HSS beschichtet (TiN)	32	24	15	10	15	24	70	93	60
Hartmetall	100	72	48	30	48	72	280	280	180

Werte in m/min, gelten für Aussendrehen und Bohren (= 100 %). Für die anderen Arbeiten den Wert mit dem Faktor unten verkleinern.

Arbeit	Anteil der Schnittgeschwindigkeit
Aussendrehen	100 %
Innendrehen	80 %
Einstechen	35 %
Bohren	100 %
Aufbohren (grössere Bohrung)	66 %
Flachsenken	66 %
90°-Senken	33 %
Reiben	33 %
Gewindeschneiden	33 %

Spezifische Schnittkraft (Richtwerte)

Werkstoff	kc1.1 N/mm²	mc	kc bei h = 0,2 mm, ca. N/mm²
S235JR (St 37)	1780	0,17	2340
C45	2220	0,14	2780
42CrMo4	2500	0,26	3800
16MnCr5	2100	0,26	3190
Rostfreier Stahl (1.4301)	2350	0,21	3290
Grauguss GG 25	1160	0,26	1760
Messing	780	0,18	1040
Aluminium	700	0,25	1050

kc = kc1.1 / h^mc, h = Spanungsdicke (beim Drehen ≈ Vorschub f). Die Werte sind Richtwerte; die Angaben des Werkzeugherstellers haben Vorrang.

Übungen: Drehzahl und Vorschub

Werkstoff Stahl bis 500 N/mm², Hartmetall-Wendeplatten, vc = 100 m/min (WIAP-Startwert).

Übung 1 (Fräsen): Ein Fräser Ø 150 mm hat 9 Wendeplatten. Jede Schneide soll 0,05 mm Span nehmen. Welchen Vorschub muss man eingeben?

Lösung: n = 100 × 1000 / (3,14 × 150) = **ca. 212 1/min**; vf = fz × z × n = 0,05 × 9 × 212 = **ca. 95 mm/min**.

Übung 2 (Drehen): Ein Werkstück Ø 120 mm wird mit 0,3 mm/U gedreht. Wie lange dauert ein Schnitt über 200 mm?

Lösung: n = 100 × 1000 / (3,14 × 120) = ca. 265 1/min; vf = 0,3 × 265 = ca. 80 mm/min; t = 200 / 80 = **ca. 2,5 min (ca. 150 s)**.

Übung 3 (Bohren und Reiben): Bohrung Ø 10 mm mit HSS-Bohrer, danach reiben. Welche Drehzahlen?

Lösung: Bohren vc = 24 m/min → n = 24 × 1000 / (3,14 × 10) = **ca. 760 1/min**. Reiben 33 % → vc ≈ 8 m/min → **ca. 250 1/min**.

Rechnen mit dem Drehzahlrechner oben oder den Formeln. Die Werte sind Startwerte: Bei Rattern, Hitze oder schlechter Oberfläche anpassen.

Kapitel 35 · Schweissen und Löten (Wi-8f 1-18-d)

Verfahren und ihre Kennzahlen, Schweisspositionen, Schweisssymbole auf der Zeichnung, Allgemeintoleranzen für Schweissteile, Schutz beim Schweissen und das Innenschweissen aus der WIAP-Praxis.

Merksatz: Schweissen ohne Schutz schadet sofort: Augen, Haut und Lunge schützen. Und: Jede Schweissnaht bringt Wärme und damit Eigenspannungen ins Bauteil, also Verzug. Darum wird nach dem Schweissen entspannt (Glühen oder WIAP® MEMV® VSR®, siehe Kapitel 46).

Schweissverfahren und Kennzahlen (ISO 4063)

Auf Zeichnungen und in Schweissanweisungen (WPS) steht das Verfahren als Kennzahl. Die erste Ziffer nennt die Gruppe.

Gruppe	Verfahren
1	Lichtbogenschweissen
2	Widerstandsschweissen
3	Gasschmelzschweissen
4	Pressschweissen
5	Strahlschweissen
7	Andere Schweissverfahren
8	Schneiden
9	Hartlöten und Weichlöten

Kennzahl	Verfahren	Kurz erklärt
111	Lichtbogenhandschweissen (Elektrode)	Umhüllte Stabelektrode, kein Schutzgas nötig; gut für Baustelle und Reparatur
12	Unterpulverschweissen (UP)	Lichtbogen brennt unter Pulver; für lange, dicke Nähte, automatisch
131	MIG-Schweissen	Drahtelektrode mit inertem Gas (z. B. Argon); Aluminium, Kupfer
135	MAG-Schweissen	Drahtelektrode mit aktivem Gas (Argon-CO2-Gemisch); das Standardverfahren für Stahl
136	MAG mit Fülldraht	Fülldraht mit aktivem Schutzgas
137	MIG mit Fülldraht	Fülldraht mit inertem Schutzgas
141	WIG-Schweissen	Wolframelektrode, Argon; saubere, feine Nähte, Rostfrei, Wurzellagen
15	Plasmaschweissen	Eingeschnürter, sehr heisser Lichtbogen
21	Widerstands-Punktschweissen	Bleche werden zwischen zwei Elektroden punktförmig verschweisst
22	Rollennahtschweissen	Wie Punktschweissen, aber mit Rollen als durchgehende Naht
23	Buckelschweissen	Angeprägte Buckel oder Mutternbuckel werden angeschweisst
24	Abbrennstumpfschweissen	Stirnflächen (z. B. Schienen, Stangen) werden abgebrannt und gestaucht
25	Pressstumpfschweissen	Stirnflächen werden erwärmt und zusammengepresst
311	Gasschweissen mit Sauerstoff-Acetylen (Autogen)	Flamme schmilzt Werkstück und Zusatzdraht
312	Gasschweissen mit Sauerstoff-Propan	Wie 311, mit Propan
41	Ultraschallschweissen	Kunststoffe, dünne Bleche, Drähte
42	Reibschweissen	Ein Teil dreht, Reibung erzeugt die Wärme; z. B. Wellen an Flansche
45	Diffusionsschweissen	Unter Druck und Wärme, ohne Schmelzen
47	Gaspressschweissen	Mit Flamme erwärmt, dann gepresst
51 / 511	Elektronenstrahlschweissen (511 im Vakuum)	Sehr schmale, tiefe Nähte, wenig Verzug
52 / 521 / 522	Laserstrahlschweissen (521 Festkörperlaser, 522 Gaslaser)	Schnell, schmale Naht, wenig Wärme
73	Elektrogasschweissen	Senkrechte Nähte an dicken Blechen

Gruppe	Verfahren	
74	Induktionsschweissen	Erwärmen durch Induktion, z. B. Rohre
75 / 753	Lichtstrahlschweissen (753 Infrarot)	Vor allem für Kunststoffe
78	Bolzenschweissen	Gewindebolzen und Stifte auf Bleche schweissen
81	Brennschneiden	Autogen-Schneiden von Stahl
82	Lichtbogenschneiden	Schneiden mit dem Lichtbogen
83	Plasmaschneiden	Auch Rostfrei und Aluminium
84	Laserstrahlschneiden	Genaue Konturen in Blech
91 / 912	Hartlöten (912 Flammhartlöten)	siehe Abschnitt Löten
924	Vakuumhartlöten	Im Vakuumofen, ohne Flussmittel
94	Weichlöten	siehe Abschnitt Löten
946	Induktionsweichlöten	Erwärmen mit Induktionsspule
952	Kolbenlöten	Mit dem Lötkolben, z. B. Elektronik, Bleche

Die alten Blätter (Stand ISO 4063:2000) enthielten weitere Unternummern. Bei Unklarheit die aktuelle Fassung der ISO 4063 bzw. die Schweissanweisung (WPS) beachten.

Schweisspositionen (ISO 6947)

Kurzzeichen	Name	So liegt die Naht
PA	Wannenposition	Waagrecht von oben geschweisst; Decklage oben. Einfachste Position
PB	Horizontalposition	Kehlnaht waagrecht, von oben in die Ecke geschweisst; Decklage oben
PC	Querposition	Naht läuft waagrecht an einer senkrechten Wand
PD	Horizontal-Überkopfposition	Kehlnaht waagrecht, von unten geschweisst; Decklage unten
PE	Überkopfposition	Waagrecht von unten geschweisst; Decklage unten. Schwierigste Position
PF	Steigposition	Senkrechte Naht, von unten nach oben geschweisst
PG	Fallposition	Senkrechte Naht, von oben nach unten geschweisst

Wenn möglich das Teil so drehen, dass in PA oder PB geschweisst werden kann: schneller, bessere Naht, weniger Fehler.

Schweisssymbole auf der Zeichnung (ISO 2553)

Eine Schweissangabe besteht aus mehreren Teilen:

Teil	Bedeutung
Pfeillinie	Zeigt auf die Stelle des Stosses, wo geschweisst wird.
Bezugslinie (ausgezogen)	Waagrechte Linie am Ende der Pfeillinie. Ein Symbol **auf der ausgezogenen Linie** bedeutet: Naht auf der **Pfeilseite**.
Strichlinie (gestrichelt)	Liegt parallel über oder unter der Bezugslinie. Ein Symbol **auf der Strichlinie** bedeutet: Naht auf der **Gegenseite**. Bei symmetrischen Nähten entfällt die Strichlinie.
Nahtsymbol	Zeigt die Form der Naht (siehe Tabelle unten); steht senkrecht auf der Bezugslinie.
Masse	Links vom Symbol die Nahtdicke (z. B. a5), rechts davon Anzahl und Länge der Nahtstücke.
Gabel (am Ende)	Zusatzangaben: Verfahren (Kennzahl ISO 4063), Schweissposition, Bewertungsgruppe, Zusatzwerkstoff.

Pfeilseite = die Seite des Stosses, auf welche die Pfeillinie zeigt. Gegenseite = die andere Seite.

Grundsymbole (Auswahl)

Naht	Symbol (vereinfacht)	Wann
I-Naht	zwei senkrechte Striche ||	Stumpfstoss dünner Bleche, ohne Fugenvorbereitung
V-Naht	V	Stumpfstoss, beide Kanten angeschrägt
HV-Naht	halbes V (ein senkrechter, ein schräger Strich)	Nur eine Kante angeschrägt, z. B. T-Stoss durchgeschweisst
Y-Naht / HY-Naht	V bzw. halbes V mit Steg nach unten	Wie V- bzw. HV-Naht, aber mit Steg (Kante nicht spitz)
U-Naht / J-Naht (HU)	U bzw. halbes U	Dicke Bleche, weniger Schweissgut als bei V
Steilflankennaht	V mit steilen Flanken und Unterlage	Dicke Bleche mit Badsicherung
Bördelnaht	zwei kleine Bögen	Dünne Bleche mit aufgebogenen Kanten
Kehlnaht	Dreieck ◺	Die häufigste Naht: T-Stoss, Eckstoss, Überlappung
Lochnaht /	Rechteck (oben offen)	Durch ein Loch oder einen Schlitz im oberen Blech

Naht	Symbol (vereinfacht)	Wann
Schlitznaht		
Punktnaht	Kreis ○	Punktschweissen
Liniennaht	Kreis mit zwei waagrechten Strichen	Rollennahtschweissen
Auftragung	zwei Bögen nebeneinander	Auftragsschweissen (Panzern, Reparatur)
Gegenlage	Bogen nach unten	Nachträglich auf der Wurzelseite geschweisste Lage

Doppelseitige Nähte entstehen durch Spiegeln des Symbols an der Bezugslinie: zwei V = **X-Naht**, zwei HV = **K-Naht**, zwei U = Doppel-U-Naht, zwei Kehlnähte = Doppelkehlnaht.

Zusatzsymbole

Zusatzsymbol	Bedeutung
Kreis am Knick der Pfeillinie	Ringsum-Naht: rundherum schweissen
Fähnchen am Knick	Baustellennaht: wird erst auf der Montage geschweisst
Gerader Strich über dem Symbol	Nahtoberfläche flach (eben bearbeitet)
Bogen nach oben (gewölbt)	Nahtoberfläche gewölbt (konvex)
Bogen nach unten (hohl)	Nahtoberfläche hohl (konkav)
Kleines Zeichen «kerbfrei»	Nahtübergänge kerbfrei (verschliffen)

Bemassung (Beispiele)

Angabe	Bedeutung
a3 ◺	Kehlnaht, Nahtdicke a = 3 mm (Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks)
z5 ◺	Kehlnaht, Schenkellänge z = 5 mm. Faustregel: a ≈ 0,7 × z
s4 ||	I-Naht durchgeschweisst, Nahtdicke s = 4 mm
a5 ◺ 2 × 20 (10)	Unterbrochene Kehlnaht: a = 5 mm, 2 Nahtstücke je 20 mm lang, Abstand zwischen den Stücken 10 mm
111 / ISO 5817-C / ISO 6947-PA	Angaben in der Gabel: Verfahren Lichtbogenhand (111), Bewertungsgruppe C nach ISO 5817, Schweissposition PA

Die Norm hiess früher DIN EN 22553, heute ISO 2553. Die Symbole sind gleich geblieben; im Zweifel die Zeichnungslegende oder den Konstrukteur fragen.

Aufgabe: Auf der Zeichnung steht auf der ausgezogenen Bezugslinie «a4 ◺» mit einem Kreis am Knick der Pfeillinie. Was ist zu schweissen?

Lösung: Kehlnaht mit Nahtdicke a = 4 mm auf der Pfeilseite, ringsum (rundherum) geschweisst.

Aufgabe: Das V-Symbol steht auf der Strichlinie. Auf welcher Seite wird geschweisst?

Lösung: Auf der Gegenseite, also auf der Seite des Stosses, die der Pfeillinie gegenüberliegt.

Allgemeintoleranzen für Schweisskonstruktionen (ISO 13920)

Gilt für Längen- und Winkelmasse an Schweissteilen ohne eigene Toleranzangabe. Auf der Zeichnung steht z. B. «ISO 13920-B». Für bearbeitete Masse gilt ISO 2768-1 (Kapitel 7).

Klasse	bis 30	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1000	über 1000 bis 2000	über 2000 bis 4000
A (fein)	± 1	± 1	± 1	± 2	± 3	± 4
B (mittel)	± 1	± 2	± 2	± 3	± 4	± 6
C (grob)	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11

Längenmasse in mm, Nennmassbereich in mm.

Klasse	Winkel: kürzerer Schenkel bis 400 mm	über 400 bis 1000 mm	über 1000 mm
A	± 20′	± 15′	± 10′
B	± 45′	± 30′	± 20′
C	± 1°	± 45′	± 30′

Bitte prüfen: Im alten Blatt stehen die Winkeltoleranzen als «± 20°, ± 15° …». Gemeint sind Winkelminuten (′), nur Klasse C bis 400 mm ist ± 1°. Die Norm kennt zusätzlich die Klasse D (sehr grob), die im alten Blatt fehlt.

Aufgabe: Ein geschweisster Rahmen ist 1500 mm lang, Zeichnungsangabe ISO 13920-B. Welche Länge ist zulässig?

Lösung: Klasse B, über 1000 bis 2000 mm: ± 4 mm. Zulässig sind 1496 bis 1504 mm.

Schutz beim Schweissen: Verblitzung

Das Licht des Lichtbogens enthält starke UV-Strahlung. Ohne Schweissschutzschild oder Schutzbrille wird die oberste Schicht der Hornhaut geschädigt: Das Auge ist «verblitzt» (Schweissblende). Auch Zuschauer und Kollegen in der Nähe sind gefährdet.

Thema	Was wissen
Wann merkt man es?	Meist erst einige Stunden nach dem Schweissen, oft in der Nacht.
Anzeichen	Schmerzen, Tränen, Lichtempfindlichkeit, Gefühl wie Sand im Auge (Fremdkörpergefühl), rote Augen.
Was hilft	Kühlende Umschläge, Augenverband, schmerzstillende Augentropfen (Arzt oder Apotheke). Meist heilt es innerhalb eines Tages ab.
Wiederholt verblitzt	Es können Narben auf der Hornhaut entstehen, die das Sehen dauerhaft verschlechtern.
Schutz	Immer Schweissschutzschild mit passender Schutzstufe, Schutzvorhänge gegen Kollegen, geschlossene Kleidung. Auch die Haut verbrennt durch UV-Licht (siehe Innenschweissen unten).

Bei starken Schmerzen oder wenn es nach einem Tag nicht besser ist: zum Arzt.

Innenschweissen von Rohren und Bohrungen (WIAP-Praxis)

Mit einem Innenschweissgerät (bei uns Castoline ID Weld 25) wird in Bohrungen und Rohren innen eine Schicht aufgetragen (z. B. Reparatur einer ausgeschlagenen Bohrung). Der Brenner dreht sich und fährt dabei schrittweise nach oben. Das Schweissgerät arbeitet im MIG/MAG-Verfahren. Erfahrungen aus einem Einsatz 2011:

Schritt	Was tun
1 Sicherheit	Gerät stromlos machen und Stecker ziehen, bevor Draht oder Kopf gewechselt wird. Augen, Gesicht und Hände schützen: Nach 30 Minuten ohne Handschutz war die Hand abends rot (UV-Verbrennung).
2 Draht einlegen	Drahtsorte nach Werkstoff wählen (Tabelle unten).
3 Gas prüfen	Drahtvorschub aushängen, Brenner starten und die Gasmenge messen. Danach den Draht wieder einhängen.
4 Kopf einbauen	Abstand Düsenstock zum Werkstück ca. 4 mm. Auf guten Rundlauf achten.
5 Schweissgerät einstellen	Betriebsart «Start mit Impuls, Stopp mit Impuls» wählen. Gute Masseverbindung herstellen (Anlauffarben an der Masseklemme zeigen schlechten Kontakt).
6 Probeschweissung	Zuerst an einem Probestück testen, dann Parameter anpassen und laufen lassen.
7 Draht ausbauen	Vorher Düse und Düsenhalter ausbauen.
Grösse	**Wert aus der Praxis**
Abstand Düsenstock – Werkstück	ca. 4 mm (maximal)
Gasmenge	Getestet mit 8 und 12 l/min; mit 0,8-mm-Draht 12 l/min
Strom / Spannung	Getestet mit 197 A / 28 V; gutes Resultat mit 146 A / 33,4 V
Drehzahl Kopf	11 U/min bei Bohrung Ø 220 mm ergibt 220 × 3,14 × 11 ≈ 7,6 m/min Schweissgeschwindigkeit (laut Gerätehandbuch 14 m/min)
Zu langsam	Bei 7 U/min stoppte der Draht und verschweisste mit der Düse.
Vorschub nach oben	2 mm pro Umdrehung, bei 11 U/min also 22 mm/min

Bitte prüfen: Für den Rundlauf Düsenstock zum Werkstück steht im Fotobericht «max. 1 mm», im Einstellblatt «max. 2 mm». Lieber den kleineren Wert einhalten.

Drahtsorte (Castoline-Nr.)	Für	Schutzgas (ISO 14175)
45250	Un- und niedriglegierte Stähle	M21 (Argon + 25 % CO2)
45500	Nichtrostende Stähle	I1 (100 % Argon)
45351	Warmfeste, verschleissfeste Auftragungen	M21
45554	Mischverbindungen und Auftragungen	M12 (Argon + 2,5 % CO2)
45751	Kupfer-Aluminium-Legierungen und Auftragungen	I1

Drähte gibt es in 0,8, 1,0 und 1,2 mm. Das Datenblatt des Drahtherstellers geht immer vor.

Löten

Beim Löten schmilzt nur das Lot, nicht das Grundmaterial. Das flüssige Lot fliesst in einen engen Spalt und verbindet die Teile. Flussmittel lösen die Oxidschicht und schützen die Lötstelle.

Art	Arbeitstemperatur	Typisch
Weichlöten (94)	unter 450 °C	Zinnlote; Elektrik, Kupferrohre für Wasser, Bleche. Geringe Festigkeit
Hartlöten (91)	über 450 °C	Silber- und Messinglote; Hartmetallplatten auf Werkzeuge, Kupferleitungen für Kälte, Stahlteile. Hohe Festigkeit

Regel	Warum
Lötstelle metallisch blank und fettfrei	Das Lot benetzt nur saubere Flächen
Enger, gleichmässiger Spalt	Das Lot wird durch die Kapillarwirkung in den Spalt gezogen
Bauteil erwärmen, nicht das Lot	Das Lot muss am warmen Bauteil schmelzen und fliessen
Flussmittelreste entfernen	Sie können korrodieren

Bereich 6 · Wi-8f Automation: Hydraulik, Pneumatik, Elektro

Hydraulik und Pneumatik, Grundlagen Strom, Elektro, Elektromotoren, Frequenzumrichter, SPS und Elektronik – auch als PDF für Lernende.

Kapitel 36 · Hydraulik (Wi-8f 1-19-d.3)

Kraft und Gewicht – Merksatz:
10 N ≈ 1 kg (genau: 1 kg = 9,81 N)
1 kN = 1000 N ≈ 100 kg (genau 102 kg)
10 kN ≈ 1 Tonne

Kraft-Umrechner N ⇄ kN ⇄ kg

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-elektro-automation/

Wichtige Formeln

Grösse	Formel
Kolbenkraft	F [daN] = p [bar] × A [cm²]
Kolbenfläche	A [cm²] = d² [mm] × π / 400
Kolbengeschwindigkeit	v [m/min] = Q [l/min] × 10 / A [cm²]
Hydraulische Leistung	P [kW] = p [bar] × Q [l/min] / 600 (kW × 1,36 = PS)
Antriebsleistung Pumpe	P [kW] = p × Q / (600 × η), η ≈ 0,85
Rohr-Innendurchmesser	d [mm] = 4,6 × √(Q [l/min] / v [m/s])

Zylinderkräfte (Kolbenseite, ohne Reibung)

Kolben-Ø mm	Fläche cm²	Kraft bei 50 bar kN	bei 100 bar kN	bei 160 bar kN	bei 200 bar kN
25	4,91	2,5≈ 250 kg	4,9≈ 500 kg	7,9≈ 810 kg	9,8≈ 1’000 kg
32	8,04	4≈ 410 kg	8≈ 820 kg	12,9≈ 1’300 kg	16,1≈ 1’600 kg
40	12,57	6,3≈ 640 kg	12,6≈ 1’300 kg	20,1≈ 2’000 kg	25,1≈ 2’600 kg
50	19,63	9,8≈ 1’000 kg	19,6≈ 2’000 kg	31,4≈ 3’200 kg	39,3≈ 4’000 kg
63	31,17	15,6≈ 1’600 kg	31,2≈ 3’200 kg	49,9≈ 5’100 kg	62,3≈ 6’400 kg
80	50,27	25,1≈ 2’600 kg	50,3≈ 5’100 kg	80,4≈ 8’200 kg	100,5≈ 10’200 kg
100	78,54	39,3≈ 4’000 kg	78,5≈ 8’000 kg	125,7≈ 12’800 kg	157,1≈ 16’000 kg
125	122,72	61,4≈ 6’300 kg	122,7≈ 12’500 kg	196,3≈ 20’000 kg	245,4≈ 25’000 kg
160	201,06	100,5≈ 10’200 kg	201,1≈ 20’500 kg	321,7≈ 32’800 kg	402,1≈ 41’000 kg

Strömungsgeschwindigkeit in Leitungen (Richtwerte)

Leitung	Geschwindigkeit m/s
Saugleitung	0,5 bis 1,5
Rücklaufleitung	2 bis 3
Druckleitung bis 100 bar	3 bis 5
Druckleitung über 100 bar	4 bis 6

Rohrverschraubungen 24° (DIN 2353 / ISO 8434-1)

Rohr-Aussen-Ø mm	Reihe L (leicht) Gewinde	Reihe S (schwer) Gewinde
6	M12 × 1,5	M14 × 1,5
8	M14 × 1,5	M16 × 1,5
10	M16 × 1,5	M18 × 1,5
12	M18 × 1,5	M20 × 1,5
15	M22 × 1,5	–
16	–	M24 × 1,5
18	M26 × 1,5	–
20	–	M30 × 2

Rohr-Aussen-Ø mm	Reihe L (leicht) Gewinde	Reihe S (schwer) Gewinde
22	M30 × 2	–
25	–	M36 × 2
28	M36 × 2	–
30	–	M42 × 2
35	M45 × 2	–
38	–	M52 × 2
42	M52 × 2	–

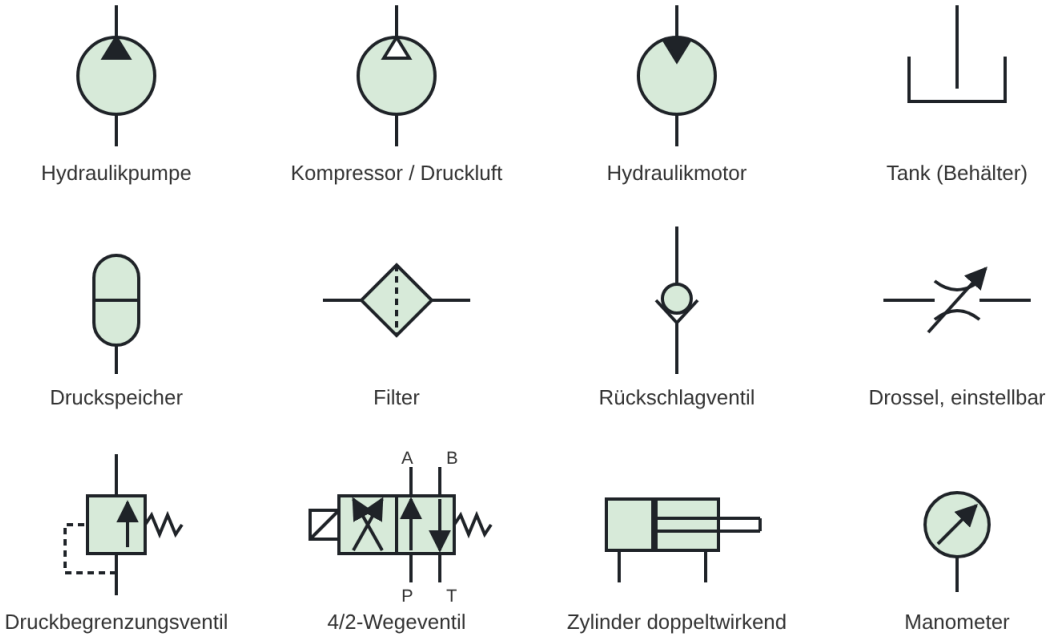
Einheiten

Umrechnung	
1 kN	= 1000 N ≈ 102 kg
1 bar	≈ 1 kg/cm² · = 0,1 MPa = 10 N/cm² = 14,5 psi
1 MPa	= 10 bar
1 l/min	= 16,67 cm³/s
1 US-Gallone	= 3,785 l

Vor Arbeiten an der Hydraulik: Anlage drucklos machen und Druckspeicher entladen!

Schaltzeichen lesen (ISO 1219)

Hydraulik- und Pneumatikpläne werden mit genormten Schaltzeichen nach ISO 1219 gezeichnet. Die Zeichen zeigen die **Funktion**, nicht das Aussehen oder die Einbaulage des Bauteils.



Form	Bedeutung
Kreis	Energie umwandeln: Pumpe, Kompressor, Motor; kleiner Kreis = Messgerät oder Rückschlagkugel
Dreieck ausgefüllt / leer	Ausgefüllt = Hydraulik (Öl), leer = Pneumatik (Luft). Spitze nach aussen = Pumpe (gibt Energie ab), Spitze nach innen = Motor (nimmt Energie auf)
Quadrat	Ventil oder Aufbereitung (Filter, Öler, Kühler). Beim Wegeventil steht jedes Quadrat für eine Schaltstellung
Pfeil im Quadrat	Durchflussrichtung; Querstrich «⊥» = Anschluss gesperrt
Feder, Spule, Hebel am Rand	Betätigung: Feder = Rückstellung, Rechteck mit Schrägstrich = Magnet (Spule), Knopf/Hebel = Handbetätigung
Linie voll / gestrichelt	Voll = Arbeits- oder Druckleitung, gestrichelt = Steuer- oder Leckölleitung; Punkt = Leitungsverbindung
Schräger Pfeil durch ein Zeichen	Einstellbar bzw. verstellbar (z. B. Verstellpumpe, einstellbare Drossel)

Gezeichnet wird ein Wegeventil immer in der **Ruhestellung**: Die Leitungen sind am Feld neben der Feder angeschlossen. Anschlüsse: P = Pumpe/Druck, T = Tank, A und B = Arbeitsleitungen (Pneumatik: 1, 2, 4, 3, 5, siehe Kapitel Pneumatik).

Kapitel 37 · Pneumatik (Wi-8f 1-19-d.4)

Merksatz für alle: 1 bar ≈ 1 kg auf 1 cm². Ein Zylinder mit 10 cm² Kolbenfläche drückt bei 6 bar also etwa 60 kg (genau: 1 bar = 1,02 kp/cm² = 10 N/cm²).
Kraft: 10 N ≈ 1 kg · 1 kN = 1000 N ≈ 100 kg · zum Kraft-Umrechner

Druck-Einheiten

Einheit	Umrechnung
1 bar	≈ 1 kg/cm² · = 10 N/cm² · = 0,1 MPa · = 100 kPa · = 14,5 psi
1 psi	= 0,0689 bar
1 atm	= 1,013 bar (Luftdruck auf Meereshöhe)
Werkstatt-Normdruck	6 bis 8 bar

Pneumatik: Aufbau, Vor- und Nachteile

Jede Druckluftanlage besteht aus vier Teilen: **Erzeugung** (Kompressor), **Verteilung** (Leitungen), **Aufbereitung** (Trockner, Filter, Regler, Öler) und **Steuerung mit Antrieben** (Ventile, Zylinder: der Teil, der die Arbeit macht).

Vorteile	Nachteile
Kräfte und Geschwindigkeiten sind einfach stufenlos einstellbar	Ausströmende Luft ist laut: Schalldämpfer verwenden
Luft ist überall vorhanden und läuft bei Lecks nicht als Öl aus	Kleine Kräfte, weil der Betriebsdruck meist unter 12 bar liegt
Zylinder und Motoren können ohne Schaden bis zum Stillstand überlastet werden	Druckluft ist teuer: Nur ca. 5 bis 10 % der Energie kommen als Arbeit an, der Rest wird beim Verdichten zu Wärme
Unempfindlich gegen Magnetfelder und Strahlung	Aufbereitung (trocken, sauber) ist aufwendig; Druckluftmotoren werden im Betrieb kalt

Merksatz: Druckluft ist eine der **teuersten Energien** in der Werkstatt. Nur einsetzen, wo es technisch nötig ist, und Lecks sofort beheben.

Druck und Wassersäule

Druck	entspricht
1 bar	ca. 10 m Wassersäule
2 bar	ca. 20 m
3 bar	ca. 30 m
6 bar	ca. 60 m
Alte Einheit	**Bedeutung**
at	Technische Atmosphäre: 1 at = 1 kp/cm² = 0,981 bar ≈ 10 m Wassersäule
atü	Überdruck in at (gegenüber der Umgebung), wie heute «bar» auf dem Manometer
atm	Physikalische Atmosphäre: 1 atm = 1,013 bar (Luftdruck auf Meereshöhe)

Alte Schmierpläne und Manometer zeigen oft «atm» oder «atü». Für die Werkstatt gilt: 1 at ≈ 1 atm ≈ 1 bar.

Übung: Eine Wasserstrahl-Schneidanlage arbeitet mit 3600 bar. Wie hoch wäre eine Wassersäule mit gleichem Druck?

Lösung: 1 bar ≈ 10 m → 3600 × 10 = **ca. 36’000 m = 36 km**.

Zylinderkräfte (effektiv, mit Reibung)

Druckkraft = Kolbenseite, Zugkraft = Stangenseite (Ringfläche). Werte in Newton (10 N ≈ 1 kg), mit Wirkungsgrad η ≈ 0,88, gerundet.

Kolben-Ø mm	Stangen-Ø mm	3 bar Druck N	3 bar Zug N	6 bar Druck N	6 bar Zug N
12	6	30≈ 3 kg	20≈ 2 kg	60≈ 6 kg	40≈ 4 kg
16	6	50≈ 5 kg	50≈ 5 kg	110≈ 11 kg	90≈ 9 kg

Kolben-Ø mm	Stangen-Ø mm	3 bar Druck N	3 bar Zug N	6 bar Druck N	6 bar Zug N
20	8	80≈ 8 kg	70≈ 7 kg	170≈ 17 kg	140≈ 14 kg
25	10	130≈ 13 kg	110≈ 11 kg	260≈ 27 kg	220≈ 22 kg
32	12	210≈ 21 kg	180≈ 18 kg	420≈ 43 kg	360≈ 37 kg
40	16	330≈ 34 kg	280≈ 29 kg	660≈ 67 kg	560≈ 57 kg
50	20	520≈ 53 kg	440≈ 45 kg	1040≈ 110 kg	870≈ 89 kg
63	20	820≈ 84 kg	740≈ 75 kg	1650≈ 170 kg	1480≈ 150 kg
80	25	1330≈ 140 kg	1200≈ 120 kg	2650≈ 270 kg	2390≈ 240 kg
100	25	2070≈ 210 kg	1940≈ 200 kg	4150≈ 420 kg	3890≈ 400 kg
125	32	3240≈ 330 kg	3030≈ 310 kg	6480≈ 660 kg	6050≈ 620 kg
160	40	5310≈ 540 kg	4980≈ 510 kg	10620≈ 1’100 kg	9950≈ 1’000 kg
200	40	8290≈ 850 kg	7960≈ 810 kg	16590≈ 1’700 kg	15920≈ 1’600 kg
250	50	12960≈ 1’300 kg	12440≈ 1’300 kg	25920≈ 2’600 kg	24880≈ 2’500 kg
320	63	21230≈ 2’200 kg	20410≈ 2’100 kg	42460≈ 4’300 kg	40820≈ 4’200 kg

Formel: F [N] = p [bar] × 10 × A [cm²] × η. Stangen-Ø nach üblicher Norm-Zylinderreihe (ISO 15552 / ISO 6432); beim Hersteller prüfen. Für sichere Auslegung Zylinder nur zu ca. 50 bis 70 % der berechneten Kraft belasten.

Luftverbrauch

Grösse	Formel
Luftverbrauch pro Hub	V [l] = A [cm²] × Hub [cm] × (p [bar] + 1) / 1000
Doppeltwirkender Zylinder	Verbrauch × 2 (Hin- und Rückhub, Stangenseite etwas weniger)
Verbrauch pro Minute	Nl/min = V pro Hub × Hübe pro Minute

Beispiel: Ø 50 mm (19,6 cm²), Hub 20 cm, 6 bar: 19,6 × 20 × 7 / 1000 = 2,7 l pro Hub, doppeltwirkend ca. 5,5 l pro Doppelhub.

Ventile lesen

Angabe	Bedeutung
3/2-Wegeventil	3 Anschlüsse, 2 Schaltstellungen (z. B. für einfachwirkende Zylinder)
5/2-Wegeventil	5 Anschlüsse, 2 Schaltstellungen (für doppeltwirkende Zylinder)
5/3-Wegeventil	5 Anschlüsse, 3 Schaltstellungen; Mittelstellung gesperrt, entlüftet oder belüftet
Anschluss 1	Druckluft-Eingang (früher P)
Anschlüsse 2 und 4	Arbeitsleitungen zum Zylinder (früher A und B)
Anschlüsse 3 und 5	Entlüftung (früher R und S)
Anschlüsse 12 und 14	Steuer-Anschlüsse (schalten auf 1→2 bzw. 1→4)

Wartung und Montage

Thema	Hinweis
Wartungseinheit	Filter → Druckregler → (Öler, falls nötig). Kondensat regelmässig ablassen. Im Öler nur dünnes Pneumatik-Öl (meist VG 32) verwenden. Wer einmal ölt, muss immer ölen
Schläuche	Übliche Aussen-Ø 4, 6, 8, 10, 12 mm. Schläuche rechtwinklig abschneiden und ganz in die Steckverbindung einstecken
Geschwindigkeit	Zylinder mit Drossel-Rückschlagventil in der Abluft drosseln
Undichtheiten	Ein Leck von 1 mm bei 6 bar verliert ca. 60 bis 70 l Luft pro Minute; Lecks kosten viel Energie
Sicherheit	Vor Arbeiten Anlage drucklos machen. Nie Druckluft gegen den Körper richten

Kapitel 38 · Grundlagen Strom (Wi-8f 1-17.0)

Was ist Gleichstrom, was ist Wechselstrom, was ist Drehstrom? Die Grundbegriffe einfach erklärt, als Einstieg in das Kapitel Elektro.

Grundlagen Elektro für Lernende PDF



ACHTUNG – Strom ist lebensgefährlich!

Bevor du mit dem Thema Elektro anfängst: Strom sieht man nicht, hört man nicht und riecht man nicht. Man merkt ihn erst, wenn es zu spät ist.

- Schon ein kleiner Strom von **ca. 30 mA** (0,03 A) durch den Körper kann das **Herz stoppen**. Darum löst ein FI-Schutzschalter bei 30 mA aus.
- Gefährlich ist es ab **50 V Wechselstrom** bzw. **120 V Gleichstrom**. Die Steckdose (230 V) und Drehstrom (400 V) sind **tödlich**.
- Auch nach dem Ausschalten kann noch Spannung da sein: Kondensatoren im **Frequenzumrichter** (über 500 V), **Hochvolt im E-Auto** (orange Kabel).
- Auch kleine Spannungen können gefährlich sein: Ein Kurzschluss an einer Autobatterie gibt Funken, Hitze und Verbrennungen.
- **Ausgeschaltet heisst nicht spannungsfrei!** Es gibt Anlagen und Länder, wo nicht der Aussenleiter (Plus/Phase), sondern der **Rückleiter geschaltet** wird, oder wo beide Leiter Spannung gegen Erde haben (z. B. früher in Teilen Italiens, IT-Netze wie in Norwegen, nicht verpolungssichere Stecker). Dann kann an einem «ausgeschalteten» Schütz an **A1 und A2 trotzdem 230 V** anliegen. Man meint, es ist aus – und es kann tödlich sein. Darum immer **jeden Leiter gegen Erde messen** (Regel 3).

Die 5 Sicherheitsregeln – immer in dieser Reihenfolge:

1. **Freischalten** (Hauptschalter aus, Sicherung raus)
2. **Gegen Wiedereinschalten sichern** (Schloss, Schild «Nicht einschalten»)
3. **Spannungsfreiheit feststellen** (mit geeignetem Prüfgerät messen)
4. **Erden und kurzschliessen**
5. **Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken**

Für Lernende: An elektrischen Anlagen nur arbeiten, wenn es erlaubt ist und eine Fachperson dabei ist. Arbeiten an 230 V und 400 V dürfen nur Fachleute mit Bewilligung machen. Im Zweifel: Finger weg und fragen!

Notfall: Zuerst den Strom abschalten (nie die Person direkt anfassen, solange sie noch am Strom hängt), dann helfen und die Sanität rufen: 144 (Europa: 112).

Spannung, Strom, Widerstand, Leistung

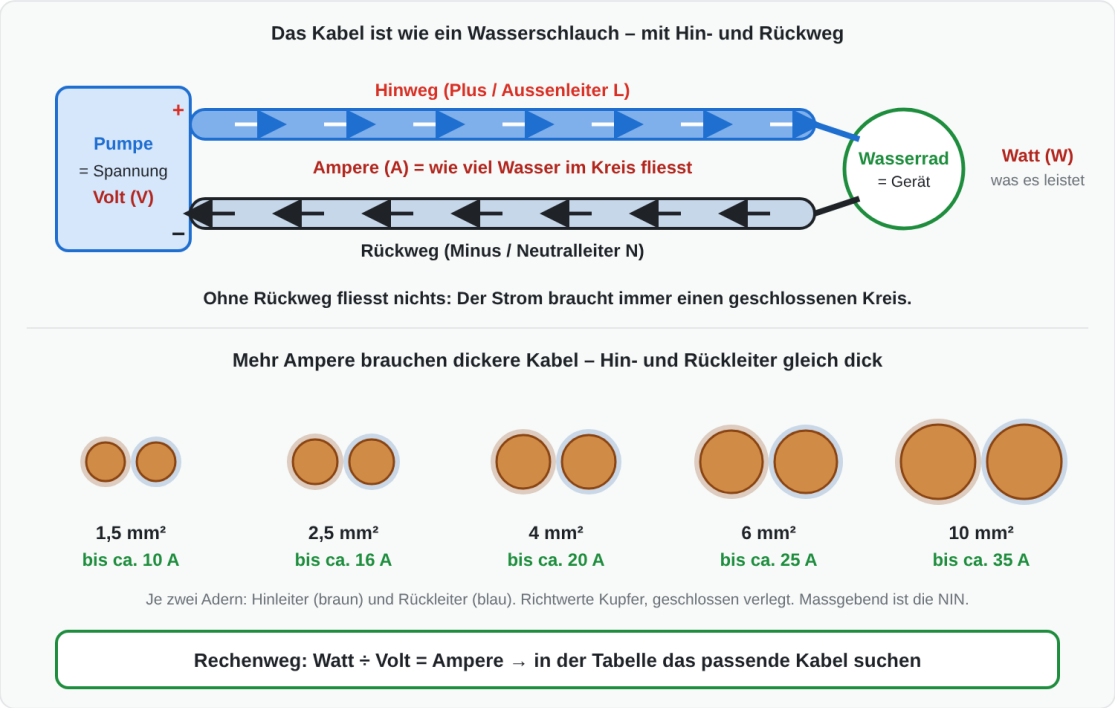
Strom kann man sich wie Wasser in einer Leitung vorstellen: Die **Spannung** ist der Druck, der **Strom** ist die Menge, die fliesst, der **Widerstand** ist eine Verengung im Rohr. Ohne Spannung fliesst kein Strom, und ohne geschlossenen Stromkreis auch nicht.

Grösse	Zeichen	Einheit	Vergleich mit Wasser
Spannung	U	Volt (V)	Wasserdruck
Strom (Stromstärke)	I	Ampere (A)	Wassermenge pro Sekunde
Widerstand	R	Ohm (Ω)	Verengung im Rohr
Leistung	P	Watt (W), Kilowatt (kW)	Arbeit, die das Wasser pro Sekunde leistet
Frequenz	f	Hertz (Hz)	wie oft das Wasser pro Sekunde hin und her schwappt

Merksatz: U = R × I (Ohmsches Gesetz) und **P = U × I**.
Beispiel: Ein Wasserkocher an 230 V zieht 8,7 A → P = 230 V × 8,7 A ≈ **2000 W = 2 kW**.

Ampere, Volt, Watt und Kabeldicke – was hängt zusammen?

Das ist einfacher, als es tönt. Stell dir das Kabel wie einen **Wasserschlauch** vor:



Grösse	Einheit	beim Wasser	im Alltag
Spannung	Volt (V)	der Druck in der Leitung	Steckdose 230 V, Drehstrom 400 V, Batterie 12 V
Strom	Ampere (A)	wie viel Wasser fliesst	Sicherung 10 A, 13 A, 16 A
Leistung	Watt (W), kW	was das Wasserrad leistet	Wasserkocher 2000 W, Motor 4 kW
Kabeldicke	mm² (Querschnitt)	wie dick der Schlauch ist	1,5 mm² Lampe/Steckdose, 2,5 mm² Herd/Maschine

Merksatz: Watt = Volt × Ampere. Umgekehrt: **Ampere = Watt ÷ Volt**.
Je mehr Ampere fliessen, desto **dicker** muss das Kabel sein. Ein zu dünnes Kabel wird heiss, wie ein zu dünner Schlauch, durch den man zu viel Wasser drückt. Die **Sicherung** schützt das Kabel: Sie schaltet ab, bevor es zu heiss wird.

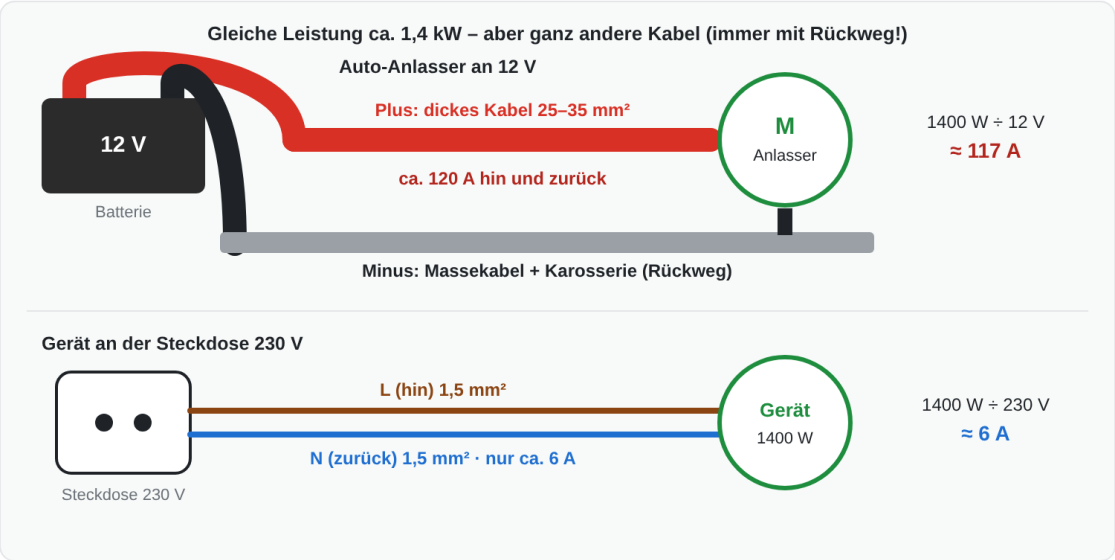
Ohne Minus geht nichts: Strom fliesst nur im **geschlossenen Kreis** – von der Quelle über den **Hinleiter** (Plus, Aussenleiter L) zum Gerät und über den **Rückleiter** (Minus, Neutralleiter N, beim Auto die Masse) wieder zurück. Fehlt der Rückweg oder ist er unterbrochen, läuft nichts. Der Rückleiter führt **gleich viel Strom** wie der Hinleiter und muss darum gleich dick sein. Beim Drehstrommotor fliesst der Strom über die anderen Aussenleiter zurück.

Beispiele zum Nachrechnen

Gerät	Rechnung	Strom	Kabel (Richtwert)
Wasserkocher 2000 W an 230 V	2000 ÷ 230	8,7 A	1,5 mm²
Heizlüfter 3000 W an 230 V	3000 ÷ 230	13 A	2,5 mm²
Heizung 5 kW an 230 V (einphasig)	5000 ÷ 230	22 A	6 mm²
gleiche Heizung 5 kW an 400 V Drehstrom	5000 ÷ (400 × 1,73)	7,2 A pro Leiter	1,5 mm²

Beispiel Auto: Warum hat der Anlasser so ein dickes Kabel?

Ein Auto hat nur **12 V**. Der Anlasser (Startermotor) braucht aber viel Leistung, bei einem normalen Benzinmotor etwa **1,4 kW**. Weil die Spannung so klein ist, muss sehr viel **Strom** fliessen:



	Auto-Anlasser	Gerät an der Steckdose
Leistung	ca. 1,4 kW	1,4 kW
Spannung	12 V (beim Starten sinkt sie auf ca. 10 V)	230 V
Strom	ca. 120 A, beim Anlaufen kurz 200–300 A und mehr	ca. 6 A
Kabel	meist 25–35 mm², bei Diesel und Lastwagen 50–70 mm²	1,5 mm²

Merksatz: Kleine Spannung = grosser Strom = dickes Kabel. Darum hat das Auto so dicke Batteriekabel, und darum ist das Kabel zum Anlasser so kurz wie möglich: Jeder Meter kostet Spannung, und dann dreht der Anlasser zu langsam.

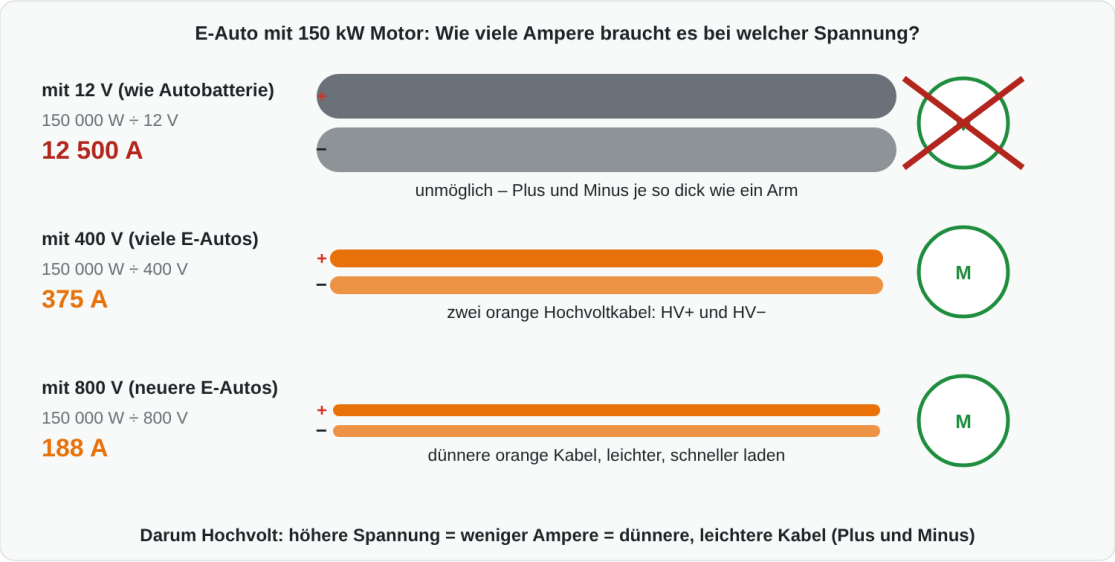
Die 12 V der Autobatterie sind ungefährlich zum Berühren. Aber: Ein Kurzschluss mit einem Schraubenschlüssel zwischen Plus und Karosserie lässt Hunderte Ampere fliessen. Der Schlüssel glüht, es gibt Funken und Verbrennungen. Darum beim Arbeiten am Auto immer zuerst den **Minuspol abklemmen**.

Aufgabe: Ein Diesel-Anlasser hat 2,4 kW an 12 V. Wie viele Ampere fliessen ungefähr?

Lösung: 2400 ÷ 12 = **200 A** (beim Anlaufen kurz noch mehr). Darum braucht ein Diesel noch dickere Kabel.

Beispiel E-Auto: Warum Hochvolt?

Ein Elektroauto braucht für den Antrieb sehr viel Leistung, zum Beispiel **150 kW**. Mit den 12 V einer normalen Autobatterie wären das über 12 000 Ampere. Das geht nicht, die Kabel wären so dick wie ein Arm. Darum arbeiten E-Autos mit **Hochvolt**: meist um **400 V**, neuere Modelle mit **800 V**.



	12 V	400 V	800 V

	12 V	400 V	800 V
Strom bei 150 kW	12 500 A	375 A	188 A
Kabel	nicht machbar	dick	halb so viel Strom, dünner und leichter
Schnellladen	–	gut	noch schneller, weil weniger Strom bei gleicher Leistung

Merksatz: Doppelte Spannung = halber Strom (bei gleicher Leistung). Darum werden die Spannungen bei E-Autos immer höher.

Achtung Hochvolt! Die Hochvolt-Kabel im E-Auto sind immer **orange**. 400 oder 800 V Gleichspannung sind **lebensgefährlich**. Orange Kabel und Stecker nie anfassen, nie trennen. Arbeiten daran nur durch Fachleute mit Hochvolt-Ausbildung. Das E-Auto hat zusätzlich eine kleine 12-V-Batterie für Licht, Radio und Steuerung.

Aufgabe: Ein E-Auto lädt mit 200 kW an einer Schnellladesäule. Wie viel Strom fliesst bei 400 V und bei 800 V?

Lösung: 200 000 ÷ 400 = **500 A**. 200 000 ÷ 800 = **250 A**, also nur halb so viel.

Warum Drehstrom 400 V? Die gleiche Leistung braucht viel weniger Ampere, also dünnere Kabel. Darum laufen Maschinen mit Drehstrom. Bei Motoren kommt noch der Wirkungsgrad und der cos φ dazu, der Strom ist dann etwas grösser (siehe Nennstrom-Tabellen im Kapitel Elektromotoren).

Lange Kabel: Je länger das Kabel, desto mehr Spannung geht unterwegs verloren (Spannungsfall), wie Druckverlust in einem langen Schlauch. Bei langen Leitungen nimmt man darum ein dickeres Kabel. Richtwerte für die Kabeldicke stehen in der Tabelle «Kabelquerschnitt und Strom». Massgebend sind die Vorschriften (in der Schweiz die NIN) – Elektroinstallationen nur durch Fachleute.

Aufgabe: Ein Gerät hat 1150 W und läuft an 230 V. Wie viele Ampere zieht es?

Lösung: 1150 ÷ 230 = **5 A**. Ein 1,5-mm²-Kabel reicht gut.

Aufgabe: Warum wird ein zu dünnes Verlängerungskabel warm, wenn man einen grossen Heizlüfter anschliesst?

Lösung: Es fliessen viele Ampere durch ein dünnes Kabel. Der Draht hat Widerstand und wird dadurch warm, wie Reibung im zu dünnen Schlauch. Darum: Kabel ganz abrollen und genug dick wählen.

Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom im Bild

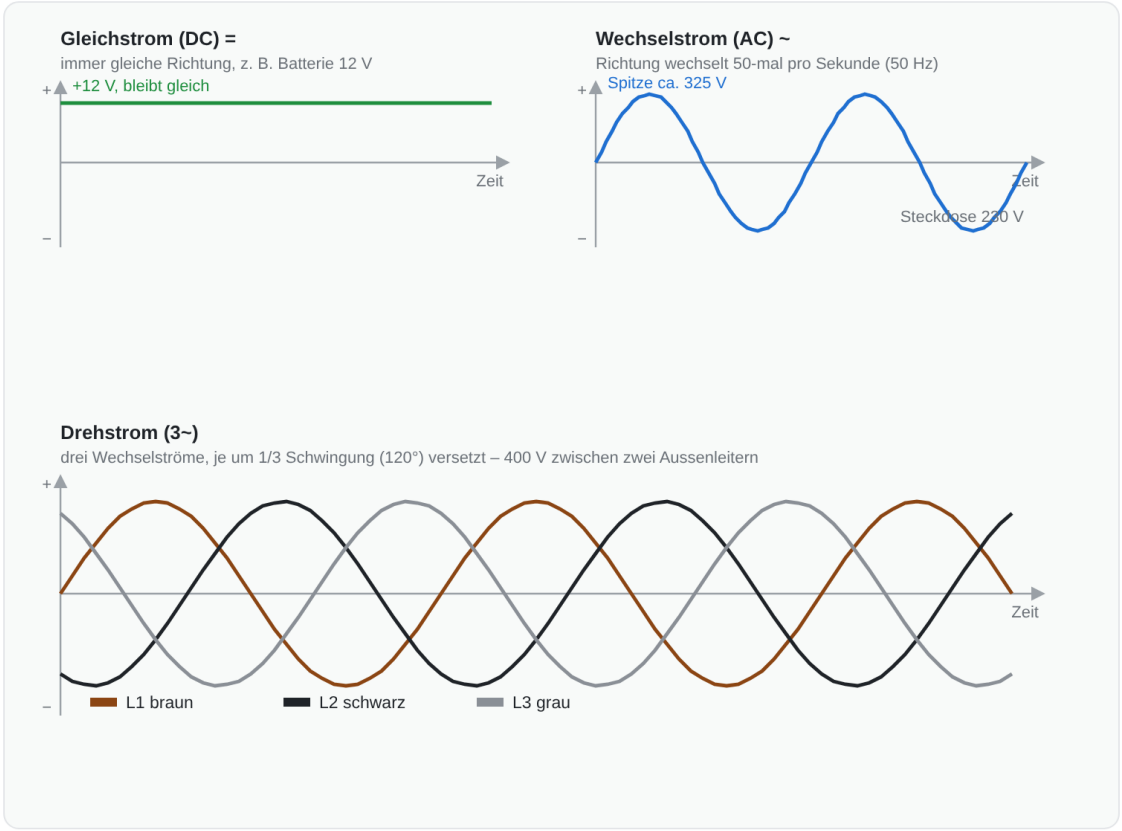


Bild: So verläuft die Spannung über die Zeit. Beim Gleichstrom bleibt sie gleich, beim Wechselstrom schwingt sie zwischen Plus und Minus, beim Drehstrom schwingen drei Leiter versetzt.

Gleichstrom (DC, Zeichen =)

Der Strom fliesst **immer in die gleiche Richtung**, vom Pluspol zum Minuspol. Die Spannung bleibt gleich. DC heisst «direct current».

Woher: Batterie, Akku, Autobatterie, Solarzelle, Netzteil.
Wofür: Steuerungen (meist **24 V DC**), Elektronik, Computer, Handy, Fahrzeuge, Akku-Werkzeuge, ältere Gleichstrommotoren an Werkzeugmaschinen.

Wechselstrom (AC, Zeichen ~)

Die Richtung **wechselt ständig hin und her**. In der Schweiz und in Europa **50-mal pro Sekunde (50 Hz)**. AC heisst «alternating current».

Woher: aus dem Stromnetz, die normale Steckdose hat **230 V**.
Die 230 V sind ein Mittelwert (Effektivwert). Die Spannung erreicht in der Spitze sogar etwa **325 V**.
Wofür: Licht, Haushaltgeräte, kleine Maschinen, Handwerkzeuge mit Kabel.

Drehstrom (Zeichen 3~)

Drehstrom besteht aus **drei Wechselströmen**, die zeitlich um eine Drittelschwingung (120°) versetzt sind. Darum dreht sich das Magnetfeld im Motor von selbst, der Motor läuft ohne Hilfe an. Daher der Name «Drehstrom».

Leiter	Farbe (Schweiz)	Spannung
L1, L2, L3 (Aussenleiter)	braun, schwarz, grau	400 V zwischen zwei Aussenleitern
N (Neutralleiter)	blau	230 V zwischen Aussenleiter und N
PE (Schutzleiter)	grün-gelb	Schutz, führt normal keinen Strom

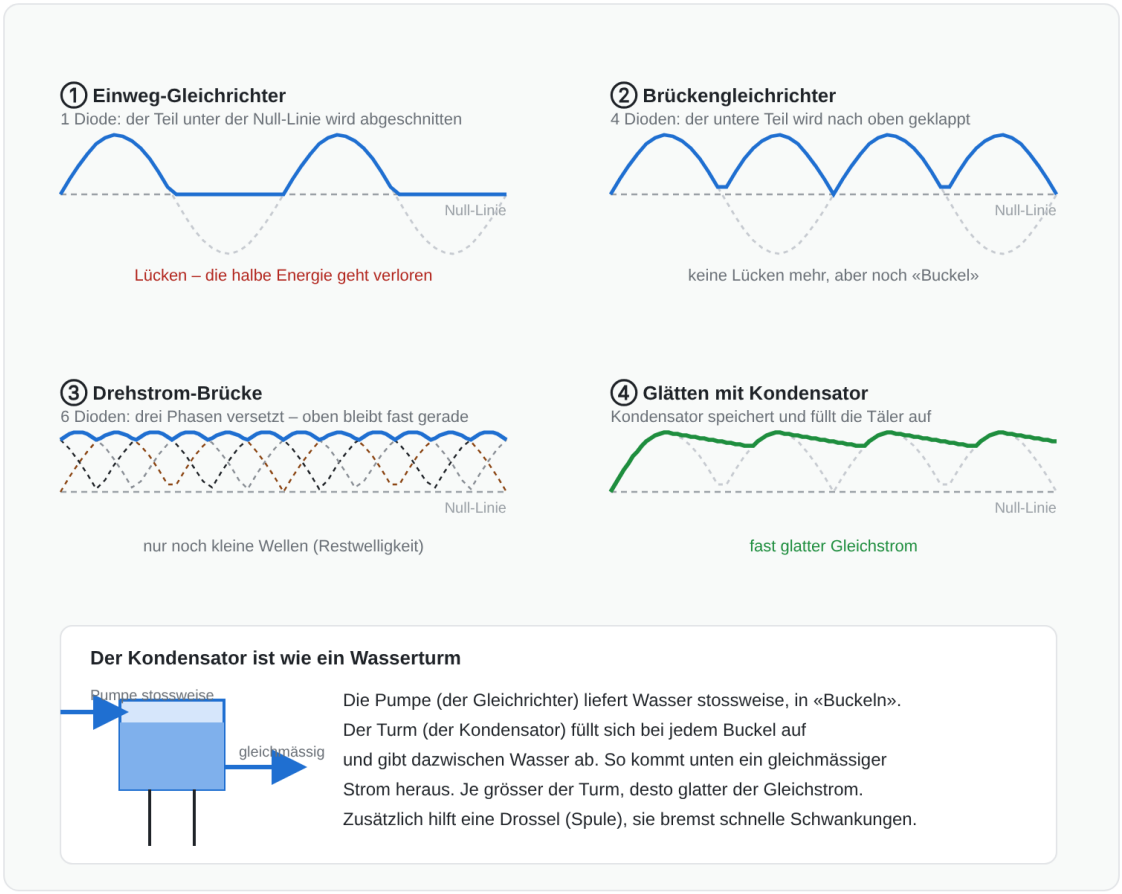
Wofür: Werkzeugmaschinen, Elektromotoren, Kompressoren, Schweissanlagen, grosse Heizungen. 400 V = 230 V × 1,73 (√3).

Vergleich auf einen Blick

	Gleichstrom	Wechselstrom	Drehstrom
Zeichen	= (DC)	~ (AC)	3~
Richtung	immer gleich	wechselt 50-mal pro Sekunde	3 Leiter, versetzt
Typische Spannung	1,5 V, 12 V, 24 V, 48 V	230 V	400 V
Quelle	Batterie, Akku, Netzteil, Solarzelle	Steckdose	CEE-Stecker rot, Hauptverteilung
In der Werkstatt	Steuerung 24 V, Sensoren, Akku-Werkzeug	Licht, Handbohrmaschine, Ladegerät	Drehbank, Fräse, Kompressor, Motor

Vom Wechselstrom zum Gleichstrom (Gleichrichten)

Ein Netzteil macht aus Wechselstrom Gleichstrom. Das geht in Schritten. Das Bauteil dafür ist die **Diode**: Sie lässt Strom nur in eine Richtung durch, wie ein Rückschlagventil beim Wasser.



Schritt	Bauteil	Was passiert
① Einweg	1 Diode	Der Teil unter der Null-Linie wird abgeschnitten. Einfach, aber die Hälfte fehlt.
② Brücke	4 Dioden (Brückengleichrichter)	Der untere Teil wird nach oben geklappt. Keine Lücken mehr, aber noch Buckel.
③ Drehstrom-Brücke	6 Dioden (B6-Brücke)	Drei versetzte Phasen überlappen sich, oben bleibt fast eine gerade Linie. So arbeiten z. B. Frequenzumrichter und grosse Gleichstromantriebe.
④ Glätten	Kondensator (Elko), evtl. Drossel	Der Kondensator speichert Energie und füllt die Täler auf. Ergebnis: fast glatter Gleichstrom.

Merksatz: Dioden richten den Strom in eine Richtung, der **Kondensator glättet**. Mehr Phasen und ein grösserer Kondensator geben einen glatteren Gleichstrom.

Aufgabe: Warum ist Gleichstrom aus Drehstrom glatter als aus einer Steckdose (230 V)?

Lösung: Beim Drehstrom kommen drei versetzte Phasen. Wenn eine Phase abfällt, steigt schon die nächste. Darum bleibt die Spannung oben fast gerade, und man braucht weniger Glättung.

Umwandeln: vom einen zum anderen

Gerät	macht aus	Beispiel
Transformator (Trafo)	Wechselstrom → Wechselstrom mit anderer Spannung	400 V auf 230 V oder 24 V AC für die Steuerung
Netzteil, Gleichrichter	Wechselstrom → Gleichstrom	230 V AC auf 24 V DC für SPS und Sensoren, Handy-Ladegerät
Wechselrichter	Gleichstrom → Wechselstrom	Solaranlage auf dem Dach speist ins Netz
Frequenzumrichter	Drehstrom → Drehstrom mit anderer Frequenz	Motor-Drehzahl stufenlos verstellen (Spindel, Pumpe)

Warum kommt aus der Steckdose Wechselstrom? Weil man Wechselstrom mit einem Trafo einfach auf hohe Spannung bringen kann. So geht auf langen Leitungen wenig Energie verloren. Erst beim Verbraucher wird die Spannung wieder heruntertransformiert.

Sicherheit

Bis **50 V Wechselstrom** bzw. **120 V Gleichstrom** spricht man von Kleinspannung. Darüber ist Strom **lebensgefährlich**. Arbeiten an 230 V und 400 V nur durch Fachleute mit entsprechender Ausbildung. Vor jeder Arbeit: freischalten, gegen Wiedereinschalten sichern, Spannungsfreiheit prüfen.

Aufgabe: Ist eine Autobatterie Gleichstrom oder Wechselstrom?

Lösung: Gleichstrom (12 V DC). Eine Batterie hat einen festen Plus- und Minuspol, der Strom fliesst immer in die gleiche Richtung.

Aufgabe: Auf dem Typenschild eines Motors steht «3~ 400 V 50 Hz 4 kW». Was heisst das?

Lösung: Drehstrommotor (3~) für 400 V Netzspannung und 50 Hz, er gibt an der Welle 4 kW Leistung ab.

Aufgabe: Wie viel Strom zieht eine 1150-W-Bohrmaschine an 230 V?

Lösung: I = P / U = 1150 W / 230 V = **5 A**.

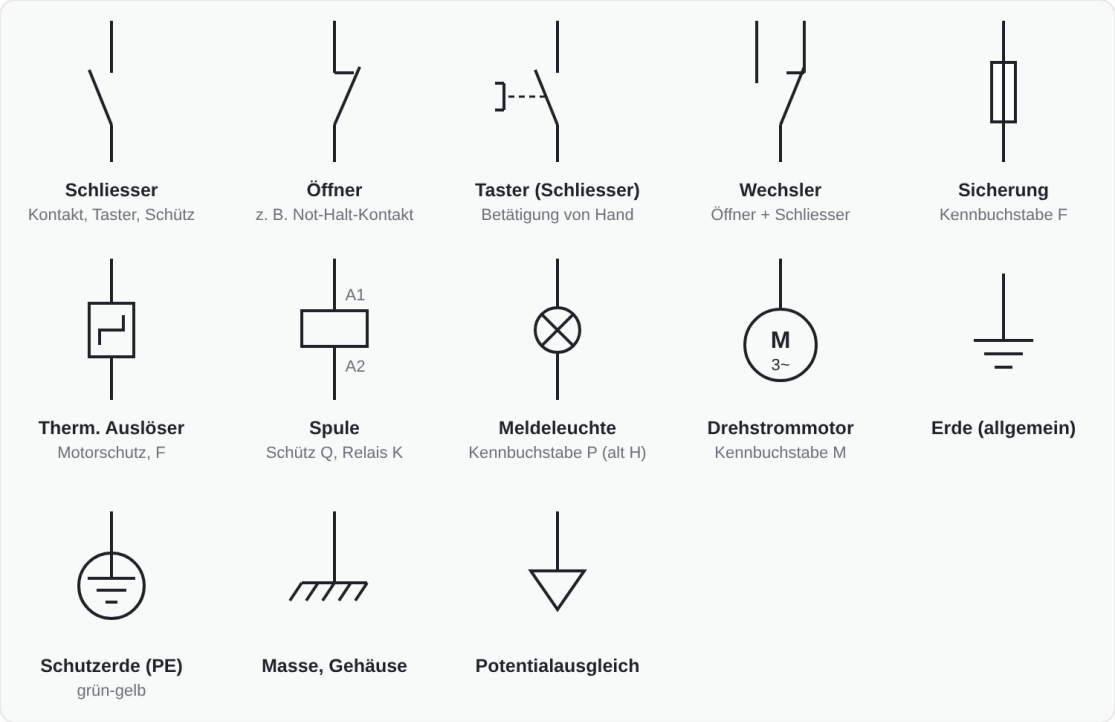
Kapitel 39 · Elektro (Wi-8f 1-17.1)

Kennbuchstaben für Betriebsmittel

Betriebsmittel	Alt (DIN 40719)	Neu (IEC 81346-2)
Hauptschalter, Leistungsschalter	Q	Q
Motorschütz	K	Q
Hilfsschütz, Relais	K	K
SPS, Steuerung	A	K
Sicherung, Motorschutzschalter	F	F
Taster, Schalter (Hand)	S	S
Endschalter, Sensor, Geber	S / B	B
Meldeleuchte	H	P
Motor	M	M
Transformator, Netzteil	T / G	T
Frequenzumrichter	U	T
Klemme, Stecker	X	X
Kabel, Leitung	W	W

Schaltzeichen lesen

Ein Schema ist die «Sprache» der Elektriker. Jedes Gerät mit der gleichen Aufgabe hat das gleiche Zeichen, egal wie es aussieht und von welchem Hersteller es kommt. Mit dem Schema weiss der Monteur beim Bau, welcher Draht an welche Klemme kommt, und bei einer Störung findet auch ein Fremder heraus, wie die Anlage funktionieren soll und wo man messen muss.



Zeichen im Schema	So erkennt man es
Kontakte	Werden immer im **Ruhezustand** gezeichnet: Spule ohne Strom, Taster nicht gedrückt, Anlage ausgeschaltet
Gestrichelte Linie	Mechanische Verbindung: diese Teile werden gemeinsam betätigt (z. B. Taster und Kontakt, mehrpoliger Schalter)
Kontaktnummern	Hauptkontakte 1–2, 3–4, 5–6. Hilfskontakte: Endziffer 3–4 = Schliesser, 1–2 = Öffner (z. B. 13–14, 21–22)
Spule	Anschlüsse A1 (Plus bzw. Steuerspannung) und A2 (Minus bzw. 0 V)
Punkt auf der Kreuzung	Leitungen sind verbunden (Abzweigung). Ohne Punkt: Leitungen kreuzen sich nur
N und PE	Neutralleiter N (hellblau) und Schutzleiter PE (grün-gelb), siehe Aderfarben

Schaltzeichen nach der Normenreihe IEC/EN 60617. Ältere Schemata können leicht abweichende Zeichen haben.

Übung: Im Schema ist ein Kontakt eines Schützes als Schliesser gezeichnet. Ist er geschlossen, wenn die Maschine ausgeschaltet ist?

Lösung: **Nein.** Kontakte werden im Ruhezustand gezeichnet. Ein Schliesser ist offen, solange die Spule keinen Strom hat.

Aderfarben in Maschinen (IEC 60204-1)

Leiter	Farbe
Schutzleiter PE	Grün-Gelb
Neutralleiter N	Hellblau
Hauptstromkreise AC und DC	Schwarz
Steuerstromkreise AC	Rot
Steuerstromkreise DC	Dunkelblau
Fremdgespeiste Verriegelungskreise	Orange

Schutzarten IP

Ziffer	1. Ziffer: Schutz gegen Fremdkörper	2. Ziffer: Schutz gegen Wasser
0	kein Schutz	kein Schutz
1	Fremdkörper ab 50 mm	senkrecht fallendes Tropfwasser
2	Fremdkörper ab 12,5 mm (Finger)	Tropfwasser bis 15° Neigung
3	Fremdkörper ab 2,5 mm	Sprühwasser bis 60°
4	Fremdkörper ab 1 mm	Spritzwasser aus allen Richtungen
5	staubgeschützt	Strahlwasser

Ziffer	1. Ziffer: Schutz gegen Fremdkörper	2. Ziffer: Schutz gegen Wasser
6	staubdicht	starkes Strahlwasser
7	–	zeitweiliges Untertauchen
8	–	dauerndes Untertauchen
9	–	Hochdruck- und Dampfstrahl (9K)

Beispiel: IP54 = staubgeschützt und spritzwassergeschützt.

Sicherheit: die fünf Sicherheitsregeln

Merksatz: Vor jeder Arbeit an einer elektrischen Anlage gelten die fünf Sicherheitsregeln, immer in dieser Reihenfolge. Nach der Arbeit werden sie in umgekehrter Reihenfolge wieder aufgehoben.

Nr.	Regel	Was heisst das?
1	Freischalten	Anlage allpolig vom Netz trennen: Hauptschalter aus, Sicherungen fachgerecht entfernen oder Stecker ziehen
2	Gegen Wiedereinschalten sichern	Hauptschalter mit eigenem Vorhängeschloss sichern, Warnschild «Nicht schalten» anbringen. Ein Klebeschild allein genügt nicht
3	Spannungsfreiheit prüfen	Mit einem zweipoligen Spannungsprüfer an allen Polen prüfen. Den Prüfer vorher und nachher an einer bekannten Spannung testen
4	Erden und kurzschliessen	Pflicht in Hochspannungsanlagen. In Niederspannungsanlagen nur, wenn Spannung übertragen oder zurückgespeist werden kann
5	Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken	Teile, die nicht freigeschaltet werden können, abdecken oder abschranken

In der Schweiz geregelt in der Niederspannungs-Installationsverordnung (NIV, SR 734.27, Art. 22) und für Hochspannung in der Starkstromverordnung (SR 734.2, Art. 72). Freigeschaltet werden muss in der Schweiz ab 50 V Wechselspannung bzw. 120 V Gleichspannung oder bei Strömen über 2 A. Spannungsfreiheit feststellen darf nur eine Elektrofachperson.

WIAP-Regeln am Schaltschrank

Regel	Warum
Schaltschrank nur öffnen, wenn auch der Hauptschalter *vor* dem Schrank aus und mit Schloss gesichert ist	Der Hauptschalter der Maschine trennt die Zuleitung bis zum Schalter nicht. Dort bleibt Spannung
Gute, isolierende Schuhe tragen	Auch bei ausgeschalteter Anlage: falls doch etwas unter Spannung steht, schützen sie
Nie gleichzeitig einen Leiter (Phase) und ein geerdetes Teil berühren	Dann fliesst der Strom durch den Körper
Nie den Minus (A2, 0 V) oder eine Lampenfassung anfassen	Ist der Minus irgendwo nicht angeschlossen oder unterbrochen, wird der Mensch zur Verbindung. Das kann tödlich sein!

Erdung, Schutzleiter und Potentialausgleich

Erden heisst: ein Teil leitend mit dem Erdreich verbinden. Masse ist der gemeinsame Bezugspunkt einer Schaltung oder eines Gehäuses. Masse ist nicht automatisch Erde, erst wenn sie mit dem Erdreich verbunden ist.

Art	Aufgabe	Beispiel in der Werkstatt
Schutzerdung (PE)	Schützt Menschen vor gefährlicher Berührungsspannung, wenn ein Gerät einen Fehler hat. Die Sicherung oder der FI löst aus	Grün-gelber Schutzleiter an Maschinengehäuse, Schaltschranktüre, Motor
Funktionserdung	Leitet Störströme ab, damit Elektronik sauber arbeitet	Schirm von Geber- und Servokabeln, Erdungsschiene im Schaltschrank
Betriebserdung	Erdet einen Punkt des Stromkreises, damit die Anlage störungsfrei läuft	Geerdeter Sternpunkt des Transformators im Netz
Blitzschutzerdung	Führt den Blitzstrom ins Erdreich ab und schützt das Gebäude	Blitzableiter, Fundamenterder
Potentialausgleich	Verbindet alle leitfähigen Teile, damit zwischen ihnen keine Spannung entstehen kann	Potentialausgleichsschiene beim Hausanschluss, Verbindung von Rohren und Gestellen

Eine Schutzerdung darf auch als Funktionserdung dienen, aber nie umgekehrt. Den Schutzleiter nie unterbrechen und nach jeder Reparatur prüfen, ob er an allen Teilen wieder angeschlossen ist.

Betriebserdung unmittelbar oder mittelbar: Unmittelbar heisst, der Sternpunkt ist direkt mit dem Erder verbunden – so sind unsere 400/230-V-Netze in der Werkstatt aufgebaut. Mittelbar heisst, er ist über einen Widerstand oder eine Drosselspule geerdet – das findet man vor allem in Mittelspannungsnetzen. Für die Arbeit an der Maschine gilt immer: Schutzleiter prüfen, er schützt den Menschen.

Spannungsbereiche

Bereich	Spannung	Wo?
Niederspannung	bis 1000 V Wechselspannung (1 kV)	Werkstatt, Maschinen (400 V / 230 V), Haushalt
Mittelspannung	z. B. 3, 6, 10, 15, 20, 30 kV	Versorgung von Stadtteilen, Dörfern und grossen Industriebetrieben
Hochspannung	z. B. 60 kV, 110 kV	Überlandleitungen, kleinere Kraftwerke
Höchstspannung	z. B. 220 kV, 380 kV	Verbundnetz, Grosskraftwerke

Über 1 kV spricht man allgemein von Hochspannung. Die Grenzen zwischen Mittel-, Hoch- und Höchstspannung sind nicht überall gleich festgelegt. Je höher die Spannung, desto weniger Verlust beim Transport über weite Strecken.

Warnzeichen: Das gelbe Dreieck mit schwarzem Blitz warnt vor elektrischer Spannung. Es gehört an jeden Schaltschrank und an jede Klemmenkastentür. Ein roter Blitzpfeil auf weissem Schild mit «Hochspannung – Lebensgefahr» kennzeichnet Anlagen über 1 kV: dort arbeiten nur Fachleute mit besonderer Ausbildung.

Formeln

Grösse	Formel
Ohmsches Gesetz	$U = R \times I$
Leistung Gleichstrom	$P = U \times I$
Leistung Drehstrom	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$
Motor-Drehmoment	$M\,[Nm] = 9550 \times P\,[kW] / n\,[1/min]$ mit PS: $M\,[Nm] = 7024 \times P\,[PS] / n\,[1/min]$

Formeln umstellen: U, I, R und P

Für jede Rechnung braucht man immer **zwei** bekannte Werte. Daraus lassen sich die beiden anderen berechnen.

Gesucht	aus U und I	aus U und R	aus I und R	aus P und …
Strom I [A]	–	$I = U / R$	–	$I = P / U \cdot I = \sqrt{(P / R)}$
Spannung U [V]	–	–	$U = R \times I$	$U = P / I \cdot U = \sqrt{(P \times R)}$
Widerstand R [Ω]	$R = U / I$	–	–	$R = U^2 / P \cdot R = P / I^2$
Leistung P [W]	$P = U \times I$	$P = U^2 / R$	$P = I^2 \times R$	–

Praxis-Formel	Formel
Strom einphasig (Heizung, Lampe)	$I = P / U$
Strom Drehstrom (grob, ohne cos φ und Wirkungsgrad)	$I = P / (U \times 1{,}73)$
Wirkleistung aus Scheinleistung	$P\,[kW] = S\,[kVA] \times \cos \varphi$, meist mit $\cos \varphi = 0{,}8$ gerechnet
Leistung aus Drehmoment	$P\,[kW] = M\,[Nm] \times n\,[1/min] \times 3{,}14 / 30\,000$
Drehmoment aus Leistung	$M\,[Nm] = P\,[kW] \times 30\,000 / (3{,}14 \times n\,[1/min])$, gleich wie $9550 \times P / n$

Beispiel: 684 Nm bei 3800 1/min ergeben 684 × 3800 × 3,14 / 30 000 = **272 kW**. Umgekehrt: 305 kW bei 5000 1/min ergeben 305 × 30 000 / (3,14 × 5000) = **582 Nm**. Weitere Umrechnung: 1 kcal/h = 1,163 W.

Übung 1: Ein Motor hat 30 kW bei 1400 1/min. Welches Drehmoment?

Lösung: M = 9550 × 30 / 1400 = **ca. 205 Nm**

Übung 2: Ein Generator hat 400 kVA. Wie viele kW Wirkleistung liefert er bei cos φ = 0,8?

Lösung: P = 400 × 0,8 = **320 kW**

Übung 3: An 400 V fliessen 10 A. Wie gross ist der Widerstand?

Lösung: R = U / I = 400 / 10 = **40 Ω**

Übung 4: Ein Heizelement hat 2300 W an 230 V. Welcher Strom, welcher Widerstand?

Lösung: I = P / U = 2300 / 230 = **10 A**. R = U² / P = 230 × 230 / 2300 = **23 Ω**

Übung 5 (Achtung!): Motor 1,5 kW, 400 V, Drehstrom. Welcher Strom?

Lösung grob: I = 1500 / (400 × 1,73) = **ca. 2,2 A**. Der echte Nennstrom ist aber höher (ca. 3,5 A, siehe Tabelle Motor-Nennströme), weil cos φ und Wirkungsgrad dazukommen. Für Sicherung und Motorschutz immer das Typenschild nehmen!

Leistung: Was ist 1 PS, was ist 1 kW?

1 PS = 75 kg in 1 Sekunde 1 Meter hochheben.
1 kW = rund 100 kg in 1 Sekunde 1 Meter hochheben (genau 102 kg).

Beispiel für Lernende: Du wiegst 75 kg und rennst in 1 Sekunde eine Treppe 1 Meter hoch (etwa 6 Stufen). Dann leistest du genau **1 PS**! Das schaffst du aber nur ein paar Sekunden. Ein Mensch leistet über längere Zeit nur etwa 100 Watt, also rund 1/7 PS. Ein Elektromotor mit 1 kW arbeitet den ganzen Tag.

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-elektro-automation/

Umrechnung	Wert
1 kW	= 1000 W = 1,36 PS
1 PS	= 0,7355 kW = 735,5 W
1 hp (englisch/amerikanisch)	= 0,7457 kW
1 kW	= 1,341 hp
Formel	P [W] = m [kg] × 9,81 × h [m] / t [s]

Umrechner kW ⇄ PS

Für alle, die noch in PS denken: einfach eine Zahl eingeben.

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-elektro-automation/

Motor-Nennströme bei 400 V (Richtwerte)

Motorleistung kW	entspricht PS	Nennstrom ca. A
0,37	0,5	1,1
0,75	1,0	1,9
1,5	2,0	3,5
2,2	3,0	4,9
3	4,1	6,5
4	5,4	8,5
5,5	7,5	11,5
7,5	10	15
11	15	22
15	20	29
22	30	42

Massgebend ist das Typenschild des Motors. Faustregel: ca. 2 A pro kW bei 400 V. Arbeiten an elektrischen Anlagen nur durch Fachpersonal!

Kabel und Leitungen für Werkzeugmaschinen

Anforderung	Worauf achten
Bewegt in der Schleppkette	Nur schleppkettentaugliche Leitungen: feinstdrähtige Litze (Klasse 6), Adern in kurzer Schlaglänge verseilt. Normale Steuerleitungen brechen nach kurzer Zeit
Biegeradius	Bewegt meist mindestens 7,5 × Aussendurchmesser, besondere Schleppkettenleitungen ab ca. 5 ×. Fest verlegt ca. 4 ×. Datenblatt der Leitung beachten
Kühlschmierstoff und Öl	Mantel aus PUR (Polyurethan) oder einem ölbeständigen Spezialmantel. PVC wird mit der Zeit hart und reisst
Geber, Servo, Messsysteme	Geschirmte Leitung (Kupfergeflecht). Schirm grossflächig auflegen, sonst stören Motorleitungen die Signale
Temperatur	Typisch bewegt −40 bis +80 °C. In der Kälte sind viele Mäntel steif und brechen
Spannung	Steuerleitungen meist 300/500 V (U0/U)
Bezeichnung	**Bedeutung**

Anforderung	Worauf achten
5G1,5	5 Adern mit je 1,5 mm², davon eine grün-gelb (G = mit Schutzleiter)
4X0,75	4 Adern mit je 0,75 mm², ohne Schutzleiter (X)
Aderkennzeichnung	Bei Steuerleitungen oft schwarze Adern mit weissen Ziffern

Leitungen in der Schleppkette nicht verdrillt einlegen, nicht festbinden und genug Platz lassen. Montageanleitung des Kettenherstellers beachten.

Datenblätter bei WIAP: Im Ordner Wi_8_f_1_17 liegen Lapp-Datenblätter für Leitungen, die sich bei uns bewährt haben: ÖLFLEX FD 855 P (schleppkettenfähig, kleine Biegeradien), eine geschirmte schleppkettenfähige TPE/PUR-Leitung für den Nassbereich (Geber und Servo) und eine öl- und bohrflüssigkeitsbeständige Steuerleitung. Vor dem Bestellen immer Biegeradius, Mantelwerkstoff und Schirm mit dem aktuellen Datenblatt vergleichen.

Querschnitt aus dem Drahtdurchmesser

Formel: Querschnitt A [mm²] = d² × 3,14 / 4 (oder d² × 0,785)
Bei einer Litze den ganzen Bund messen und vom Ergebnis ca. 20 % abziehen, weil zwischen den Drähten Luft ist.

Querschnitt mm²	Durchmesser Einzeldraht ca. mm
0,5	0,80
0,75	0,98
1	1,13
1,5	1,38
2,5	1,78
4	2,26
6	2,76
10	3,57
16	4,51
25	5,64
35	6,68
50	7,98

Übung 1: Ein Einzeldraht hat Ø 1,38 mm. Welcher Querschnitt?

Lösung: 1,38 × 1,38 × 0,785 = 1,49 → **1,5 mm²**

Übung 2: Der Bund einer Litze misst Ø 2 mm. Welcher Querschnitt ungefähr?

Lösung: 2 × 2 × 0,785 = 3,14 mm², davon ca. 80 % = 2,51 → **2,5 mm²**

Revolver-Positionsgeber, Strobe und Parität: siehe Kapitel 43.

Fehlersuche: Gittersprung beim Referenzpunkt

Problem: Nach dem Referenzpunktfahren steht die Achse nicht immer am gleichen Ort. Sie ist um ein gerades Mass verschoben, z. B. genau 5 mm oder 10 mm.

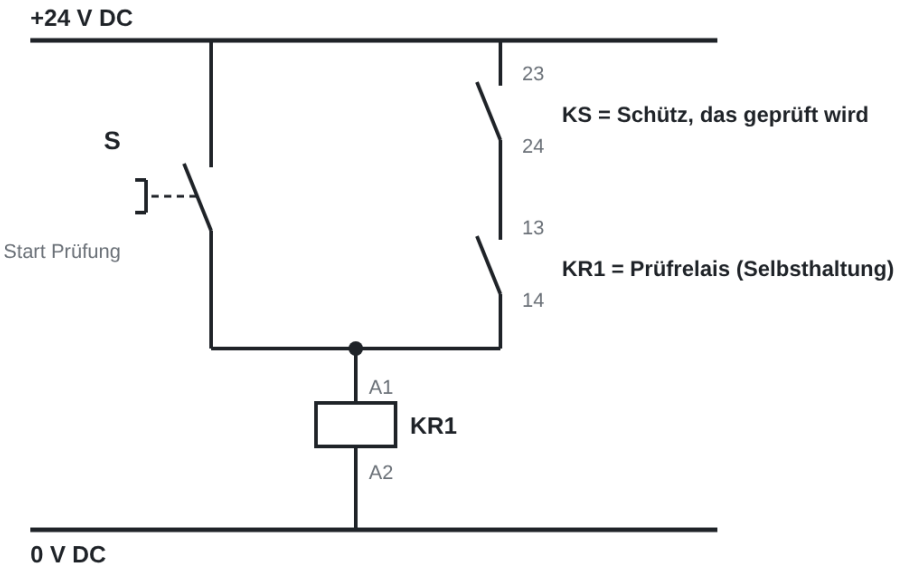
Ursache: Beim Referenzieren fährt die Achse auf den Referenzpunktschalter (Nocken) und sucht danach die nächste Nullmarke des Drehgebers. Die Nullmarke kommt nur einmal pro Umdrehung. Liegt die Schaltkante des Nockens sehr nahe bei der Nullmarke, wird sie je nach Vorschub (z. B. einmal 30 %, einmal 120 %) einmal noch erkannt und einmal erst eine Umdrehung später. Der Fehler ist darum genau ein Weg pro Geber-Umdrehung, meist die Steigung der Kugelgewindespindel.

Abhilfe	Wie
Drehgeber verdrehen	Geber auf der Welle um ca. 90° verdrehen, damit die Nullmarke von der Schaltkante wegkommt
Nocken verschieben	Referenzpunktschalter um den halben Wert des Fehlers verschieben (bei 10 mm Sprung um 5 mm)

Danach Referenzpunkt neu einmessen und mehrmals mit verschiedenem Vorschub (Override) testen. Achtung: Nach dem Verschieben stimmen Nullpunkte und Software-Endschalter evtl. nicht mehr.

Fangschaltung: Schütz mit Aussetzern finden

Fällt ein Schütz nur ab und zu ganz kurz ab, sieht man das von Auge nicht. Mit einem Prüfrelais in Selbsthaltung kann man den Fehler «fangen».



Schritt	Was tun
1	Ein Prüfrelais KR1 (z. B. 24 V DC) einsetzen. Am zu prüfenden Schütz KS einen freien Schliesser verwenden (z. B. 23–24). Gibt es keinen freien Kontakt, über ein zusätzliches Relais gehen
2	Mit dem Taster S das Prüfrelais einschalten. Es hält sich selbst über seinen Kontakt 13–14, solange KS angezogen ist
3	Maschine normal laufen lassen
4	Fällt KS auch nur ganz kurz ab, fällt KR1 ab und bleibt aus. So sieht man: KS hat einen Aussetzer gehabt

Arbeiten im Schaltschrank nur durch Elektro-Fachpersonal. Das Prüfrelais nach der Fehlersuche wieder entfernen und im Schema nachtragen, falls es bleibt.

Kapitel 40 · Elektromotoren (IEC-Normmotoren) (Wi-8f 1-17.2)

Drehstrom-Normmotoren (IEC) sind weltweit in den Anschlussmassen genormt. Ein Motor einer bestimmten Baugrösse passt darum auch, wenn er von einem anderen Hersteller kommt. Mit den Tabellen findet man Flansch, Welle, Fuss und Drehmoment ohne Katalog.

Merksatz: Die **Baugrösse** ist die **Achshöhe in mm**: von der Wellenmitte bis Unterkante Fuss (z. B. Baugrösse 100 = 100 mm).
Mehr Pole = langsamer = mehr Drehmoment bei gleicher Leistung. Ein 4-poliger Motor hat etwa das doppelte Drehmoment eines 2-poligen Motors mit gleicher kW-Zahl.

Pole, Drehzahl und Drehmoment – einfach erklärt

Viele fragen: Warum dreht ein Motor 2900 1/min und ein anderer nur 960 1/min, obwohl beide am gleichen Netz (50 Hz) hängen? Die Antwort steckt in der **Polzahl**.

Was sind Pole? Im Ständer (dem festen Teil) sind die Wicklungen so verteilt, dass Magnetpole entstehen: Nordpol (N) und Südpol (S), immer paarweise. Ein Motor mit einem Paar heisst **2-polig**, mit zwei Paaren **4-polig** usw.

Warum mehr Pole langsamer drehen: Das Magnetfeld im Motor springt bei jeder Netzschwingung (50-mal pro Sekunde) **um ein Polpaar weiter**. Beim 2-poligen Motor ist das gleich eine ganze Umdrehung. Beim 4-poligen Motor gibt es zwei Polpaare im Kreis, also braucht das Feld zwei Schwingungen für eine Umdrehung, er dreht **halb so schnell**. Je mehr Pole, desto kleiner die Schritte, desto langsamer.



Bild: oben die vier üblichen Polzahlen mit ihren Nordpolen (rot) und Südpolen (blau), unten das Drehmoment bei gleicher Leistung von 4 kW.

Warum langsame Motoren mehr Kraft haben

Denk an das **Velo**: Mit der gleichen Kraft in den Beinen (gleiche Leistung) fährst du im kleinen Gang langsam, aber kommst leicht den Berg hinauf (viel Drehmoment). Im grossen Gang fährst du schnell, hast aber wenig Kraft. Beim Motor ist es genau gleich: **Leistung = Drehmoment × Drehzahl**. Wird die Drehzahl kleiner, wird das Drehmoment grösser.

Formel: M [Nm] = 9550 × P [kW] / n [1/min]
Merksatz: Doppelt so viele Pole = halbe Drehzahl = doppeltes Drehmoment (bei gleicher Leistung). Darum ist ein 4-kW-Motor mit 8 Polen grösser und schwerer als einer mit 2 Polen: Er muss mehr Drehmoment aushalten.

Polzahl	Drehzahl bei 50 Hz (Europa)	Drehzahl bei 60 Hz (USA)	Drehmoment bei 4 kW und 50 Hz	typisch für
2-polig	2900 1/min	3500 RPM	13 Nm	Pumpen, Lüfter, Schleifmaschinen
4-polig	1450 1/min	1750 RPM	26 Nm	der «Normalmotor»: Werkzeugmaschinen, Kompressoren
6-polig	960 1/min	1160 RPM	40 Nm	Förderbänder, Mischer, schwere Antriebe
8-polig	720 1/min	870 RPM	53 Nm	langsame, schwere Antriebe

1/min oder RPM? Das ist das Gleiche: Umdrehungen pro Minute. RPM ist die englische Abkürzung (revolutions per minute) und steht auf amerikanischen Motoren und in englischen Unterlagen.

50 Hz oder 60 Hz? In Europa hat das Netz 50 Hz, in den USA, Kanada und einigen anderen Ländern 60 Hz. Bei 60 Hz dreht der gleiche Motor um ein Fünftel schneller (60/50 = 1,2). Darum steht auf einem

amerikanischen 4-poligen Motor 1750 RPM statt 1450 1/min. Ein Motor muss für das Netz gebaut sein, an dem er läuft: Typenschild prüfen!

Land / Gebiet	Netzfrequenz	Drehstrom (Industrie) ca.
Schweiz, Europa	50 Hz	400 V
China	50 Hz	380 V
Indien, Australien	50 Hz	400 V
Japan Ost (Tokio, Norden)	50 Hz	200 V
Japan West (Osaka, Nagoya, Süden)	60 Hz	200 V
USA, Kanada	60 Hz	meist 480 V (auch 208 / 230 V)
Mexiko, Südkorea	60 Hz	je nach Netz

Japan ist ein Sonderfall: Das Land hat zwei Netze, im Osten 50 Hz, im Westen 60 Hz. Vor dem Liefern einer Maschine immer fragen, wo sie aufgestellt wird. Spannungen sind Richtwerte, im Einzelfall beim Kunden nachfragen.

Tipp vom Typenschild: Die Polzahl steht oft nicht drauf, aber die Drehzahl. Bei 50 Hz gilt: ca. 2900 → 2-polig, ca. 1450 → 4-polig, ca. 960 → 6-polig, ca. 720 → 8-polig. Bei 60 Hz: ca. 3500 → 2-polig, ca. 1750 → 4-polig, ca. 1160 → 6-polig, ca. 870 → 8-polig. Der Motor dreht immer etwas langsamer als das Magnetfeld (Schlupf), darum 1450 und nicht 1500.

Aufgabe: Auf dem Typenschild steht 7,5 kW, 1450 1/min. Wie viele Pole hat der Motor und wie gross ist das Drehmoment?

Lösung: 1450 1/min → **4-polig**. M = 9550 × 7,5 / 1450 ≈ **49 Nm**.

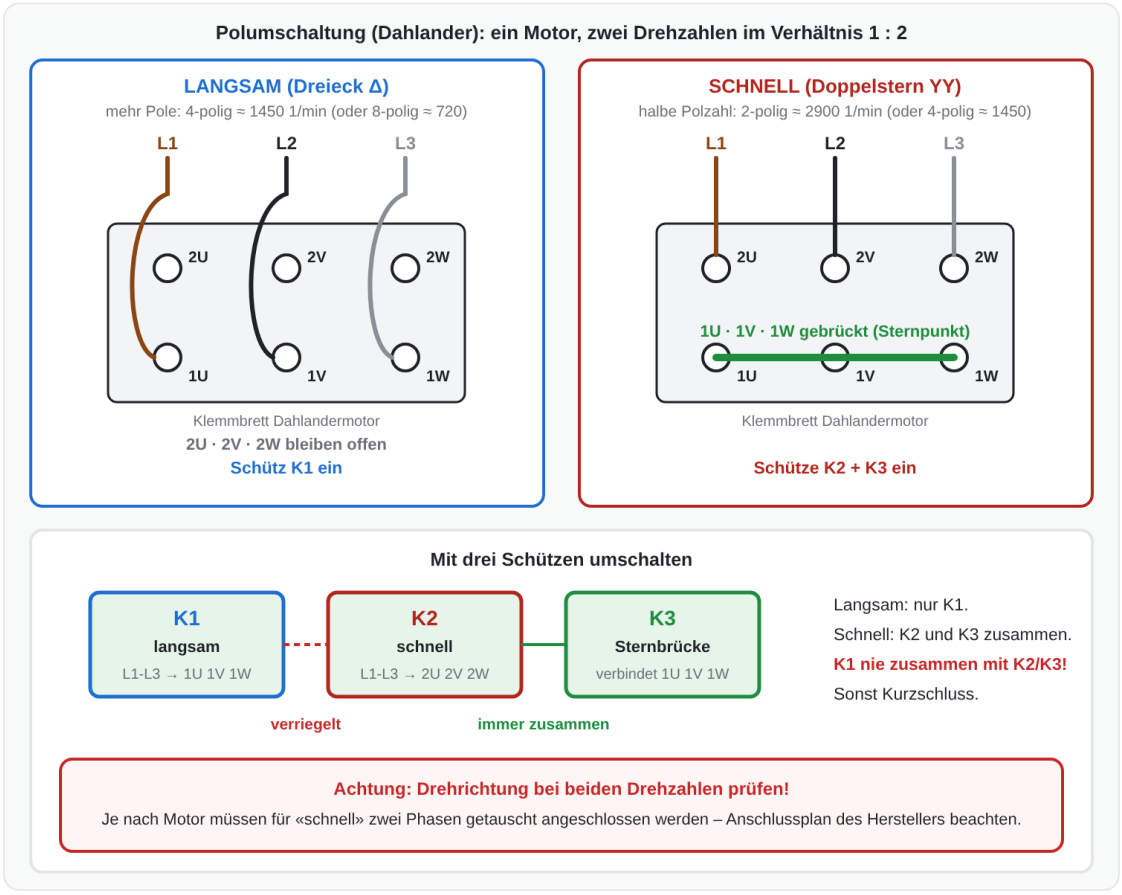
Aufgabe: Man ersetzt einen 4-poligen durch einen 8-poligen Motor mit gleicher Leistung. Was passiert mit Drehzahl und Drehmoment?

Lösung: Die Drehzahl wird halb so gross (ca. 720 statt 1450 1/min), das Drehmoment doppelt so gross.

Polumschaltung: ein Motor mit zwei Drehzahlen

Manche Maschinen brauchen zwei feste Drehzahlen, z. B. eine Drehbank, ein Lüfter oder eine Hebebühne mit Schleich- und Schnellgang. Dafür gibt es **polumschaltbare Motoren**. Man ändert die Zahl der Pole – und damit die Drehzahl.

Der bekannteste ist der **Dahlandermotor**: Er hat **eine** Wicklung, die man so umschaltet, dass die Polzahl halbiert wird. Die Drehzahl verdoppelt sich also, z. B. **4/2-polig** (1450 / 2900 1/min) oder **8/4-polig** (720 / 1450 1/min).



Schema Polumschaltung

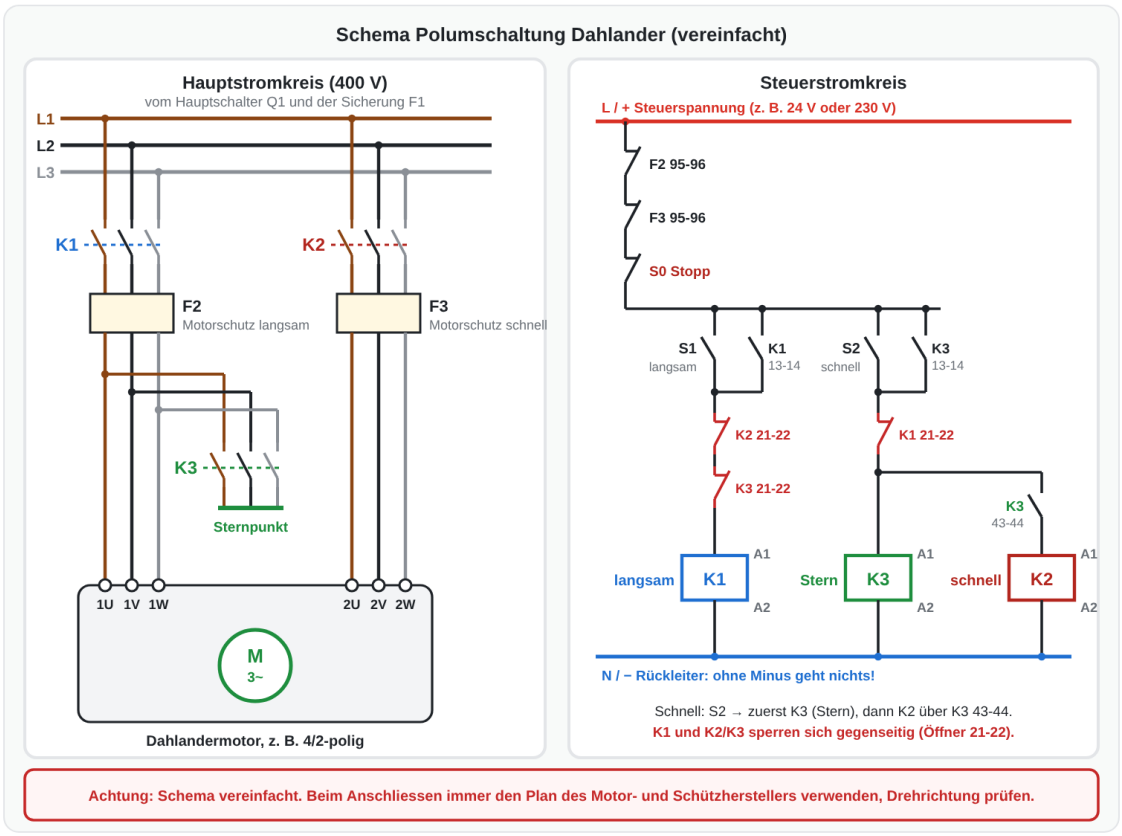


Bild: Links der Hauptstromkreis. K1 schaltet langsam (1U 1V 1W), K2 schaltet schnell (2U 2V 2W) und K3 brückt dabei 1U 1V 1W zum Sternpunkt. Rechts der Steuerstromkreis mit Stopp, zwei Tastern, Selbsthaltung (13-14) und gegenseitiger Verriegelung (21-22).

Motor	Langsam (Δ, 1U 1V 1W)	Schnell (YY, 2U 2V 2W)
Dahlander 4/2-polig	4-polig ≈ 1450 1/min	2-polig ≈ 2900 1/min
Dahlander 8/4-polig	8-polig ≈ 720 1/min	4-polig ≈ 1450 1/min
Bei 60 Hz (USA)	× 1,2 (z. B. 1750 statt 1450)	× 1,2 (z. B. 3500 statt 2900)

Merksatz: Dahlander = Verhältnis 1 : 2. Langsam: Netz an 1U 1V 1W (Dreieck), 2U 2V 2W offen. Schnell: Netz an 2U 2V 2W, und 1U 1V 1W werden zum Sternpunkt gebrückt (Doppelstern). Bei schnell hat der Motor meist etwas mehr Leistung.

Braucht man ein anderes Verhältnis (z. B. 6/4-polig, 1000 / 1450 1/min), hat der Motor **zwei getrennte Wicklungen**. Dann braucht es nur zwei Schütze, die gegenseitig verriegelt sind.

Achtung: Die Schütze für langsam (K1) und schnell (K2 + K3) müssen **gegenseitig verriegelt** sein (wie beim Wendeschütz), sonst gibt es einen Kurzschluss. Den Motorschutz für **jede Drehzahl** separat einstellen, die Ströme sind verschieden. Drehrichtung bei beiden Drehzahlen prüfen und immer den **Anschlussplan des Herstellers** beachten.

Aufgabe: Ein Dahlandermotor 8/4-polig läuft langsam mit 720 1/min. Wie schnell läuft er im schnellen Gang?

Lösung: Halbe Polzahl = doppelte Drehzahl: ca. **1450 1/min** (4-polig).

Aufgabe: Was passiert mit den Klemmen 1U 1V 1W im schnellen Gang?

Lösung: Sie werden über den Schütz K3 **miteinander verbunden** (Sternpunkt). Das Netz liegt dann an 2U 2V 2W.

Polzahl und Drehzahl (bei 50 Hz)

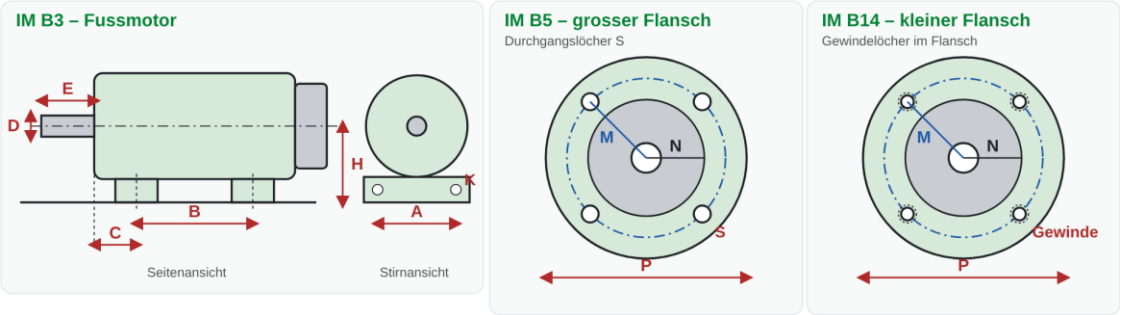
Polzahl	Synchrone Drehzahl	Nenndrehzahl ca.	Drehmoment bei 1 kW ca.
2-polig	3000 1/min	2900 1/min	3,3 Nm
4-polig	1500 1/min	1450 1/min	6,6 Nm
6-polig	1000 1/min	960 1/min	9,9 Nm
8-polig	750 1/min	720 1/min	13,3 Nm

Formel: M [Nm] = 9550 × P [kW] / n [1/min]. Bei 60 Hz (z. B. USA) dreht der Motor ca. 20 % schneller. Synchrone Drehzahl = 60 × Frequenz / Polpaarzahl.

Bauformen

Bauform	Beschreibung
IM B3	Fussmotor, liegend
IM B5	Grosser Flansch mit Durchgangslöchern (FF), ohne Füsse
IM B14	Kleiner Flansch mit Gewindelöchern (FT), ohne Füsse
IM B35	Füsse und grosser Flansch B5
IM B34	Füsse und kleiner Flansch B14
IM V1	Flansch B5, Welle nach unten (senkrecht)

Skizzen: was bedeuten die Buchstaben?



Buchstabe	Bedeutung
H	Achshöhe = Baugrösse: Wellenmitte bis Unterkante Fuss
A	Abstand der Fusslöcher **quer** (Stirnansicht)
B	Abstand der Fusslöcher **längs** (Seitenansicht)
C	Wellenbund bis Mitte erstes Fussloch

Buchstabe	Bedeutung
K	Durchmesser der Fusslöcher
D × E	Wellen-Durchmesser × Wellen-Länge
P	Flansch-Aussendurchmesser
M	**Lochkreis** (Teilkreis der Befestigungslöcher)
N	Zentrierbund-Durchmesser (Passung j6)
S	Durchgangslöcher im B5-Flansch; beim B14-Flansch Gewindelöcher

Motor-Rechner 1: Masse zur Baugrösse

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-elektro-automation/

Motor-Rechner 2: Drehmoment und Baugrösse aus kW und Polzahl

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-elektro-automation/

Anschlussmasse nach Baugrösse

Die Masse sind bei allen Herstellern gleich (IEC 60072).

Baugrösse	Welle 2-polig D × E	Welle 4- bis 8-polig D × E	Fuss A (quer)	Fuss B (längs)	C (Fuss bis Wellenbund)	K Fussloch-Ø	Flansch B5: P / M (Lochkreis) / N / Löcher	Flansch B14: P / M (Lochkreis) / N / Gewinde
56	9 × 20	9 × 20	90	71	36	5,8	FF100: 120 / 100 / 80 / 4 × 7	FT65: 80 / 65 / 50 / 4 × M5
63	11 × 23	11 × 23	100	80	40	7	FF115: 140 / 115 / 95 / 4 × 10	FT75: 90 / 75 / 60 / 4 × M5
71	14 × 30	14 × 30	112	90	45	7	FF130: 160 / 130 / 110 / 4 × 10	FT85: 105 / 85 / 70 / 4 × M6
80	19 × 40	19 × 40	125	100	50	10	FF165: 200 / 165 / 130 / 4 × 12	FT100: 120 / 100 / 80 / 4 × M6
90	24 × 50	24 × 50	140	100 (S) / 125 (L)	56	10	FF165: 200 / 165 / 130 / 4 × 12	FT115: 140 / 115 / 95 / 4 × M8
100	28 × 60	28 × 60	160	140	63	12	FF215: 250 / 215 / 180 / 4 × 15	FT130: 160 / 130 / 110 / 4 × M8
112	28 × 60	28 × 60	190	140	70	12	FF215: 250 / 215 / 180 / 4 × 15	FT130: 160 / 130 / 110 / 4 × M8
132	38 × 80	38 × 80	216	140 (S) / 178 (M)	89	12	FF265: 300 / 265 / 230 / 4 × 15	FT165: 200 / 165 / 130 / 4 × M10
160	42 × 110	42 × 110	254	210 (M) / 254 (L)	108	15	FF300: 350 / 300 / 250 / 4 × 19	–
180	48 × 110	48 × 110	279	241 (M) / 279 (L)	121	15	FF300: 350 / 300 / 250 / 4 × 19	–
200	55 × 110	55 × 110	318	305	133	19	FF350: 400 / 350 / 300 / 4 × 19	–
225	55 × 110	60 × 140	356	286 (S) / 311 (M)	149	19	FF400: 450 / 400 / 350 / 8 × 19	–
250	60 × 140	65 × 140	406	349	168	24	FF500: 550 / 500 / 450 / 8 × 19	–
280	65 × 140	75 × 140	457	368 (S) / 419	190	24	FF500: 550 / 500 / 450 / 8 ×	–

Baugrösse	Welle 2-polig D × E	Welle 4- bis 8-polig D × E	Fuss A (quer)	Fuss B (längs)	C (Fuss bis Wellenbund)	K Fussloch-Ø	Flansch B5: P / M (Lochkreis) / N / Löcher	Flansch B14: P / M (Lochkreis) / N / Gewinde
				(M)			19	
315	65 × 140	80 × 170	508	406 (S) / 457 (M)	216	28	FF600: 660 / 600 / 550 / 8 × 24	–

Masse in mm. P = Flansch-Aussen-Ø, M = Lochkreis-Ø, N = Zentrierbund-Ø. Die Motorlänge und die Höhe des Klemmenkastens sind je nach Hersteller und Motorserie verschieden. Bei B14 gibt es für viele Baugrössen auch einen grossen B14-Flansch: im Katalog prüfen.

Leistung und Drehmoment: 2-polig (ca. 2900 1/min)

Baugrösse	kW	PS	ca. 1/min	Nennmoment ca. Nm	Welle D × E mm
56 A	0,09	0,12	2900	**0,30**	9 × 20
56 B	0,12	0,16	2900	**0,40**	9 × 20
63 A	0,18	0,24	2900	**0,59**	11 × 23
63 B	0,25	0,34	2900	**0,82**	11 × 23
71 A	0,37	0,50	2900	**1,22**	14 × 30
71 B	0,55	0,75	2900	**1,81**	14 × 30
80 A	0,75	1,02	2900	**2,47**	19 × 40
80 B	1,1	1,5	2900	**3,62**	19 × 40
90 S	1,5	2	2900	**4,94**	24 × 50
90 L	2,2	3	2900	**7,24**	24 × 50
100 L	3	4,1	2900	**9,88**	28 × 60
112 M	4	5,4	2900	**13,2**	28 × 60
132 SA	5,5	7,5	2900	**18,1**	38 × 80
132 SB	7,5	10,2	2900	**24,7**	38 × 80
160 MA	11	15	2900	**36,2**	42 × 110
160 MB	15	20,4	2900	**49,4**	42 × 110
160 L	18,5	25,2	2900	**60,9**	42 × 110
180 M	22	29,9	2900	**72,4**	48 × 110
200 LA	30	40,8	2900	**98,8**	55 × 110
200 LB	37	50,3	2900	**122**	55 × 110
225 M	45	61,2	2900	**148**	55 × 110
250 M	55	74,8	2900	**181**	60 × 140
280 S	75	102	2900	**247**	65 × 140
280 M	90	122,4	2900	**296**	65 × 140
315 S	110	149,6	2900	**362**	65 × 140
315 MA	132	179,5	2900	**435**	65 × 140

Leistung und Drehmoment: 4-polig (ca. 1450 1/min)

Baugrösse	kW	PS	ca. 1/min	Nennmoment ca. Nm	Welle D × E mm
56 A	0,06	0,08	1450	**0,40**	9 × 20
56 B	0,09	0,12	1450	**0,59**	9 × 20
63 A	0,12	0,16	1450	**0,79**	11 × 23
63 B	0,18	0,24	1450	**1,19**	11 × 23
71 A	0,25	0,34	1450	**1,65**	14 × 30
71 B	0,37	0,50	1450	**2,44**	14 × 30
80 A	0,55	0,75	1450	**3,62**	19 × 40
80 B	0,75	1,02	1450	**4,94**	19 × 40
90 S	1,1	1,5	1450	**7,24**	24 × 50
90 L	1,5	2	1450	**9,88**	24 × 50
100 LA	2,2	3	1450	**14,5**	28 × 60
100 LB	3	4,1	1450	**19,8**	28 × 60
112 M	4	5,4	1450	**26,3**	28 × 60
132 S	5,5	7,5	1450	**36,2**	38 × 80

Baugrösse	kW	PS	ca. 1/min	Nennmoment ca. Nm	Welle D × E mm
132 M	7,5	10,2	1450	**49,4**	38 × 80
160 M	11	15	1450	**72,4**	42 × 110
160 L	15	20,4	1450	**98,8**	42 × 110
180 M	18,5	25,2	1450	**122**	48 × 110
180 L	22	29,9	1450	**145**	48 × 110
200 L	30	40,8	1450	**198**	55 × 110
225 S	37	50,3	1450	**244**	60 × 140
225 M	45	61,2	1450	**296**	60 × 140
250 M	55	74,8	1450	**362**	65 × 140
280 S	75	102	1450	**494**	75 × 140
280 M	90	122,4	1450	**593**	75 × 140
315 S	110	149,6	1450	**724**	80 × 170
315 MA	132	179,5	1450	**869**	80 × 170

Leistung und Drehmoment: 6-polig (ca. 960 1/min)

Baugrösse	kW	PS	ca. 1/min	Nennmoment ca. Nm	Welle D × E mm
63 B	0,12	0,16	960	**1,19**	11 × 23
71 A	0,18	0,24	960	**1,79**	14 × 30
71 B	0,25	0,34	960	**2,49**	14 × 30
80 A	0,37	0,50	960	**3,68**	19 × 40
80 B	0,55	0,75	960	**5,47**	19 × 40
90 S	0,75	1,02	960	**7,46**	24 × 50
90 L	1,1	1,5	960	**10,9**	24 × 50
100 L	1,5	2	960	**14,9**	28 × 60
112 M	2,2	3	960	**21,9**	28 × 60
132 S	3	4,1	960	**29,8**	38 × 80
132 MA	4	5,4	960	**39,8**	38 × 80
132 MB	5,5	7,5	960	**54,7**	38 × 80
160 M	7,5	10,2	960	**74,6**	42 × 110
160 L	11	15	960	**109**	42 × 110
180 L	15	20,4	960	**149**	48 × 110
200 LA	18,5	25,2	960	**184**	55 × 110
200 LB	22	29,9	960	**219**	55 × 110
225 M	30	40,8	960	**298**	60 × 140
250 M	37	50,3	960	**368**	65 × 140
280 S	45	61,2	960	**448**	75 × 140
280 M	55	74,8	960	**547**	75 × 140
315 S	75	102	960	**746**	80 × 170
315 MA	90	122,4	960	**895**	80 × 170

Leistung und Drehmoment: 8-polig (ca. 720 1/min)

Baugrösse	kW	PS	ca. 1/min	Nennmoment ca. Nm	Welle D × E mm
71 A	0,09	0,12	720	**1,19**	14 × 30
71 B	0,12	0,16	720	**1,59**	14 × 30
80 A	0,18	0,24	720	**2,39**	19 × 40
80 B	0,25	0,34	720	**3,32**	19 × 40
90 S	0,37	0,50	720	**4,91**	24 × 50
90 L	0,55	0,75	720	**7,30**	24 × 50
100 LA	0,75	1,02	720	**9,95**	28 × 60
100 LB	1,1	1,5	720	**14,6**	28 × 60
112 M	1,5	2	720	**19,9**	28 × 60
132 S	2,2	3	720	**29,2**	38 × 80
132 M	3	4,1	720	**39,8**	38 × 80
160 MA	4	5,4	720	**53,1**	42 × 110
160 MB	5,5	7,5	720	**73,0**	42 × 110

Baugrösse	kW	PS	ca. 1/min	Nennmoment ca. Nm	Welle D × E mm
160 L	7,5	10,2	720	**99,5**	42 × 110
180 L	11	15	720	**146**	48 × 110
200 L	15	20,4	720	**199**	55 × 110
225 S	18,5	25,2	720	**245**	60 × 140
225 M	22	29,9	720	**292**	60 × 140
250 M	30	40,8	720	**398**	65 × 140
280 S	37	50,3	720	**491**	75 × 140
280 M	45	61,2	720	**597**	75 × 140
315 S	55	74,8	720	**730**	80 × 170
315 MA	75	102	720	**995**	80 × 170

Leistungszuordnung nach Norm (EN 50347). Das Nennmoment ist mit der typischen Nenndrehzahl gerechnet und daher ein Richtwert; der genaue Wert steht auf dem Typenschild. Das Anlaufmoment ist meist 2- bis 3-mal grösser als das Nennmoment.

Nennstrom, Wirkungsgrad und Gewicht: 4-polig (ca. 1450 1/min)

Baugrösse	kW	Nennstrom 400 V ca. A	Wirkungsgrad η %	Gewicht ca. kg	Länge L ca. mm	Höhe H1 ca. mm
56 B	0,09	0,35	63	3,4	180	164
63 A	0,12	0,40	64	3,6	180	165
63 B	0,18	0,65	64	4,2	191	165
71 A	0,25	0,85	66	5,1	201	178
71 B	0,37	1,1	69	6,0	210	178
80 A	0,55	1,5	71	7,7	215	195
80 B	0,75	2,0	73	9,0	232	195
90 S	1,1	2,6	80	14	255	230
90 L	1,5	3,5	78	16	280	230
100 LA	2,2	4,8	80	25	316	252
100 LB	3	6,6	81	26	316	252
112 M	4	8,3	82	34	325	280
132 S	5,5	11,0	84	62	360	312
132 M	7,5	14,6	85	73	400	312
160 M	11	20,9	85	105	520	370
160 L	15	27,7	87	125	564	370
180 M	18,5	32,8	90	165	595	408
180 L	22	38,8	90	175	595	408
200 L	30	53	93	265	700	485
225 S	37	66	93	315	720	535
225 M	45	78	94	345	745	535
250 M	55	94	93	425	850	590
280 S	75	126	95	575	900	660
280 M	90	151	95	620	950	660
315 S	110	185	95	715	1040	695
315 MA	132	223	95	750	1040	695
315 MB	160	272	95	800	1040	695

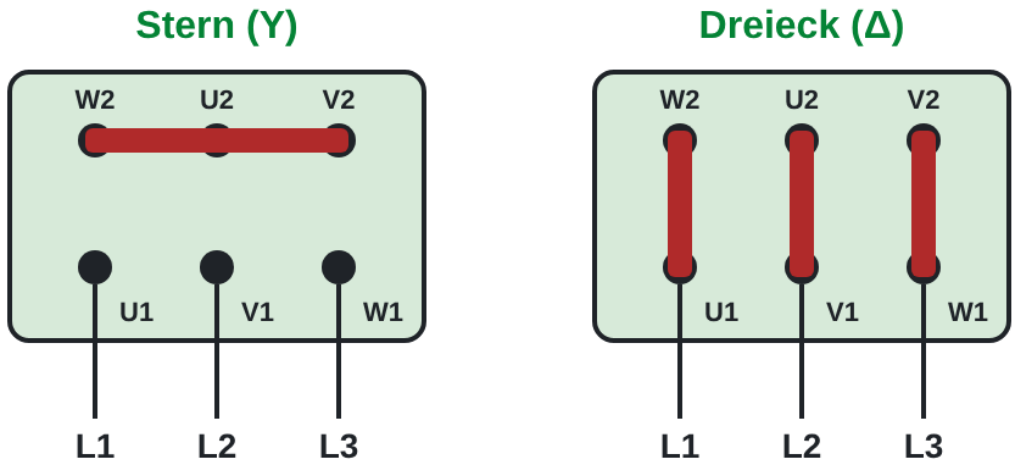
Werte einer Normmotoren-Serie, Fussausführung B3. Länge L und Höhe H1 können je nach Hersteller und Serie abweichen. Massgebend sind Typenschild und Datenblatt des Motors. Grosse Motoren haben einen besseren Wirkungsgrad als kleine.

Stern oder Dreieck?

Typenschild	Am Netz 400 V schalten in	Hinweis
230 / 400 V	Stern (Y)	Übliche kleine Motoren bis ca. 3 bis 4 kW
400 / 690 V	Dreieck (Δ)	Grössere Motoren; Stern-Dreieck-Anlauf möglich
Stern-Dreieck-Anlauf	Anlauf in Stern, dann Dreieck	Nur bei Motoren 400 / 690 V. Anlaufstrom und -moment ca. 1/3

Drehrichtung ändern: zwei der drei Aussenleiter (L1, L2, L3) tauschen. Arbeiten am Klemmenkasten nur spannungsfrei und durch Fachpersonal. Motor-Nennströme siehe Kapitel Elektro.

Klemmbrett: Brücken für Stern und Dreieck



Die Brücken liegen im Klemmenkasten. Stern: alle drei oberen Klemmen (W2, U2, V2) miteinander verbinden. Dreieck: drei senkrechte Brücken (W2–U1, U2–V1, V2–W1). Netz immer an U1, V1, W1. Das Schaltbild steht meist auch im Deckel des Klemmenkastens.

Anlaufstrom und Generator

Anlaufart	Anlaufstrom ca.
Direkt am Netz	6 bis 7 × Nennstrom
Stern-Dreieck	2 bis 2,5 × Nennstrom
Schleifringläufer mit Anlasswiderstand	1,5 bis 2 × Nennstrom

Wichtig bei Notstrom- und Baustellengeneratoren: Der Generator muss den Anlaufstrom des grössten Motors schaffen. Leistung mit ca. 15 bis 20 % Reserve wählen. Übliche Generatoren sind für cos φ = 0,8 gebaut. Kondensatoren zur Blindstrom-Kompensation am Generator abschalten, sonst kann die Spannung schwanken oder zu hoch werden.

Weitere Anlaufart	Anlaufstrom ca.	Hinweis
Anlasstransformator (Spartrafo), Anzapfung 40 %	1,2 × Nennstrom	Anlaufstrom und Anlaufmoment sinken mit dem **Quadrat** der Anzapfung ($0{,}4^2 = 0{,}16$)
Anlasstransformator, Anzapfung 60 %	ca. 2,5 × Nennstrom	$0{,}6^2 \times 7 \approx 2{,}5$ – geeignet für Pumpen und Lüfter
Anlasstransformator, Anzapfung 80 %	4,5 × Nennstrom	Fast volles Anlaufmoment, für schwer anlaufende Maschinen
Sanftanlasser (Softstarter)	ca. 3 bis 4,5 × Nennstrom (je nach Maschine)	Spannung wird elektronisch langsam hochgefahren; schont Riemen und Getriebe
Frequenzumrichter	etwa Nennstrom (begrenzt durch die Stromgrenze des Umrichters)	Sanftester Anlauf mit vollem Moment; Drehzahl zusätzlich verstellbar. Genaue Werte im Datenblatt des Umrichters

Faustregel Generator: Ist der Anlaufstrom eines Motors nicht bekannt, rechnet man beim Direktanlauf mit einer Anlaufleistung von ca. **7 kVA pro PS** (≈ 9,5 kVA pro kW). Beispiel: Motor 11 kW direkt angelassen → ca. 105 kVA beim Anlauf. Mit Stern-Dreieck oder Frequenzumrichter reicht ein deutlich kleinerer Generator.

Motor am Einphasennetz (230 V)

Motorart	Aufbau und Anschluss	Betriebskondensator ca.
Einphasen-Kondensatormotor	Hauptwicklung direkt am Netz, Hilfswicklung über Kondensator. Für Maschinen, die zum Anfahren nicht die volle Leistung brauchen	30 bis 50 µF je kW
Drehstrommotor in Steinmetzschaltung	Drehstrommotor 230/400 V in Dreieck schalten. L und N an zwei Klemmen, Kondensator von der dritten Klemme (fehlender Aussenleiter L3) an L oder N	ca. 70 µF je kW

Beide Arten haben ein kleines Anzugsmoment und eignen sich nur für Maschinen, die ohne Last anlaufen. Die Steinmetzschaltung gibt weniger Leistung als am Drehstromnetz. Drehrichtung ändern: Kondensator an die andere Netzklemme legen (Steinmetz) bzw. die Hilfswicklung umpolen (Kondensatormotor). Kondensator nur mit genügend

hoher Spannungsfestigkeit verwenden, die Spannung daran ist höher als die Netzspannung. Die genaue Kapazität muss am Motor ermittelt werden (Richtwerte, bitte prüfen).

Übung: Ein Drehstrommotor 0,75 kW soll in Steinmetzschaltung an 230 V laufen. Welcher Kondensator ungefähr?

Lösung: 0,75 × 70 = **ca. 50 µF** Betriebskondensator

So funktioniert ein Elektromotor

Fliesst Strom durch einen Draht, entsteht um ihn ein Magnetfeld. Wickelt man den Draht zu einer Spule um einen Eisenkern, wird das Magnetfeld stark: ein Elektromagnet. Gleiche Magnetpole stossen sich ab, ungleiche ziehen sich an. Im Drehstrommotor erzeugen die drei Wicklungen im Ständer (Stator) ein Magnetfeld, das sich dreht. Der Läufer (Rotor) wird von diesem Drehfeld mitgezogen. Ein Generator macht das Umgekehrte: Er wandelt Drehbewegung in Strom.

Bauart	Typisch für
Drehstrom-Asynchronmotor (Käfigläufer)	Normmotoren, Pumpen, Hydraulikaggregate, Hauptantriebe. Robust, fast wartungsfrei
Synchron-Servomotor	CNC-Vorschubachsen, mit Geber und Umrichter
Gleichstrommotor (mit Kohlebürsten)	Ältere Achs- und Spindelantriebe. Kohlebürsten und Kollektor brauchen Wartung
Einphasenmotor	Kleine Maschinen am 230-V-Netz

Feuchten Motor trocknen und reinigen

Schritt	Was tun
1. Messen	Isolationswiderstand mit einem Isolationsmessgerät (500 / 1000 V DC) messen: jede Wicklung gegen Gehäuse und die Wicklungen gegeneinander. Über ca. 600 kΩ muss nicht getrocknet werden
2. Reinigen	Öl und Schmutz mit einem Reinigungsmittel entfernen, das die Isolation nicht angreift (für Elektromotoren zugelassen). Nach Salzwasser, Säure oder Lauge mit entmineralisiertem Wasser reinigen
3. Trocknen	Bei ca. 60 °C einige Stunden (3 bis 4 h) im Ofen trocknen. Dann wieder messen
4. Schützen	Wicklung mit Isolierlack schützen, nach Angabe des Lackherstellers trocknen
5. Prüfen	Nach dem Abkühlen Isolation nochmals messen, Spannungsprüfung durch Fachpersonal, erst dann zusammenbauen

Bei alten und kleinen Motoren nicht zu heiss trocknen. Neue, grosse Motoren vertragen mehr (Richtwert normale Motoren max. ca. 100 bis 110 °C, abhängig von Isolation und Imprägnierung). Gleichstrom- und Schleifringläufermotoren brauchen eine besondere Behandlung. Bei kleinen Normmotoren ist ein neuer Motor oft günstiger als die Reparatur.

Motor war mit Öl gefüllt: Öl ablassen, mit zugelassenem Reiniger auswaschen, mindestens einige Stunden bei ca. 60 °C trocknen, dann eine Stossspannungsprüfung mit mindestens 1000 V machen lassen. Erst danach zusammenbauen und wieder in Betrieb nehmen.

Motor-Revision: worauf achten

Arbeit	Hinweis
Vor dem Zerlegen	Gehäuse und Lagerschilde körnen: Antriebsseite 1 Körnerpunkt, Nichtantriebsseite 2 Körnerpunkte. So kommen alle Teile wieder gleich zusammen
Klemmenbrett	Muttern gut, aber nicht zu fest anziehen (Schraubendreher mit Sechskanteinsatz statt Ratsche), sonst bricht die Klemmenplatte
Isolationsmessung	Jede Phase gegen Gehäuse und jede Phase gegen die anderen Phasen. Eine Messung dauert ca. 3 Minuten, weil sich der Wert mit der Zeit ändert
Prüfspannung Wicklung	Richtwert 2 × Betriebsspannung + 1000 V (400-V-Motor: 1800 V). Nur mit geeignetem Prüfgerät und durch Fachpersonal
Lüfter, Riemenscheibe	Mit Abzieher demontieren. Zweiteilige Riemenscheibe: Abdrückschraube ins dritte Gewinde drehen
Lager wechseln	Nur das Lager anwärmen, nicht die Welle. Beim Aufziehen nur auf den Innenring schlagen (Rohr oder Messingdorn), nie auf den Aussenring. Lager nicht überhitzen. Meist wieder den gleichen Lagertyp einbauen (z. B. 2Z C3)
Abschluss	Wicklungswiderstände und Isolation messen, Probelauf im Leerlauf, alles protokollieren

Neu wickeln ist Arbeit für eine Wicklerei: Wickeldaten (Drahtdurchmesser, Windungszahl, Wickelschema) vor dem Ausbau genau aufschreiben.

Kapitel 41 · Was ist ein Frequenzumrichter (FU)? (Wi-8f 1-17.3)

*Ein Drehstrommotor am normalen Netz dreht immer etwa gleich schnell. Der **Frequenzumrichter (FU)** ist sein **Gaspedal**: Er verstellt die **Frequenz (Hertz)** und damit die **Drehzahl** des Motors, stufenlos.*

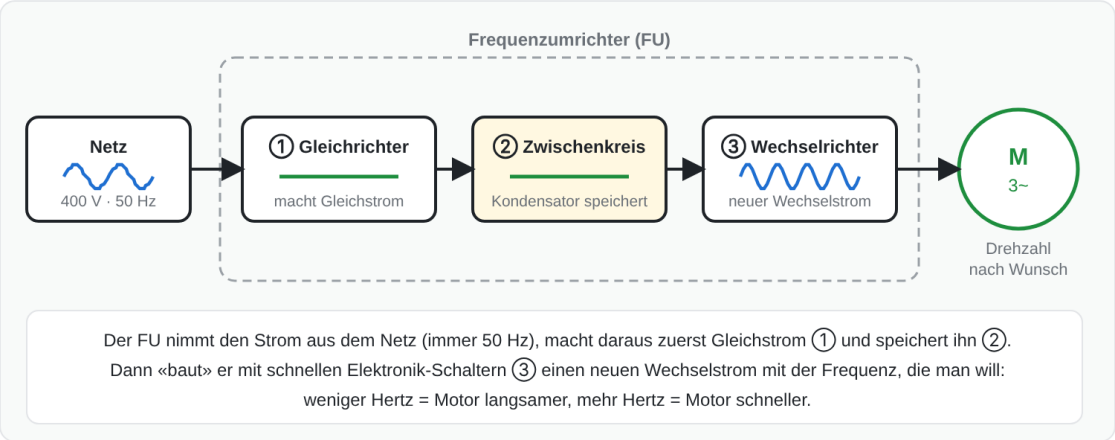
Warum die Hertz die Drehzahl bestimmen

Im Motor dreht sich ein Magnetfeld, und der Läufer dreht mit. Wie schnell sich das Feld dreht, hängt von der **Frequenz** ab: Je mehr Hertz, desto schneller. Aus dem Netz kommen immer **50 Hz**, darum hat ein Motor am Netz eine feste Drehzahl.

Formel: Drehzahl n [1/min] = Frequenz f [Hz] × 60 / Polpaarzahl p
Beispiel 4-poliger Motor (2 Polpaare) an 50 Hz: n = 50 × 60 / 2 = **1500 1/min** (wirklich etwas weniger, ca. 1450 1/min, weil der Läufer ein wenig «nachhinkt», das nennt man Schlupf).

Frequenz am FU	Drehzahl 4-poliger Motor (ca.)	Bemerkung
10 Hz	300 1/min	sehr langsam, Motor wird bei Dauerlast warm (eigener Lüfter dreht auch langsam)
25 Hz	750 1/min	halbe Drehzahl
50 Hz	1500 1/min	wie am Netz (Nenndrehzahl)
75 Hz	2250 1/min	schneller als am Netz, aber weniger Drehmoment
100 Hz	3000 1/min	nur wenn Motor und Mechanik dafür zugelassen sind

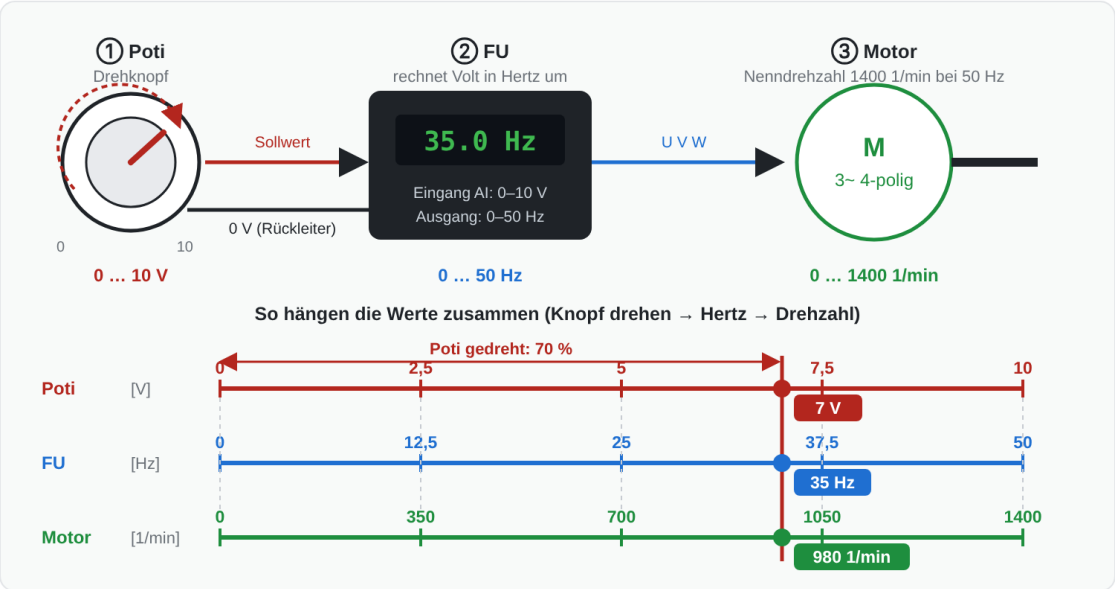
Was ist in einem FU drin?



Der FU verstellt nicht nur die Frequenz, sondern auch die **Spannung** passend dazu. So behält der Motor auch bei kleiner Drehzahl seine Kraft. Den ersten Teil, das Gleichrichten, siehe Kapitel «Grundlagen Strom Wi-8f 1-17.0».

Drehzahl einstellen mit dem Poti (0–10 V)

Ohne FU dreht ein 4-poliger Motor an 50 Hz immer etwa gleich schnell, zum Beispiel **1400 1/min** (steht auf dem Typenschild). Mit FU kann man die Drehzahl mit einem **Drehknopf (Potentiometer, kurz Poti)** einstellen:



Im Bild steht das Poti auf **7 V** (70 %). Der FU gibt darum **35 Hz** aus (70 % von 50 Hz), und der Motor dreht mit ca. **980 1/min** (70 % von 1400). Dreht man am Poti, wandert die rote Linie mit, und Hertz und Drehzahl ändern sich gleich mit.

Poti-Spannung	Frequenz am FU	Motor-Drehzahl (ca.)
0 V	0 Hz	0 1/min (steht)
2,5 V	12,5 Hz	350 1/min
5 V	25 Hz	700 1/min (halbe Drehzahl)
7,5 V	37,5 Hz	1050 1/min
10 V	50 Hz	1400 1/min (wie am Netz)

So funktioniert es: Das Poti hat drei Anschlüsse (10 V, 0 V und den Schleifer in der Mitte). Es braucht immer auch die **0-V-Leitung zurück**, sonst misst der FU nichts. Das Poti gibt eine Spannung zwischen 0 und 10 V an den **Sollwert-Eingang** des FU (meist «AI» = Analog-Eingang). Der FU rechnet die Volt in Hertz um: **10 V = 50 Hz**, 5 V = 25 Hz usw. Und die Hertz bestimmen die Drehzahl. Welche Frequenz zu 10 V gehört, kann man im FU einstellen (Parameter «Maximalfrequenz»).

Statt dem Poti kann auch die **SPS** die 0–10 V liefern (Analog-Ausgang). Dann stellt das Programm die Drehzahl ein, zum Beispiel für ein Förderband, das je nach Teil schneller oder langsamer läuft.

Aufgabe: Das Poti steht auf 4 V. Welche Frequenz gibt der FU aus, und wie schnell dreht der Motor (1400 1/min bei 50 Hz)?

Lösung: 4 V von 10 V = 40 %. 40 % von 50 Hz = **20 Hz**. 40 % von 1400 1/min = **560 1/min**.

Wofür braucht man einen FU?

Vorteil	Beispiel
Drehzahl stufenlos verstellen	Spindel einer Drehbank oder Fräse, Förderband
Sanft anfahren und bremsen	kein Ruck, schont Riemen, Getriebe und Werkstück; kleiner Anlaufstrom
Energie sparen	Pumpe oder Lüfter läuft nur so schnell wie nötig
Drehrichtung umschalten	per Knopf oder von der SPS, ohne Wendeschütz

Sicherheit

Achtung: Im Zwischenkreis ② sitzen grosse Kondensatoren. Sie bleiben nach dem Ausschalten noch einige Minuten **geladen, mit über 500 V Gleichspannung**. Darum: Nach dem Ausschalten die Wartezeit abwarten, die auf dem Gerät steht, und vor dem Arbeiten Spannungsfreiheit messen. Arbeiten am FU nur durch Fachleute.

Merksatz: Der FU ist das **Gaspedal** des Drehstrommotors: **mehr Hertz = schneller, weniger Hertz = langsamer.**

Aufgabe: Ein 4-poliger Motor läuft am FU mit 25 Hz. Wie schnell dreht er ungefähr?

Lösung: n = 25 × 60 / 2 = **750 1/min** (wirklich etwas weniger wegen Schlupf).

Aufgabe: Was verstellt der FU, damit sich die Drehzahl ändert?

Lösung: Die **Frequenz** (Hertz), und passend dazu die Spannung.

Aufgabe: Warum darf man einen FU nicht sofort nach dem Ausschalten öffnen?

Lösung: Die Kondensatoren im Zwischenkreis sind noch mit über 500 V geladen. Man muss warten und messen.

Kapitel 42 · Was ist eine SPS? (Wi-8f 1-16.0)

*SPS heisst **Speicherprogrammierbare Steuerung**. Das ist ein kleiner, robuster Computer im Schaltschrank, der eine Maschine steuert. Er schaut, was die Maschine meldet, und entscheidet dann, was eingeschaltet wird.*

Das Prinzip: Eingang – Programm – Ausgang

Jede SPS macht immer das Gleiche, in drei Schritten (auch EVA-Prinzip genannt: **E**ingabe, **V**erarbeitung, **A**usgabe):

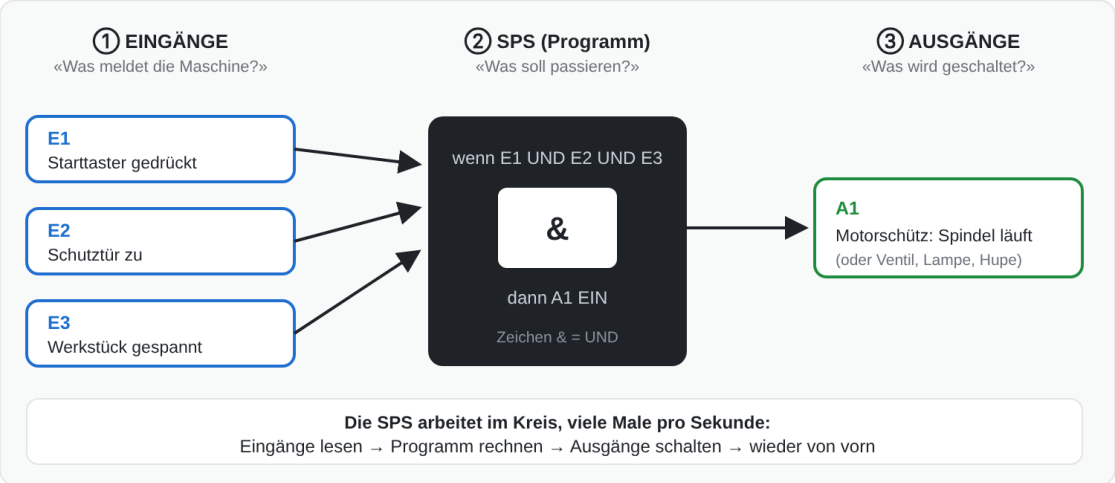


Bild: Die Spindel darf nur laufen, wenn alle drei Bedingungen erfüllt sind. Fehlt eine, bleibt der Ausgang aus.

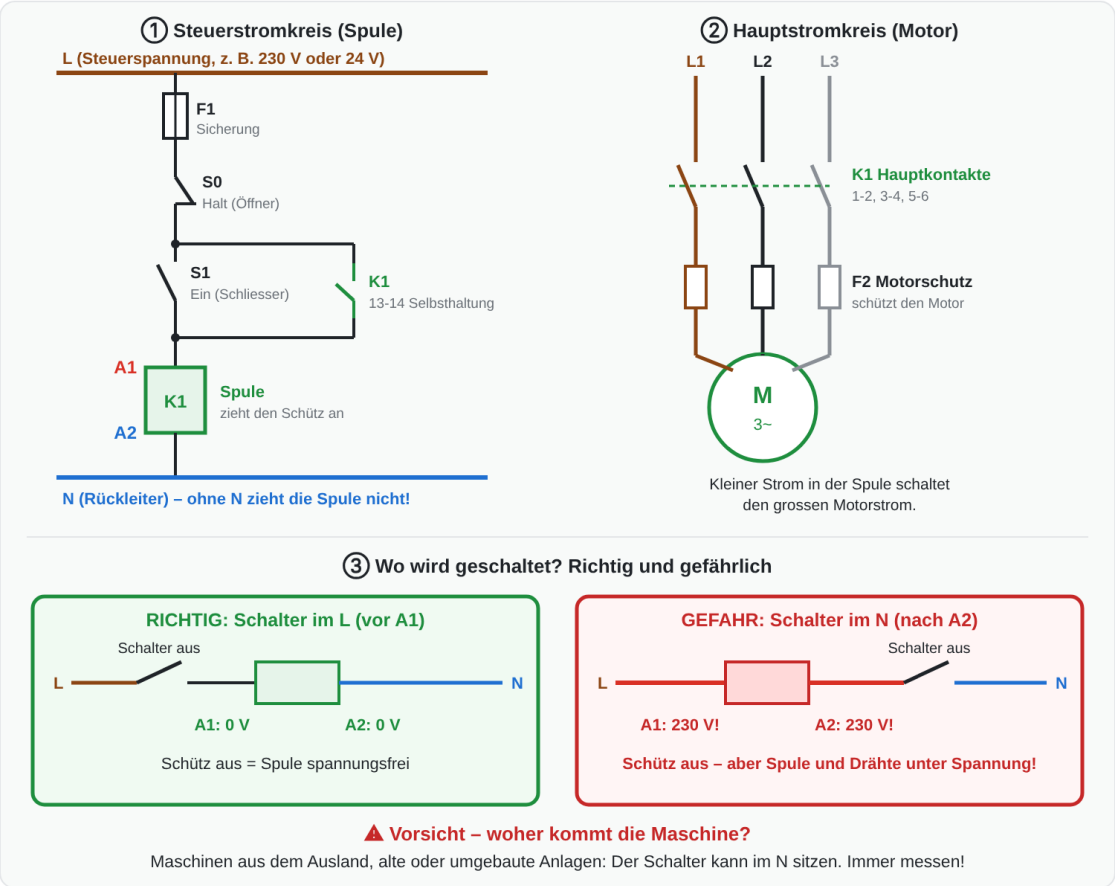
Teil	Was ist das?	Beispiele an der Maschine
Eingänge (E)	Die «Augen und Ohren» der SPS. Sie melden: ja oder nein, Strom da oder nicht.	Taster, Schalter, Endschalter, Näherungsschalter, Lichtschranke, Druckschalter, Temperaturfühler
Programm	Das «Gehirn». Hier steht, was bei welchen Meldungen passieren soll.	«Wenn Tür zu UND Start gedrückt, dann Motor ein»
Ausgänge (A)	Die «Hände» der SPS. Sie schalten etwas ein oder aus.	Schütz für Motor, Magnetventil für Zylinder, Lampe, Hupe

Die Eingänge und Ausgänge arbeiten meist mit **24 V Gleichstrom**. Die grossen Ströme (z. B. 400 V für den Motor) schaltet die SPS nicht selbst, sondern über ein **Schütz** oder Relais.

Ohne Minus geht nichts: Jeder Sensor, Taster und jedes Ventil braucht neben den 24 V auch den **Rückleiter 0 V** (oft «M» oder «0V» angeschrieben, blau). Fehlt die 0-V-Leitung, meldet kein Eingang etwas und kein Ausgang schaltet.

Wie wird ein Schütz angesteuert? (A1 und A2)

Ein **Schütz** ist ein grosser Schalter, der elektrisch eingeschaltet wird. Er hat eine **Spule** mit zwei Anschlüssen: **A1** und **A2**. Fliesst Strom durch die Spule, zieht sie die Kontakte an, und der Motor läuft. Ohne Strom fällt der Schütz ab.



Teil	Was es macht
A1	Anschluss der Spule, kommt vom **Aussenleiter L** (über Sicherung, Halt- und Ein-Taster). Bei 24-V-Steuerung: +24 V.
A2	Anschluss der Spule, geht zum **Rückleiter N** (bei 24 V: 0 V / M). Ohne diesen Rückweg zieht die Spule nicht an.
S0 Halt (Öffner)	Ist normal geschlossen. Drücken unterbricht den Strom, der Schütz fällt ab.
S1 Ein (Schliesser)	Ist normal offen. Drücken schliesst den Stromkreis, der Schütz zieht an.
K1 13-14 Selbsthaltung	Ein Hilfskontakt am Schütz, parallel zu S1. Er hält den Schütz eingeschaltet, wenn man S1 loslässt.
K1 1-2, 3-4, 5-6	Die Hauptkontakte. Sie schalten den grossen Motorstrom (L1, L2, L3).

Merksatz: Der Schalter (und der Halt-Taster) gehört immer in den **Aussenleiter L vor A1**. A2 geht direkt auf den Rückleiter N. Dann ist die Spule spannungsfrei, wenn der Schütz aus ist.

Achtung Gefahr: Wird falsch verdrahtet und der Schalter in den Rückleiter N (nach A2) gesetzt, oder ist man in einem Land bzw. einer Anlage, wo der Rückleiter geschaltet wird oder beide Leiter Spannung gegen Erde haben, dann liegen bei ausgeschaltetem Schütz an **A1 und an A2 trotzdem 230 V**. Man meint, es ist aus, weil der Motor steht – aber die Drähte sind lebensgefährlich. **Vorsicht, woher die Maschine kommt:** Bei Maschinen aus dem Ausland, alten oder umgebauten Anlagen weiss man nie sicher, wie verdrahtet wurde. Darum: **vor jeder Arbeit alle Leiter gegen Erde messen**, nie dem Schalter allein vertrauen. Viele Maschinen verwenden darum eine **24-V-Steuerspannung**: Sie ist bei Berührung ungefährlich.

Aufgabe: Der Motor läuft, du lässt den Ein-Taster S1 los. Warum läuft der Motor weiter?

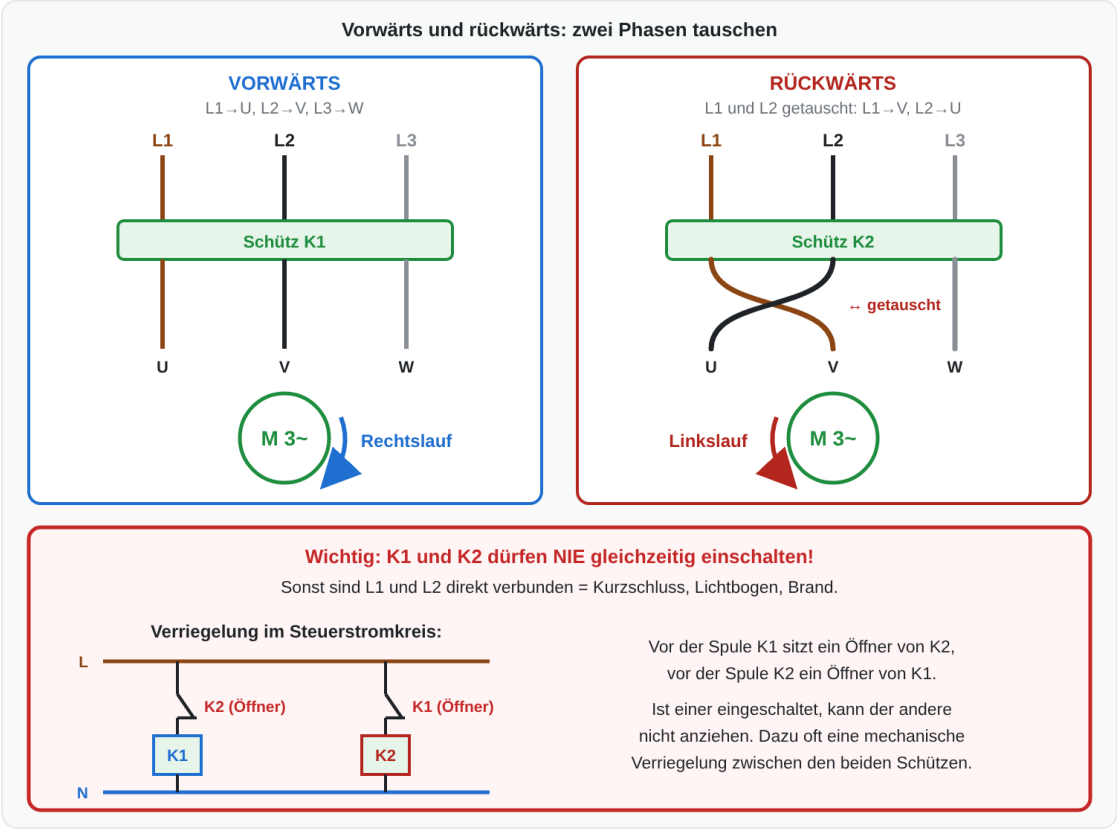
Lösung: Der Hilfskontakt **K1 13-14 (Selbsthaltung)** ist zu und hält den Strom zur Spule A1. Erst der Halt-Taster S0 unterbricht ihn.

Aufgabe: Der Schütz zieht nicht an, obwohl an A1 230 V gemessen werden. Was könnte fehlen?

Lösung: Der **Rückleiter an A2** (N bzw. 0 V) ist unterbrochen oder nicht angeschlossen. Ohne Rückweg fliesst kein Strom durch die Spule.

Vorwärts und rückwärts: Phasen tauschen (Wendeschaltung)

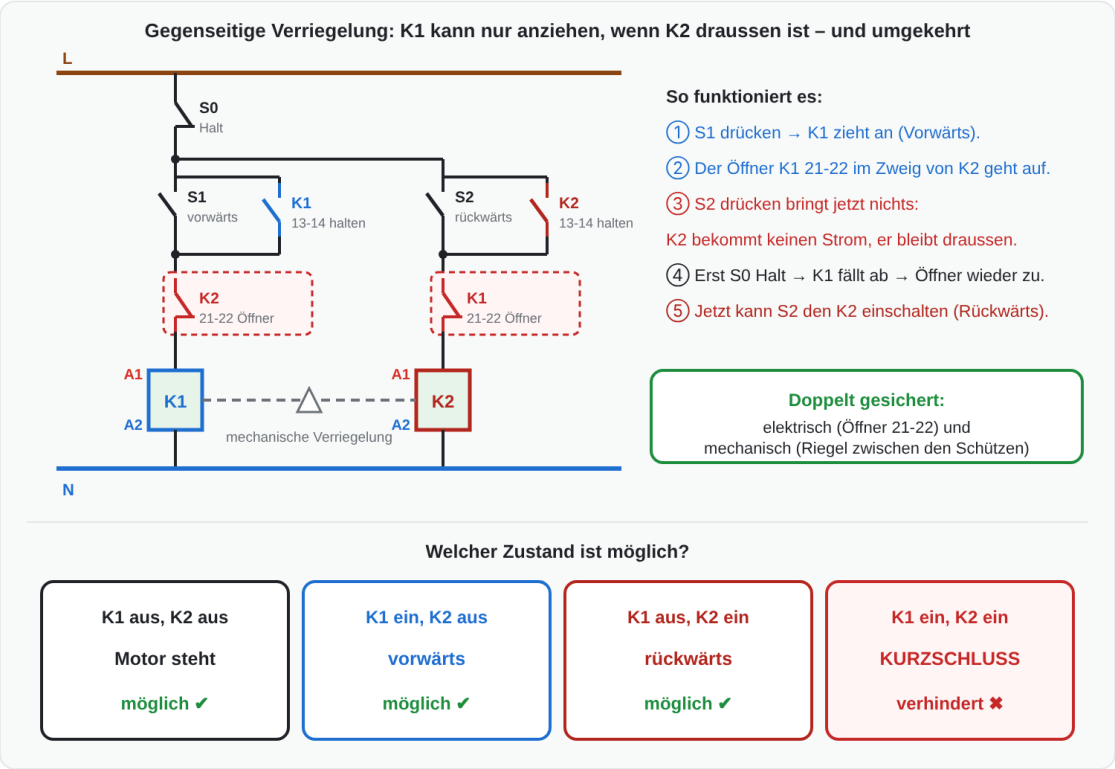
Ein Drehstrommotor dreht in die Richtung, in die das **Drehfeld** läuft. Die Reihenfolge der drei Phasen L1 – L2 – L3 bestimmt diese Richtung. Will man den Motor umdrehen lassen, **tauscht man zwei Phasen** – zum Beispiel L1 und L2. Die dritte bleibt, wo sie ist.



	Vorwärts (Rechtslauf)	Rückwärts (Linkslauf)
Schütz	K1	K2
Anschluss	L1→U, L2→V, L3→W	L1→V, L2→U, L3→W (L1 und L2 getauscht)
Verriegelung	Öffner von K2 vor der Spule K1	Öffner von K1 vor der Spule K2

Gegenseitige Verriegelung im Detail

Damit nie beide Schütze gleichzeitig eingeschaltet sind, sitzt im Weg zur Spule des einen Schützes ein **Öffner (21-22) des anderen**. Solange K1 eingeschaltet ist, ist sein Öffner offen, und K2 kann nicht anziehen. K2 kann erst einschalten, wenn K1 wieder **draussen** (abgefallen) ist – und umgekehrt.



Merksatz: Zwei Phasen tauschen = andere Drehrichtung. Tauscht man alle drei der Reihe nach, bleibt die Drehrichtung gleich. Mit einem **Frequenzumrichter** geht es einfacher: Die Drehrichtung wird mit einem Eingang oder Parameter umgeschaltet, ohne Wendeschütz.

Achtung: Die zwei Schütze K1 und K2 dürfen **nie gleichzeitig** anziehen – sonst gibt es einen **Kurzschluss** zwischen zwei Phasen mit Lichtbogen. Darum immer elektrisch (Öffner) und wenn möglich mechanisch verriegeln. Nicht direkt von vorwärts auf rückwärts umschalten, sondern zuerst **stoppen**. Vor dem ersten Einschalten einer Maschine die Drehrichtung prüfen (Drehfeldmessgerät oder kurz antippen): Eine falsch drehende Pumpe, Säge oder Spindel kann Schaden anrichten.

Aufgabe: Ein neuer Motor dreht falsch herum. Was macht der Elektriker?

Lösung: Bei ausgeschalteter und gesicherter Anlage **zwei Phasen tauschen** (z. B. L1 und L2 am Motor-Klemmbrett oder am Schütz). Dann dreht der Motor richtig.

Aufgabe: Warum braucht ein Wendeschütz eine Verriegelung?

Lösung: Wenn K1 und K2 gleichzeitig einschalten, sind zwei Phasen direkt miteinander verbunden. Das ist ein Kurzschluss. Die Verriegelung verhindert das.

Die drei wichtigsten Verknüpfungen

Verknüpfung	Zeichen	Bedeutung	Beispiel
UND	&	Alle Bedingungen müssen erfüllt sein.	Motor läuft nur, wenn Tür zu **und** Start gedrückt.
ODER	≥1	Mindestens eine Bedingung muss erfüllt sein.	Lampe leuchtet, wenn Taster 1 **oder** Taster 2 gedrückt.
NICHT	1 mit Kreis	Dreht das Signal um: aus wird ein, ein wird aus.	Warnlampe leuchtet, wenn Tür **nicht** zu.

Beispiel mit drei Eingängen (UND)

1 = Signal da (24 V), 0 = kein Signal. Der Ausgang ist nur in der letzten Zeile ein:

E1 Start	E2 Tür zu	E3 Werkstück gespannt	A1 Spindel
0	0	0	0 aus
1	0	1	0 aus
1	1	0	0 aus
0	1	1	0 aus

E1 Start	E2 Tür zu	E3 Werkstück gespannt	A1 Spindel
1	**1**	**1**	**1 EIN**

Merksatz: Die SPS **schaut** (Eingänge), **denkt** (Programm) und **schaltet** (Ausgänge), immer wieder, viele Male pro Sekunde.

Früher und heute

Früher hat man solche Steuerungen mit vielen Relais und Drähten gebaut (Relais- oder Schützsteuerung). Wollte man etwas ändern, musste man neu verdrahten.
Heute steht die Logik im Programm. Für eine Änderung wird nur das Programm angepasst, die Drähte bleiben. Darum heisst sie **«speicherprogrammierbar»**: Das Programm ist gespeichert und kann geändert werden.

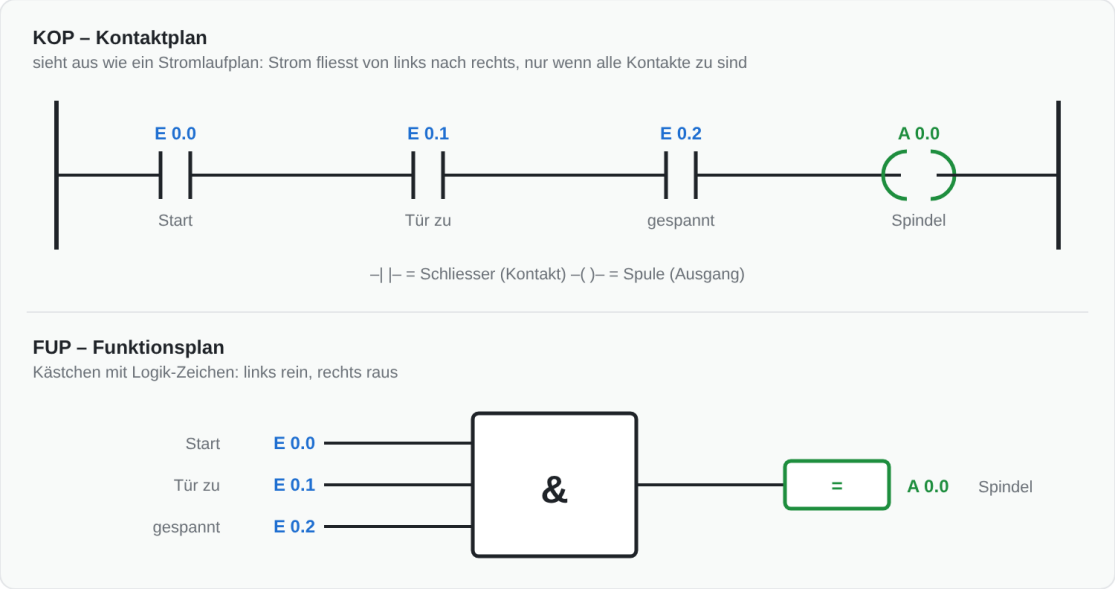
SPS findet man fast überall: in Werkzeugmaschinen, Förderbändern, Liften, Ampeln, Heizungen, Waschanlagen.

Wie wird eine SPS programmiert?

Sprache	So sieht es aus	Gut für
FUP (Funktionsplan)	Kästchen mit &, ≥1 wie im Bild oben	Einsteiger, Logik auf einen Blick
KOP (Kontaktplan)	sieht aus wie ein Stromlaufplan mit Kontakten und Spulen	Elektriker, die Schemas gewohnt sind
ST (Strukturierter Text)	Text wie eine Programmiersprache: IF … THEN …	Rechnen, grössere Programme

Ein kleines Programm in vier Sprachen

Die Aufgabe ist immer die gleiche wie im Bild oben: **Die Spindel (A 0.0) läuft nur, wenn Start (E 0.0) UND Tür zu (E 0.1) UND Werkstück gespannt (E 0.2).** Die Adressen E 0.0, A 0.0 usw. sind die Anschlüsse an der SPS: E = Eingang, A = Ausgang (englisch I und Q).



AWL – Anweisungsliste (wie kurze Befehle untereinander, «U» heisst UND):

U E 0.0 // Start gedrückt U E 0.1 // UND Tür zu U E 0.2 // UND Werkstück gespannt = A 0.0 // dann Spindel EIN

ST – Strukturierter Text (wie eine Programmiersprache):

Spindel := Start AND Tuer_zu AND Gespannt;

Sprache	Früher / heute
KOP	Früher und heute, beliebt bei Elektrikern
FUP	Früher und heute, gut zum Lernen

Sprache	Früher / heute
AWL	Früher sehr verbreitet (z. B. ältere Siemens-Steuerungen S5 und S7-300). Gilt heute als veraltet, bei neuen Steuerungen oft nicht mehr möglich. In alten Maschinen findet man sie aber noch.
ST	Heute immer wichtiger, vor allem für grössere Programme

Alle vier Sprachen machen hier genau das Gleiche. Es ist nur eine andere Art, es aufzuschreiben.

Sicherheit

Der **Not-Halt** darf nicht nur über eine normale SPS laufen. Er wird fest verdrahtet oder über ein **Sicherheitsrelais** bzw. eine Sicherheits-SPS geführt. So stoppt die Maschine auch dann, wenn das Programm einen Fehler hat.

Aufgabe: Eine Presse darf nur fahren, wenn der Bediener mit beiden Händen je einen Taster drückt. Welche Verknüpfung braucht es?

Lösung: **UND**. Taster links UND Taster rechts, dann Presse ein. So sind beide Hände weg vom Werkzeug. In der Praxis macht das ein Zweihand-Sicherheitsbaustein, nicht die normale SPS.

Aufgabe: Eine Hupe soll ertönen, wenn die Tür offen ist ODER der Öldruck fehlt. Was ist ein Eingang, was ist ein Ausgang?

Lösung: Eingänge sind der Türschalter und der Öldruckschalter. Der Ausgang ist die Hupe. Verknüpfung: ODER.

Aufgabe: Warum schaltet die SPS den 400-V-Motor nicht direkt?

Lösung: Die SPS-Ausgänge sind für 24 V und kleine Ströme gebaut. Sie schalten ein Schütz, und das Schütz schaltet den grossen Motorstrom.

Kapitel 43 · Elektronik, Programmierung und Wirkungsgrad (Wi-8f 1-16)

Positionsgeber, Parität zur Fehlererkennung und die Wirkungsgrade von Maschinen und Antrieben. Elektro-Grundlagen siehe Kapitel 39.

Revolver-Positionsgeber: Strobe und Parität

Viele Werkzeugrevolver melden ihre Position über einen Geber mit eingebauten Schaltern. Eine runde Scheibe wird mit Licht abgetastet. Die Position kommt als Binärzahl über die Signale 1, 2, 4 und 8.

Signal	Aufgabe
Strobe	Ist auf jeder Position aktiv. Erst wenn Strobe kommt, liest die Steuerung die Position. Strobe zeigt: der Revolver steht genau in einer Position
1, 2, 4, 8	Positionsnummer als Binärzahl: aktive Signale zusammenzählen
Parität	Kontrollsignal: damit erkennt die Steuerung einen Kabelbruch oder ein fehlendes Signal

Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Signal 1	●		●		●		●		●		●	
Signal 2		●	●			●	●			●	●	
Signal 4				●	●	●	●					●
Signal 8								●	●	●	●	●

So funktioniert die Parität: Das Paritätssignal ergänzt die Signale so, dass die Anzahl der aktiven Signale immer gerade ist (gerade Parität) oder immer ungerade (ungerade Parität). Fehlt durch einen Kabelbruch ein Signal, stimmt die Zählung nicht mehr und die Steuerung meldet einen Fehler. Fallen zwei Signale gleichzeitig aus, merkt die Parität das nicht.

Ob gerade oder ungerade Parität verwendet wird und bei welchen Positionen das Paritätssignal kommt, steht im Schema des Revolverherstellers. Bitte dort prüfen.

Schritt	Strobe-Signal einstellen (WIAP-Praxis)
1	Revolver in eine Position bringen. Klemmung des Gebers lösen
2	Geber auf eine Seite drehen, bis das Strobe-Signal weg ist (Punkt p1). Mit einem Stift markieren
3	Geber auf die andere Seite drehen, bis das Signal wieder weg ist (Punkt p2). Wieder markieren

Schritt	Strobe-Signal einstellen (WIAP-Praxis)
4	Geber genau in die Mitte zwischen p1 und p2 zurückdrehen (p3 = Mitte des Strobe-Signals)
5	Klemmung festziehen und alle Positionen kontrollieren

Übung: Die Signale 1, 2 und 8 sind aktiv. Welche Position?

Lösung: 1 + 2 + 8 = **Position 11**

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad η sagt, wie viel von der zugeführten Leistung (100 %) als nutzbare Leistung herauskommt. Der Rest geht als Verlust verloren, meist als Wärme.

Maschine / Anlage	Wirkungsgrad ca. %
Elektromotor	20–99 (kleine Motoren tief, grosse hoch; Normmotoren meist 90–99)
Transformator	50–99,8
Wechselrichter	93–98
Kugelgewindetrieb	80–90 (für Kraftberechnungen mit 0,8 rechnen)
Trapezspindel	40–50
Zahnradpumpe (mechanisch)	bis 90
Automatikgetriebe Auto	75–85
Dieselmotor	bis 45
Zweitakt-Grossdiesel	bis 55
Benzinmotor (Ottomotor)	bis 37
Flugzeugturbine	ca. 40
Wasserkraftwerk	80–90
Gaskraftwerk	50–60
Kohlekraftwerk	ca. 45
Atomkraftwerk	30–40
Blockheizkraftwerk (Strom und Wärme)	70–85
Brennstoffzelle	30–55
Windkraftanlage	bis 50
Solarzelle, Photovoltaik	5–27 (Labor bis 40)
Elektroherd / Gasherd Küche	50–60 / 30–40

Bitte prüfen: Die alte Mausmappe nennt für Wasserkraftwerke 50–60 %, das Wirkungsgrad-Blatt 80–90 %. Hier ist 80–90 % eingesetzt. Im Kapitel Kugelgewindetrieb steht ca. 90 % (gute, neue Spindel).

Gesamtwirkungsgrad: Hängen mehrere Teile hintereinander (Motor → Getriebe → Spindel), werden die Wirkungsgrade **multipliziert**. Beispiel: Elektromotor 0,9 × Kugelgewindetrieb 0,8 = **0,72**, also kommen nur 72 % der Motorleistung an der Achse an.

Bereich 7 · Wi-8f Werkzeugmaschinen: Wartung und Prüfen

Pflege und Wartung von Werkzeugmaschinen, Schmierplan, Kühlschmierstoff, Datensicherung sowie Prüfen und Ausrichten nach dem WIAP Wi-8f Prüfsystem.

Kapitel 44 · Wartung und Pflege von Werkzeugmaschinen (Wi-8f 0)

Eine gut gewartete Maschine bleibt genau, fällt seltener aus und hält Jahrzehnte. Die meisten teuren Schäden entstehen durch fehlendes Öl, Schmutz und Späne an den falschen Stellen.

Merksatz: Sauber halten – schmieren – kontrollieren – aufschreiben.
Die Betriebsanleitung und der Schmierplan des Herstellers gehen immer vor. Diese Seite ist eine allgemeine Checkliste.

WIAP-Grundregeln: Pflege einer Werkzeugmaschine

Eine Werkzeugmaschine wird mit höchster Genauigkeit gebaut und mit genauesten Messmitteln geprüft. Diese Genauigkeit bleibt nur erhalten, wenn die Maschine richtig gepflegt wird. Die Betriebsanleitung muss allen Bedienern und Abteilungsleitern bekannt sein – schon vor der Inbetriebnahme.

Nr.	Regel	Was heisst das?
1	**Sauber halten**	Maschine vor Beginn jeder Arbeitsschicht von Staub und Verunreinigungen säubern.
2	**Richtig schmieren**	Regelmässig an den vorgeschriebenen Stellen und mit den vorgeschriebenen Schmiermitteln schmieren.
3	**Späne entfernen**	Stahl- und Graugussspäne laufend während der Arbeit entfernen. Sie dürfen sich nicht auf den Führungen anhäufen, sonst gelangen sie unter die Gleitflächen und verursachen Rillen und Verschleiss.
4	**Führungen schützen**	Keine Werkzeuge auf die Führungsflächen legen. Nie mit den Schuhen auf Führungen treten. Führungen nicht mit verschwitzten Fingern berühren (Rost).
5	**Keine Pressluft**	Die Maschine niemals mit Pressluft säubern: Sie bläst Späneteilchen zwischen die beweglichen Teile. Das erschwert den leichten Gang, gefährdet die Genauigkeit und verkürzt die Lebensdauer.
6	**Betriebsanleitung beachten**	Die Anweisungen der Betriebsanleitung genau einhalten, besonders beim Schalten der Drehzahlen.
7	**Tägliche Pflicht**	Tägliche Durchsicht, Säuberung und Schmierung sind Grundpflicht jedes Bedieners.
8	**Nach der Schicht**	Nach jeder Arbeitsschicht sorgfältig aufräumen und die Maschine pflegen – besonders vor Feiertagen und Wochenenden.

Wer diese Regeln einhält, wird mit der Genauigkeit, der Zuverlässigkeit und der Leistung der Maschine zufrieden sein. (Nach dem WIAP-Ausbildungsblatt «Pflege einer Werkzeugmaschine»)

Sicherheit zuerst

Was	Warum
Hauptschalter aus und mit Vorhängeschloss sichern	Niemand darf die Maschine während der Arbeit einschalten
Hydraulik und Druckluft drucklos machen, Speicher entladen	Gespeicherter Druck kann Teile plötzlich bewegen
Senkrechte Achsen und schwere Teile abstützen	Kugelgewindetriebe sind nicht selbsthemmend
Warten, bis Spindel und Teile stillstehen und abgekühlt sind	Auslaufende Spindel, heisse Teile
Arbeiten am Schaltschrank nur durch Elektro-Fachpersonal	Lebensgefahr, auch nach dem Ausschalten (Kondensatoren)

Wartungsplan (Richtwerte)

Wann	Was tun
Täglich	• Späne entfernen (nicht mit Druckluft in Führungen und Abdeckungen blasen!) • Ölstand der Zentralschmierung prüfen • Stand Kühlschmierstoff und Hydrauliköl prüfen • Kondensat an der Druckluft-Wartungseinheit ablassen

Wann	Was tun
	• Sichtkontrolle: Lecks, Abstreifer, Abdeckungen, ungewohnte Geräusche
Wöchentlich	• Kühlschmierstoff: Konzentration und pH-Wert messen • Spannfutter schmieren (Spezialfett), Backen reinigen • Führungsbahnen und Teleskop-Abdeckungen reinigen • Not-Halt und Schutztüren auf Funktion prüfen • Filtermatten der Schaltschrank-Lüfter prüfen
Monatlich	• Riemen auf Spannung und Verschleiss prüfen • Verschmutzungsanzeige der Hydraulikfilter kontrollieren • Spannkraft des Futters messen • Alle Schmierstellen nach Schmierplan abschmieren • Lüfterfilter wechseln
Halbjährlich	• Umkehrspiel der Achsen messen und notieren • Maschine auf Ausrichtung prüfen (Wasserwaage) • Kühlmitteltank reinigen, bei Bedarf Kühlschmierstoff wechseln • Ölstand in Getrieben prüfen
Jährlich	• **WIAP-Praxis: alle Abstreifer demontieren, alles putzen und Abstreifer erneuern** • Hydrauliköl und Filter wechseln (oder nach Ölanalyse, ca. 2000 bis 4000 Betriebsstunden) • Getriebeöl wechseln • Pufferbatterie der CNC-Steuerung wechseln (vorher Datensicherung!) • Elektrische Klemmen nachziehen lassen (Fachpersonal) • Geometrie und Genauigkeit prüfen (Messuhr, Prüfdorn, Laser)

Die Abstände hängen von Einsatz und Schichtbetrieb ab: Bei Mehrschichtbetrieb oder viel Graugussstaub entsprechend öfter.

Beispiel: Schmierplan einer konventionellen Drehmaschine

So sieht ein typischer Schmierplan nach **Betriebsstunden** aus (ältere Leit- und Zugspindel-Drehmaschine). Die Nummern beziehen sich auf die Schmierstellen-Zeichnung der Maschine.

Alle	Was tun
5 h	Handpumpe am Schlosskasten 3-mal im Abstand von ca. 10 Sekunden betätigen
10 h	Beim Einschalten Ölumlauf an den Schaugläsern des Spindelstocks prüfen (Ölpumpe läuft mit dem Hauptmotor), Manometer soll ca. 20 atm (≈ 20 bar) zeigen. Schmiernippel der Planspindelmutter mit der Ölpresse bedienen
50 h	Schmiernippel an Bettschlitten, Reitstock und Oberschlitten mit der Ölpresse bedienen. Ölstand im Schlosskasten prüfen, wenn nötig nachfüllen (Inhalt ca. 1,5 l)
500 h	Ölstand im Spindelstock (Inhalt ca. 50 l) und im Hydrauliktank prüfen (je nach Spitzenweite ca. 32 l bzw. 52 l). Hydraulik-Manometer prüfen
2000 h	Filterelemente im Ölkreislauf wechseln
Ölwechsel Spindelstock	Erstmals 3 Monate nach Inbetriebnahme, danach halbjährlich
Immer	Zugspindel und Schaltwelle mit einem Ölfilm überzogen halten. Leitspindel vor dem Gewindeschneiden reinigen und ölen, bei langem Gebrauch öfter
Vor der ersten Inbetriebnahme	Alle Schmierarbeiten des Plans einmal ausführen

Hydraulik-Manometer: Im alten Plan steht deutsch ca. 20 atm, englisch ca. 25 atm, bitte an der Maschine prüfen. Jede Maschine hat ihren eigenen Plan: Diese Tabelle ist nur ein Beispiel, wie ein Plan aufgebaut ist.

Kühlschmierstoff (Emulsion) richtig pflegen

Thema	Richtwert / Hinweis
Konzentration	meist 5 bis 8 %, mit dem Refraktometer messen (Ablesewert × Faktor des Herstellers)
pH-Wert	ca. 8,5 bis 9,5. Sinkt er, beginnen Bakterien zu wachsen: Geruch, Hautprobleme, Rost
Ansetzen	**Immer das Konzentrat ins Wasser geben**, nie umgekehrt: sonst gibt es Klumpen
Nachfüllen	Nicht nur Wasser nachfüllen (Wasser verdunstet, Konzentrat bleibt): mit einer dünnen Mischung von ca. 2 bis 3 % nachfüllen
Fremdöl	Aufschwimmendes Hydraulik- und Gleitbahnöl regelmässig abskimmen
Hautschutz	Handschuhe oder Hautschutzcreme verwenden, Hände nach der Arbeit waschen und pflegen

Emulsion stinkt oder verpilzt: Ursachen und Abhilfe

Ursache	Was passiert	Abhilfe
Geschlossener Ölfilm auf dem Tank (Fremdöl)	Unter dem Film fehlt Sauerstoff. Zuerst verbrauchen die normalen Bakterien den Sauerstoff, dann wachsen «anaerobe» Bakterien: Gestank, oft Säure und Rost	Ölfilm abskimmen (Ölskimmer), Lecks von Hydraulik- und Gleitbahnöl beheben. Hilft auch: Luft einblasen, z. B. mit einer Aquariumpumpe und einem gelochten Schlauch im Tank
Geschlossene Haut auf dem Tank	Das ist ein Pilz	Siehe Pilz unten
Abfall im Tank (Putzlappen, Zigaretten, Essensreste usw.)	Futter für Bakterien	Der Kühlmitteltank ist kein Abfalleimer
Starker Geruch direkt nach dem Neubefüllen	Reste von Systemreiniger in der Maschine oder Eigengeruch der neuen Emulsion	Beim Befüllen die ersten Liter aus dem Kreislauf auffangen und mit der alten Füllung entsorgen. Eigengeruch verschwindet meist nach einigen Tagen
Falsches Wasser: Spaltwasser, Regenwasser, Brunnenwasser	Enthält Bakterien und Algen	Nur Leitungswasser zum Ansetzen verwenden
Emulsion in einem Vorratsbehälter angemischt	Bakterien im Vorratsbehälter gelangen in alle Maschinen	Vorratsbehälter sauber halten oder direkt in der Maschine ansetzen

Fall	Was tun
Wechsel der Emulsion	Vorher Systemreiniger nach Anleitung verwenden (enthält Mittel gegen Bakterien und Pilze). Reiniger, mit denen man weiterarbeiten darf, wirken nur schwach
Leichter Bakterienbefall	Konzentration um ca. 2 bis 3 % erhöhen
Starker Befall	Mit Biozid behandeln (nach Angabe des Kühlschmierstoff-Lieferanten), sonst reinigen, entsorgen und neu befüllen
Pilz	Pilzmasse zuerst mechanisch so gut wie möglich entfernen, dann mit Biozid behandeln; Behandlung etwa ein Jahr lang monatlich wiederholen. Unbehandelt wächst der Pilz weiter, bis die Kühlmittelleitungen verstopft sind

CNC-Steuerung: Daten sichern

Was	Hinweis
Datensicherung	Programme, Parameter, Werkzeugdaten und Nullpunkte regelmässig auf einen USB-Stick oder PC sichern, mit Datum beschriften
Pufferbatterie	Hält die Daten bei ausgeschalteter Steuerung. Wechsel nach Herstellerangabe – bei vielen Steuerungen bei **eingeschalteter** Steuerung, sonst gehen Daten verloren
Vor jeder Reparatur	Zuerst sichern, dann arbeiten

Wartungsprotokoll

Jede Wartung kurz aufschreiben: **Datum, Betriebsstunden, was gemacht wurde, was aufgefallen ist, Name.** Mit den Werten (z. B. Umkehrspiel, Spannkraft) erkennt man frühzeitig, wenn sich etwas verschlechtert.

Häufige Ursachen für Ausfälle

Ursache	Folge	Vorbeugen
Zentralschmierung leer oder verstopft	Fressen an Führungen und Spindeln	Ölstand täglich prüfen, Leitungen und Verteiler kontrollieren
Defekte Abstreifer	Späne in Führungen und Kugelgewindetrieben	Abstreifer prüfen und jährlich erneuern
Verschmutzter Kühlschmierstoff	Rost, Geruch, Hautprobleme, schlechte Oberfläche	Konzentration und pH messen, Tank reinigen
Verstopfte Lüfterfilter	Überhitzung von Antrieben und Steuerung	Filter regelmässig wechseln
Lockere Riemen	Rutschen, Leistungsverlust, Ratterspuren	Spannung prüfen
Feuchte Druckluft	Rost und Ausfall von Ventilen	Kondensat ablassen, Trockner warten

Weitere Informationen: Kapitel Öle und Schmierstoffe, Wälzlager, Kugelgewindetrieb, Hydraulik und Pneumatik.

Kapitel 45 · Werkzeugmaschinen prüfen und ausrichten (Wi-8f 84–86)

*Sichtkontrolle, Inspektion, Geometrieprotokolle nach Schlesinger und Anleitungen zum Ausrichten mit Wasserwaage, Messuhr, Spanndraht und Laser. Alles dazu steht im eigenen **WIAP Mess-Handbuch** (19 Kapitel, Wi-8f 84a bis 86o).*

Inhaltsverzeichnis WIAP Mess-Handbuch

19 Kapitel · Wi-8f 84a bis 86o · das Mess-Handbuch selbst ist noch nicht online

Nr.

Anleitungen und Grundlagen

Blatt

1

Übersicht: Welches Wi-8f Blatt ist was?

Wi-8f 86j

2

Das WIAP-Prüfsystem und die Schlesinger-Prüfungen

Wi-8f 86e

3

Geometrie verstehen: was wann eine Rolle spielt

Wi-8f 86i

4

Ausrichten und Bettverlauf mit der Wasserwaage

Wi-8f 86f

5

Spindel und Reitstock mit der Wasserwaage prüfen

Wi-8f 86h

6

Spindelstock richten mit dem gedrehten Werkstück

Wi-8f 86g

7

Reitstock ausrichten: genau auf Mitte, Pinole parallel zu Z

Wi-8f 86m

8

Futter ausrichten und vermessen

Wi-8f 86o

9

Plandrehen und Planschlag messen: immer hohl, nie bombiert

Wi-8f 86n

10

Geradheit des Betts messen und richten

Wi-8f 86k

11

Drahtmessung: Geradheit mit Spanndraht und Lupe

Wi-8f 86k1

12

Lasermessung: Geradheit mit dem Laser

Wi-8f 86k2

Nr.

Checklisten und Messprotokolle (an der Maschine ausfüllen)

Blatt

13

Sichtkontrolle Werkzeugmaschine (V)

Wi-8f 84a

14

Inspektionsbericht Drehmaschinen und Universalmaschinen

Wi-8f 85a2

15

Geometrieprotokoll CNC-Drehmaschine · Typ 1 (kurz)

Wi-8f 86b

16

Geometrieprotokoll CNC-Drehmaschine · Typ 2 (lang)

Wi-8f 86a

17

Geometrieprotokoll konventionelle Drehmaschine

Wi-8f 86a Konv

18

Geometrieprotokoll Karusselldrehmaschine

Wi-8f 86c

19

Geometrieprotokoll Fräsmaschine (Konsolfräsmaschine)

Wi-8f 86d

Interesse am Mess-Handbuch oder an einem Protokoll? Bitte über die Kontaktseite melden.

Welches Blatt wann?

Situation

Blatt

Service-Besuch, kurzer Blick auf die Maschine

Wi-8f 84a

Inspektion beim Kunden mit Bericht

Wi-8f 85a2

schnelle Geometriekontrolle CNC-Drehmaschine

Wi-8f 86b

Abnahme nach Überholung oder Retrofit

Wi-8f 86a (CNC) oder Wi-8f 86a Konv

Karussell oder Fräsmaschine

Wi-8f 86c oder Wi-8f 86d

Maschine aufstellen und ausrichten

Wi-8f 86f, danach Wi-8f 86h

Werkstück wird konisch gedreht

Wi-8f 86g

langes Bett (ab ca. 3 m) gerade richten

Wi-8f 86k, dann Wi-8f 86k1 oder Wi-8f 86k2

Teil zwischen Spitzen konisch, Pinole läuft weg

Wi-8f 86m

Planfläche bombiert oder zu stark hohl

Wi-8f 86n

Futter neu aufgesetzt oder Rundlauf schlecht

Wi-8f 86o

Junior einarbeiten

Wi-8f 86i, Wi-8f 86e, dann die Praxisblätter

Checklisten und Messprotokolle (Wi-8f 84a bis 86e) füllt man an der Maschine aus. Lehr- und Praxisblätter (Wi-8f 86f bis 86o) erklären, wie man misst und richtet. Die Blätter liegen im Ordner Wi_8_f_80_89_maintenance_information_M250, je Blatt ein Unterordner.

Schlesinger: Prüfbuch für Werkzeugmaschinen, 5. Auflage 1951 – Inhaltsverzeichnis (Dateien folgen)

Prüfanweisungen nach G. Schlesinger als Grundlage zum WIAP Wi-8f Prüfsystem (Wi-8f 84–86). Die einzelnen Blätter werden nach und nach als Dateien ergänzt.

Allgemeiner Teil

- Vorwort zur vierten Auflage
- Vorwort zur fünften Auflage

- Einführung
- Abnahme-Grundsätze
- Die Werkzeugmaschine unter Last
- Aufbau der Prüfanweisungen
- Ausführung der Abnahmeprüfung
- Messwerkzeuge und Messverfahren
- Fluchtlinienprüfer
- Grösse und Richtung der Toleranzen
- Besondere Hinweise für die Prüfung der einzelnen Maschinen
- Messanleitung für die Abnahme und Instandhaltung von Werkzeugmaschinen
- Gliederung der Messanleitungen

Fräsmaschinen (1–4)

- 1 Waagerechtfräsmaschinen mit Winkeltisch und Universalfräsmaschinen
- 1a Teilköpfe
- 2 Planfräsmaschinen
- 3 Senkrechtfräsmaschinen
- 4 Gewindefräsmaschinen

Zahn-Bearbeitungsmaschinen (6–7)

- 6 Stirnrad-, Schneckenrad- und Schraubenrad-Abwälzfräsmaschinen
- 7 Zahnradwälzstossmaschinen

Drehbänke (11–15)

- 11 Drehbänke zum Fertigdrehen bis 400 mm Spitzenhöhe
- 12 Drehbänke zum Fertigdrehen über 400 bis 800 mm Spitzenhöhe
- 13 Werkzeugmacher-Drehbänke (höchste Genauigkeit) bis 180 mm Spitzenhöhe
- 14 Hinterdrehbänke
- 15 Kopfdrehbänke

Revolverbänke, Automaten, Karussells (16–20)

- 16 Revolverbänke mit unmittelbarer Aufnahme der zylindrischen Werkzeugschäfte im Kopf und einspindlige automatische Revolverbänke bis 300 mm Spitzenhöhe
- 16a Revolverbänke mit hohlem, mit Zentriereindrehungen für die Werkzeughalter versehenem Revolverkopf bis 300 mm Spitzenhöhe
- 17 Revolverbänke mit unmittelbarer Aufnahme der zylindrischen Werkzeugschäfte im Kopf und einspindlige automatische Revolverbänke über 300 mm Spitzenhöhe
- 17a Revolverbänke mit hohlem, mit Zentriereindrehungen für die Werkzeughalter versehenem Revolverkopf über 300 mm Spitzenhöhe
- 18 Mehrspindlige Automaten: a. kreisende Stücke – feststehende Werkzeuge, b. feststehende Stücke – kreisende Werkzeuge
- 19 Senkrechte Dreh- und Bohrwerke (Einständer-Karussells)
- 20 Zweiständer-Karussell-Drehbänke

Schleifmaschinen (21–26)

- 21 Rundschleifmaschinen
- 22 Zweiständer-Flächenschleifmaschinen
- 23 Flächenschleifmaschinen mit senkrechter Schleifachse
- 24 Flächenschleifmaschinen mit waagerechter Schleifachse
- 25 Flächenschleifmaschinen mit waagerechter, in der Höhe verstellbarer Schleifspindel
- 26 Universal-Werkzeugschleifmaschinen

Bohrmaschinen (31–38)

- 31 Ständerbohrmaschinen
- 32 Säulenbohrmaschinen
- 33 Gelenkspindelbohrmaschinen

- 34 Radialbohrmaschinen
- 35 Waagerechte Bohr- und Fräswerke mit festem Ständer und beweglichem Tisch bis 80 mm Bohrspindeldurchmesser
- 36 Waagerechte Bohr- und Fräswerke mit festem Ständer und beweglichem Tisch über 80 mm Bohrspindeldurchmesser
- 37 Waagerechte Bohr- und Fräswerke mit beweglichem Ständer
- 38 Waagerechte Bohr- und Fräswerke mit festem Spindelstock

Hobel- und Stossmaschinen (41–44)

- 41 Zweiständer-Langhobelmaschinen
- 42 Einständer-Langhobelmaschinen
- 43 Waagerecht-Stösselhobelmaschinen (Shaper)
- 44 Senkrecht-Stossmaschinen

Maschinen zum Trennen, Schneiden, Ziehen, Prägen (51–53)

- 51 Einseitig ausladende Pressen und Stanzen
- 52 Doppelständrige Pressen und Stanzen normaler Ständerweite
- 53 Blechscheren und Tafelscheren

Holzbearbeitungsmaschinen (61–70)

- 61 Kreissägen
- 62 Bandsägen
- 63 Dekoupiersägen (Schweifsägen)
- 64 Bundgatter
- 65 Abrichthobelmaschinen
- 66 Dickenhobelmaschinen
- 67 Hobel- und Kehlmaschinen
- 68 Holzfräsmaschinen
- 69 Kettenfräsmaschinen
- 70 Holzdrehbänke

Bereich 8 · Wi-8f MEMV® und VSR®

Metallentspannen mit Vibration: Verfahren, Ablauf, Aufspannen, Einheiten und MEMV-Protokolle lesen.

Kapitel 46 · MEMV® und VSR®: Metallentspannen mit Vibration (Wi-8f 1-19-j.2)

In diesem Kapitel:VSR® und MEMVWarum mehrere Richtungen?WIAP-Praxis: AblaufBefestigung des AnregersProtokolle leseng oder m/s²?Schwingungsrechner

MEMV® (Metallentspannen mit Vibration) ist das Verfahren der WIAP zum Abbau von Eigenspannungen in Bauteilen durch gezielte Schwingungen. Es ist die Weiterentwicklung des bekannten **VSR®-Verfahrens** (Vibratory Stress Relief). Weitere Informationen: WIAP MEMV.

Merksatz: Eigenspannungen entstehen beim Schweissen, Giessen, Brennschneiden und Zerspanen. Werden sie nicht abgebaut, verzieht sich das Bauteil später – oft erst nach der Bearbeitung.
Beim Vibrationsentspannen wird das Bauteil mit einem Unwuchtmotor (Anreger) in Schwingung versetzt. Dadurch können sich Spannungen abbauen bzw. lösen.

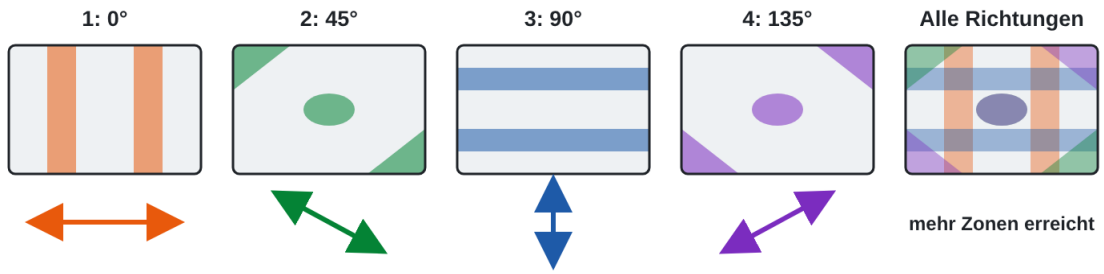
VSR® und MEMV: der Unterschied

	VSR® (bisherige Anlagen)	WIAP MEMV®
Anregungsrichtung	Meist eine Richtung, manuell	Mit manueller Drehplatte bis 4 Richtungen, als Vollautomat 4 oder 8 Richtungen
Messung	Manuelle Beurteilung	Automatische Erfassung von G-Wert, Ampere und Drehzahl, vor und nach der Behandlung, pro Richtung
Dokumentation	Von Hand	Automatisches Protokoll mit Vorher-Nachher-Vergleich

Warum mehrere Richtungen? Die physikalische Erklärung

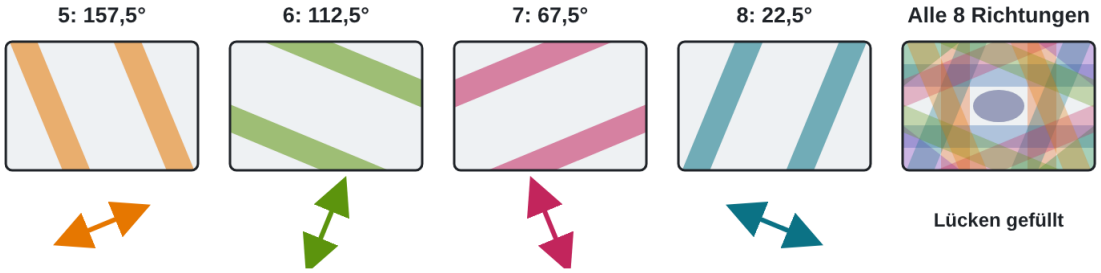
Jedes Bauteil hat seine eigenen **Eigenschwingformen** – ähnlich wie eine Gitarrensaite oder eine Glocke ihre Töne hat. Eine Platte kann zum Beispiel der Länge nach durchbiegen, der Breite nach durchbiegen oder sich verdrehen (Torsion). Jede Schwingform hat Zonen, in denen das Material stark hin und her gedehnt wird, und Zonen, in denen fast nichts passiert (**Schwingungsknoten**).

Das Prinzip in drei Sätzen:
1. Die **Anregungsrichtung** bestimmt, welche Schwingformen angeregt werden – eine Kraft in Längsrichtung regt andere Formen an als eine Kraft quer oder schräg.
2. Spannungen können sich vor allem dort abbauen, wo die **Wechselbeanspruchung** aus der Schwingung zusammen mit der vorhandenen Eigenspannung lokal genügend gross wird, sodass sich das Gefüge im kleinen Bereich «setzen» kann.
3. **Andere Richtung = andere Schwingform = andere Zonen.** Darum erreicht MEMV mit 4 oder 8 Richtungen mehr Bereiche im Bauteil als eine Anregung aus nur einer Richtung.



Vereinfachte Darstellung: Die farbigen Flächen sind Zonen mit hoher Wechselbeanspruchung bei der jeweiligen Anregungsrichtung (Pfeil). Die tatsächliche Verteilung hängt von Form, Grösse, Einspannung und Drehzahl ab.

Automat mit 8 Richtungen: Die 4 Zusatzrichtungen liegen genau zwischen den Grundrichtungen. Sie regen weitere Mischformen an und erreichen so die Bereiche **zwischen** den Zonen der Richtungen 0°, 45°, 90° und 135°.



Vereinfachte Darstellung wie oben. Je mehr Richtungen, desto gleichmässiger wird das Bauteil erfasst – darum erzielt der Automat mit 8 Richtungen noch bessere Resultate.

Anregung	Typische Schwingform (vereinfacht)	Wo stark beansprucht
Längs (0°)	Biegung über die Länge	Querbänder über die Breite
Quer (90°)	Biegung über die Breite	Längsbänder entlang der Länge
Schräg 45°	Verdrehung (Torsion) und Mischformen	Ecken oben links und unten rechts, Mitte
Schräg 135° (Gegen-Diagonale zu 45°)	Verdrehung in die andere Richtung	Ecken oben rechts und unten links, Mitte
Zwischenrichtungen (22,5°, 67,5°, 112,5°, 157,5°)	Weitere Mischformen	Bereiche zwischen den obigen Zonen

Warum zeigen das die Messwerte? Löst sich in einer Richtung Spannung, verändert sich das Schwingverhalten des Bauteils in genau dieser Richtung: Es lässt sich leichter anregen. Darum wird für **jede Richtung einzeln** vorher und nachher gemessen – die Verschiebung von G-Wert, Ampere und Drehzahl zeigt, wo sich etwas verändert hat.

Vereinfachte Modellvorstellung zur Erklärung. Wie stark Spannungen abgebaut werden, hängt von Werkstoff, Bauteilform, Eigenspannungszustand und Behandlungsparametern ab.

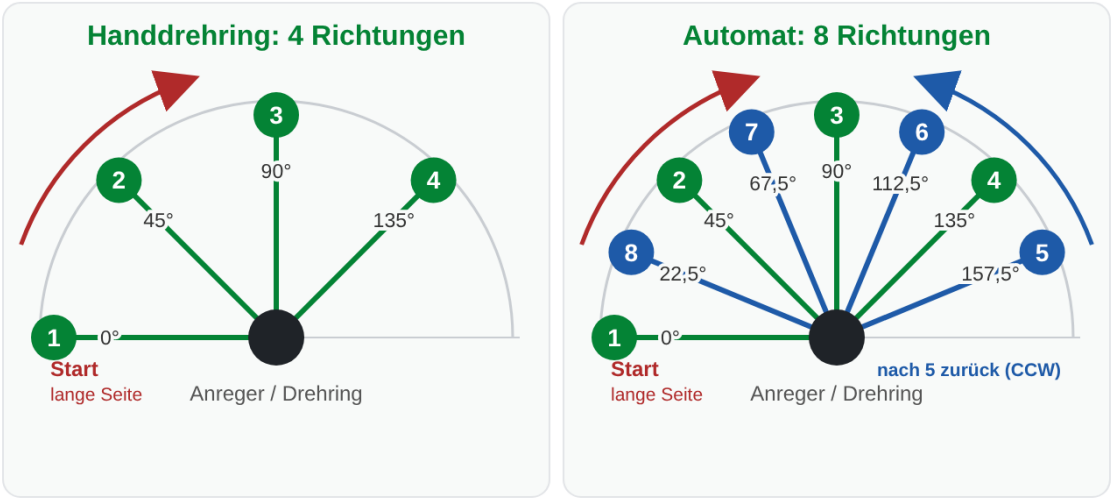
Die drei Messwerte und was sie bedeuten

Messwert	Was wird gemessen	Veränderung während der Behandlung
G-Wert	Beschleunigungsamplitude der Schwingung am Bauteil (in g)	**G-Wert steigt** → die Übertragung der Schwingung auf das Bauteil verändert sich, Spannungen haben sich gelöst
Ampere	Stromaufnahme des Anregermotors (Motorleistung)	**Ampere sinkt** → der Anreger wird durch das Bauteil weniger belastet
Drehzahl	Drehzahl des Unwuchtmotors (Anreger)	**Drehzahl steigt** → die Bauteilverspannung bremst den Anreger weniger stark

WIAP-Praxis: so läuft eine MEMV-Behandlung

Das Bauteil wird nacheinander aus mehreren **Richtungen** angeregt. Dazu dreht man den Anreger auf dem Drehring in die nächste Stellung – **beginnend links und immer im Uhrzeigersinn**.

Der Schlüssel zu einer guten MEMV-Entspannung: die Befestigung des Anregers!
Nur wenn der Anreger **sehr fest** mit dem Bauteil verbunden ist, wird die Schwingung voll ins Bauteil übertragen. Sitzt er zu locker, kann er auf dem Bauteil arbeiten, «springen» oder Schläge machen – die Energie geht verloren und die Resultate werden schlecht.
• WIAP-Praxis: in der Regel mit **4 Gewindestangen M24**, jede mit ca. **17 Tonnen Klemmkraft** – zusammen also rund **68 Tonnen**, die den Anreger auf das Bauteil drücken. Beim **V50 und grösser mit 4 × M36**.
• Schrauben **immer fetten** (geschmiert) und mit **hohem Anziehdrehmoment** anziehen – es braucht Kraft! Werte siehe Anziehdrehmomente, Tabelle «geschmiert».
• Nach den ersten Minuten und vor jeder neuen Richtung die Schrauben kontrollieren und nachziehen.



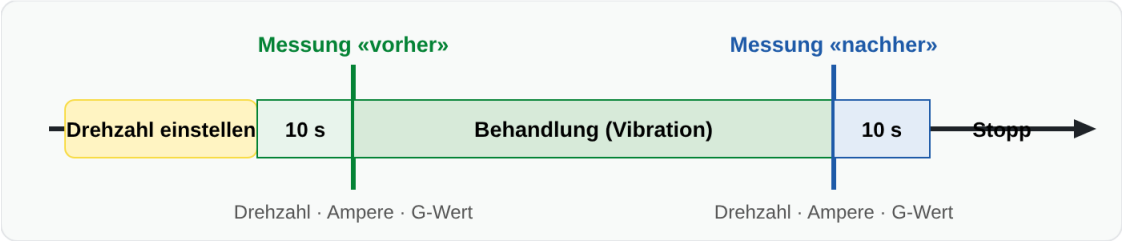
Start ist links (Richtung 1), gedreht wird immer im Uhrzeigersinn (roter Pfeil). Beim Automaten geht es nach Richtung 5 mit den Richtungen 6, 7 und 8 **wieder zurück** (blauer Pfeil, CCW) und füllt die Lücken dazwischen. Die Zahl im Kreis ist die Reihenfolge. Grün = die 4 Grundrichtungen, blau = die 4 Zusatzrichtungen beim Automaten. 180° ist die gleiche Schwingungsachse wie 0°, darum genügt ein halber Kreis.

Wichtig für die Auswertung: Richtung 1 (0°) zeigt **immer zur langen Seite der Aufspannplatte**, und es wird **immer im Uhrzeigersinn** weitergedreht. So bedeuten die Richtungen in jedem Protokoll das Gleiche, und die Protokolle verschiedener Bauteile und Behandlungen lassen sich später gut vergleichen und auswerten.

Reihenfolge	Handdrehring	Drehen	Automatischer Drehring	Drehen
1	0°	Start	0° (lange Seite)	Start
2	45°	↻ CW	45°	↻ CW
3	90°	↻ CW	90°	↻ CW
4	135°	↻ CW	135°	↻ CW
5	–		157,5° (22,5° weniger als 180°)	↻ CW
6	–		112,5° (22,5° mehr als 90°)	↺ CCW
7	–		67,5° (22,5° weniger als 90°)	↺ CCW
8	–		22,5° – dann ist die Behandlung fertig	↺ CCW

CW (clockwise) = im Uhrzeigersinn ↻ · **CCW** (counter clockwise) = gegen den Uhrzeigersinn ↺. Beim Automaten wird bis Richtung 5 im Uhrzeigersinn gedreht, danach geht es mit 6, 7 und 8 zurück und füllt die Lücken.

Messablauf pro Richtung



So misst das System – in jeder Richtung gleich:
1. Anreger einschalten und die **Drehzahl einregulieren**.
2. **10 Sekunden** nachdem nicht mehr an der Drehzahl reguliert wird, misst das System automatisch die Werte **«vorher»**: Drehzahl, Ampere und G-Wert.
3. Behandlung läuft.
4. **10 Sekunden vor dem Abstellen** misst das System nochmals: Werte **«nachher»**.
5. Die Werte werden gespeichert. Die **Differenz nachher − vorher** ist die **Verschiebung** dieser Richtung.
6. Drehring **im Uhrzeigersinn** in die nächste Richtung drehen und wiederholen.

Beispiel-Protokoll (eine Richtung)	vorher	nachher	Verschiebung	Bedeutung
Drehzahl 1/min	…	…	steigt	Anreger wird weniger gebremst

Beispiel-Protokoll (eine Richtung)	vorher	nachher	Verschiebung	Bedeutung
Ampere A	…	…	sinkt	Anreger wird weniger belastet
G-Wert (g bzw. m/s²)	…	…	steigt	Schwingung wird besser übertragen, Spannungen haben sich gelöst

Je grösser die Verschiebungen, desto mehr hat sich im Bauteil verändert. Wenn sich die Werte in einer Richtung kaum mehr verändern, ist das Bauteil in dieser Richtung entspannt.

Vor dem Start: Aufstellen, Unterlagen, Kabel

Diese Punkte gelten für jede Vibrationsentspannung – ob mit Drehring (MEMV®) oder mit einer älteren LC-Anlage. Ziel ist immer: **kein Verzug nach dem WIAP® MEMV® VSR® Entspannen.**

Punkt	So machen	Warum
Raum	Nicht in unterkellerten Räumen entspannen.	Die Vibration darf nicht ins Gebäude übertragen werden.
Gummiunterlagen	Werkstück wenn möglich auf **3 Gummiunterlagen** stellen, sonst auf 4. Sehr schwere Werkstücke auf mehr Unterlagen. Lage der Gummis im Protokoll festhalten.	Auf 3 Unterlagen schwingt das Werkstück freier, die Anzeige und das Protokoll werden besser.
Gummigrössen	Gummiblöcke 80 × 100 × 200 mm und 120 × 100 × 200 mm. Immer mind. 8 Gummis bereithalten.	So kann das nächste Werkstück schon vorbereitet werden, während das erste vibriert.
Anreger	Seitlich am Werkstück befestigen, nicht in der Mitte (ca. auf 1/3).	In der Mitte liegt oft ein Schwingungsknoten.
Messsonde	Auf der anderen Seite des Werkstücks befestigen, genügend weit weg vom Anreger.	Die Sonde soll die Schwingung des Bauteils messen, nicht die des Anregers.
Steuergerät	Direkt neben das Werkstück stellen, so dass **kein Durchgang** zwischen Werkstück und Steuergerät entsteht.	Niemand soll über das dünne Sondenkabel stolpern oder darauf treten.
Drehzahl-Potentiometer	Vor dem Start ganz nach links auf 0 drehen. Achtung: 10-Gang-Potentiometer, eventuell mehrmals zurückdrehen.	Der Anreger soll immer langsam anlaufen.

Netzanschluss bei den LC-Anlagen: 230 V, abgesichert 10/16 A. Anschlüsse am Steuergerät: Buchse #4 = Messsondenkabel, Buchse #7 = Vibrator-Motorkabel. Sondenkabel zuerst einstecken, die Sonde aber erst nach der Vorprüfung am Werkstück befestigen.

Exzenterstufe und G-Wert

Die Unwucht des Anregers wird mit der Exzenterstufe (in %) eingestellt – mit zwei 6-mm-Inbusschlüsseln, gemäss der Gewichtstabelle in der Betriebsanleitung.

Bauteil	Exzenterstufe (Richtwert)	Ziel G-Wert
Schwere, robuste Konstruktion	50 % und mehr	4–6 G (ca. 39–59 m/s²)
Leichte, dünnwandige Konstruktion	eher 10–25 %	4–6 G (ca. 39–59 m/s²)

Wird der G-Wert nicht erreicht: Anlage stoppen und die Exzenterstufe erhöhen, z. B. von 60 % auf 85 %. Ist er zu hoch, die Stufe zurücknehmen. Erst wenn der G-Wert stimmt, geht der Prozess weiter.

Höhere Werte bis ca. 10 G (ca. 98 m/s²) sind möglich – aber nicht bei ganz leichten Konstruktionen, die dabei sehr laut werden. Steigt der Lärm über 90 dB, diesen G-Wert nicht anstreben.

Eigenresonanz: Hinweise aus der Praxis

Hinweis	Was heisst das?
Ersten Resonanzpunkt schnell durchfahren	Beim Hochdrehen über den ersten Eigenresonanzpunkt zügig hinweg drehen, damit das Bauteil nicht in eine zu starke Resonanz gerät. Vorher die Schraubzwingen bzw. Spannschrauben mit Verlängerung sehr gut festziehen.
Eigenresonanz wandert	Beim Entspannen auf dem Eigenresonanzpunkt wandert dieser Punkt immer wieder weg – meist in den ersten 10 Minuten sehr schnell. Darum braucht es eine dauernde, aufmerksame Kontrolle.
Labile, leichte Konstruktionen	Nicht auf der Eigenresonanz-Drehzahl entspannen – das Werkstück bewegt sich dort zu stark.
Schon spannungsarm	Der Eigenresonanzpunkt wandert praktisch nicht, auch die Ampere verändern sich nur

Hinweis	Was heisst das?
geglühte Teile	minimal. Wenig Veränderung im Protokoll ist hier normal.
Typische Bereiche bei schweren Teilen	Schwere Konstruktionen können problemlos bis 6000 1/min hochgedreht werden. Eigenresonanzbereiche lagen dort z. B. bei 3300–4000 1/min und bei 5400–6000 1/min.

Arbeitspunkt wählen: Langsam an den gewählten Eigenresonanzpunkt heranfahren und dann die Drehzahl um **3 % zurückdrehen**. So läuft die Anlage stabil knapp unter der Resonanz.

Einlaufzeit bei LC-Anlagen

Einige LC-Anlagen zeigen im kalten Zustand eine etwas höhere Stromaufnahme (Ampere). Nach ca. 20 Minuten Laufzeit ist das Gehäuse warm und dehnt sich mehr als die Exzenterwelle – der Anreger läuft dann leichter.

Für ein sauberes Protokoll den Anreger zu Beginn ca. **10 Minuten einlaufen** lassen. Sonst wird ein Teil der Ampere-Veränderung durch das Warmlaufen verursacht und nicht durch das Bauteil.

Knotenpunkte prüfen (ältere LC-Anlage, eine Richtung)

Bei den älteren LC-Anlagen wurde das Bauteil nur aus einer Richtung angeregt. Darum wurde vorher geprüft, ob die Schwingung im ganzen Bauteil ankommt:

1. Anlage starten, Drehzahl auf ca. 2500 1/min, dann langsam **100 1/min pro 30 Sekunden** erhöhen bis ca. 2700 1/min.
2. Mit dem Schwingungsmessstift (Vibro Pen) an **12 Messpunkten** radial und axial messen und im Formular eintragen.
3. Ist der Unterschied zwischen der stärksten und der schwächsten Stelle **mehr als 50 %**, eine zweite Aufspannung des Anregers festlegen. Bei sehr steifen Werkstücken 3 Aufspannungen.
4. Anlage stoppen. Messsonde etwa in der Mitte zwischen der stärksten und der schwächsten Zone befestigen.
5. Laufzeit: total 30 Minuten (bzw. gemäss Tabelle der Betriebsanleitung) – bei 2 Aufspannungen ca. 15 Minuten je Aufspannung.

Formular	Werkstückform
Info 100	Kubische Werkstücke liegend
Info 200	Kubische Werkstücke stehend
Info 700	Rotationssymmetrische Werkstücke liegend
Info 1000	Rotationssymmetrische Werkstücke stehend

Beispiel Info 100 (kubisch liegend) – Lage der Messpunkte:

Messpunkte	Wo
1–12	Oberseite, ringsum verteilt, je 15 % der Abmessung vom Rand nach innen
101–112	Seitenflächen, 5 % der Höhe von oben
121–132 und 141–152	Seitenflächen, in Höhenteilung 1/4
161–172	Seitenflächen, 10 % der Höhe von unten

Im Formular werden zusätzlich Exzenterstufe, Drehzahl, Anreger- und Sondenposition sowie die Lage der Gummis eingetragen. Gemessen wird je bei zwei Exzenterstufen (z. B. 5 % und 25 %).

Kontrollen während der Behandlung: **7 Minuten vor Schluss** nochmals mit dem Vibro Pen messen und eintragen, **3 Minuten vor Schluss** den G-Wert ins Protokoll schreiben. Nach Ablauf stoppt die Anlage automatisch; Potentiometer auf 0 zurückdrehen. Bei mehreren gleichen Werkstücken genügen nach dem ersten Teil sporadische Kontrollen.

LC-Steuergerät mit Datengerät DK20 (ältere Anlagen)

Bedienelement / Anzeige	Funktion
Notstopp	Anlage sofort stoppen (Anzeige «Notstopp aktiv»)
Steuerung Ein/Aus	Steuergerät ein- und ausschalten
Betriebsart	Hand (manuell) oder Automat mit dem Datengerät DK20
Drehzahlregulierung	10-Gang-Potentiometer für die Drehzahl des Anregers
Start / Fertig	Behandlung starten; Meldung «Fertig» nach Ablauf der Zeit
Zeit / Timer	Laufzeit einstellen (meist 30 Minuten)

Bedienelement / Anzeige	Funktion
Anzeigen	Beschleunigung (G), Ampere, Drehzahl

Mit dem DK20 wurden Ampere und Beschleunigung über eine Excel-Tabelle am Laptop aufgezeichnet (Verbindung mit 3 BNC-Kabeln). Wichtig dabei: Nach dem Einstellen des Arbeitspunkts **30 Sekunden nicht an der Drehzahl drehen** – sonst beginnt die Aufzeichnung von vorne. Am Schluss die Datei abspeichern.

Anforderungen an den Metallentspanner

Für die interne Ausbildung (Metallentspanner-Diplom) gelten diese Anforderungen:

Modul	Inhalt	Anforderungen
Modul 1	Metall entspannen mit Vibration, Handbetrieb mit Handprotokoll	kann 25 kg tragen · protokolliert sauber · hat Erfahrung mit Messmitteln (sauber und vorsichtig) · Durchhaltevermögen
Modul 2	Entspannen mit automatischer Datenaufzeichnung (Laptop, Datengerät, Drucker)	PC- und Excel-Kenntnisse · gewissenhaftes, sauberes Arbeiten · Umgang mit elektrischen Geräten · Durchhaltevermögen

Vor jedem Einsatz: Material kontrollieren (Anreger, Steuergerät, Schraubzwingen bzw. Spannschrauben, Sonde, Sondenkabel, Sondenzange, mind. 8 Gummis) und die Betriebsanleitung lesen – vor allem die Gefahrenhinweise.

Aufgabe 1: Ein Bauteil soll in einem Raum mit Keller darunter entspannt werden. Was tun?

Lösung: Nicht dort entspannen. Das Bauteil in einen nicht unterkellerten Raum bringen und genügend Gummiunterlagen verwenden, damit keine Vibration ins Gebäude übertragen wird.

Aufgabe 2: Eine leichte, dünnwandige Schweisskonstruktion soll entspannt werden. Welche Exzenterstufe und welcher G-Wert?

Lösung: Exzenterstufe eher 10–25 %, Ziel 4–6 G (ca. 39–59 m/s²). Nicht direkt auf der Eigenresonanz-Drehzahl arbeiten, weil sich labile Teile dort zu stark bewegen.

Aufgabe 3: In den ersten Minuten verändert sich die Ampere-Anzeige stark, obwohl das Teil schon spannungsarm geglüht war. Woran kann das liegen?

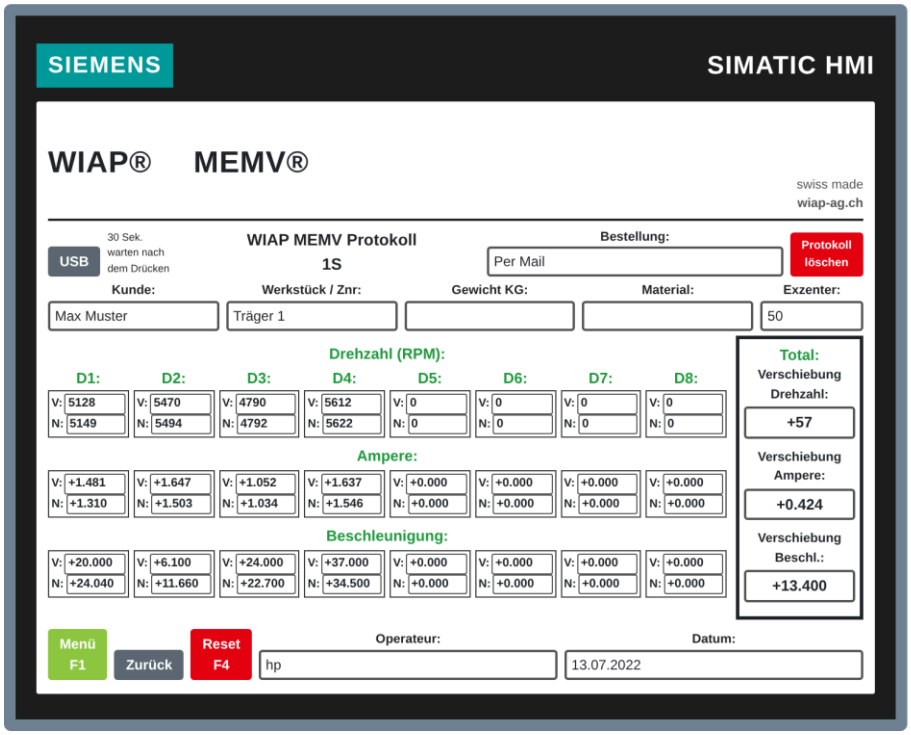
Lösung: Wahrscheinlich am Einlaufen des Anregers (kaltes Gehäuse). Bei geglühten Teilen wandert die Eigenresonanz kaum und die Ampere ändern sich nur minimal. Darum den Anreger ca. 10 Minuten einlaufen lassen.

MEMV-Protokolle lesen

So sind die Protokolle aufgebaut – für die Anlage mit 1 Sonde (Handdrehring) und für den Automaten mit 4 Sonden.

Das Steuergerät zeigt nach der Behandlung ein Protokoll an und speichert es auf dem USB-Stick. Pro Richtung D1, D2, … stehen die Werte **V = vorher** und **N = nachher** für Drehzahl, Ampere und Beschleunigung. Rechts im Kasten **«Total»** rechnet das System die Verschiebungen zusammen.

Beispiel 1: Anzeige «Protokoll 1S» – Handdrehring mit 4 Richtungen (Werte aus der Betriebsanleitung)

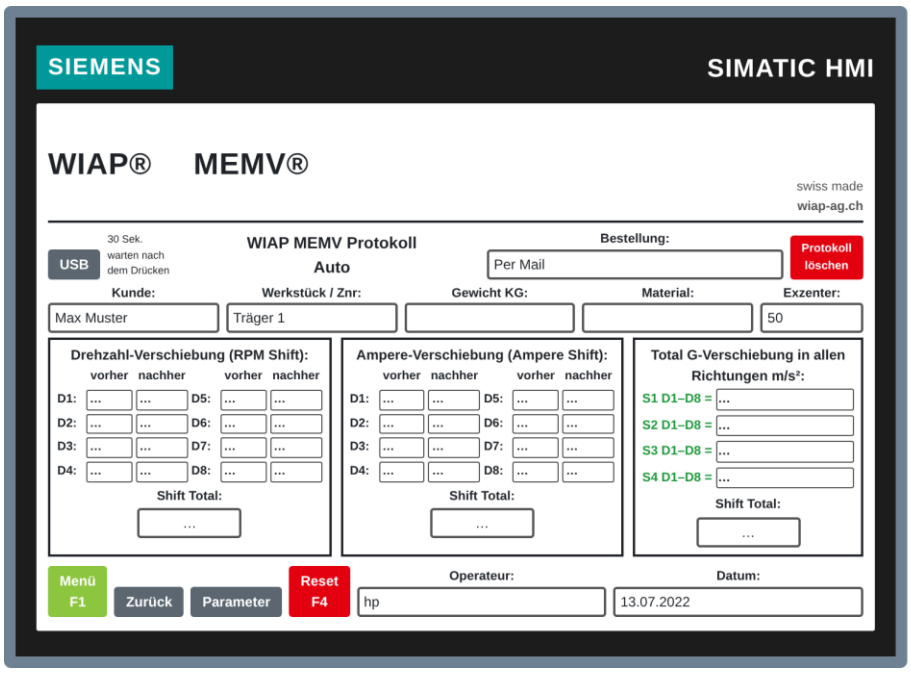


So entsteht das Total: Für jede Richtung wird die Veränderung (nachher − vorher) berechnet. Das Total ist die **Summe dieser Veränderungen ohne Vorzeichen**.
• Drehzahl: 21 + 24 + 2 + 10 = **57**
• Ampere: 0,171 + 0,144 + 0,018 + 0,091 = **0,424**
• Beschleunigung: 4,04 + 5,56 + 1,30 + 2,50 = **13,4**
Je grösser die Totals, desto mehr hat sich im Bauteil verändert.

Lesebeispiel D1: Drehzahl von 5128 auf 5149 gestiegen, Ampere von 1,481 auf 1,310 gesunken, Beschleunigung von 20,0 auf 24,04 m/s² gestiegen – das typische Bild einer erfolgreichen Behandlung in dieser Richtung. In D3 und D4 ist die Beschleunigung leicht gesunken: Nicht jede Richtung verhält sich gleich, darum wird jede einzeln gemessen.

Beispiel 2: Automat mit 4 Sonden, 8 Richtungen – Seite 1: Gesamtprotokoll «Auto»

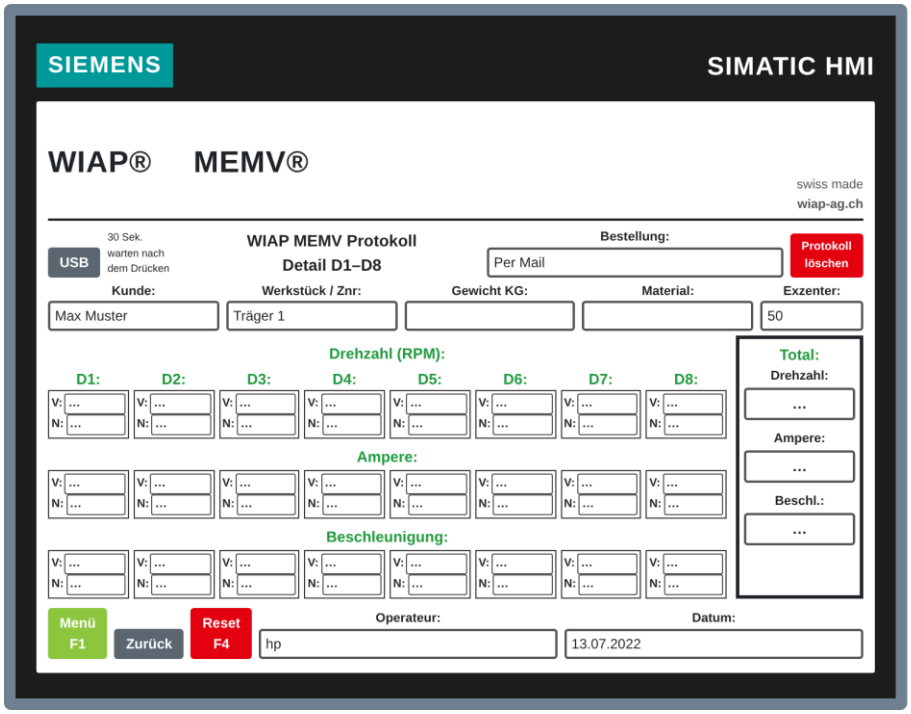
Beim Automaten messen **4 Sonden** (S1 bis S4) gleichzeitig an verschiedenen Stellen des Bauteils die Beschleunigung. Das Protokoll ist darum anders aufgebaut:



So liest man das Automat-Protokoll:
• **RPM Shift** und **Ampere Shift**: vorher und nachher für jede der 8 Richtungen, unten das Total aller Richtungen.
• **Total G-Shift**: Für jede Sonde wird die G-Verschiebung aller 8 Richtungen zusammengezählt (S1 D1–D8, S2 D1–D8 …). Darunter steht das Gesamttotal aller 4 Sonden.
• So sieht man nicht nur, **in welcher Richtung**, sondern auch **an welcher Stelle des Bauteils** (bei welcher Sonde) sich am meisten verändert hat.

Automat, Seite 2: Detail-Protokoll D1 bis D8

Auf der zweiten Seite stehen für jede der 8 Richtungen die Werte **V (vorher)** und **N (nachher)** für Drehzahl, Ampere und Beschleunigung – gleich aufgebaut wie das Protokoll mit 1 Sonde (Beispiel 1), aber mit allen 8 Richtungen. Rechts im Kasten «Total» stehen die zusammengezählten Verschiebungen.



Seite 1 (Gesamtprotokoll) zeigt die Übersicht mit der G-Verschiebung pro Sonde, Seite 2 (Detail) zeigt jede Richtung einzeln. Am Steuergerät wechselt man zwischen «Total Protocol» und «D1–D8 Detail».

Ältere Protokollformen

In alten Aufträgen findet man noch andere Protokolle. Die Grundidee ist gleich: Werte vorher und nachher vergleichen – die Verschiebung zeigt, wie viel sich im Bauteil gelöst hat.

LC20-Werkstückprotokoll: Drehzahl, Ampere und Beschleunigung wurden zu fünf Zeitpunkten notiert – **Start, nach 3 Minuten, nach 15 Minuten, nach 30 Minuten und Ende** – und als Verlauf in je einem Diagramm dargestellt. Die Differenz vorher/nachher wurde als «Spitzenverschiebung» ausgewiesen.

Protokoll mit 5 Richtungen und 3-Achs-Sonde: Das Bauteil wurde in 4 Richtungen liegend (D1 = 0°, D2 = 45°, D3 = 90°, D4 = 135°) und zusätzlich in Richtung **D5 vertikal** angeregt, je **8 Minuten**. Die Sonde mass die G-Verschiebung in X, Y und Z getrennt.

Beispiel: Aluminiumteil, Exzenterstufe 40 %

Richtung	Ampere vorher	Ampere nachher	Drehzahl vorher 1/min	Drehzahl nachher 1/min	Veränderung X m/s²	Veränderung Y m/s²	Veränderung Z m/s²	Total m/s²
D1 0°	1,41	1,30	4660	4680	5,6	8,2	2,5	16,3
D2 45°	1,34	1,30	4720	4740	2,6	5,0	2,3	9,9
D3 90°	1,57	1,48	5320	5320	7,6	3,7	1,7	13,0
D4 135°	1,46	1,41	5100	5100	2,1	7,9	0,9	10,9
D5 vertikal	1,32	1,30	4660	4660	5,2	4,9	5,0	15,1
Total					23,1	29,7	12,4	65,2

Lesebeispiel: In allen 5 Richtungen sinken die Ampere (der Anreger wird weniger belastet), die Drehzahl bleibt gleich oder steigt leicht. Die grösste G-Verschiebung liegt hier in der Y-Achse. Bitte prüfen: Im gleichen Originalprotokoll steht für D4 X auf einer Seite 0,0 statt 2,1 m/s².

g oder m/s²? Die Einheiten erklärt

1 g = 9,81 m/s² (die Erdbeschleunigung).
Ein G-Wert von 2 g bedeutet: Das Bauteil wird bei jeder Schwingung doppelt so stark beschleunigt, wie ein Stein beim Fallen. Das sind 2 × 9,81 = **19,6 m/s²**.

Grösse	Einheit	Bedeutung
Beschleunigung a	g oder m/s²	Wie stark das Bauteil hin und her «geschüttelt» wird. MEMV zeigt den G-Wert
Schwinggeschwindigkeit v	mm/s	Wie schnell sich ein Punkt bewegt (wird oft bei Maschinenschwingungen verwendet)
Wegamplitude x	mm oder µm	Wie weit sich ein Punkt aus der Ruhelage bewegt (Ausschlag)
Frequenz f	Hz = Schwingungen pro Sekunde	Bei einem Unwuchtmotor: f = Drehzahl / 60

Formeln (für sinusförmige Schwingung)

Grösse	Formel
Frequenz	f [Hz] = n [1/min] / 60
Kreisfrequenz	ω = 2 × π × f
Beschleunigung	a [m/s²] = ω² × x [m] = g-Wert × 9,81
Geschwindigkeit	v [m/s] = ω × x = a / ω
Wegamplitude	x [m] = a / ω²

Wichtig: Bei gleicher Beschleunigung (g-Wert) wird der Ausschlag bei hoher Drehzahl sehr klein. Doppelte Drehzahl → nur noch ein Viertel des Ausschlags.

Schwingungsrechner

Rechner: interaktiv online auf www.wiap-ag.ch/wi-8f-memv-vsr/

Wie gross ist der Ausschlag bei 1 g?

Drehzahl Anreger 1/min	Frequenz Hz	Wegamplitude bei 1 g mm	Geschwindigkeit bei 1 g mm/s
1500	25	0,398	62
2000	33,3	0,224	47

Drehzahl Anreger 1/min	Frequenz Hz	Wegamplitude bei 1 g mm	Geschwindigkeit bei 1 g mm/s
3000	50	0,099	31
4000	66,7	0,056	23
5000	83,3	0,036	19
6000	100	0,025	16
8000	133,3	0,014	12

Für andere g-Werte die Werte einfach multiplizieren, z. B. 3 g = 3-facher Ausschlag.

Anwendungen (Beispiele)

Bauteil	Warum entspannen
Schweisskonstruktionen, Maschinenbetten, Gestelle	Verzug nach dem Schweissen und bei der Bearbeitung vermeiden
Walzen	Rundlauf und Massgenauigkeit erhalten
Platten und Blechplatten (bis zu grossen Gewichten)	Planheit nach dem Brennschneiden und Fräsen
Turbinenringe, Impeller	Formtreue bei dünnwandigen Teilen
Fahrzeug-Untergestelle	Massgenauigkeit grosser Schweissbaugruppen

Eigenspannungen messen mit der Bohrlochmethode (ASTM E 837): siehe Kapitel 9.

Literatur zum Metallentspannen mit Vibration

Fachliteratur, die WIAP zum Vibrationsentspannen (VSR) gesammelt hat – Berichte, Fachartikel und Bücher aus Deutschland, der Schweiz, den USA, Russland und Rumänien. Liste aus dem WIAP-Literaturnachweis (Nummern wie im Original).

Nr.	Autor	Verlag / Zeitschrift / Institut	Land
1	Gnirss G.	Tech. Ueberwach.	Deutschland
2	Gnirss G.	Wdg. in the World	
3	Rappen A. u. G. A. Reumont	DVS Media	Deutschland
4	Müller F. u. D. M. Sonsino	Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit	Deutschland
5	Hassel P. A.	Advanced Materials & Processes	
6	Spooner S.	AWS, Florida	USA
7	Serban G. u. Novac	Metalurgia	Rumänien
8	Herold H.		Deutschland
9	Tornaghi L.		
10	Ionov V. A.	Wdg. Int.	
11	Soska A. u. M. Kratovchil	Zvaranie Svarovani	
12	Munsi A.	Material Science and Technology	
13	Cullison A.	Wdg. J.	
14	Gorbach V. D.	Wdg. Int.	
15	Munsi A.		
16	Rao D.	Int. J. of Fatigue	
17	Zimmer W.	Das Industrie Magazin	
18	Gan C.-J. u. K. Liao	Advanced Materials Research	
19	Wang Y.-Q.	Advanced Materials Research	
20	N.N. Vibmatic	Firmenschrift der VSR-Industrietechnik	Deutschland
21	Scholtes B.	DGM-Informationsgesellschaft Verlag	Deutschland
22	Hellwig C.	EMPA	Schweiz
23	Rohrbach C.	VDI-Verlag	Deutschland
24	Macherauch E., V. Hauk	DGM-Informationsgesellschaft Verlag	Deutschland
25	Bühler H. u. H. Pfalzgraf	VDI-Verlag	Deutschland
26	König G.	MPA	
27	Roloff/Matek	Vieweg	
28	Claxton A.	Heat Treatment of Metals	
29	Zeig K.		

Nr.	Autor	Verlag / Zeitschrift / Institut	Land
30	Lokshin J.		Russland
31	Adoyan G. und Mitautoren	Russian Castings Production	Russland
32	Weiss S.		
35	Kelsko D.		
36	Pusch H.	Maschinenwelt-Elektrotechnik	
37	Dawson R. / G. Moffart		
38	McGoldrick R. u. E. Saunders	J.A.S.N.E.	
39	Woznay P. u. R. Crawner		
40	Freemann G.	Max Huber Verlag	Deutschland
41	Gieck	Gieck-Verlag	
42	Kuchling H.	Fachbuchverlag Leipzig	Deutschland
43	Beitz W. u. H. Grote	Springer-Verlag	
44	Seemann K.		
45	Rich S.	Weld. Engng.	
46	Wohlfahrt H.	Techn. Mitt.	
47	Sedek P.	Schweiss. u. Schneid.	

Zusätzlich verwendet: Bericht Nitschke, Bericht Fabroni (St. Gallen) und das Buch «Wärmewirkungen des Schweissens». Die vollständigen Titel und Jahrgänge stehen im WIAP-Literaturnachweis (Ordner Wi_8_f_1_19_j).

Bereich 9 · Wi-8f Alltag und Büro

Alltägliches aus Büro, Werkstatt und Leben: Excel und Word, Zeichnungsablage, richtig heizen mit Holz und rücksichtsvoll fahren.

Kapitel 47 · Büro und Computer (Wi-8f 1-8-c)

Kurze Anleitungen für die tägliche Arbeit am Computer: Formeln in Excel, kleinere Word-Dateien und eine saubere Ablage von Zeichnungen.

Excel: Formeln nach unten kopieren

Schritt	Was tun
1	Formel in die erste Zeile schreiben, z. B. in D2: **=B2*C2** (Stückzahl × Preis)
2	Zelle D2 anklicken. Unten rechts am Rahmen ist ein kleines Quadrat (Ausfüllkästchen)
3	Das Quadrat mit der Maus nach unten ziehen oder doppelklicken. Oder: Zelle kopieren (Ctrl+C), Zellen darunter markieren, einfügen (Ctrl+V)
4	Excel passt die Zeilennummern automatisch an: in D3 steht =B3*C3, in D4 =B4*C4 usw.

Excel: Zellen fixieren mit dem $-Zeichen

Soll eine Formel immer auf die **gleiche** Zelle zeigen, z. B. auf einen Wechselkurs, kommt ein $-Zeichen vor Buchstabe und Zahl.

Schreibweise	Beim Kopieren
F1	Spalte und Zeile ändern sich (normal)
F1	Bleibt immer F1 (ganz fixiert)
F$1	Nur die Zeile ist fixiert
$F1	Nur die Spalte ist fixiert

Tipp: Beim Schreiben der Formel den Cursor in den Zellbezug setzen und die Taste **F4** drücken. Excel setzt die $-Zeichen, jedes weitere F4 wechselt die Art.

Übung: In F1 steht der Kurs Euro → CHF. In B2 die Stückzahl, in C2 der Preis in Euro. Welche Formel in D2 ergibt den Betrag in CHF und kann nach unten kopiert werden?

Lösung: **=B2*C2*F1**. Ohne $ würde Excel in der nächsten Zeile F2 nehmen, und dort steht kein Kurs.

Excel: Zellen verbinden für Textfelder

Schritt	Was tun
1	Erste Zelle anklicken und mit gedrückter Maustaste über die gewünschten Zellen fahren (z. B. 3 Zellen nach rechts)
2	Register **Start**, Gruppe **Ausrichtung**: auf **Verbinden und zentrieren** klicken. Die Gitterlinien dazwischen verschwinden, der Text hat jetzt ein grosses Feld
3	Für mehrzeiligen Text zusätzlich **Textumbruch** einschalten
Aufheben	Verbundene Zelle anklicken und nochmals auf **Verbinden und zentrieren** klicken

Am besten zuerst in einer leeren Tabelle üben.

Word: Bilder komprimieren (kleinere Datei)

Fotos vom Handy machen eine Word-Datei schnell sehr gross. Zum Versenden per E-Mail die Bilder komprimieren.

Schritt	Was tun
1	Bilder in die Word-Datei einfügen und die Datei speichern
2	Ein Bild anklicken. Oben erscheint das Register **Bildformat** (ältere Versionen: **Bildtools › Format**)
3	Ganz links auf **Bilder komprimieren** klicken
4	Das Häkchen bei **Nur für dieses Bild übernehmen** entfernen, damit alle Bilder kleiner werden
5	Auflösung **E-Mail (96 ppi)** wählen, für den Druck besser **Web (150 ppi)** oder **Drucken (220 ppi)**. OK klicken

Schritt	Was tun
	und speichern

Komprimierte Bilder lassen sich nicht mehr vergrössern. Vorher eine Kopie der Datei mit den Originalbildern behalten, wenn sie später noch gebraucht werden.

Zeichnungsablage mit Baugruppen-Nummern (BG)

Merksatz: Nie eine alte Zeichnung überschreiben und nie löschen. Wer etwas ändert, speichert eine neue Revision.

Was	Regel
Einfache Teile	Immer einen klaren Namen mit Grösse, z. B. **Schraubzwinge_150** (150 mm) oder **Schraubstock_200**
Maschinen und grosse Konstruktionen	Maschinenkürzel + Baugruppe + Teil + Revision, z. B. **DM2S_BG01_#00_r1**
BG00	Immer die Gesamtzusammenstellung der Maschine mit allen BG-Nummern
BG01, BG02 …	Baugruppen, z. B. BG01 Maschinenbett, BG02 Spindelstock, BG03 Z-Schlitten, BG04 X-Schlitten, BG05 Antrieb X, BG06 Antrieb Z
#00	Zusammenstellung der Baugruppe mit allen Positionsnummern: hier ist ersichtlich, welche Nummer welches Teil ist
#1, #2, #3 …	#1 ist das Hauptteil, #2, #3 usw. die weiteren Teile der Baugruppe
r1, r2, r3 …	Revisionsstand. Jede neue Zeichnung beginnt mit r1
Arbeitsablauf	**Was tun**
Datei ändern	Wer eine Datei öffnet und ändert, speichert sie zuerst unter der nächsten Revision (aus r1 wird r2) im **gleichen Ordner**, in dem sie geöffnet wurde
Alte Stände	In jedem Ordner gibt es einen Unterordner **Old**. Der Verantwortliche für die Daten verschiebt ab und zu die alten Revisionen dorthin
Warum nicht löschen?	Passiert ein Fehler, lässt sich in den alten Ständen nachsehen, was geändert wurde

Übung: Die Datei DM2S_BG03_#2_r2 wird geöffnet und eine Bohrung geändert. Wie heisst die neue Datei?

Lösung: **DM2S_BG03_#2_r3**, im gleichen Ordner gespeichert. r2 bleibt erhalten.

Kapitel 48 · Fakten und Ansichten (Wi-8f 101-a)

Beiträge aus dem Alltag: eine persönliche Ansicht aus der Praxis – und die Fakten und die Physik dazu, einfach erklärt.

Jeder Beitrag ist gleich aufgebaut:

Teil	Inhalt
Ansicht	«Aus der Praxis» – eine Beobachtung oder Meinung des Wi-8f-Teams, in eigenen Worten (grau hinterlegt)
Fakten	Was dahinter steckt: Physik, Zahlen, Tabellen und Bilder – sachlich und nachprüfbar
Merksatz	Das Wichtigste in einem Satz
Aufgaben	Schätzen, ★ einfach, ★★ rechnen oder erklären, ★★★ nachdenken, Selber machen, Diskutieren – Lösungen zum Aufklappen

Die Beiträge

Kapitel	Thema	Wi-8f
49	Richtig heizen mit Holz	Wi-8f 101-c
50	Rücksichtsvoll fahren – schont Nerven und Reifen	Wi-8f 101-d

Weitere Beiträge folgen. Jeden Beitrag gibt es auch als Wi-8f-Blatt zum Ausdrucken (Information, Arbeitsblatt, Lösungen) – für Schulen, Lehrbetriebe und Fahrlehrer.

Merksatz: Eine Ansicht darf persönlich sein – die Fakten müssen stimmen.

Kapitel 49 · Richtig heizen mit Holz (Wi-8f 101-c)

Ein Cheminée oder Holzofen ist gemütlich. Sauber bleibt die Luft nur, wenn richtig geheizt wird. Wer Abfall verbrennt, schadet der Luft, den Nachbarn und sich selbst.

Aus der Praxis

Vor Jahren haben wir in Zürich einen Abgaskurs besucht. Dort wurde sehr eindrücklich gezeigt, wie schädlich Holzfeuerungen für die Luftqualität sein können – besonders in einer Stadt.

Heute stellen wir gelegentlich fest, dass ein Nachbar im Cheminée offenbar alles verbrennt, was irgendwie brennt. Der Gestank ist teilweise so stark, dass wir die Fenster schliessen müssen.

Wissen diese Leute, was sie anrichten? Eine Kehrichtverbrennungsanlage hat spezielle Verbrennungs- und Abgasreinigungssysteme, die Abfälle bei kontrollierten, hohen Temperaturen verbrennen und die Schadstoffe herausfiltern. Ein Cheminée kann das nicht. Bei zu tiefer Temperatur verbrennt alles unvollständig – und die Schadstoffe landen in der Umgebung.

Die bisherige Aufklärung hat sicher schon viel bewirkt. Trotzdem: Bei diesem Thema kann noch einiges erreicht werden. Vielleicht nehmen auch Gemeinden das Thema wieder einmal auf.

– das Wi-8f-Team

Was passiert beim Verbrennen von Holz?

Phase	Temperatur ca.	Was passiert
1 Trocknen	bis 100 °C	Das Wasser im Holz verdampft. Nasses Holz «frisst» hier viel Energie – das Feuer bleibt kalt.
2 Ausgasen	200–500 °C	Das Holz gibt brennbare Gase ab (Holzgas). Das sind die Flammen.
3 Gase verbrennen	über 600–800 °C	Nur wenn es heiss genug ist und genug Luft da ist, verbrennen die Gase sauber zu CO_2 und Wasserdampf.
4 Ausglühen	–	Die Holzkohle glüht ohne grosse Flamme aus. Übrig bleibt wenig, feine weisse Asche.

Ist das Feuer zu kalt (nasses Holz, zu wenig Luft, Abfall), verbrennen die Gase nur halb. Dann entstehen **Russ, Feinstaub, Kohlenmonoxid (CO) und Teer** – das ist zu riechen und zu sehen.

Cheminée oder Kehrichtverbrennung – der Unterschied

	Cheminée / Holzofen	Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)
Temperatur	schwankt stark, oft zu tief	über 850 °C, dauernd überwacht
Luftzufuhr	von Hand, ungenau	automatisch geregelt
Abgasreinigung	keine	Filter, Wäscher, Entstickung
Geeignet für	nur trockenes, naturbelassenes Holz	Kehricht

Was darf ins Cheminée – und was nicht?

✔ Ja	✗ Nein
Trockenes, naturbelassenes Holz (Stückholz)	Abfall, Kehricht, Kunststoff, Verpackungen
Wenig Anzündhilfe (Anzündwürfel, Holzwolle mit Wachs)	Lackiertes, gestrichenes oder imprägniertes Holz
Holzbriketts, Pellets (nur im passenden Ofen)	Spanplatten, Möbelreste, Palettenholz mit Farbe
Etwas Papier zum Anzünden	Karton, Zeitschriften, Milch- und Getränkepackungen in Mengen

In der Schweiz dürfen Abfälle nur in dafür bewilligten Anlagen verbrannt werden (Umweltschutzgesetz). Abfall im Cheminée ist also nicht nur schädlich, sondern verboten.

Richtig anfeuern: von oben

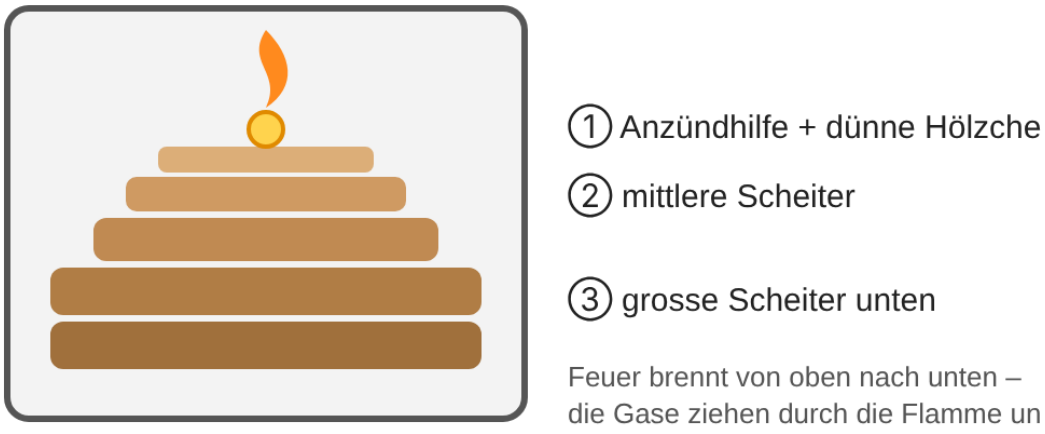


Bild 1 · Anfeuern von oben: so brennt das Feuer schnell heiss und es entsteht viel weniger Rauch.

Holz muss trocken sein

Holz	Wassergehalt ca.	Brennt
Frisch geschlagen	40–50 %	schlecht, viel Rauch
1 Sommer gelagert	ca. 25 %	mittel
2 Jahre gelagert, gedeckt, luftig	unter 20 %	gut, sauber

Test: Zwei Scheiter aneinander schlagen. Trockenes Holz klingt hell, nasses dumpf. Genauer geht es mit einem einfachen Holzfeuchte-Messgerät.

Der Rauch zeigt, ob richtig geheizt wird

Rauch aus dem Kamin	Bedeutung
Kaum sichtbar, flimmernde Luft	Gut – die Verbrennung ist sauber
Weiss, verschwindet schnell	Meist Wasserdampf (Anfeuern, kalte Tage) – in Ordnung
Grau, gelblich, dunkel, stinkt	Schlecht – zu nasses Holz, zu wenig Luft oder Abfall im Feuer

Merksatz: Ins Cheminée gehört nur trockenes, naturbelassenes Holz. Abfall gehört in den Kehrichtsack – die KVA kann ihn sauber verbrennen, das Cheminée nicht.

Aufgaben

★ einfach, ohne Formel · ★★ rechnen oder erklären · ★★★ zum Nachdenken · Lösungen zum Aufklappen am Schluss.

Zuerst schätzen: Wie heiss muss es im Feuer sein, damit die Holzgase sauber verbrennen? ☐ 100 °C ☐ 300 °C ☐ über 600 °C ☐ 2000 °C

★ Einfach

1. Nenne drei Dinge, die nicht ins Cheminée gehören.
2. Woran ist am Rauch zu erkennen, ob richtig geheizt wird?

★★ Erklären

3. Warum brennt nasses Holz schlechter? Mit den Phasen der Verbrennung erklären.
4. Wie lange und wie sollte Brennholz gelagert werden?

★★★ Nachdenken

5. Warum gibt Anfeuern von oben weniger Rauch?
6. Warum kann eine Kehrichtverbrennung Abfall sauber verbrennen, ein Cheminée hingegen nicht?

Selber machen

7. An einem kalten Abend die Kamine in der Umgebung beobachten. Wie sieht der Rauch aus? Was bedeutet das?

Diskutieren

8. Ein Nachbar verbrennt Abfall im Cheminée. Wie lässt er sich freundlich darauf ansprechen?

Lösungen für Lehrpersonen anzeigen

Nr.	Lösung
Schätzen	Über 600 °C (besser 800 °C). Darunter verbrennen die Gase nur halb – Russ, Feinstaub, CO.
1 ★	z. B. Kunststoff, Verpackungen, lackiertes oder imprägniertes Holz, Spanplatten, Karton in Mengen.
2 ★	Kaum sichtbarer Rauch = gut. Grau, gelblich, dunkel und stinkend = schlecht.
3 ★★	Das Wasser muss zuerst verdampfen (Phase 1). Das kostet Energie, das Feuer bleibt zu kalt, die Gase verbrennen in Phase 3 nicht sauber.
4 ★★	Ca. 2 Jahre, gedeckt und luftig, bis unter 20 % Wassergehalt.
5 ★★★	Das Feuer brennt oben heiss; die Gase aus dem Holz darunter ziehen durch die Flamme und verbrennen dort.
6 ★★★	KVA: über 850 °C dauernd, geregelte Luft, Filter und Abgasreinigung. Cheminée: Temperatur schwankt, keine Reinigung.
7 Selber	Je nach Beobachtung, siehe Tabelle «Der Rauch zeigt, ob richtig geheizt wird».
8 Diskutieren	Freundlich, ohne Vorwurf, mit Information (z. B. dieses Blatt) – viele wissen es einfach nicht.

Kapitel 50 · Rücksichtsvoll fahren – schont Nerven und Reifen (Wi-8f 101-d)

Wer Kurven, Rondellen und Ausfahrten mit Gefühl fährt, spart Reifen und Geld, fährt sicherer und hat weniger Stress. Die Physik dahinter ist einfach.

Aus der Praxis

Mit meinem ersten Auto schaffte ich mit einem Satz Reifen ungefähr 15'000 Kilometer. Heute kommen wir mit einem Satz bald auf 50'000 Kilometer.

Das liegt sicher auch an den vielen Autobahnen mit weniger engen Kurven. Ich habe zudem festgestellt: Wer mit hohem Tempo durch Rondellen fährt oder Autobahnausfahrten zu schnell nimmt, verkürzt die Lebensdauer seiner Reifen erheblich. Heute denke ich in jeder Rondelle an meine Reifen. Und weil wir Enkel haben, denen es im Auto schnell übel wird, liegt mir besonders am Herzen, dass sie möglichst wenig damit zu tun bekommen.

Es geht nicht darum, überall langsam zu fahren. Auf geraden Strassen ist zügiges Fahren in Ordnung, wenn es die Verhältnisse erlauben. In Kurven, Rondellen und Ausfahrten dagegen etwas Zurückhaltung – davon haben alle etwas. Wenn alle das Tempo anpassen, wird auch das Einfahren in die Rondelle für alle leichter.

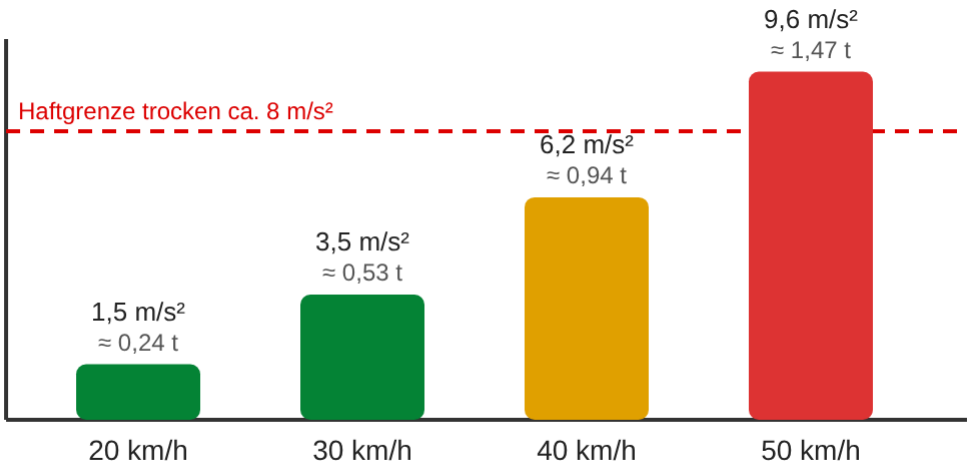
– das Wi-8f-Team

Die Physik: doppeltes Tempo = vierfache Kraft

In der Kurve muss der Reifen das Auto seitlich «festhalten». Diese Seitenkraft heisst **Zentripetalkraft**:

$F = m \times v^2 / r$
F = Kraft in N · m = Masse in kg · v = Geschwindigkeit in m/s · r = Kurvenradius in m

Die Geschwindigkeit steht im **Quadrat**. Doppelt so schnell heisst also **viermal** so viel Kraft auf die Reifen – und viel mehr Abrieb.



Auto 1500 kg in einer Rondelle mit 20 m Radius

Bild 1 · Seitenkraft auf die Reifen in einer Rondelle (Werte gerundet; Tonnen = Kraft umgerechnet, 1 t ≈ 9,81 kN).

Tempo	in m/s	Querbeschleunigung	Seitenkraft	Beurteilung
20 km/h	5,6	1,5 m/s²	2,3 kN ≈ 0,24 t	angenehm, wenig Abrieb
30 km/h	8,3	3,5 m/s²	5,2 kN ≈ 0,53 t	zügig
40 km/h	11,1	6,2 m/s²	9,3 kN ≈ 0,94 t	Reifen quietschen, viel Abrieb, nass gefährlich
50 km/h	13,9	9,6 m/s²	14,5 kN ≈ 1,47 t	über der Haftgrenze – das Auto rutscht

Rechenweg 30 km/h: 30 ÷ 3,6 = 8,33 m/s · 8,33² = 69,4 · 1500 × 69,4 ÷ 20 = 5208 N ≈ 5,2 kN ≈ 0,53 t.

Sanft fahren gegen Übelkeit im Auto

Wem im Auto übel wird, dem schaden vor allem die starken Seitenkräfte in Kurven und Rondellen und das ständige Bremsen und Beschleunigen. Auge und Gleichgewichtsorgan melden dem Gehirn verschiedene Dinge – das macht Übelkeit. Sanft und gleichmässig fahren hilft: weniger Seitenkraft (siehe Bild 1), früh vom Gas statt spät bremsen. Für Mitfahrende hilft zusätzlich: nach vorne aus dem Fenster schauen statt aufs Handy oder ins Buch, frische Luft, nicht mit leerem oder ganz vollem Magen fahren.

Wohin geht der Reifenabrieb?

Was vom Reifen abgerieben wird, verschwindet nicht. Es landet als feiner Staub am Strassenrand, im Boden, auf Feldern und im Wasser. Reifenabrieb ist eine der grössten Quellen von Mikroplastik. Jede schonend gefahrene Kurve hilft.

Was die Reifen sonst noch schont

Was	Warum
Vorausschauend fahren	Weniger hartes Bremsen und Beschleunigen = weniger Abrieb
Reifendruck monatlich prüfen	Zu wenig Druck: Reifen walkt, wird heiss, nutzt sich an den Schultern ab, mehr Verbrauch
Spur und Sturz kontrollieren lassen	Falsche Einstellung frisst den Reifen einseitig ab
Profil kontrollieren	Gesetzlich mindestens 1,6 mm; empfohlen Sommer 3 mm, Winter 4 mm
Unnötiges Gewicht ausladen	Mehr Masse = mehr Kraft in jeder Kurve (F = m × v² / r)

Merksatz: Auf der Geraden zügig, in Kurven, Rondellen und Ausfahrten mit Gefühl. Halbes Tempo in der Kurve = nur ein Viertel der Kraft auf die Reifen.

Aufgaben

★ einfach, ohne Formel · ★★ rechnen oder erklären · ★★★ zum Nachdenken · Lösungen zum Aufklappen am Schluss.

Zuerst schätzen: Wie viele Tonnen drücken bei 40 km/h in einer Rondelle (20 m Radius) seitlich auf die Reifen eines Autos mit 1500 kg? ☐ 0,1 t ☐ 0,3 t ☐ 1 t ☐ 3 t

★ Einfach

1. Ein Auto fährt doppelt so schnell durch die gleiche Kurve. Wie viel mehr Kraft wirkt auf die Reifen?
2. Ein Auto fährt mit 25 statt 50 km/h durch eine Rondelle. Wie viel kleiner ist die Seitenkraft?

★★ Rechnen

3. 54 km/h in m/s umrechnen.
4. Seitenkraft berechnen für ein Auto mit 2000 kg, 30 km/h und 15 m Radius. Wie viele Tonnen sind das ungefähr?

★★★ Nachdenken

5. Wie hoch ist bei Nässe (ca. 5 m/s²) ungefähr das Grenztempo in einer Rondelle mit 30 m Radius? ($v = \sqrt{a \times r}$)
6. Bei trockener Strasse geht es mit 40 km/h gut durch eine Rondelle mit 20 m Radius. Warum kann das bei Nässe schiefgehen?

Selber machen

7. Eine Rondelle im eigenen Wohnort auf einer Online-Karte suchen (z. B. map.geo.admin.ch, «Distanz messen»). Den Durchmesser in der Fahrbahnmitte messen, die Hälfte als Radius nehmen und das Grenztempo berechnen: trocken (8 m/s²) und nass (5 m/s²).

Diskutieren

8. Warum wird Kindern im Auto oft eher übel als Erwachsenen? Was kann der Fahrer tun?
9. Reifenabrieb landet in der Umwelt. Wer bezahlt das am Schluss – und was kann jeder tun?

Lösungen für Lehrpersonen anzeigen

Nr.	Lösung
Schätzen	≈ 1 t (gerechnet 9,3 kN ≈ 0,94 t). Die meisten schätzen viel zu tief.
1 ★	Viermal so viel ($2^2 = 4$).
2 ★	Viermal kleiner: $(25/50)^2 = 0{,}25$.
3 ★★	54 ÷ 3,6 = 15 m/s.
4 ★★	30 ÷ 3,6 = 8,33 m/s · $8{,}33^2 = 69{,}4$ · 2000 × 69,4 ÷ 15 = 9259 N ≈ 9,3 kN ≈ 0,94 t.
5 ★★★	$\sqrt{(5 \times 30)} = 12{,}2$ m/s ≈ 44 km/h.
6 ★★★	Nötig sind 6,2 m/s². Trocken haftet der Reifen bis ca. 8 m/s², nass nur bis ca. 5 m/s² – das Auto rutscht nach aussen.
7 Selber	Beispiel Durchmesser 30 m → r = 15 m: trocken ≈ 39 km/h, nass ≈ 31 km/h.
8 Diskutieren	Kinder sehen oft nicht nach vorne hinaus; Auge und Gleichgewichtsorgan melden Verschiedenes. Sanft fahren, Kurven langsamer, frische Luft, nach vorne schauen.
9 Diskutieren	Am Schluss alle (Gesundheit, Umwelt, Strassenabwasser). Vorausschauend fahren, Reifendruck prüfen, Gewicht ausladen, weniger fahren.

Schlusswort · Internationale Projekte (Wi-8f 1-20)

In den Jahren 2007 bis 2015 war WIAP an verschiedenen internationalen Projekten beteiligt. Dazu gehörten unter anderem ein grosses Industrieprojekt in Afrika sowie ein umfangreiches Ausbildungsprojekt in Vietnam.

Diese Projekte führten zu einer starken internationalen Ausrichtung des Unternehmens. Gleichzeitig zeichnete sich mit dem Eintritt der zweiten Generation eine neue Ausrichtung ab: Die Aktivitäten sollten wieder stärker auf die Schweiz, den eigenen Maschinenbau und die Entwicklung eigener technischer Lösungen konzentriert werden.

Die Inhalte dieses Technik-Handbuchs beruhen auf eigens erstellten Ausbildungsunterlagen. Sie wurden benötigt, um im Ausland Lehrer und Lernende auszubilden. Das war eine spannende Zeit, in der auch wir enorm viel lernen durften.

WIAP AG, Dulliken

© 2026 WIAP, Dulliken – alle Rechte vorbehalten. Weitergabe und Kopie nur mit Zustimmung von WIAP.

Fragen und Ergänzungen

Das Handbuch wird laufend erweitert. Haben Sie einen Fehler gefunden oder fehlt Ihnen eine Tabelle? Schreiben Sie uns: www.wiap-ag.ch/kontakt/

Alle Angaben ohne Gewähr. Massgebend sind die jeweils gültigen Normen und die Angaben der Hersteller. Zusammengestellt von der WIAP AG, Dulliken.