

Paul Müller

Formelsammlung **Metalltechnik**

1. Auflage 2017

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hinweise auf DIN-Normen in diesem Werk entsprechen dem Stande der Normung bei Abschluss des Manuskriptes. Die Normen sind wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich ist.

Umschlaggestaltung: Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz

Umschlagfoto: Fraunhofer IWU

Best.-Nr. 95191

ISBN 978-3-95863-241-7

1. Auflage 2017

© 2017 by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz

Alle Rechte, einschließlich der Fotokopie, Mikrokopie, Verfilmung, Wiedergabe durch Daten-, Bild- und Tonträger jeder Art und des auszugsweisen Nachdrucks, vorbehalten. Nach dem Urheberrechtsgesetz ist die Vervielfältigung urheberrechtlich geschützter Werke oder von Teilen daraus für Zwecke von Unterricht und Ausbildung nicht gestattet, außer nach Einwilligung des Verlages und ggf. gegen Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums. Nach dem Urheberrechtsgesetz wird mit Freiheitsstrafen von bis zu einem Jahr oder mit einer Geldstrafe bestraft, wer „in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen ohne Einwilligung des Berechtigten ein Werk vervielfältigt ...“

Ein paar Worte ...

Die Formelsammlung Metalltechnik ermöglicht einen raschen und präzisen Überblick über die wichtigen Formeln des Berufsfeldes Metall.

Somit eignet sie sich sehr gut für den Einsatz in Facharbeiterprüfungen. Wenn bei der Arbeit Zusatzinformationen benötigt werden, können Verweise auf die entsprechenden Tabellenbuchseiten sehr hilfreich und informativ sein.

Formelsammlung und Tabellenbuch sind eine unschlagbare Kombination in der Berufsbildung und im Berufsalltag.

Inhalt

Allgemeine Grundlagen	7	Volumen, Oberflächen	24
Physikalische Gleichungen.....	7	Würfel	24
Basiseinheiten.....	7	Prisma	24
Umrrechnung von Einheiten	7	Zylinder.....	24
Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten.....	7	Hohlzylinder	25
Formelzeichen und Einheiten	8	Pyramide	25
Umrrechnung von Einheiten	11	Pyramidenstumpf	26
Dreisatzrechnung.....	12	Kegel	26
Potenzrechnung.....	14	Kegelstumpf.....	27
Formelumstellung	14	Kugel	27
Flächenberechnung	16	Ring mit Kreisquerschnitt	27
Quadrat	16	Kugelabschnitt (Kalotte).....	28
Raute	16	Kugelzone, Kugelschicht	28
Rechteck	16	Kugelausschnitt	29
Parallelogramm.....	16	Guldinsche Regel, Mantelfläche	29
Dreieck, stumpfwinklig.....	16	Guldinsche Regel, Oberfläche	29
Dreieck, spitzwinklig.....	17	Guldinsche Regel, Volumen	30
Dreieck, gleichschenkelig ($\alpha = \beta$)	17	Kraft und Bewegung	30
Dreieck, gleichseitig ($\alpha = \beta = \gamma$).....	17	Kraftpfeil, Vektor	30
Trapez.....	17	Resultierende Kraft	30
Dreieck	17	Kräfteparallelogramm	30
Vieleck, regelmäßig.....	18	Krafteck	31
Vieleck, unregelmäßig	18	Gewichtskraft.....	31
Verschnitt	18	Beschleunigungskraft.....	31
Zusammengesetzte Fläche	18	Federkraft.....	31
Kreis	19	Fliehkraft	31
Kreisring	19	Gleichförmige, geradlinige	
Kreisbogen.....	19	Bewegung	32
Kreisausschnitt	19	Gleichförmig beschleunigte	
Kreisringausschnitt.....	20	Bewegung	32
Kreisabschnitt.....	20	Beschleunigung	32
Satz des Pythagoras	20	Umfangsgeschwindigkeit	32
Rechtwinkliges Dreieck	21	Winkelgeschwindigkeit	32
Winkelfunktionen	21	Reibungskraft.....	33
Winkelsumme.....	21	Rollreibung	33
Sinussatz.....	21	Einseitiger Hebel.....	33
Cosinussatz	21	Zweiseitiger Hebel	33
Höhensatz	22	Winkelhebel.....	33
Kathetensatz, Lehrsatz des Euklid.....	22	Mehrfacher Hebel	34
Strahlensatz	22	Auflagerkräfte.....	34
Steigung, Neigung	22	Rolle, Flaschenzug, Winde	34
Teilungen, Längen	23	Feste Rolle ($s = h$).....	34
Teilungen	23	Lose Rolle ($s = 2 \cdot h$).....	35
Gestreckte Länge	23	Rollenflaschenzug ($s = n \cdot h$).....	35
Teilungen von Längen.....	23	Differenzialflaschenzug	35
Trennen von Werkstückteilen	24	Winde – Seilwinde.....	36
		Räderwinde	36

Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad 36

Arbeit, Ebene	36
Arbeit, geneigte Ebene (ohne Reibung)	37
Arbeit, geneigte Ebene (mit Reibung)	37
Stellkeil	37
Schraube, Bolzen	38
Energieerhaltungssatz	39
Potenzielle Energie	39
Spannenergie	39
Kinetische Energie	39
Leistung	40
Hubleistung	40
Zugleistung	40
Getriebeleistung	40
Pumpenleistung	41
Schnittleistung	41
Einzelwirkungsgrad	42
Gesamtwirkungsgrad	42

Antriebe 42

Einfacher Riementrieb	42
Mehrfacher Riementrieb	42
Einfacher Zahnradtrieb	43
Zahnradtrieb, mehrfache Übersetzung	43
Schneckenrieb	43
Achsabstand, Außenverzahnung	44
Achsabstand, Innenverzahnung	44

Fluidtechnik 44

Druck, Überdruck	44
Auftrieb	44
Hydrostatischer Druck	45
Seitendruckkraft	45
Flüssigkeitspresse	45
Allgemeine Gasgleichung	45
Gesetz von Boyle-Mariotte (isothermischer Vorgang)	46
Gesetz von Boyle-Mariotte (isochorer Vorgang)	46
Gesetz von Gay-Lussac (isobarer Vorgang)	47
Kolbenpressung	47
Hydraulische Presse	47
Druckübersetzer	48
Strömung in Rohren	48
Kolbengeschwindigkeit	48
Einfach wirkender Zylinder	49
Spezifischer Luftverbrauch	49
Doppelt wirkender Zylinder	49
Kolbenkräfte	50
Hydraulische Leistung	50

Wärme 51

Temperatur	51
Längenänderung	51
Volumenänderung	51
Wärmemenge	51
Schmelz- und Verdampfungswärme	52
Verbrennungswärme	52
Mischungstemperatur	52

Elektrotechnik 53

Elektrische Ladung	53
Elektrische Stromstärke	53
Stromdichte	53
Elektrische Arbeit	53
Elektrische Leistung	53
Leiterwiderstand	54
Ohmsches Gesetz	54
Elektrischer Leitwert	54
Temperaturabhängigkeit des Widerstands	54
Wärmewirkung des elektrischen Stroms	54
Parallelschaltung von Widerständen	55
Reihenschaltung von Widerständen	55
Periodendauer, Frequenz	55
Leistung im Wechselstromkreis	55
Leistung im Drehstromkreis	56
Sternschaltung	56
Dreieckschaltung	57
Transformator	57

Festigkeitslehre 57

Zugspannungsbeanspruchung, Zugversuch	57
Zugbeanspruchung (Zugspannung)	58
Druckbeanspruchung	58
Flächenpressung	59
Abscherung	59
Torsion (Verdrehung)	60
Kerbwirkung	60
Biegung	61
Knickung	61

Schrauben 62

Schraube (Bolzen-Mutter)	62
Vorspannkraft, Anziehdrehmoment	62
Flächenpressung	63

Federn 63

Federkräfte, Federlängen	63
--------------------------------	----

Fertigungstechnik	64
Bohren	64
Bohren und Reiben einer Durchgangsbohrung	65
Bohren und Reiben einer Grundlochbohrung	65
Zentrierbohren und Senken	65
Gewindebohren	66
Drehen	66
Fräsen	67
Schleifen	68
Außen-Längsrundschleifen	68
Umfangs-Planschleifen	68
Biegen	69
Gestreckte Länge	69
Kreisförmig gebogen	69
Scharfkantig gebogen, Ecken gestaucht	69
Scharfkantig gebogen, Ecken abgerundet	69
Biegerückfederung	70

Zuschnittsermittlung für Teile mit beliebigem Biegewinkel	70
--	----

Toleranzen und Passungen	70
Grundbegriffe, Toleranzen	70
Bohrungen, Grenzmaße und Passungen	72
Wellen, Grenzmaße und Passungen	73
Spielpassung	73
Übergangspassung	73
Übermaßpassung	73
Passungssystem Einheitsbohrung	74
Passungssystem Einheitswelle	74
CNC-Werkzeugmaschinen	74
Koordinatenachsen und Bewegungsrichtungen	74
Bewegungsrichtungen	75
Bezugspunkte	75
Satzbau, Reihenfolge der Wörter	76
Sachwortverzeichnis	77

Allgemeine Grundlagen								
Physikalische Gleichungen								
Größengleichung	Zugeschnittene Größengleichung	Einheitengleichung	Zahlenwertgleichung					
$n = \frac{f}{p}$	$n = \frac{f \cdot 60}{p}$	1 h = 3600 s 1 kg = 1000 g	$v = 3,6 \cdot \frac{s}{t}$ v in km/h s in m t in s					
Basiseinheiten								
Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Kennzeichen der Einheit					
Länge	l	Meter	m					
Masse	m	Kilogramm	kg					
Zeit	t	Sekunde	s					
Stromstärke	I	Ampere	A					
Temperatur ¹⁾	T	Kelvin	K					
Stoffmenge	n	Mol	mol					
Lichtstärke	I_v	Candela	cd					
¹⁾ Thermodynamische Temperatur								
Umrechnung von Einheiten								
Längen	Flächen	Volumen	Kräfte	Massen				
1 µm = 0,001 mm	1 cm ² = 100 mm ²	1 ml = 0,001 l	1 mN = 0,001 N	1 µg = 0,001 mg				
1 mm = 0,001 m	1 m ² = 10 000 cm ²	1 cl = 0,01 l	1 daN = 10 N	1 mg = 0,001 g				
1 cm = 10 mm	1 m ² = 100 dm ²	1 l = 1000 ml	1 kN = 1000 N	1 kg = 1000 g				
1 dm = 10 cm	1 a = 100 m ²	1 hl = 100 l	1 MN = 1000 kN	1 Mg = 1000 kg				
1 m = 10 dm	1 ha = 100 a	1 dm ³ = 1000 cm ³		1 t = 1000 kg				
1 km = 1000 m	1 km ² = 100 ha	1 m ³ = 1000 dm ³						
Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten								
Vorsatz	Faktor	Zeichen	Vorsatz	Faktor	Zeichen	Vorsatz	Faktor	Zeichen
Piko	10 ⁻¹²	p	Zenti	10 ⁻²	c	Kilo	10 ³	k
Nano	10 ⁻⁹	n	Dezi	10 ⁻¹	d	Mega	10 ⁶	M
Mikro	10 ⁻⁶	µ	Deka	10 ¹	da	Giga	10 ⁹	G
Milli	10 ⁻³	m	Hekto	10 ²	h	Tera	10 ¹²	T
Hinweis:								
Nach Möglichkeit nur Vorsätze verwenden, deren Zahlenwerte zwischen 0,1 und 1000 liegen.								
Vorsätze mit ganzzahliger Potenz von Tausend (10 ^{3·n}) sind zu bevorzugen.								

Allgemeine Grundlagen			
Formelzeichen und Einheiten			
Größe	Zeichen	Einheit	Hinweis
Arbeit, Energie	W, E	Joule J Newtonmeter Nm Wattsekunde Ws Kilowattstunde kWh	1 kcal = 4186,6 Ws 1 J = 1 Nm = 1 Ws = $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$ 1 kWh = 3600000 Ws = $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$
Beschleunigung	a, g	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	Fallbeschleunigung $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Dichte	ρ	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,001 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$ $1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ Bei <i>Fluiden</i> wird die Dichte in kg/l (Liter) angegeben.
Moment Drehmoment Biegemoment Torsionsmoment	M M_d M_b M_t, T	Nm Newtonmeter	1 N · m = 1 J rechtsdrehendes Moment $M = F \cdot r$ linksdrehendes Moment $M = F \cdot r$
Drehzahl Umdrehungs- frequenz	n	$\frac{1}{\text{s}}, \frac{1}{\text{min}}$	1 min = 60 s $1460 \frac{1}{\text{min}} = \frac{1460}{60} \frac{1}{\text{s}} = 24,3 \frac{1}{\text{s}}$
Druck absoluter Druck Athmosphären- druck Überdruck	p p_{abs} p_{amb} p_e	Pa Pascal	1 Pa = $1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,01 \text{ mbar}$ 1 bar = $10^5 \text{ Pa} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ 1 mbar = 1 h Pa $1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$
Energie	E, Q, W	Joule J Wattstunde Wh Wattsekunde Ws	1 J = 1 Nm = 1 Ws = $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$ 1 kWh = 3600000 J
Feldstärke, elektrische	E	$\frac{\text{V}}{\text{m}}$ Volt Meter	$E = \frac{F}{Q}$ F Kraft in N $Q = I \cdot t$ elektrische Ladung

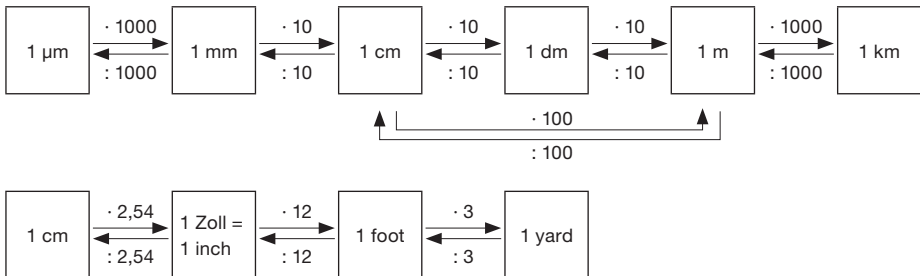
Allgemeine Grundlagen

Formelzeichen und Einheiten

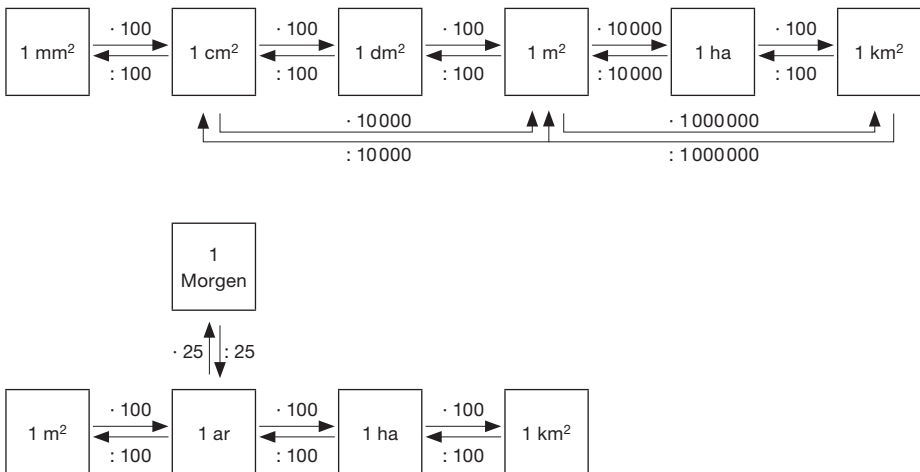
Größe	Zeichen	Einheit	Hinweis
Winkel, Phasenverschiebung	φ	rad ° Radiant Grad	In <i>Wechselstromkreisen</i> mit <i>induktiven</i> und/oder <i>kapazitiven</i> Widerständen.
Winkelgeschwindigkeit	ω	$\frac{1}{s}$	$\omega = 2 \pi n$ In der Elektrotechnik <i>Kreisfrequenz</i> genannt.
Zeit Periodendauer	t T	d h min s Tag Stunden Minuten Sekunden	1 d = 24 h = 1440 min = 86 400 s 1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s

Umrechnung von Einheiten

Längeneinheiten



Flächeneinheiten



Allgemeine Grundlagen	
Dreisatzrechnung	
Einfacher, direkter Dreisatz Nimmt eine Größe zu, dann wächst auch die andere Größe. Nimmt eine Größe ab, dann wird auch die andere Größe kleiner. Die Größen sind <i>direkt proportional</i>.	<i>Beispiel 1: Die Größen nehmen zu</i> 12 Spiralbohrer kosten 60 Euro. Was kosten dann 30 Bohrer? BS 12 Bohrer kosten 60 Euro FS 1 Bohrer kostet $\frac{60 \text{ Euro}}{12}$ SS 30 Bohrer kosten $\frac{60 \text{ Euro} \cdot 30}{12} = 150 \text{ Euro}$ <i>Beispiel 2: Die Größen nehmen ab</i> Eine Lackdose enthält bei einer Füllhöhe von 25 cm 5 l Lack. Nach Arbeitsende ist sie noch 15 cm hoch gefüllt. Wie viel Liter Lack wurden für die Arbeit verbraucht? BS 25 cm $\triangleq$ 5 l FS 1 cm $\triangleq \frac{5 \text{ l}}{25 \text{ cm}}$ SS 15 cm $\triangleq \frac{5 \text{ l} \cdot 10 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} = 2 \text{ l}$
Einfacher, indirekter Dreisatz Nimmt eine Größe zu, dann nimmt die andere Größe ab. Wird eine Größe kleiner, dann nimmt die andere Größe zu. Die Größen sind <i>indirekt</i> (umgekehrt) <i>proportional</i>.	<i>Beispiel 1: Die erste Größe nimmt zu</i> 5 Monteure benötigen für eine Arbeit 70 Stunden. Wie viele Stunden würden dann 7 Monteure benötigen? BS 5 Monteure benötigen 70 h FS 1 Monteur benötigt 70 h $\cdot$ 5 SS 7 Monteure benötigen $\frac{70 \text{ h} \cdot 5}{7} = 50 \text{ h}$ <i>Beispiel 2: Die erste Größe nimmt ab</i> Für eine Baustelle, die in 12 Tagen eingerichtet und in Betrieb genommen werden soll, sind 10 Monteure vorgesehen. Um wie viele Tage würde sich die Inbetriebnahme verzögern, wenn nur 6 Monteure zur Verfügung stehen? BS 10 Monteure benötigen 12 Tage FS 1 Monteur benötigt 12 Tage $\cdot$ 10 SS 6 Monteure benötige $\frac{12 \text{ Tage} \cdot 10}{6} = 20 \text{ Tage}$
Zusammengesetzter Dreisatz Es sind mehr als drei Größen gegeben. Deshalb sind mehrere Folge- und Schlussätze erforderlich.	<i>Beispiel:</i> Ein 4,0-m²-Blech von 1,6 mm Dicke wiegt 18 kg. Wie viel kg wiegt ein 1,5-m²-Blech von 1,2 mm Dicke? BS 4,0 m²; 1,6 mm wiegen 18 kg FS 1 1,0 m²; 1,6 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg}}{4}$ FS 2 1,0 m²; 1,0 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg}}{4 \cdot 1,6}$ SS 1 1,0 m²; 1,2 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg} \cdot 1,2}{4 \cdot 1,6}$ SS 2 1,5 m²; 1,2 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg} \cdot 1,2 \cdot 1,5}{4,0 \cdot 1,6} = 5,1 \text{ kg}$

Allgemeine Grundlagen		
Formelumstellung		
2. Die gesuchte Größe steht in einer Faktorengleichung. • Seiten vertauschen. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite unter den Bruchstrich bringen.	$P = U \cdot I \cdot t$ $U \cdot I \cdot t = P$ $I = \frac{P}{U \cdot t}$	$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ $2\pi \cdot f \cdot L = X_L$ $f = \frac{X_L}{2\pi \cdot L}$
3. Die gesuchte Größe steht in einer Quotientengleichung auf dem Bruchstrich. • Seiten vertauschen. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite bringen. Was links auf dem Bruchstrich steht, kommt rechts unter den Bruchstrich. Was links unter dem Bruchstrich steht, kommt rechts auf den Bruchstrich.	$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$ $\frac{\varrho \cdot l}{A} = R$ $l = \frac{R \cdot A}{\varrho}$	$P = \frac{F \cdot s}{t}$ $\frac{F \cdot s}{t} = P$ $F = \frac{P \cdot t}{s}$
4. Die gesuchte Größe steht in einer Quotientengleichung unter dem Bruchstrich. • Seiten vertauschen. • Seiten umkehren. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite bringen (wie bei 3.)	$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$ $\frac{l}{\gamma \cdot A} = R$ $\frac{\gamma \cdot A}{l} = \frac{1}{R}$ $A = \frac{l}{\gamma \cdot R}$	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ $\frac{1}{\omega \cdot C} = X_C$ $\frac{\omega \cdot C}{1} = \frac{1}{X_C}$ $C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$
5. Die gesuchte Größe steht als Potenz in einer Gleichung. • Seiten vertauschen. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite bringen. • Auf beiden Seiten die Wurzel ziehen. Auf der linken Seite heben sich Wurzel und Exponent auf.	$P = I^2 \cdot R$ $I^2 \cdot R = P$ $I^2 = \frac{P}{R}$ $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$	$P = \frac{U^2}{R}$ $\frac{U^2}{R} = P$ $U^2 = P \cdot R$ $U = \sqrt{P \cdot R}$
6. Die gesuchte Größe steht als Wurzel in einer Gleichung. • Seiten vertauschen. • Beide Seiten quadrieren. Auf der linken Seite heben sich Wurzel und Exponent auf. • Nicht gesuchte Größe auf die rechte Seite bringen. • Auf beiden Seiten die Wurzel ziehen.	$I = \sqrt{A}$ $\sqrt{A} = I$ $A = I^2$	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $\sqrt{R^2 + X_L^2} = Z$ $R^2 + X_L^2 = Z^2$ $R^2 = Z^2 - X_L^2$ $R = \sqrt{Z^2 - X_L^2}$

Flächenberechnung

Quadrat

$$A = a^2 \quad a = \sqrt{A}$$

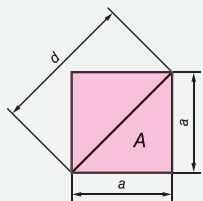
$$A = \frac{d^2}{2}$$

$$U = 4 \cdot a$$

$$d = \sqrt{2} \cdot a$$

$$d = \sqrt{2} \cdot \sqrt{A}$$

A	Flächeninhalt	m ²
a	Seitenlänge	m
d	Diagonale	m
U	Umfang	m



Raute

$$A = l \cdot b$$

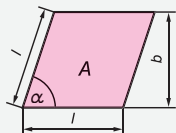
$$l = \frac{A}{b} \quad b = \frac{A}{l}$$

$$A = l^2 \cdot \sin \alpha$$

$$l = \sqrt{\frac{A}{\sin \alpha}}$$

$$U = 4 \cdot l$$

A	Flächeninhalt	m ²
l	Seitenlänge	m
b	Breite	m
α	Winkel	Grad
U	Umfang	m



Rechteck

$$A = a \cdot b$$

$$a = \frac{A}{b} \quad b = \frac{A}{a}$$

$$U = 2a + 2b = 2 \cdot (a + b)$$

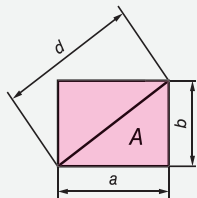
$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

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

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

$$a = \frac{U}{2} - b \quad b = \frac{U}{2} - a$$

A	Flächeninhalt	m ²
a, b	Seitenlänge	m
d	Diagonale	m
U	Umfang	m



Parallelogramm

$$A = l_1 \cdot b = l_1 \cdot l_2 \cdot \sin \alpha$$

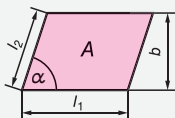
$$l_1 = \frac{A}{b} \quad b = \frac{A}{l_1}$$

$$l_1 = \frac{A}{l_2 \sin \alpha} \quad l_2 = \frac{A}{l_1 \sin \alpha}$$

$$U = 2 \cdot (l_1 + l_2)$$

$$b = l_2 \cdot \sin \alpha$$

A	Flächeninhalt	m ²
l_1, l_2	Seitenlänge	m
b	Höhe	m
α	Winkel	Grad
U	Umfang	m

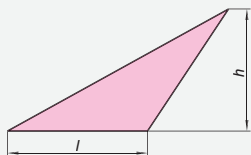


Dreieck, stumpfwinklig

$$A = \frac{l \cdot h}{2}$$

$$l = \frac{2 \cdot A}{h} \quad h = \frac{2 \cdot A}{l}$$

A	Flächeninhalt	m ²
l	Grundseite	m
h	Höhe	m



Kraft und Bewegung

Krafteck

$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$	F_R	resultierende Kraft	N	
	F_1, F_2, F_3	Teilkräfte	N	
	N: Newton Es ist eine <i>geometrische</i> Addition notwendig.			

Gewichtskraft

$F_G = m \cdot g$	F_G	Gewichtskraft	N	
$m = \frac{F_G}{g}$	m	Masse	kg	
	g	Fallbeschleunigung	$\frac{m}{s^2}$	
	N: Newton			

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

Beschleunigungskraft

$F = m \cdot a$	F	Beschleunigungskraft	N	
$m = \frac{F}{a} \quad a = \frac{F}{m}$	m	Masse	kg	
	a	Beschleunigung	$\frac{m}{s^2}$	
	N: Newton			

Federkraft

$F_G = F = s \cdot R$	F_G	Gewichtskraft	N	
$s = \frac{F}{R} \quad R = \frac{F}{s}$	F	Federkraft	N	
	s	Federweg	mm	
	R	Federrate	$\frac{N}{mm}$	
	N: Newton			

Fliehkraft

$F_Z = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad \omega = \frac{v}{r}$	F_Z	Fliehkraft	N	
$m = \frac{F_Z}{r \cdot \omega^2} \quad r = \frac{F_Z}{m \cdot \omega^2}$	m	Masse	kg	
	r	Radius	m	
$\omega = \sqrt{\frac{F_Z}{m \cdot r}}$	ω	Winkelgeschwindigkeit	$\frac{1}{s}$	
$F_Z = \frac{m \cdot v^2}{r}$	v	Umfangsgeschwindigkeit	$\frac{m}{s}$	
$m = \frac{F_Z \cdot r}{v^2} \quad r = \frac{m \cdot v^2}{F_Z}$	N: Newton			
$v = \sqrt{\frac{F_Z \cdot r}{m}}$				

Antriebe

Achsabstand, Außenverzahnung

$$a = \frac{m}{2} \cdot (z_1 + z_2)$$

$$m = \frac{2 \cdot a}{z_1 + z_2}$$

$$z_1 = \frac{2 \cdot a}{m} - z_2$$

$$z_2 = \frac{2 \cdot a}{m} - z_1$$

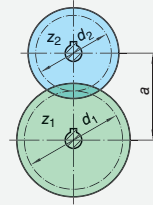
$$d_1 = 2 \cdot a - d_2$$

$$d_2 = 2 \cdot a - d_1$$

a	Achsabstand	mm
z_1, z_2	Zähnezahl	
d_1, d_2	Teilkreis- durchmesser	mm
m	Modul	mm



Seite 294



Achsabstand, Innenverzahnung

$$a = \frac{m}{2} \cdot (z_2 - z_1)$$

$$m = \frac{2 \cdot a}{z_2 - z_1}$$

$$z_1 = z_2 - \frac{2 \cdot a}{m}$$

$$z_2 = z_1 + \frac{2 \cdot a}{m}$$

$$a = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

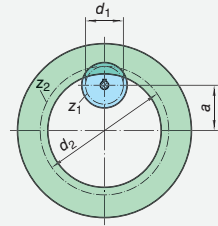
$$d_1 = d_2 - 2 \cdot a$$

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot a$$

a	Achsabstand	mm
z_1, z_2	Zähnezahl	
d_1, d_2	Teilkreis- durchmesser	mm
m	Modul	mm



Seite 294



Fluidtechnik

Druck, Überdruck

$$p_e = p_{abs} - p_{amb}$$

$$p_{abs} = p_e + p_{amb}$$

$$p_{amb} = p_{abs} - p_e$$

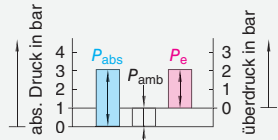
$$p = \frac{F}{A}$$

$$F = p \cdot A$$

$$A = \frac{F}{p}$$

P_e	Überdruck	bar
P_{abs}	absoluter Druck	bar
P_{amb}	Luftdruck Atmosphäre	bar
p	Druck	bar
F	Kraft	N
A	Fläche	cm ²

Pa: Pascal, N: Newton



$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa} \\ = 0,01 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa} \\ = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Auftrieb

$$F_A = V \cdot \varrho \cdot g$$

$$V = \frac{F_A}{\varrho \cdot g}$$

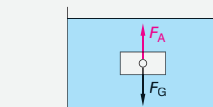
$$\varrho = \frac{F_A}{V \cdot g}$$

$$F_A = F_G \quad \text{Schweben}$$

$$F_A > F_G \quad \text{Schwimmen}$$

$$F_A < F_G \quad \text{Sinken}$$

F_A	Auftriebskraft	N
F_G	Gewichtskraft	N
V	eingetauchtes Volumen	m ³
ϱ	Dichte der Flüssigkeit	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
g	Fallbeschleunigung	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$



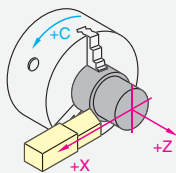
$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

CNC-Werkzeugmaschinen

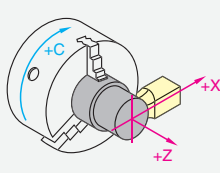
Bewegungsrichtungen

Drehmaschinen

Meißel vor Drehmitte

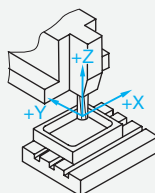


Meißel hinter Drehmitte

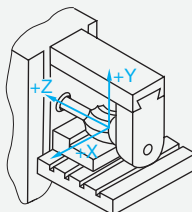


Fräsmaschinen

Senkrecht- Fräsmaschine



Waagrecht- Fräsmaschine



Bezugspunkte

Zeichen

Bezugspunkt

Beschreibung

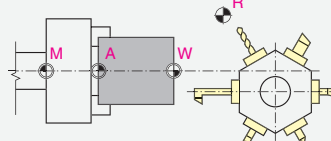
Beispiele



Maschinen-
nullpunkt

Ursprung des Maschinenkoordinatensystems, Schnittpunkt der Arbeitsspindelachse mit dem Werkstückträger; vom Hersteller festgelegt

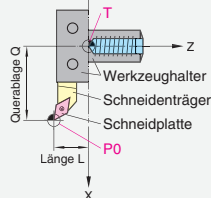
Bezugspunkte an einer Drehmaschine



Werkstück-
nullpunkt

Ursprung der Werkstückkoordinaten; vom Programmierer nach fertigungstechnischen Gesichtspunkten festgelegt

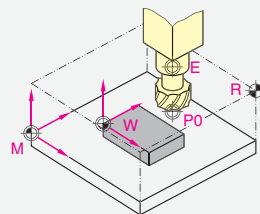
Werkzeugeinstellpunkt am Drehmeißel



Referenz-
punkt

Ursprung des inkremental messenden CNC-Systems mit exaktem Abstand zum Maschinennullpunkt. Der Referenzpunkt wird zum Nullsetzen des Messsystems angefahren

Bezugspunkte an einer Fräsmaschine



Hinweis:

Zur Vereinfachung der Programmierung wird angenommen, dass sich nur das Werkzeug bewegt. Das Werkstück steht still.



Programm-
nullpunkt

Gibt die Koordinaten des Punktes an, an dem sich das Werkzeug vor Beginn des Programmstarts befindet



Werkzeug-
träger-
Bezugspunkt

Liegt mittig an der Anschlagfläche der Werkzeugaufnahme. Fräsmaschinen: Stirnfläche Werkzeugspindel; Drehmaschinen: Anschlagfläche des Werkzeughalters am Revolver



Anschlag-
punkt

Anlagepunkt des Drehwerkstückes