EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Kraftfahrzeugtechnik

Tabellenbuch Kraftfahrzeugtechnik

Tabellen | Formeln | Übersichten | Normen

• Mathematik • Betriebsführung • Grundkenntnisse • Werkstoffkunde • Technisches Zeichnen • Fachkenntnisse • Elektrische Anlage • Vorschriften

18. Auflage

Lektorat: Rolf Gscheidle a. D., Studiendirektor

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 20566 ohne Formelsammlung
Europa-Nr.: 2056X mit Formelsammlung

Autoren des Tabellenbuches Kraftfahrzeugtechnik:

Fischer, Richard	Studiendirektor a. D.	Polling
Gscheidle, Rolf	Studiendirektor a. D.	Winnenden
Gscheidle, Tobias	Dipl.-Gewerbelehrer Studiendirektor	Sindelfingen – Filderstadt
Heider, Uwe	Kfz-Elektriker-Meister, Trainer Audi AG	Neckarsulm – Ellhofen
Hohmann, Berthold	Oberstudiendirektor	Eversberg
Keil, Wolfgang	Oberstudiendirektor a. D.	München
Lohuis, Rainer	Dipl.-Ingenieur, Oberstudienrat	Aachen – Hückelhoven
Renz, David	M.Sc., Studiendirektor	Gomaringen – Stuttgart
Schlögl, Bernd	Studiendirektor	Gaggenau – Rastatt
Spring, Andreas, Dr.	Dipl.-Ingenieur, Oberstudienrat	Starnberg – München
Steidle, Bernhard	Studiendirektor a. D.	Stuttgart – Neckarsulm

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:

Rolf Gscheidle, Studiendirektor a. D., Winnenden

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

18. Auflage 2024

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-2290-1 ohne Formelsammlung
ISBN 978-3-7585-2289-5 mit Formelsammlung

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagfotos: Mercedes-Benz Group, Stuttgart und BMW AG, München
Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort

Die 18. überarbeitete Auflage des Tabellenbuches Kraftfahrzeugtechnik dient als Nachschlagewerk von kraftfahrzeugtechnischen Problemstellungen in Service, Reparatur, Diagnose sowie Um- und Nachrüstung. Alle technisch aktuellen Themen sind aufgenommen und die Bilder und Tabellen sind nach methodischen und didaktischen Gesichtspunkten gestaltet. Neu aufgenommen wurden Formeln zur Elektromobilität und der Hochvolttechnik.

Zielgruppen

Auszubildende, Facharbeiter/-innen, Techniker/-innen, Meister/-innen und Studierende des Bereiches Kraftfahrzeugtechnik.

Hinweise für den Leser/die Leserin

Inhaltsverzeichnis: Zum schnellen Aufsuchen von Sachverhalten ist jedem Kapitel ein ausführliches Inhaltsverzeichnis vorangestellt.

Sachwortverzeichnis: Es ermöglicht ein rasches Auffinden von Inhalten und Begriffen.

Griffleiste: Um ein schnelles Auffinden der acht Sachgebiete zu ermöglichen, ist jedem Abchnitt eine Griffmulde zugeordnet.

Inhalt

Mathematik: Das Kapitel ist gegliedert in allgemeine Grundlagen und fachspezifische Berechnungen am Kraftfahrzeug.

Bei den Formeln werden zwei Gleichungsarten unterschieden:
Größengleichungen nach DIN 1313 (rot umrahmt)
Zahlenwertgleichungen (blau umrahmt).

Hinweis: Bei Zahlenwertgleichungen müssen die Größen in den angegebenen Einheiten eingesetzt werden.

Betriebsführung: In diesem Kapitel werden Grundlagen, Auftragsabwicklung, Qualitätssicherung und Kostenrechnen behandelt.

Grundkenntnisse: In diesem Kapitel sind Grundkenntnisse der Physik, Chemie, Informationstechnik sowie des Steuerns und Regelns tabellarisch dargestellt.

Ebenso sind metalltechnische Grundlagen, Fügetechniken, Normteile und die Grundlagen der Zerspantechnik übersichtlich zusammengestellt.

Werkstoffkunde: Aufbau, Herstellung und Arten von Kraftstoffen sowie weitere Betriebs- und Hilfsstoffe sind nach neuester Norm zusammengestellt. Aktuelle Kühlflüssigkeiten, Kältemittel und AdBlue wurden aufgenommen.

Zeichnen: Hier sind geometrische Grundkonstruktionen, grafische Darstellungen und alle notwendigen Normen, Grenzabmaße und Passungen zum Technischen Zeichnen aufgeführt.

Fachkenntnisse: Dieses Kapitel umfasst wichtige kraftfahrzeugtechnische Inhalte, dargestellt in tabellarischer Form. Vorangestellt sind Tabellen mit Fahrzeugdaten von Pkw, Krafträder, Nfz und Traktoren.

In den Unterkapiteln **Werkstoffkunde, Motor, Alternative Antriebskonzepte** und **Fahrwerk** sind technische Neuerungen, wie z. B. Ölnormung, Abgastechnik und Vorschriften zur Elektromobilität, Reifenbezeichnungen, Hauptuntersuchung und Sicherheitsprüfung, berücksichtigt.

Elektrische Anlage: Hier sind alle wichtigen elektrischen Geräte und Systeme behandelt. Aufgenommen sind: Bus- und Komfortsysteme, Hochvolttechnik, Fehlersuchpläne, Fahrerassistenzsysteme.

Vorschriften: In diesem Kapitel sind wichtige kraftfahrzeugtechnische Vorschriften sowie Vorschriften zur Unfallverhütung nach den neuesten technischen und gesetzlichen Bestimmungen zusammengestellt, wie z. B. Gefährdungskennlinien, Vorschriften E-Mobilität, Nfz-Ladevorschriften, Ladungssicherung und Bremsenprüfung Nfz.

Frühjahr 2024 — Die Autoren des Arbeitskreises Kfz-Technik

Inhaltsverzeichnis 5
Mathematik 6 ... 98
Inhaltsverzeichnis 99
Betriebsführung 100 ... 120
Inhaltsverzeichnis 121
Grundkenntnisse 122 ... 162
Inhaltsverzeichnis 163
Werkstoffkunde 164 ... 200
Inhaltsverzeichnis 201
Technisches Zeichnen 202 ... 218
Inhaltsverzeichnis 219
Fachkenntnisse 220 ... 428
Inhaltsverzeichnis 429
Elektrische Anlage 430 ... 516
Inhaltsverzeichnis 517
Vorschriften 518 ... 561

Firmenverzeichnis – Bildquellenverzeichnis

Die nachfolgend aufgeführten Firmen haben die Autoren durch fachliche Beratung, sowie durch Informations- und Bildmaterial unterstützt. Es wird ihnen hierfür herzlich gedankt.

ALLIGATOR GmbH,
Giengen a. d. Brenz,
Seite: 370/1

Audi AG,
Neckarsulm, Ingolstadt,
Seiten: 97/3; 236/2; 242/1, 2; 243/1, 2; 260/1 – 3; 262/2; 271/3; 294/1; 298/2,3; 303/1; 304/1 – 4; 337/1, 3; 343/2; 344/2; 345/1; 349/2; 358/6; 369/3; 402/1 – 3; 403/1; 425/4; 496/1; 497/1; 503/1, 3; 507/2 – 3

Autoliv B.V. & Co. KG,
Elmshorn, Seite: 427/2

Beru-Borg Warner GmbH,
Ludwigsburg,
Seiten: 274/5, 6; 475/2 – 10; 509/1

BGHM Berufsgenossenschaft Holz und Metall,
Stuttgart,
Seiten: 305/1

BMW AG,
München,
Seiten: 239/2; 242/7, 8; 343/2; 344/3; 351/1; 353/1 – 4; 483/3; 505/3

Robert Bosch GmbH,
Stuttgart,
Seiten: 30/4; 89/6; 260/1, 2; 263/1; 271/4; 277/1, 3; 278/2, 3; 283/1, 2; 290/1; 348/1; 426/1; 462/1 – 5; 469/1; 471/1, 2; 482/3, 5, 7; 483/1 – 3, 6; 485/1, 2; 503/1; 516/1

Car-O-Liner Deutschland GmbH,
Babenhausen,
Seite: 408/6

Continental Aftermarket GmbH,
Eschborn,
Seiten: 369/3

Continental Teves AG & Co oHG,
Frankfurt,
Seiten: 374/5 – 7; 383/1

DUNLOP GmbH,
Hanau/Main,
Seiten: 359/1; 363/3

Hella KG, Hueck & Co,
Lippstadt,
Seiten: 238/3; 456/1 – 7; 457/2

Honda Motor Co, Ltd.,
Seite: 242/5, 6

Huf Hülsbeck & Fürst GmbH & Co KG,
Velbert,
Seite: 369/4,5

Hunter Deutschland GmbH,
Greifenberg am Ammersee,
Seiten: 349/1, 5, 6

Michael Immler GmbH,
Immenstadt,
Seite: 367/4, 5

Jost Group GmbH & Co KG, Rockinger,
München,
Seite: 546/1

Knorr Bremse, GmbH,
München,
Seite: 390/1

Liqui Moly, Ulm,
Seite: 335/2

LuK GmbH,
Bühl/Baden,
Seiten: 312/2; 313/2

MAHLE Behr GmbH & Co KG,
Stuttgart,
Seite: 509/1

MAN Maschinenfabrik
Augsburg-Nürnberg AG,
München,
Seite: 288/1

Mann und Hummel,
Ludwigsburg,
Seite: 238/1

Mercedes-Benz Group,
Stuttgart,
Seiten: 233/5; 356/1; 358/1, 4, 5, 9; 426/1;

Metzeler-Pirelli Reifen GmbH,
München,
Seite: 359/3, 4

MICHELIN Reifenwerke AG & Co. KGaA,
Karlruhe,
Seite 367/2, 3, 6

NGK/NTK Europa GmbH,
Ratingen,
Seite: 483/1

OZ Deutschland,
Biberach,
Seite: 368/1

Dr. Ing. h. c. F. Porsche,
Stuttgart,
Seiten: 242/3, 4; 356/1; 374/6, 7

Rheinmetall Automotive,
Neckarsulm,
Seite: 239/2

Ringfeder power transmission,
Groß-Umstadt,
Seite: 545/1, 2

TAK Akademie Deutsches Kraftfahrtgewerbe GmbH,
Bonn,
Seite: 552/2, 4

TOYOTA Deutschland GmbH,
Köln,
Seite: 299/2

Volkswagen AG,
Wolfsburg,
Seiten: 236/2; 288/1; 305/2, 3; 324/1, 2; 325/1 – 3; 344/1; 358/2, 3, 7, 8; 375/2; 401/2, 3; 504/2

Wabco Westinghouse GmbH,
Hannover,
Seite: 391/4

ZF Getriebe GmbH,
Saarbrücken,
Seiten: 315/1; 327/1; 352/1

ZF Aftermarket, Sachs,
Friedrichshafen,
Seite 316/1-16

Alle Bilder im Buch ohne Quellenangaben wurden vom Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern oder den Autoren erstellt und bearbeitet.

Grundlagen

Einheiten im Messwesen, Größen, Formelzeichen, Einheiten 6
Taschenrechner, Winkelfunktionen 10, 11
Prozent-, Zins-, Verhältnis-, Mischungsrechnen 12
Längen, Gestreckte Längen, Biegeradius, Kanten, Bördeln von Blechen 13
Flächen, Volumen 16

Mechanik · Hydraulik · Pneumatik ·Wärmetechnik · Antriebe

Masse, Dichte, Kräfte 21
Geschwindigkeit, Beschleunigung, Verzögerung, Überholen 24
Arbeit, Energie, Montagevorspannkraft, Leistung, Wirkungsgrad 29
Drehmoment, Hebel, Flaschenzug, Reibung, Festigkeit 31
Druck, Hydraulik, Pneumatik, Wärmetechnik 37
Riementrieb, Zahnradtrieb 44

Berechnungen Motor

Hubraum, Verdichtung, Kolbengeschwindigkeit, Gasdruck, Kolbenkraft, Kurbeltrieb 47
Steuerwinkel, Steuerzeiten, Ventilöffnungszeit, Gasgeschwindigkeit 50
Luftverhältnis, Liefergrad, Luftverbrauch, Kraftstoffverbrauch 51
Kraftstoffeinspritzmenge, Schmierölverbrauch, Mischungsverhältnis, Ölfördermenge 53
Zugeführte Wärmemenge, Motorkühlung, Gefrierschutzmischung 54
Motor-, Nutz- und Innenleistung, Wirkungsgrad, innere Arbeit, Hubraumleistung 55

Berechnungen Antriebsstrang (Kraftübertragung)

Kupplung, Wechselgetriebe 61
Achsgetriebe, Gesamtübersetzung 65
Antriebskraft, Drehmoment, Leistung, Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung 66
Ausgleichsgetriebe, Kreuzgelenke, Gelenkwellen 68
Fahrwiderstände, Antriebskraft, Antriebsleistung, Fahrschaubild 70

Berechnungen Fahrwerk

Achskräfte, Auflagerkräfte, Schwerpunktabstand, Federberechnung 74
Lenkung: Spur, Spurdifferenzwinkel, Lenkgetriebe, Gesamtübersetzung der Lenkung 77
Bremsen: Mechanische, hydraulische Übersetzung, Leitungsdruck, Spannkraft 79
Gesamtübersetzung, Umfangskraft, Bremsmoment, Trägheitskraft, Bremskraft . . 81
Bremsarbeit, -leistung, -prüfung, Abbremsung 83

Berechnungen Elektrotechnik

Ohmsches Gesetz, Widerstand 85
Spannungsabfall, Stromdichte, Leitungsberechnung 86
Schaltung von Widerständen 87
Spannungsteiler, Messbrücke (Wheatstonesche Brücke) 88
Kondensatoren, Elektrische Leistung und Arbeit, Wirkungsgrad 89
Batterie 90
Magnetisches Feld, Elektrisches Feld 91
Wechselstrom 92
Schaltung von Wechselstromwiderständen 93
Stern- und Dreieckschaltung, Transformator, Antennen 94
Elektronische Bauelemente, Winkel und Zeiten beim Zündvorgang 95
Pulsweitenmodulation, Datenübertragung 96

Berechnungen Hochvolttechnik

Elektrische Antriebsmaschinen 97
Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen, Zwischenkreiskondensator 98

M

SI-Basiseinheiten

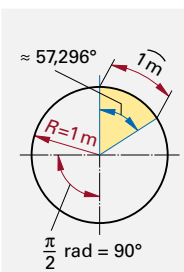
Die Einheiten im Messwesen sind im internationalen Einheitensystem (SI = **S**ystèm **I**nternational d'Unités) festgelegt. Das SI-System baut auf 7 Basiseinheiten (Grundeinheiten) auf, von denen weitere Einheiten abgeleitet sind. Dezimale Vielfache und dezimale Teile von Einheiten können nach DIN 1301 bezeichnet werden, z. B. Kilometer mit km oder Millimeter mit mm.

Das SI-System fördert die internationale Vereinheitlichung im Messwesen; es wurde für die Bundesrepublik Deutschland durch das „Gesetz über Einheiten im Messwesen" rechtsverbindlich.

Basisgröße	Länge	Masse	Zeit	Elektrische Stromstärke	Thermodynamische Temperatur	Stoffmenge	Lichtstärke
Basiseinheit	Meter	Kilogramm	Sekunde	Ampere	Kelvin	Mol	Candela
Kurzzeichen	m	kg	s	A	K	mol	cd

Größen

Größe	Formelzeichen	Einheit Name	Einheit Zeichen	Umrechnung, Erklärung				
Länge	l	**Meter**	**m**		m	dm	cm	mm
Breite	b			1 km	1000	10000	100000	1000000
Höhe, Tiefe	h			1 m	1	10	100	1000
Radius, Halbmesser	r			1 dm	0,1	1	10	100
Durchmesser	d			1 cm	0,01	0,1	1	10
Strecke	s			1 mm	0,001	0,01	0,1	1
Dicke	δ, d			1 µm	0,000001	0,00001	0,0001	0,001
Fläche	A, S	Quadratmeter	m^2		m^2	dm^2	cm^2	mm^2
Querschnittsfläche	S, q			1 m^2	1	100	10000	1000000
				1 dm^2	0,01	1	100	10000
		Ar	a	1 cm^2	0,0001	0,01	1	100
		Hektar	ha	1 km^2	1000000			
				1 ha = 100 a = 10000 m^2 = 0,01 km^2				
Volumen	V	Kubikmeter	m^3		m^3	dm^3 (l)	cm^3 (ml)	mm^3
Rauminhalt				1 m^3	1	1000	1000000	
				1 dm^3 (l)	0,001	1	1000	1000000
		Liter	l, L	1 cm^3 (ml)	0,000001	0,001	1	1000
				1 mm^3		0,000001	0,001	1
				1 l = 1 dm^3 = 1000 cm^3				
Zeit	t	**Sekunde**	**s**		d	h	min	s
Zeitspanne				1 s		0,000278	0,01667	1
Dauer		Minute	min	1 min	0,00069	0,01667	1	60
		Stunde	h	1 h	0,04167	1	60	3600
		Tag	d	1 d	1	24	1440	86400
		Jahr	a	1 a	~365	~8760	~525600	~31536000
				Zeitspanne: 3 h = 3 Stunden **Zeitpunkt: 3^h = 3:00 Uhr**				
Winkel z.B. Phasenwinkel	α, β, γ ... φ	**Radiant**	**rad**	1 rad ist gleich dem Winkel, der als Zentriwinkel aus einem Kreis mit R = 1 m einen Kreisbogen von 1 m Länge ausschneidet $1\ \text{rad} = \frac{1\ \text{m (Bogen)}}{1\ \text{m (Radius)}}$ 1 rad ≈ 57,3°				
		Vollwinkel		1 Vollwinkel = $2 \cdot \pi$ rad				
		Grad	°	$1° = \frac{\pi}{180}$ rad				
		Minute	′	$1' = \left(\frac{1}{60}\right)° = \frac{\pi}{10800}$ rad				
		Sekunde	″	$1'' = \left(\frac{1}{60}\right)' = \left(\frac{1}{360}\right)° = \frac{\pi}{648000}$ rad				
		Gon	gon	$1\ \text{gon} = \frac{\pi}{200}$ rad				



Größen

Größe	Formelzeichen	Einheit Name	Einheit Zeichen	Umrechnung, Erklärung			
Geschwindigkeit	v	Meter/Sekunde	m/s		m/s	m/min	km/h
Umfangsgeschwindigkeit	v	Kilometer/Stunde	km/h	1 km/h	0,2778	16,667	1
				1 m/min	0,01667	1	0,06
Lichtgeschwindigkeit	c			1 m/s	1	60	3,6
				1 cm/s	0,01	0,6	0,036
Winkelgeschwindigkeit	ω	Radiant/Sekunde	rad/s				
Frequenz	f, ν	Hertz	Hz	Anzahl periodischer Vorgänge pro Sekunde			
		reziproke Sekunde	1/s	1 Hz = 1/s = s^{-1}			
Drehzahl	n	reziproke Minute	1/min	1/s = 60/min			
Kreisfrequenz	ω	reziproke Sekunde	1/s	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$			
Periodendauer	T	Sekunde	s				
Beschleunigung	a	Meter/Sekunde hoch zwei	m/s^2	Wirkungsrichtung: Beliebig			
örtliche Fallbeschleunigung	g			Wirkungsrichtung: Zum Erdmittelpunkt $g = 9{,}80665\ m/s^2 \approx 9{,}81\ m/s^2$ wird meist als Normfallbeschleunigung angegeben.			
Winkelbeschleunigung	α	Radiant/Sekunde hoch zwei	rad/s^2				
Masse	m	**Kilogramm**	**kg**		g	kg	Mg (t)
Gewicht als Wägeergebnis		Gramm	g	1 kg	1000	1	0,001
		Tonne	t	1 g	1	0,001	0,000001
				1 Mg (t)	1000000	1000	1
längenbezogene Masse	m'	Kilogramm/Meter	kg/m	$m = l \cdot m'$ m' wird z. B. zur Berechnung der Masse von Profilen, Stäben und Rohren benutzt.			
flächenbezogene Masse	m''	Kilogramm/Quadratmeter	kg/m^2	$m = A \cdot m''$ m'' wird z. B. zur Berechnung der Masse von Blechen und Platten verwendet.			
Dichte	ϱ	Kilogramm/Kubikmeter	kg/m^3		g/cm^3	kg/dm^3	kg/m^3
				1 kg/m^3	0,001	0,001	1
		Kilogramm/Kubikdezimeter	kg/dm^3	1 kg/dm^3	1	1	1000
				1 g/cm^3	1	1	1000
		Gramm/Kubikzentimeter	g/cm^3	1 kg/l	1	1	1000
				1 g/l	0,001	0,001	1
spezifisches Volumen	v	Kubikmeter/Kilogramm	m^3/kg	**1 m^3/kg = 1000 dm^3/kg = 1 dm^3/g**			
Stoffmenge	n	**Mol**	**mol**	Teilchenmenge = $6{,}022 \cdot 10^{23}$ Teilchen			
Kraft	F	Newton	N		mN	N	daN	kN
Gewichtskraft	F_G			1 mN	1	0,001	0,0001	0,000001
				1 N	1000	1	0,1	0,001
				1 kN	1000000	1000	100	1
				1 MN	10^9	1000000	100000	1000
				1 N = 1 kg · 1 m/s^2 = 1 kg m/s^2				
Drehmoment	M	Newtonmeter	Nm		Ncm	Nm	kNm
				1 Ncm	1	0,01	0,00001
				1 Nm	100	1	0,001
				1 kNm	100000	1000	1

M

Größen

Größe	Formelzeichen	Einheit Name	Einheit Zeichen	Umrechnung, Erklärung
Temperatur	T t	**Kelvin** Celsius	**K** °C	0 Kelvin = 0 K = – 273 °C 0 °Celsius = 0 °C = 273 K
Arbeit **Energie** **Wärmemenge**	W E, W Q	Joule	J	

	kWh	J	kJ	MJ
1 kWh	1	3600000	3600	3,6
1 J		1	0,001	0,000001
1 kJ	0,0002778	1000	1	0,001
1 MJ	0,2778	1000000	1000	1

1 J = 1 Nm = 1 Ws = 1 kg m²/s²

Leistung	P	Watt	W

	mW	W	kW	MW
1 mW	1	0,001	0,000001	10^{-9}
1 W	1000	1	0,001	0,000001
1 kW	1000000	1000	1	0,001
1 MW	10^9	1000000	1000	1

1 W = 1 J/s = 1 Nm/s

Druck	p	Pascal	Pa

	Pa	mbar, hPa	bar	N/cm²
1 Pa	1	0,01	0,00001	0,0001
1 mbar, hPa	100	1	0,001	0,01
1 bar	100000	1000	1	10
1 N/cm²	10000	100	0,1	1

1 Pa = 1 N/m²; 1 bar = 10 N/cm²; 1 mbar = 1 hPa

Mechanische Spannung	σ, τ	Newton/ Quadratmeter	N/m²

	N/m²	N/cm²	daN/cm²	N/mm²
1 N/m²	1	0,0001	0,00001	0,000001
1 N/cm²	10000	1	0,1	0,01
1 daN/cm²	100000	10	1	0,1
1 N/mm²	1000000	100	10	1

1 N/m² = 1 Pa

Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A

	mA	A	kA
1 mA	1	0,001	0,000001
1 A	1000	1	0,001
1 kA	1000000	1000	1

Elektrische Spannung	U	Volt	V

	mV	V	kV
1 mV	1	0,001	0,000001
1 V	1000	1	0,001
1 kV	1000000	1000	1

Elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω

	mΩ	Ω	kΩ	MΩ
1 mΩ	1	0,001	0,000001	10^{-9}
1 Ω	1000	1	0,001	0,000001
1 kΩ	1000000	1000	1	0,001
1 MΩ	10^9	1000000	1000	1

Vorsätze für Zehnerpotenzen (Auswahl)

da	(Deka)	10^1	130 Meter = $13 \cdot 10^1$ m = 13 dam
h	(Hekto)	10^2	300 Liter = $3 \cdot 10^2$ l = 3 hl
k	(Kilo)	10^3	1500 Gramm = $1{,}5 \cdot 10^3$ g = 1,5 kg
M	(Mega)	10^6	1200000 Watt = $1{,}2 \cdot 10^6$ W = 1,2 MW
G	(Giga)	10^9	20500000000 Watt = $20{,}5 \cdot 10^9$ W = 20,5 GW
T	(Tera)	10^{12}	
P	(Peta)	10^{15}	
E	(Exa)	10^{18}	

d	(Dezi)	10^{-1}	0,1 Meter = $1 \cdot 10^{-1}$ m = 1 dm
c	(Centi)	10^{-2}	0,25 Meter = $25 \cdot 10^{-2}$ m = 25 cm
m	(Milli)	10^{-3}	0,004 Meter = $4 \cdot 10^{-3}$ m = 4 mm
µ	(Mikro)	10^{-6}	0,000015 Meter = $15 \cdot 10^{-6}$ m = 15 µm
n	(Nano)	10^{-9}	0,000000105 Meter = $105 \cdot 10^{-9}$ m = 105 nm
p	(Pico)	10^{-12}	
f	(Femto)	10^{-15}	
a	(Atto)	10^{-18}	

Griechisches Alphabet (Auswahl)

A	α	a	Alpha	E	ε	e	Epsilon	Λ	λ	l	Lambda	P	ϱ	r	Rho
B	β	b	Beta	H	η	e	Eta	M	μ	m	Mü	Σ	σ	s	Sigma
Γ	γ	g	Gamma	Θ	ϑ	th	Theta	N	ν	n	Nü	T	τ	t	Tau
Δ	δ	d	Delta	K	κ	k	Kappa	Π	π	p	Pi	Y	υ	ü	Ypsilon

Φ	φ	f(ph)	Phi
X	χ	ch	Chi
Ψ	ψ	ps	Psi
Ω	ω	o	Omega

Römische Ziffern

I = 1	II = 2	III = 3	IV = 4	V = 5	VI = 6	VII = 7	VIII = 8	IX = 9
X = 10	XX = 20	XXX = 30	XL = 40	L = 50	LX = 60	LXX = 70	LXXX = 80	XC = 90
C = 100	CC = 200	CCC = 300	CD = 400	D = 500	DC = 600	DCC = 700	DCCC = 800	CM = 900
M = 1000	MM = 2000							

Beispiele: 98 = XCVIII 439 = CDXXXIX 1994 = MCMXCIV 2004 = MMIV

Mathematische Zeichen (Auswahl)

Zeichen	Erklärung	Zeichen	Erklärung	Zeichen	Erklärung
...	bis, und so weiter bis	–	minus, weniger	Δ	Delta, Zeichen f. Differenz
=	gleich	$\sqrt{a}$	Quadratwurzel aus a	$\cong$	kongruent
$\neq$	nicht gleich, ungleich	· ×	mal (der Punkt steht auf halber Zeilenhöhe)	~	ähnlich
~	proportional			$\sphericalangle$	Winkel
≈	annähernd, nahezu gleich, rund, etwa	: / –	durch, geteilt durch, dividiert durch	$\overline{AB}$	Strecke AB
				$\overset{\frown}{AB}$	Bogen AB
$\triangleq$	entspricht	%	Prozent, vom Hundert	Σ	Summe
<	kleiner als	‰	Promille, vom Tausend	e	Eulersche Zahl e = 2,718 281 828...
>	größer als	( )	runde, eckige, geschweifte Klammer auf und zu		
≥	größer oder gleich, mindestens gleich	[ ] { }		π	Pi = 3,14159...
		‖	parallel	∞	unendlich
≤	kleiner oder gleich, höchstens gleich	∦	nicht parallel	log	Logarithmus (allgemein)
+	plus, mehr, und	⊥	rechtwinklig zu, normal auf, senkrecht auf	lg	Zehnerlogarithmus
				ln	natürlicher Logarithmus

Anglo-amerikanische Einheiten

Länge		mm	m
inch (Zoll)	1 in	25,4	0,025
foot	1 ft	304,8	0,305
yard	1 yd	914,4	0,914
statute mile	1 mile	–	1609,34
nautical mile	1 nmile	–	1852,00

1 mile = 1760 yd; 1 yd = 3 ft; 1 ft = 12 in

Fläche		cm^2	m^2
square inch	1 in^2	6,452	–
square foot	1 ft^2	929	0,0931
square yard	1 yd^2	8361	0,836
acre	1 acre	–	4047
square mile	1 $mile^2$	–	2,59 km^2

Volumen		cm^3	dm^3 (l)
cubic inch	1 in^3	16,387	0,0164
cubic foot	1 ft^3	28317	28,317
cubic yard	1 yd^3	–	764,555
US-gallon	1 gal	3785	3,785
engl. gallon	1 gal	4546	4,546
barrel	1 barrel	–	158,990

Masse		g	kg
grain	1 gr	0,0648	–
dram	1 dram	1,772	–
ounce	1 oz	28,35	0,028
pound (libre)	1 lb	453,59	0,454
hundredweight	1 cwt	50802	50,802
amer. ton	1 tn	–	1016

1 tn = 20 hw; 1 cwt = 112 lb; 1 lb = 16 oz

Geschwindigkeit		m/s	km/h
foot per second	1 ftps	0,3048	1,096
statute mile per hour	1 mph	0,4470	1,609
nautic mile per hour	1 kn	0,5147	1,852

Druck		N/cm^2	bar
pound per square inch	1 psi = 1 lb/in^2	0,704	0,0704

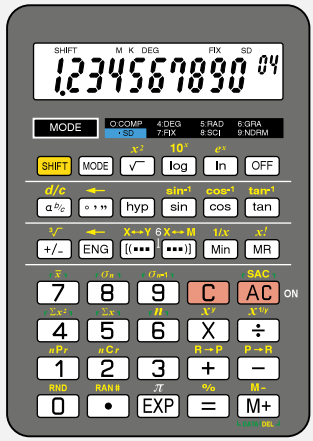
Temperatur

Temperatur in Grad Fahrenheit = 1,8 · Temperatur in Grad Celsius + 32
Temperatur in Grad Celsius = $\frac{1}{1,8}$ · (Temperatur in Grad Fahrenheit – 32)

Umrechnung von früheren Einheiten und SI-Einheiten

Druck	Energie, Arbeit	Leistung
1 at = 1 kp/cm^2 = 981 mbar	1 kcal = 4186,8 J ≈ 4,2 kJ = = 1,16 · 10^{-3} kWh	1 PS = 735 W = 0,735 kW = = 735 Nm/s
1 mm WS = 1 kp/m^2 = 0,098 mbar	1 kpm = 9,81 J = 9,81 Nm	1 kW = 1,36 PS
1 mm Hg = 1 Torr = 1,333 mbar		

M

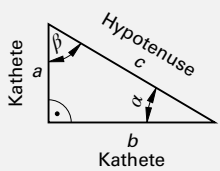


*)

*) 1.234567890^{04} = 12345.67890
Exponent ^{04} : Kommastelle vier Stellen nach rechts verschieben
1.234567890^{-04} = 0.0001234567890
Exponent $^{-04}$: Kommastelle vier Stellen nach links verschieben

Anzeigenfeld (Display)	Anmerkungen
Zahlenwertangabe	acht- oder zehnstellig
Exponenten	– 99 bis + 99
Sonderfunktionen	M = Speicher E = Überlauffunktion z. B. x/0 = unendlich
Bedienfeld	**Abkürzungen**
Ein-, Ausschaltfunktion	ON – OFF
Zifferntasten	0 – 9
Punkttaste für das Dezimalzeichen	.
Löschtasten	C; CE; AC
Speichertasten	M; STO; M+; M–; Min
Speicherlöschtaste	MC
Speicherrückruftaste	MR; MRC; RCL
Rechentasten	+; –; ×; ÷
Ausführungstaste	=
Funktionstasten	%; +/–; x^2; 1/x; x^n; [(...)]; sin; cos; tan; x^3; $\sqrt{x}$; $\sqrt[3]{x}$; π; ...
Umschalttaste	SHIFT / INV / 2nd aktiviert die Zweitbelegung der Tasten oberhalb der Funktionstasten.

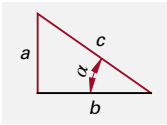
Werteingabe/ Rechnungsart	Aufgabe	Tastenfolge	Wert-ausgabe	Anmerkungen
Zifferneingabe	25,33	2 5 . 3 3	25.33	Mit der Punkttaste wird das Dezimalzeichen gesetzt.
Addition/ Subtraktion	32,2 + 27,9 – 15,7 = ?	32.2 + 27.9 – 15.7 =	44.4	Das Ergebnis wird durch Betätigen der „=“-Taste ausgegeben.
Prozent-rechnung	15 % von 3000 = ?	3000 × 15 SHIFT %	450	Die Prozenttaste bewirkt die Rechenoperation 1/100.
Klammer-rechnung	$\frac{12 \times [2 - (1 - 6)]}{20 \times 5} = ?$	12 × [2 – (1 – 6)] ÷ 20 × 5 =	0,84	Am Ende jeder Klammerrechnung die Klammertaste)] so oft drücken, wie Klammern geöffnet wurden.
Quadrieren/ Potenzieren	$\frac{\pi \times 14^2}{4} = ?$	π × 14 SHIFT x^2 ÷ 4 =	153.93804	Wegen der Genauigkeit Sonderfunktionstaste π verwenden.
	$3{,}7^2 = ?$	3.7 SHIFT x^2	13.69	Das Ergebnis wird ohne Betätigen der „=“-Taste ausgegeben.
	$2^5 = ?$	2 SHIFT x^y 5 =	32	Zur Ausführung der Rechenoperation muss die „=“-Taste betätigt werden.
Wurzelziehen	$\sqrt{625} = ?$ $\sqrt[3]{125} = ?$	625 √ 125 SHIFT $\sqrt[3]{}$ 5	25 5	Zuerst Radikant x eingeben und dann Wurzeltaste drücken.
Kehrwert	$20^{-1} = ?$ bzw. $\frac{1}{20} = ?$	20 SHIFT 1/x	0.05	Die Funktion 1/x errechnet, wie oft die betreffende Zahl in 1 enthalten ist.
Speicher-rechnung	254 + 157 – 23 + 88 = ?	254 Min 157 M+ 23 SHIFT M+ 28 M+ MR	476	**M+** bewirkt Addition im Speicher. **M–** bewirkt Subtraktion im Speicher. **MR** Speicherwert wird ausgegeben. **Min** Festwert wird in Speicher eingetragen. **Speicherwertlöschung:** Eingabe von 0 in Min oder drücken von MC.



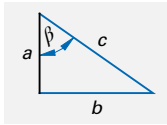
- Die den rechten Winkel bildenden Seiten a und b heißen Katheten.
- Die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite c heißt Hypotenuse.
- Die dem spitzen Winkel α bzw. β anliegende Seite b bzw. a heißt Ankathete.
- Die dem spitzen Winkel α bzw. β gegenüberliegende Seite a bzw. b heißt Gegenkathete.

Die Seitenverhältnisse im rechtwinkligen Dreieck werden Winkelfunktionen bzw. trigonometrische Funktionen genannt.

Sinus $= \dfrac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$

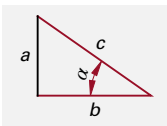


$\sin\alpha = \dfrac{a}{c}$ $\quad a = c \cdot \sin\alpha$ $\quad c = \dfrac{a}{\sin\alpha}$

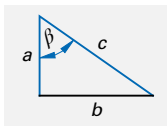


$\sin\beta = \dfrac{b}{c}$ $\quad b = c \cdot \sin\beta$ $\quad c = \dfrac{b}{\sin\beta}$

Cosinus $= \dfrac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$

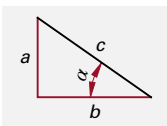


$\cos\alpha = \dfrac{b}{c}$ $\quad b = c \cdot \cos\alpha$ $\quad c = \dfrac{b}{\cos\alpha}$

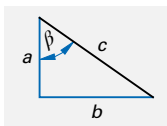


$\cos\beta = \dfrac{a}{c}$ $\quad a = c \cdot \cos\beta$ $\quad c = \dfrac{a}{\cos\beta}$

Tangens $= \dfrac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$

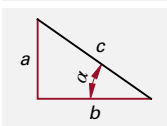


$\tan\alpha = \dfrac{a}{b}$ $\quad a = b \cdot \tan\alpha$ $\quad b = \dfrac{a}{\tan\alpha}$

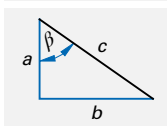


$\tan\beta = \dfrac{b}{a}$ $\quad b = a \cdot \tan\beta$ $\quad a = \dfrac{b}{\tan\beta}$

Cotangens $= \dfrac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$



$\cot\alpha = \dfrac{b}{a}$ $\quad b = a \cdot \cot\alpha$ $\quad a = \dfrac{b}{\cot\alpha}$



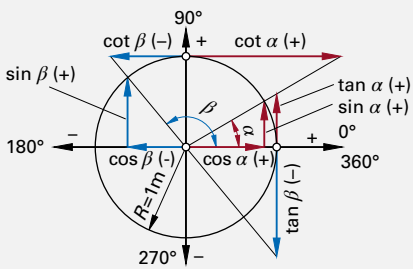
$\cot\beta = \dfrac{a}{b}$ $\quad a = b \cdot \cot\beta$ $\quad b = \dfrac{a}{\cot\beta}$

Berechnung von Winkelfunktionen mit dem Taschenrechner (Beispiel)

Beispiel: $a = 10$ cm; $c = 50$ cm; $\alpha = ?$ *Lösung:* $\sin\alpha = a : c = 10\text{ cm} : 50\text{ cm} = \mathbf{0{,}2}$

10 + 50 = 0,2 (SHIFT ; 2ND ; INV) SIN ⇒ 11,536 96° (SHIFT ; 2ND ; INV) ° ' " ⇒ **11° 32' 13"**

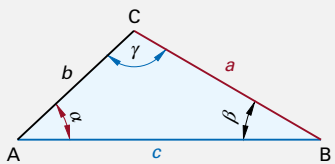
Winkelfunktionen am Einheitskreis



Besondere Winkelfunktionswerte

Funktion \ Winkel α	0°	30°	45°	60°	90°
Sinus α	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1
Cosinus α	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$	0
Tangens α	0	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$	∞
Cotangens α	∞	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	0

Winkelfunktionen im schiefwinkligen Dreieck



a, b, c Seitenlängen (mm)

α, β, γ Winkel, die jeweils den Seiten a, b, c gegenüber liegen (°)

Sinussatz

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

Kosinussatz

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos\alpha$$
$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos\beta$$
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\gamma$$

M

Prozentrechnen

Beispiel 1: Rohteil 3,36 kg; Fertigteil 2,8 kg; Verschnitt = ? %

Lösung: Spanabfall = 3,36 kg – 2,8 kg = = 0,56 kg

$$\boldsymbol{p} = \frac{100 \cdot P}{G} = \frac{100 \cdot 0{,}56}{2{,}8}\ \% = \mathbf{20\ \%}$$

Beispiel 2: Verkaufspreis (Endwert) 3600,00 €; Gewinn 20 %; Einkaufspreis (Grundwert) = ? €

Lösung:

$$\boldsymbol{G} = \frac{100 \cdot E_{max}}{100 + p} = \frac{100 \cdot 3600}{100 + 20}\ € = \mathbf{3000{,}00\ €}$$

p Prozentsatz in %
Er gibt an, wie viel Hundertstel vom Grundwert zu nehmen sind.

G Grundwert
Er ist der Wert, auf den man sich beim Prozentrechnen bezieht.

P Prozentwert
Er ist der Teil des Grundwertes, der dem Prozentsatz entspricht. Er hat dieselbe Einheit wie der Grundwert.

E_{max} Endwert (vermehrter Wert) (Grundwert + Prozentwert)

E_{min} Endwert (verminderter Wert) (Grundwert – Prozentwert)

$$p = \frac{100 \cdot P}{G}$$

$$G = \frac{100 \cdot P}{p}$$

$$P = \frac{G \cdot p}{100}$$

$$G = \frac{100 \cdot E_{max}}{100 + p}$$

$$G = \frac{100 \cdot E_{min}}{100 - p}$$

Zinsrechnen

Beispiel 1: Ein Kapital von 2000,00 € wird für ein halbes Jahr zu 3% verzinst. Wie hoch sind die Zinsen?

Lösung:

$$\boldsymbol{z} = \frac{k \cdot p \cdot t}{100} = \frac{2000 \cdot 3 \cdot 0{,}5}{100}\ € = \mathbf{30{,}00\ €}$$

Beispiel 2: $p = 7{,}5\ \%$; $t = 90$ Tage; $z = 281{,}25\ €$; $k = ?\ €$

Lösung:

$$\boldsymbol{k} = \frac{100 \cdot 360 \cdot z}{p \cdot t} = \frac{100 \cdot 360 \cdot 281{,}25}{7{,}5 \cdot 90}\ € = \mathbf{15\,000{,}00\ €}$$

z Zinsen in €
p Zinssatz in %
k Kapital in €
t Zeit in Jahren oder Zeit in Tagen

1 Zinsjahr ≙ 360 Tage
1 Zinsmonat ≙ 30 Tage

Jahreszins

$$z = \frac{k \cdot p \cdot t}{100}$$

$$k = \frac{100 \cdot z}{p \cdot t}$$

$$p = \frac{100 \cdot z}{k \cdot t}$$

$$t = \frac{100 \cdot z}{k \cdot p}$$

Tagesszins

$$z = \frac{k \cdot p \cdot t}{100 \cdot 360}$$

Verhältnisrechnen

Beispiele:

Steigung, z. B. 1 : 50

Gefälle, z. B. 1 : 20

Übersetzungsverhältnis, z. B. 3,8 : 1 = 3,8

Verdichtung, z. B. 10,3 : 1 = 10,3

Der Quotient zweier Zahlen wird auch **Verhältnis** genannt.

Verhältnisgleichung (Proportion): Haben zwei Verhältnisse den gleichen Wert, so können sie durch Gleichheitszeichen verbunden werden. Man erhält eine Verhältnisgleichung mit 4 Gliedern.

$$a : b = \frac{a}{b}$$

$$a : b = c : d$$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

Mischungsrechnen

Beispiel: 27,5 l Kühlflüssigkeit sollen im Verhältnis 4 : 7 (Gefrierschutzmittel zu Wasser) gemischt werden.

Gefrierschutzmittelmenge = ? l
Wassermenge = ? l

Lösung:

$$\boldsymbol{m_1} = \frac{m \cdot x_1}{x} = \frac{27{,}5\ \text{l} \cdot 4}{11} = \mathbf{10\ l}$$

$$\boldsymbol{m_2} = m - m_1 = 27{,}5\ \text{l} - 10\ \text{l} = \mathbf{17{,}5\ l}$$

oder

$$\boldsymbol{m_2} = \frac{m \cdot x_2}{x} = \frac{27{,}5\ \text{l} \cdot 7}{11} = \mathbf{17{,}5\ l}$$

m Gesamtmenge
m_1 Teilmenge 1
m_2 Teilmenge 2
x Summe der Anteile
x_1 Anteil der Teilmenge 1
x_2 Anteil der Teilmenge 2

$$m = m_1 + m_2 + \ldots$$

$$x = x_1 + x_2 + \ldots$$

$$\frac{m}{m_1} = \frac{x}{x_1}$$

$$m_1 = \frac{m \cdot x_1}{x}$$

$$x_1 = \frac{m_1 \cdot x}{m}$$

$$m = \frac{m_1 \cdot x}{x_1}$$

$$x = \frac{m \cdot x_1}{m_1}$$

M

Maßstäbe

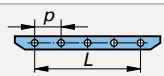
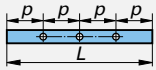
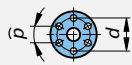
Vergrößerung	2:1	5:1	10:1	20:1
Natürliche Größe	1:1 Zeichnungslänge = wirkliche Länge			
Verkleinerung	1:2	1:5	1:10	1:20

l_z Länge auf der Zeichnung; Bildgröße (vergrößerte, verkleinerte oder wirkliche Länge)
l_w wirkliche Länge
M Maßstab (Verhältniszahl)

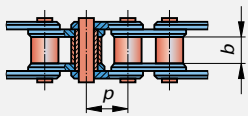
$$l_z = l_w \cdot M$$

$$l_w = \frac{l_z}{M} \qquad M = \frac{l_z}{l_w}$$

Längenteilungen

	Teilung p Lochabstand	Teilungszahl n Lochzahl	Teilungslänge l
	$p = \frac{L}{n-1}$	$n = \frac{L}{p} + 1$	$L = p \cdot (n-1)$
	$p = \frac{L}{n+1}$	$n = \frac{L}{p} - 1$	$L = p \cdot (n+1)$
	$p = \frac{\pi \cdot d}{n}$	$n = \frac{\pi \cdot d}{p}$	$L = U = n \cdot p$ $L = U = \pi \cdot d$

Kettenlänge



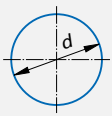
L Kettenlänge
p Teilung
b Gliederbreite (Innenglied)
X Gliederzahl

$$L = p \cdot X$$

$$p = \frac{L}{X} \qquad X = \frac{L}{p}$$

Gebogene Längen

Kreisumfang

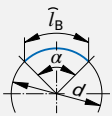


U Umfang
d Durchmesser

$$U = \pi \cdot d$$

$$d = \frac{U}{\pi}$$

Kreisbogenlänge

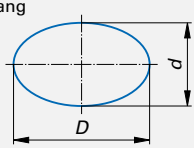


l_B Bogenlänge
d Durchmesser
α Mittelpunktswinkel in °

$$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360°}$$

$$\alpha = \frac{360° \cdot l_B}{\pi \cdot d} \qquad d = \frac{360° \cdot l_B}{\pi \cdot \alpha}$$

Ellipsenumfang



U Umfang
D Durchmesser
d Durchmesser
R Radius
r Radius

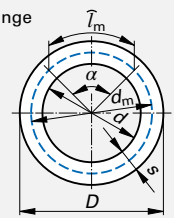
$$U \approx \pi \cdot \frac{D+d}{2}$$

$$D \approx \frac{2 \cdot U}{\pi} - d \qquad d \approx \frac{2 \cdot U}{\pi} - D$$

genauer:

$$U \approx \pi \cdot \sqrt{2 \cdot (R^2 + r^2)}$$

Gestreckte Länge



l_m gestreckte Länge, Länge der neutralen Faser
d_m mittlerer Durchmesser
D Außendurchmesser
d Innendurchmesser
α Mittelpunktswinkel in °
s Werkstoffdicke
U_m mittlerer Umfang

$$l_m = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360°}$$

$$U_m = \pi \cdot d_m$$

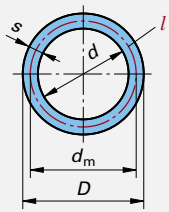
$$d_m = \frac{D+d}{2}$$

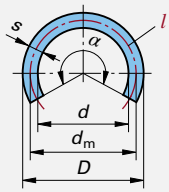
$$d_m = D - s$$

$$d_m = d + s$$

M

Gestreckte Längen





D Außendurchmesser
d Innendurchmesser
d_m mittlerer Durchmesser (Durchmesser der neutralen Faser)
s Dicke
l gestreckte Länge (Länge der neutralen Faser)
α Mittelpunktswinkel

Beispiel (Kreisring):
$D = 45$ mm; $s = 4$ mm; $l = ?$ mm

$d_m = D - s = 45\text{ mm} - 4\text{ mm} = 41\text{ mm}$
$l = \pi \cdot d_m = \pi \cdot 41\text{ mm} = \mathbf{128{,}8\text{ mm}}$

Beispiel (Kreisringausschnitt):
$D = 53$ mm; $s = 4$ mm; $d_m = ?$; $\alpha = 250°$; $l = ?$ mm

$d_m = D - s = 53\text{ mm} - 4\text{ mm} = 49\text{ mm}$

$l = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360°} = \frac{\pi \cdot 49\text{ mm} \cdot 250°}{360°} = \mathbf{106{,}9\text{ mm}}$

Gestreckte Länge beim Kreisring

$$l = \pi \cdot d_m$$

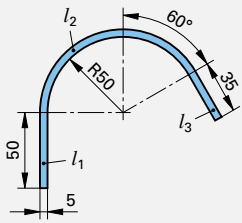
Mittlerer Durchmesser

$$d_m = D - s$$
$$d_m = d + s$$

Gestreckte Länge beim Kreisringausschnitt

$$l = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360°}$$

Zusammengesetzte Längen (z. B. Biegen von Flachstählen)



1. Einteilung in einzelne Längen
2. Berechnung der einzelnen Längen
3. Gesamtlänge ermitteln durch Addition der einzelnen Längen

R Biegeradius (Innenradius)
d_m mittlerer Durchmesser
s Dicke
L zusammengesetzte Länge (gestreckte Länge)
l_1, l_2 Teillängen
α Mittelpunktswinkel

Beispiel (Zusammengesetzte Längen, Bild links):
$R = 50$ mm; $l_1 = 50$ mm; $l_3 = 35$ mm; $s = 5$ mm; $\alpha = 60°$; $d_m = ?$; $L = ?$ mm

$d_m = 2 \cdot R + s = 2 \cdot 50\text{ mm} + 5\text{ mm} = \mathbf{105\text{ mm}}$

$L = l_1 + l_2 + l_3 = l_1 + \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360°} + l_3$

$L = 50\text{ mm} + \frac{\pi \cdot 105\text{ mm} \cdot (90° + 60°)}{360°} + 35\text{ mm} =$
$= \mathbf{222{,}4\text{ mm}}$

Zusammengesetzte Längen

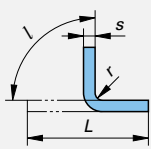
$$L = l_1 + l_2 + \ldots + l_n$$

Meist ist bei Biegeteilen der Biegeradius r (Innenradius) gegeben, so dass gilt

$$d_m = 2 \cdot R + s$$

Kleinster zulässiger Biegeradius für Biegeteile aus Aluminium

vgl. DIN 5520



Werkstoff	Werkstoffzustand	Dicke s in mm							
		0,8	1	1,5	2	3	4	5	6
		Mindest-Biegeradius r[1] in mm							
AlMg3-01	Weich geglüht	0,6	1	2	3	4	6	8	10
AlMg3-H14	Kalt verfestigt	1,6	2,5	4	6	10	14	18	–
AlMg4,5Mn-H112	Weich geglüht, gerichtet	1	1,5	2,5	4	6	8	10	14
AlMg4,5Mn-H111	Kalt verfestigt und geglüht	1,6	2,5	4	6	10	16	20	25
AlMgSi1-T6	Lösungsgeglüht und warm ausgelagert	4	5	8	12	16	23	28	38

[1] für Biegeradius $\alpha = 90°$, unabhängig von der Walzrichtung

Kleinster zulässiger Biegeradius für das Kaltbiegen von Stahl

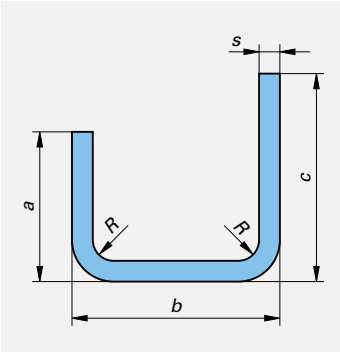
vgl. DIN 6935

Mindestzugfestigkeit R_m in N/mm² über … bis	Kleinster Biegeradius[1] R für Blechdicken s in mm														
	1	1,5	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
bis 390	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40
390...490	1,2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45
490...640	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50

[1] Werte gelten für Biegewinkel $\alpha < 120°$, und Biegen quer zur Walzrichtung. Beim Biegen längs zur Walzrichtung und Biegewinkeln $\alpha > 120°$ ist der Wert der nächsthöheren Blechdicke zu wählen. Für s kann auch t verwendet werden.

Kanten von Blechen

vgl. DIN 6935



Beim scharfkantigen Biegen von Blechen (Kanten) geht man davon aus, dass sich die neutrale Faser in Richtung des Innenradius verschiebt. Man rechnet deshalb bei der Berechnung der Biegelänge mit der Verkürzung. Vereinfachend wird die Zuschnittlänge auch über die Addition der Innenmaße des Kantteils berechnet.

L	Zuschnittlänge = gestreckte Länge
a, b, c	Außenmaß der Schenkel
s	Blechdicke in mm
n	Anzahl der Biegestellen
v	Ausgleichswert (aus Tabelle) in mm

Zuschnittlänge
(mit Verkürzung)

$$L = a + b + c + \ldots - v \cdot n$$

Zuschnittlänge (Faustformel)
(Für Blechdicken $s < 2$ mm)

$$L = a + b + c + \ldots - 2 \cdot s \cdot n$$

Beispiel
(Ermittlung der Zuschnittlänge mit Verkürzung):
$a = 25$ mm, $b = 30$ mm; $c = 35$ mm; $s = 1{,}5$ mm; $n = 2$;
$R = 1{,}6$ mm; $v = 2{,}9$ mm (aus Tabelle)

$L = a + b + c - n \cdot v$
$L = (25 + 30 + 35)$ mm $- 2 \cdot 2{,}9 = 84{,}2$ mm

Beispiel
(Ermittlung der Zuschnittlänge mit Faustformel):
$a = 25$ mm, $b = 30$ mm; $c = 35$ mm; $s = 1{,}5$ mm; $n = 2$;
$R = 1{,}6$ mm

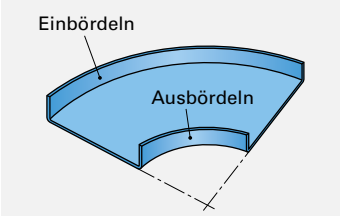
$L = a + b + c - 2 \cdot s \cdot n$
$L = (25 + 30 + 35)$ mm $- 2 \cdot 1{,}5$ mm $\cdot 2 = 84$ mm

Ausgleichswerte v für Biegewinkel $\alpha = 90°$

vgl. Beiblatt 2 zu DIN 6935 (1983-02)

Biegeradius R in mm	Ausgleichswert v je Biegestelle in mm für Blechdicke s in mm														
	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	8	10
1	1,0	1,3	1,7	1,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,6	1,3	1,6	1,8	2,1	2,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,5	1,6	2,0	2,2	2,4	3,2	4,0	4,8	–	–	–	–	–	–	–	–
4	–	2,5	2,8	3,0	3,7	4,5	5,2	6,0	6,9	–	–	–	–	–	–
6	–	–	3,4	3,8	4,5	5,2	5,9	6,7	7,5	8,3	9,0	9,9	–	–	–
10	–	–	–	5,5	6,1	6,7	7,4	8,1	8,9	9,6	10,4	11,2	12,7	–	–
16	–	–	–	8,1	8,7	9,3	9,9	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14,8	17,8	21,0
20	–	–	–	9,8	10,4	11,0	11,6	12,2	12,8	13,4	14,1	14,9	16,3	19,3	22,3
25	–	–	–	11,9	12,6	13,2	13,8	14,4	15,0	15,6	16,2	16,8	18,2	21,1	24,1
32	–	–	–	15,0	15,6	16,2	16,8	17,4	18,0	18,6	19,2	19,8	21,0	23,8	26,7
40	–	–	–	18,4	19,0	19,6	20,2	20,8	21,4	22,0	22,6	23,2	24,5	26,9	29,7
50	–	–	–	22,7	23,3	23,9	24,5	25,1	25,7	26,3	26,9	27,5	28,8	31,2	33,6

Bördeln von Blechrändern (Verformungsgrad)



Bördeln ist das scharfkantige Biegen entlang einer Kurve.
Bördelungen (Borde) haben folgende Aufgabe:
– Randversteifung
– Vorbereitung von Blechteilen für das Fügen z. B. Schweißflansche, Falzvorbereitung etc.

Man unterscheidet nach der Materialbeanspruchung
Ausbördeln: Werkstoff wird gestreckt
Einbördeln: Werkstoff wird gestaucht

Die Materialbeanspruchung beim Umformen (Verformungsgrad ε) muss kleiner als die Bruchdehnung A sein. Evtl. muss das Blech wärmebehandelt werden (Rekristallisationsglühen).

$$\varepsilon = \frac{b \cdot 100\,\%}{R}$$

$$\varepsilon < A$$

ε	Verformungsgrad in %
R	Krümmungsradius des Bördels in mm
b	Bördelbreite in mm
A	Bruchdehnung in %

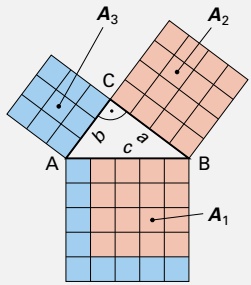
Beispiel:
Verformungsgrad ermitteln
$R = 120$ mm; $b = 10$ mm; aus Tabelle:
$A = 28\%$ (DC01); $\varepsilon = ?$ in %;

$$\varepsilon = \frac{b \cdot 100\,\%}{R} = \frac{10\text{ mm} \cdot 100\,\%}{120\text{ mm}} = 8{,}3\,\%$$

$\varepsilon < A$: Eine Umformung ist ohne Wärmebehandlung möglich.

M

Lehrsatz des Pythagoras



Beim rechtwinkligen Dreieck ist die Fläche des Hypotenusenquadrates gleich der Summe der Flächen der beiden Kathetenquadrate.

c Hypotenuse – die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite

a, b Katheten – die den rechten Winkel bildenden Seiten

A_1, A_2, A_3 Flächen

$$A_1 = A_2 + A_3$$

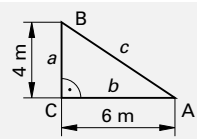
$$c^2 = a^2 + b^2$$

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

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

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

Beispiel: $a = 4$ m; $b = 6$ m; $c = ?$ m

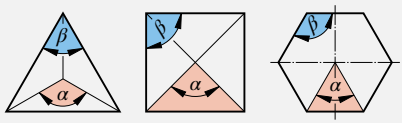


Lösung:

$$\boldsymbol{c} = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(4\text{ m})^2 + (6\text{ m})^2} =$$

$$= \sqrt{16\text{ m}^2 + 36\text{ m}^2} = \sqrt{52\text{ m}^2} = \mathbf{7{,}21\ m}$$

Regelmäßige Vielecke

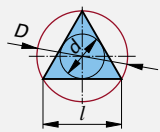
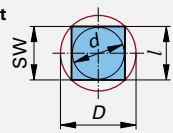
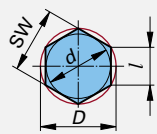
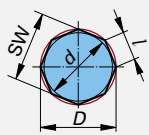
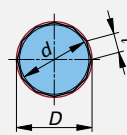


Für regelmäßige Vielecke gilt:

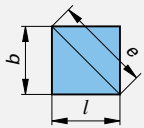
Innenwinkel $\alpha = \dfrac{360°}{n}$

Außenwinkel $\beta = \dfrac{(n-2) \cdot 180°}{n}$ $\qquad \beta = 180° - \alpha$

n **Anzahl der Ecken**

Regelmäßiges Vieleck *n* Anzahl der Ecken	Umkreis-Ø *D* Eckenmaß *e*	Innenkreis-Ø *d* Schlüsselweite *SW*	Seitenlänge *l* Umfang *U*	Gesamtfläche *A*
Dreieck ***n* = 3** 	$D = 1{,}154 \cdot l$ $D = 2 \cdot d$	$d = 0{,}578 \cdot l$ $d = 0{,}5 \cdot D$	$l = 0{,}866 \cdot D$ $l = 1{,}730 \cdot d$ $\boldsymbol{U = l \cdot n}$	$A = 0{,}325 \cdot D^2$ $A = 1{,}299 \cdot d^2$ $A = 0{,}433 \cdot l^2$
Quadrat ***n* = 4** 	$D = 1{,}414 \cdot l$ $D = 1{,}414 \cdot d$ $\boldsymbol{D = e}$	$d = l$ $d = 0{,}707 \cdot D$ $\boldsymbol{d = SW}$	$l = 0{,}707 \cdot D$ $l = d$ $\boldsymbol{U = l \cdot n}$	$A = 0{,}5 \cdot D^2$ $A = d^2$ $A = l^2$
Sechseck ***n* = 6** 	$D = 2 \cdot l$ $D = 1{,}155 \cdot d$ $\boldsymbol{D = e}$	$d = 1{,}732 \cdot l$ $d = 0{,}866 \cdot D$ $\boldsymbol{d = SW}$	$l = 0{,}5 \cdot D$ $l = 0{,}577 \cdot d$ $\boldsymbol{U = l \cdot n}$	$A = 0{,}649 \cdot D^2$ $A = 0{,}866 \cdot d^2$ $A = 2{,}598 \cdot l^2$
Achteck ***n* = 8** 	$D = 2{,}614 \cdot l$ $D = 1{,}082 \cdot d$ $\boldsymbol{D = e}$	$d = 2{,}414 \cdot l$ $d = 0{,}924 \cdot D$ $\boldsymbol{d = SW}$	$l = 0{,}383 \cdot D$ $l = 0{,}414 \cdot d$ $\boldsymbol{U = l \cdot n}$	$A = 0{,}707 \cdot D^2$ $A = 0{,}829 \cdot d^2$ $A = 4{,}828 \cdot l^2$
Zwölfeck ***n* = 12** 	$D = 3{,}864 \cdot l$ $D = 1{,}035 \cdot d$ $\boldsymbol{D = e}$	$d = 3{,}732 \cdot l$ $d = 0{,}966 \cdot D$ $\boldsymbol{d = SW}$	$l = 0{,}259 \cdot D$ $l = 0{,}268 \cdot d$ $\boldsymbol{U = l \cdot n}$	$A = 0{,}750 \cdot D^2$ $A = 0{,}804 \cdot d^2$ $A = 11{,}196 \cdot l^2$

Quadrat
$b = l$



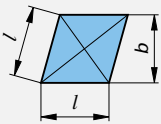
$l = \sqrt{A}$ $\quad b = l$

$e = \sqrt{2 \cdot l^2} = 1{,}414 \cdot l$

$l = \frac{e}{1{,}414} = 0{,}707 \cdot e$ $\quad U = 4 \cdot l$

$A = l^2$

Rhombus (Raute)



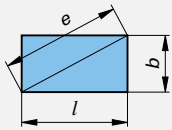
$l = \frac{A}{b}$

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

$U = 4 \cdot l$

$A = l \cdot b$

Rechteck



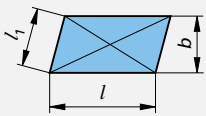
$b = \frac{A}{l}$ $\quad l = \frac{A}{b}$ $\quad l = \frac{U - 2 \cdot b}{2}$

$e = \sqrt{l^2 + b^2}$ $\quad b = \frac{U - 2 \cdot l}{2}$

$U = 2 \cdot l + 2 \cdot b$

$A = l \cdot b$

Rhomboid (Parallelogramm)



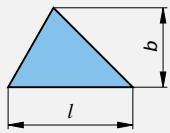
$l = \frac{A}{b}$ $\quad l = \frac{U - 2 \cdot l_1}{2}$

$b = \frac{A}{l}$ $\quad l_1 = \frac{U - 2 \cdot l}{2}$

$U = 2 \cdot l + 2 \cdot l_1$

$A = l \cdot b$

Dreieck



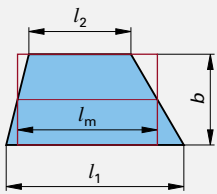
$l = \frac{2 \cdot A}{b}$

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

U = Summe aller Seiten

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

Trapez



$l_1 = \frac{2 \cdot A}{b} - l_2$ $\quad b = \frac{2 \cdot A}{l_1 + l_2}$

$l_2 = \frac{2 \cdot A}{b} - l_1$ $\quad l_m = \frac{l_1 + l_2}{2}$

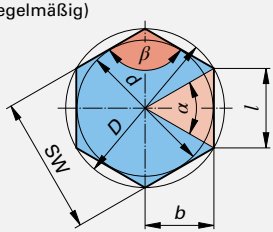
$l_1 = 2 \cdot l_m - l_2$ $\quad l_2 = 2 \cdot l_m - l_1$

U = Summe aller Seiten

$A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b$

$A = l_m \cdot b$

Vieleck
(regelmäßig)



α Innenwinkel
β Außenwinkel
SW Schlüsselweite
D Umkreisdurchmesser
d Inkreisdurchmesser

$\alpha = \frac{360°}{n}$

$\beta = \frac{(n-2) \cdot 180°}{n}$

$\beta = 180° - \alpha$

$l = D \cdot \sin\left(\frac{180°}{n}\right)$

$l = D \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$

$d = \sqrt{D^2 - l^2}$

$b = \frac{SW}{2} = \frac{d}{2}$ $\quad U = l \cdot n$

$A = \frac{l \cdot b}{2} \cdot n$

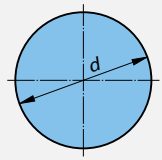
$A = \frac{n \cdot l \cdot d}{4}$

A Gesamtfläche
d Inkreisdurchmesser
n Anzahl der Ecken
l Seitenlänge
b Breite

A Fläche $\quad l$ Länge $\quad l_m$ mittlere Länge $\quad b$ Breite $\quad U$ Umfang $\quad e$ Eckmaß

M

Kreis



$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{A}{0{,}785}}$

$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$

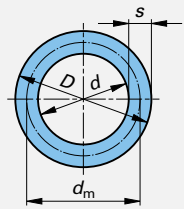
$U = \pi \cdot d$

$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

$A = 0{,}785 \cdot d^2$

$A = \pi \cdot r^2$

Kreisring



$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot A}{\pi}}$

$d = \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot A}{\pi}}$

$A_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

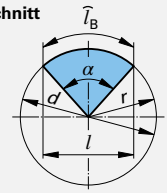
$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$

$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$

$A = \pi \cdot d_m \cdot s$

$A = A_2 - A_1$

Kreisausschnitt
(Sektor)



$l = 2 \cdot r \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$

$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360°}$

$U = l_B + 2 \cdot r$

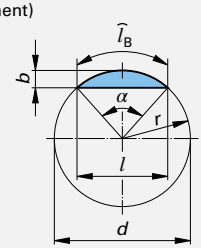
l_B Bogenlänge
l Länge (Sehne)
α Mittelpunkts-winkel

$\hat{l}_B = l_B$

$A = \frac{l_B \cdot r}{2}$

$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{360°}$

Kreisabschnitt
(Segment)



$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360°}$

$b = r - \sqrt{r^2 - l^2/4}$

$b = \frac{l}{2} \cdot \tan\frac{\alpha}{4}$

$l = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot b \cdot r - b^2}$

$l = 2 \cdot r \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$

$r = \frac{b}{2} + \frac{l^2}{8 \cdot b}$

$r = \frac{2 \cdot A - b \cdot l}{l_B - l}$

l_B Bogenlänge
l Länge (Sehne)
b Breite (Bogenhöhe)

$\hat{l}_B = l_B$

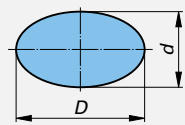
$U = l + l_B$

$A = \frac{l_B \cdot r - l \cdot (r - b)}{2}$

$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{360°} - \frac{l \cdot (r - b)}{2}$

$A \approx \frac{2 \cdot l \cdot b}{3}$

Ellipse



D große Achse d kleine Achse

$D = \frac{4 \cdot A}{\pi \cdot d}$

$U \approx \pi \cdot \frac{D + d}{2}$

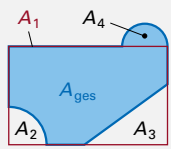
genauer:

$U \approx \pi \cdot \sqrt{2 \cdot (R^2 + r^2)}$

$d = \frac{4 \cdot A}{\pi \cdot D}$

$A = \frac{\pi \cdot D \cdot d}{4}$

Zusammengesetzte Flächen



Zusammengesetzte Flächen werden zur Berechnung ihrer Gesamtfläche in Teilflächen zerlegt.

Durch Addition und Subtraktion der Teilflächen erhält man die Gesamtfläche.

$A_{ges} = A_1 - A_2 - A_3 + A_4$

Allgemein gilt:

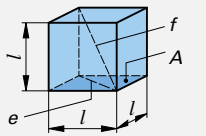
$A_{ges} = A_1 \pm A_2 \pm A_3 \pm \ldots$

A Fläche	D, d Durchmesser	l_B Bogenlänge	b Breite (Bogenhöhe)	α Mittelpunktswinkel
U Umfang	R, r Radius	l Länge (Sehne)	b Breite	d_m mittlerer Durchmesser

M

Gleichdicke Körper — $V = A \cdot h$

Würfel



$l = \sqrt[3]{V}$

$A_M = 4 \cdot A = 4 \cdot l^2$

$A_O = 6 \cdot A = 6 \cdot l^2$

$e = 1{,}414 \cdot l$

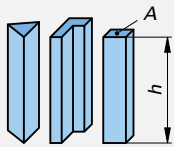
$f = 1{,}732 \cdot l$

$l_{ges} = 12 \cdot l$

$V = l \cdot l \cdot l$

$V = l^3$

Prisma

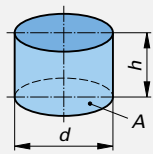


$A = \frac{V}{h}$

$h = \frac{A}{V}$

$V = A \cdot h$

Zylinder



$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}}$

$A = \frac{V}{h}$

$A_M = \pi \cdot d \cdot h$

$A_O = \pi \cdot d \cdot h + 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

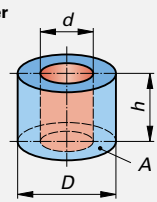
$h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$

$h = \frac{A}{V}$

$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$

$V = A \cdot h$

Hohlzylinder



$h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$

$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}}$

$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$

$A_O = \pi \cdot h \cdot (D + d) + 2 \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$

$D = \sqrt{D^2 + \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}}$

$A_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

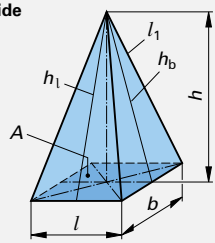
$V = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot h$

$V = (A_2 - A_1) \cdot h$

$V = V_2 - V_1$

Spitze Körper — $V = A \cdot b/3$

Pyramide



$h = \frac{3 \cdot V}{l \cdot b}$ $\quad b = \frac{3 \cdot V}{l \cdot h}$ $\quad l = \frac{3 \cdot V}{b \cdot h}$

$A = \frac{3 \cdot V}{h}$ $\quad h = \frac{3 \cdot V}{A}$

$h_l = \sqrt{h^2 + b^2/4}$

$l_1 = \sqrt{h_b^2 + b^2/4}$

$A_M = h_l \cdot l + h_b \cdot b$

$A_O = A_M + A$

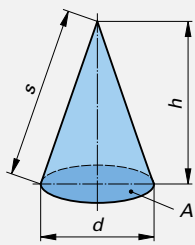
$h_b = \sqrt{h^2 + l^2/4}$

$l_1 = \sqrt{h_l^2 + l^2/4}$

$V = \frac{l \cdot b \cdot h}{3}$

$V = \frac{A \cdot h}{3}$

Kegel



$d = \sqrt{\frac{12 \cdot V}{\pi \cdot h}}$

$A = \frac{3 \cdot V}{h}$

$A_M = \pi \cdot r \cdot \sqrt{h^2 + r^2}$

$A_M = \pi \cdot r \cdot s$

$A_O = A_M + A$

$h = \frac{12 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$

$h = \frac{3 \cdot V}{A}$

$A_M = \frac{\pi \cdot d \cdot s}{2}$

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

$V = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$

$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{12}$

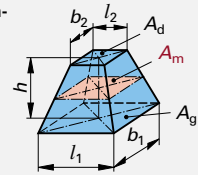
$V = \frac{A \cdot h}{3}$

V	Volumen	l	Länge	h_l	Mantelhöhe über l	r	Radius	e	Eckenmaß (Flächendiagonale)
A	Fläche	b	Breite	h_b	Mantelhöhe über b	A_M	Mantelfläche		
h	Höhe	D, d	Durchmesser	s	Mantelhöhe	A_O	Oberfläche	f	Raumdiagonale

M

Abgestumpfte Körper

Pyramidenstumpf

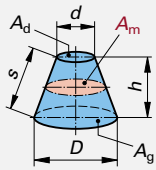


$$A_m = \frac{A_g + A_d}{2}$$

$$V = \frac{h \cdot (A_g + A_d + \sqrt{A_g \cdot A_d})}{3}$$

$$V \approx A_m \cdot h$$

Kegelstumpf



$$A_m = \frac{A_g + A_d}{2}$$

$$A_M = \frac{\pi \cdot (D + d) \cdot s}{2}$$

$$s = \sqrt{h^2 + \left(\frac{D - d}{2}\right)^2}$$

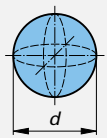
$$V = \frac{\pi \cdot h \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)}{12}$$

$$V \approx A_m \cdot h$$

$$A_o = A_d + A_M + A_g$$

Kugel

Vollkugel



$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{V}{0{,}524}}$$

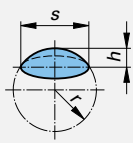
$$d \approx 1{,}24 \cdot \sqrt[3]{V}$$

$$A_O = \pi \cdot d^2 \qquad d = \sqrt{\frac{A_O}{\pi}}$$

$$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$$

$$V = 0{,}524 \cdot d^3$$

Kugelabschnitt
(Kugelsegment)



$$A_M = \pi \cdot d \cdot h$$

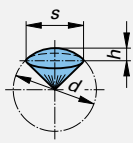
$$A_M = \frac{\pi \cdot (s^2 + 4 \cdot h^2)}{4}$$

$$A_O = \pi \cdot h \cdot (4 \cdot r - h)$$

$$V = \pi \cdot h^2 \cdot \left(r - \frac{h}{3}\right)$$

$$V = \pi \cdot h \cdot \left(\frac{s^2}{8} + \frac{h^2}{6}\right)$$

Kugelausschnitt
(Kugelsektor)



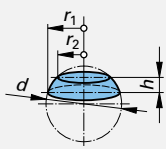
$$A_M = A_O$$

$$A_O = \frac{\pi \cdot d \cdot (4 \cdot h + s)}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{6 \cdot V}{\pi \cdot h}}; \qquad h = \frac{6 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{6}$$

Kugelschicht
(Kugelzone)

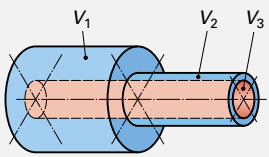


$$A_M = \pi \cdot d \cdot h$$

$$A_O = \pi \cdot (d \cdot h + r_1^2 + r_2^2)$$

$$V = \frac{\pi \cdot h \cdot (3 \cdot r_1^2 + 3 \cdot r_2^2 + h^2)}{6}$$

Zusammengesetzte Körper



Zusammengesetzte Körper werden zur Berechnung ihres Gesamtvolumens in Teilkörper zerlegt.

Durch Addition und Subtraktion der Teilkörper erhält man das Gesamtvolumen.

$$V_{ges} = V_1 + V_2 - V_3$$

Allgemein gilt:

$$V_{ges} = V_1 \pm V_2 \pm V_3 \pm \ldots$$

V	Volumen	A_O	Oberfläche	A	Fläche	b	Breite	d_m	mittlerer Durchmesser
A_m	Mittelfläche	A_d	Deckfläche	h	Höhe	r	Radius	d	Durchmesser
A_g	Grundfläche	A_M	Mantelfläche	l	Länge	D, d	Durchmesser	s	Mantelhöhe, Länge