

Klaus Lochmann

Formelsammlung Fertigungstechnik

Formeln – Richtwerte – Diagramme



HANSER

1	Größen, Einheiten, Toleranzen/Passungen, Werkstoffkennwerte	11
2	Urformtechnik (Gießen, Sintern, Abscheiden)	37
3	Umformtechnik	63
4	Trennen – Schneiden/Zerteilen, Spanen und Abtragen (Generieren)	112
5	Fügetechnik – Übersichten zum Schweißen und Schneiden, Löten, Kleben und zu sonstigen Fügeverfahren	258
6	Beschichten – Herstellung fest haftender metallischer und nichtmetallischer Schichten	315
7	Änderungen von Stoffeigenschaften – Härten, Glühen, Vergüten, Anlassen	324
8	Kalkulationen (Zeiten, Kosten, Preise, ...); Arbeitsstudien und Investitionsrechnungen	337
T	Anhang	343

Klaus Lochmann

Formelsammlung Fertigungstechnik

Formeln – Richtwerte – Diagramme

3., aktualisierte Auflage

Mit zahlreichen Bildern und Tabellen



Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Prof. em. Dr.-Ing. habil. Univ.-Prof. h. c. (CN) Klaus Lochmann
Werdau-Leubnitz

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-446-43249-9

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

© 2012 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Jochen Horn

Herstellung: Katrin Wulst

Druck und Bindung: Friedrich Pustet KG, Regensburg

Printed in Germany

Vorwort zur 3. Auflage

Nachdem auch die 2. Auflage der vorliegenden Formelsammlung vergriffen ist, haben sich Verlag und Verfasser entschlossen, eine 3., aktualisierte Auflage zu publizieren. Offensichtlich besteht an einem gestrafften Wissensspeicher und Nachschlagewerk für Berechnungen zu den Verfahrenshauptgruppen der Fertigungstechnik ein sehr großes Interesse. Auf weitere, noch spezifischere Literatur zur Thematik aus dem Carl Hanser Verlag / Fachbuchverlag Leipzig wird hingewiesen.

Unter Beibehaltung von Anliegen und Strukturierung der Formelsammlung wurden in die vorliegende Auflage vor allem weitere aktualisierte Richtwerte, Empfehlungen und Berechnungsmöglichkeiten eingearbeitet, weshalb Studierende und Berufsanfänger sowie Fach- und Führungskräfte im Maschinenbau über einen schnellen Zugriff auf betriebspraktisch direkt nutzbare Bewertungs- und Entscheidungshilfen verfügen können.

Weiterhin wurden mit der ebenfalls 2012 im Fachbuchverlag Leipzig erschienenen „Aufgabensammlung Fertigungstechnik“ Möglichkeiten geschaffen, die hier dargestellten Zusammenhänge, Berechnungsmöglichkeiten usw. an betriebspraktisch relevanten Beispielen zu üben und zu vervollkommen. Verlag und Verfasser sind der Auffassung, dass damit ein in sich geschlossenes Kompendium zu wesentlichen Sachverhalten der Fertigungstechnik geschaffen werden konnte, das zur Vorausberechnung und Verifizierung ingenieurtechnischer Zusammenhänge auf den Gebieten der Fertigungstechnik gut geeignet ist.

Verlag und Verfasser sind für Hinweise und/oder Vorschläge und Anregungen zur weiteren Verbesserung, Ergänzung, ggf. Erweiterung der „Formelsammlung Fertigungstechnik“ in jedem Fall dankbar.

Jena und Werdau-Leubnitz, 2012

Klaus Lochmann

Inhaltsverzeichnis

1	Größen, Einheiten, Toleranzen/Passungen, Werkstoffkennwerte	11
1.1	Physikalisch-technische Größen, SI- und weitere Einheiten, spezielle Umrechnungen	11
1.2	Vorschübe und Lastdrehzahlen an Werkzeugmaschinen	13
1.3	Zulässige Maß-, Form-, Lage- und Oberflächenabweichungen, Toleranzen und Passungen	14
1.4	Werkstoffe – Vergleichstabellen und Kennwerte	22
1.4.1	Bezeichnungssystematik typischer Maschinenbau-Werkstoffe	22
1.4.2	Übersichten zu Stahl- und Gusswerkstoffen	25
1.4.3	Kennwerte typischer Kunststoffe	32
1.4.4	Keramische und Verbundwerkstoffe (DIN ISO 4381; DIN 30910-1; DIN 1494-1)	34
1.5	Zielstellungen innerhalb der Fertigungstechnik	35
2	Urformtechnik (Gießen, Sintern, Abscheiden)	37
2.1	Werkstoffauswahl und erreichbare Teilequalitäten	37
2.2	Abmessungen und Gestaltung von Modellen und Gussteilen	39
2.3	Regeln und Hinweise zur form-, gieß-, putz- und bearbeitungsgerechten Gestaltung von Gussteilen	42
2.4	Verfahren der Urformtechnik (Hinweise, Berechnungen, Empfehlungen)	49
2.4.1	Urformen aus flüssigem, plastischem und teigigem Zustand (Gießen)	49
2.4.1.1	Gießen in verlorene Formen; Sandformguss	49
2.4.1.2	Gießen in Dauerformen aus Stahl (und Keramik)	51
2.4.2	Urformen aus dem festen (körnigen) Zustand (Sintern)	57
2.4.3	Urformen aus dem ionisierten Zustand (Galvaniformung)	60
2.4.4	Urformen duro- und thermoplastischer Kunststoffe	60
3	Umformtechnik	63
3.1	Grundlagen der Metallumformung	63
3.2	Verfahren des Druckumformens	67
3.2.1	Längs- bzw. Reckwalzen	67
3.2.2	Glattwalzen gekrümmter und ebener Oberflächen (Feinwalzen, Prägepolieren, ...)	68
3.2.3	Querwalzen	71
3.2.4	Freiformen (Schmieden)	71
3.2.5	Gesenkformen	72
3.2.5.1	Gesenkschmieden und Prägen	72
3.2.5.2	(Warm- und Kalt-)Stauhen	75
3.2.5.3	Strangpressen	78
3.2.5.4	Fließpressen	79
3.2.5.5	Einsenken	83
3.2.5.6	Gewindeherstellung (Gewindefurchen bzw. -formen und Gewindewalzen)	84
3.3	Zug-Druck-Umformung	87
3.3.1	Tiefziehen	87
3.3.2	Drücken/Fließdrücken	97
3.3.3	Durchziehen/Drahtziehen	99
3.4	Zugumformung	99
3.4.1	Rohrziehen (Verfahren und Kenngrößen)	99
3.4.2	Abstreckziehen (Verfahren und Berechnungen)	100
3.5	Biegeformen (Biegen)	100
3.6	Besonderheiten der Hochgeschwindigkeits- und -energieumformung (Teilebearbeitung mit Schockwellen)	108
4	Trennen – Schneiden/Zerteilen, Spanen und Abtragen (Generieren)	112
4.1	Schneiden und Zerteilen	112
4.1.1	Verfahren und Maschinenhauptzeiten	112
4.1.2	Anordnung von Werkstücken in Blechstreifen („Streifenbilder“)	113
4.1.3	Werkzeuggestaltung und Berechnungen an Schnittwerkzeugen	116
4.1.4	Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfes beim Schneiden	120
4.1.5	Besonderheiten beim Feinschneiden	121
4.1.6	Schneiden mit Gummikissen	123

4.2	Spanen und Abtragen (mit Generieren)	123
4.2.1	Spanende Verfahren der Fertigungstechnik	123
4.2.1.1	Begriffe, Größen, Zusammenhänge und Abläufe beim Spanen	123
4.2.1.2	Kräfte und Leistungen beim Spanen	126
4.2.1.3	Zeitaufwand und Wege beim Spanen	130
4.2.1.4	Bedeutung und Einflüsse der Schnittgeschwindigkeit	131
4.2.1.5	Standgrößen und Standkriterien	135
4.2.1.6	Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe und Oberflächenqualitäten (Rauheiten)	136
4.2.1.7	Spanarten, Spanformen, Bearbeitbarkeit (Spanbarkeit)	137
4.2.1.8	Schneidstoffe und Wirkmedien (Kühl-, Schmier-, Spül-Mittel)	142
4.2.1.9	Besonderheiten beim Spanen harter Werkstoffe bei Trocken- sowie HSC- und HPC-Bearbeitungen	148
4.2.1.10	Verfahrenstypische Besonderheiten beim Spanen (jeweils Berechnungen zu Komponenten der Spanungskraft, Leistungen, Maschinenhauptzeiten)	149
4.2.1.11	Fein-, Mikro- und Präzisionsbearbeitung	184
4.2.1.12	Herstellung von Verzahnungen	204
4.2.1.13	Berechnung und Gestaltung ausgewählter Spanungswerkzeuge	222
4.2.2	Abtragen und Generieren	229
4.2.2.1	Verfahren der Abtragtechnik	229
4.2.2.2	Generieren von Bauteilen (Rapid Product Development/Rapid Prototyping)	251
4.2.3	Optimierung von Spanungsvorgängen und Maschinenauslastungen	254
5	Fügetechnik – Übersichten zum Schweißen und Schneiden, Löten, Kleben und zu sonstigen Fügeverfahren	258
5.1	Schweißen und Schneiden	258
5.1.1	Schweißbeignung, -sicherheit, -möglichkeiten (Schweiß-, Schweißfolgeplan)	258
5.1.2	Verfahren zum Schweißen und Schneiden	260
5.1.3	Schweißgerechte Konstruktion von Bauteilen	281
5.1.3.1	Stoß- und Nahtarten, Formen von Schweißfugen	281
5.1.3.2	Zeichnerische Darstellungen von Schweißverbindungen	284
5.1.3.3	Abmessungen von Schweißnähten, Berechnungen einfacher Schweißverbindungen; Nahtwertigkeit und Nahtformkoeffizient	284
5.1.3.4	Schrumpfungen an geschweißten Teilen	287
5.1.3.5	Grundsätze und typische Beispiele schweißgerechter Konstruktion von Bauteilen	289
5.1.3.6	Kennzeichnung von Schweißpositionen und Rationalisierungsansätze beim Schweißen	296
5.2	Löten von Einzelteilen und Baugruppen	297
5.2.1	Einteilung/Zuordnung von Lötverfahren, Löteignung/Lötbarkeit	297
5.2.2	Lötverbindung, Lote und Flussmittel, Lötbarkeit von Werkstoffen, Verfahrensvarianten	300
5.2.3	Lötgerechte Konstruktion von Bauteilen; Zeichnerische Darstellung von Lötverbindungen	305
5.3	Kleben von Bauteilen	308
5.3.1	Aufbau von Klebeverbindungen; Vorteile, Anwendungsgrenzen und Besonderheiten beim Kleben [76]	308
5.3.2	Klebstoffarten (DIN EN 923); Grundvorgänge beim Kleben	309
5.3.3	Empfehlungen zur klebegerechten Konstruktion und Festigkeitsprüfung von Bauteilen	310
5.3.4	Gesundheits- und Arbeitsschutz beim Kleben	314
5.4	Übersicht zu sonstigen Verfahren zur Verbindung von Bauteilen und Baugruppen	314
6	Beschichten – Herstellung fest haftender metallischer und nichtmetallischer Schichten	315
6.1	Beschichten mit metallischen Überzügen	316
6.2	Beschichten mit nichtmetallischen Überzügen	321
6.3	Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (PVD – Physical Vapour Deposition, CVD – Chemical Vapour Deposition)	322
7	Änderungen von Stoffeigenschaften – Härten, Glühen, Vergüten, Anlassen	324
7.1	Zusammenhänge bei der Änderung von Stoffeigenschaften (Thermische, Thermo-chemische und thermo-mechanische Verfahren)	324
7.2	Temperaturverläufe bei typischen Wärmebehandlungsverfahren	327
7.2.1	Glühverfahren für Eisenwerkstoffe	327
7.2.2	Glühmethoden für Leichtmetalle	328
7.2.3	Wärmebehandlungen mit signifikanten Änderungen der Stoffeigenschaften	328

7.2.4	Härten auf Martensit und Vergüten	330
7.2.5	Nitrieren von Werkstoffen	330
7.3	Wärme-, Abkühl-, Halte- und Perlitisierungszeiten bei der Wärmebehandlung von Stahlwerkstoffen	331
7.4	Zusammenhänge zur Ermittlung von Aufkohlungs- und Nitrierzeiten	333
7.5	Temperaturverläufe beim Abkühlen/Abschrecken	335
8	Kalkulationen (Zeiten, Kosten, Preise, ...); Arbeitsstudien und Investitionsrechnungen	337
8.1	Berechnungen von Kosten und Preisen	337
8.2	Bestimmung technisch-organisatorisch begründeter Durchlaufzeiten (DLZ)	338
8.3	Durchführung von Arbeitsstudien	341
8.4	Typische Methoden für/bei Investitionsrechnungen	341
Anhang		343
T 1	Allgemeine Übersichten	343
T 1.1	ISO-Toleranzen für Wellen und Bohrungen (Auszüge)	343
T 1.2	Erreichbare Rauheiten R_z in Abhängigkeit unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren	347
T 1.3	Zusammenfassende Übersichten zu mechanischen Eigenschaften typischer Maschinenbauwerkstoffe (Auszüge)	348
T 1.3.1	Stahl- und Gusswerkstoffe	348
T 1.3.1.1	Unlegierte Baustähle; DIN EN 10 025	348
T 1.3.1.2	Vergütungsstähle; DIN EN 10 083-1/2	349
T 1.3.1.3	Einsatzstähle; DIN EN 10 084	352
T 1.3.1.4	Wälzlagerstähle; DIN EN ISO 683-17	353
T 1.3.1.5	Automatenstähle; DIN EN 10 087	354
T 1.3.1.6	Gusseisen mit Lamellengraphit; DIN EN 1561	355
T 1.3.1.7	Gusseisen mit Kugelgraphit; DIN EN 1563	356
T 1.3.1.8	Stahlguss; DIN 1681	356
T 1.3.1.9	Warmfester Stahlguss; DIN EN 10 213-2	357
T 1.3.1.10	Temperguss; DIN EN 1562 (TGW und TGS)	357
T 1.3.2	Duro- und Thermoplaste	358
T 2	Tabellen zur Urformtechnik	361
T 2.1	Spezielle Übersicht zur Gestaltung von Radien und Übergängen an Gussteilen	361
T 2.2	Empfehlungen für zulässige Maßabweichungen an Gießereimodellen	361
T 3	Tabellen und Tabellen zur Umformtechnik	362
T 3.1	Formänderungsfestigkeiten und Fließkurven	362
T 3.1.1	Auswahl typischer Formänderungsfestigkeiten $k_n = f(\varphi)$ bei der Kaltverformung weichgeglühter Werkstoffe	362
T 3.1.2	Beispiele für Fließkurven typischer Maschinenbauwerkstoffe (Kaltumformung)	362
T 3.1.3	Einflüsse von Umformtemperaturen (Warmumformung), Umformgeschwindigkeiten auf das Verformungsverhalten metallischer Werkstoffe	364
T 3.2	Schmieden/Gesenkschmieden	365
T 3.2.1	Gestaltungsgrundsätze für Gesenkschmiedeteile	365
T 3.2.2	Zulässige Maß- und Oberflächenabweichungen	366
T 3.3	Richtwerte und Empfehlungen zum Stauchen	367
T 3.3.1	Nomogramm zur Bestimmung des Kraftbedarfes beim Kaltstauchen unterschiedlicher Werkstücke aus Stahl- und NE-Werkstoffen	367
T 3.3.2	Zulässige Formänderungen beim Stauchen	367
T 3.3.3	Erreichbare Maßgenauigkeiten beim Kaltstauchen	367
T 3.4	Werte für das Fließpressen	368
T 3.4.1	Nomogramme zur Ermittlung der Fließpresskraft	368
T 3.4.2	Empfehlungen zur Teilegestaltung beim Fließpressen	370
T 3.4.3	Herstellbare Teileabmessungen	370
T 3.4.4	Erreichbare Oberflächenabweichungen beim Kaltfließpressen	371
T 3.5	Gewindedurchmesser und -formen	371
T 3.5.1	Vorbohrdurchmesser für Metrische ISO-Regelgewinde; DIN 13; DIN ISO 965-1	371
T 3.5.2	Vorbohrdurchmesser für Whitworth-Gewinde; BS 84	371
T 3.5.3	Vorbohrdurchmesser für US-Amerikanisches Unified-Grobgewinde; UNC-2B; ASME B 1.1; ISO 5864	372

T 3.6	Gleichungen zum Tiefziehen	372
T 3.6.1	Berechnungen von Flächenelementen beim Tiefziehen	372
T 3.6.2	Bestimmung von Rondendurchmessern für typische Fertigteilformen	374
T 3.7	Zusammenhänge beim Biegen	377
T 3.7.1	Nomogramm zur Bestimmung von Biegekräften beim Biegen von V-Formen	377
T 3.7.2	Bestimmung der Gesenkwerte in Abhängigkeit vom Biegehalbmesser	378
T 4	Spanen (Schneiden/Zerteilen); Abtragen; Generieren	379
T 4.1	Tabellen und Richtwerte zum Spanen	379
T 4.1.1	Korrekturfaktoren für Schnittgeschwindigkeit und Spanwinkel	379
T 4.1.2	Korrekturfaktoren zur Berechnung von Schnittkräften	380
T 4.1.3	Spezifische Schnittkräfte der spanenden Fertigung	381
T 4.1.4	Richtwerte für Schnittgeschwindigkeiten v_c in $m \cdot min^{-1}$	382
T 4.1.5	Zusammenhänge zwischen Oberflächenrauheiten und Herstellkosten beim Spanen	385
T 4.1.6	Entstehungsbedingungen und Wirkungen von Spanarten	386
T 4.1.7	Wirkungen und Nutzungsmöglichkeiten typischer Bestandteile von KSSM (Kühl-, Schmier-, Spülmittel) auf Bearbeitungsvorgang und Arbeitsergebnis (vgl. VSI)	387
T 4.1.8	Spezielle verfahrensspezifische Richtwerte	387
T 4.1.8.1	Drehen (Lang-, Plan-, Fein-, Gewindedrehen)	387
T 4.1.8.2	Hobeln und Stoßen	397
T 4.1.8.3	Bohren (Bohren ins Volle, Auf-, Tief-, Fein-, Gewindebohren), Senken und Reiben	398
T 4.1.8.4	Fräsen (inkl. Gewindeherstellung, HSC- Fräsen und Bearbeitung harter Werkstoffe)	416
T 4.1.8.5	Sägen (Kreis- und Bandsägen)	424
T 4.1.8.6	Räumen (Außen-, Innen-)	425
T 4.1.8.7	Schleifen (Rund-, Flach-, Stech-, Zieh- und Schwingziehschleifen); Läppen und Polieren	426
T 4.1.8.8	Besonderheiten bei der Herstellung von Zahnrädern (Werte aus [14])	430
T 4.1.8.9	Spanen spezieller Werkstoffe	435
T 4.2	Tabellen und Richtwerte zum Abtragen und Generieren	438
T 4.2.1	Ultraschallbearbeitung (USM); Berechnungen an Sonotroden [60], [61]	438
T 4.2.2	Elektrochemisches Abtragen (ECM); Abtragverhalten typischer Werkstoffgruppen bei Bearbeitung mit NaCl- und $NaNO_3$ -Elektrolytlösungen [4]	439
T 4.2.3	Senk- und Drahterodieren (EDM)	440
T 4.2.4	Laserschweißen und -schneiden (LBM)	442
T 4.2.5	Generieren von Bauteilen (Rapid Product Development – RPD; Rapid Prototyping – RP)	445
T 5	Tabellen, Richtwerte und Empfehlungen zum Fügen von Bauteilen, Beschichten und Ändern von Stoffeigenschaften	447
T 5.1	Übersichten zur Fügetechnik	447
T 5.2	Berechnungen und Empfehlungen für das Beschichten	462
T 5.3	Übersichten zur Stoffeigenschaftsänderung	463
	Literaturverzeichnis	465
	Sachwortverzeichnis	469

Üben, üben, üben!



Lochmann

Aufgabensammlung Fertigungstechnik

284 Seiten. 201 Abb.

ISBN 978-3-446-42772-3

In dieser Beispiel- und Aufgabensammlung werden zu den wesentlichen Verfahren der Verfahrenshauptgruppen der Fertigungstechnik typische, praktisch relevante Anwendungsbeispiele und -aufgaben vorgestellt und zweckmäßige Lösungswege ausführlich durchgerechnet und beschrieben. Zusätzlich wird auf vorhandene Alternativlösungen hingewiesen. Alle benutzten Gleichungen, Richtwerte und Empfehlungen beziehen sich auf die »Formelsammlung Fertigungstechnik« vom gleichen Autor.

Die Beispiele und Aufgaben sind den Gebieten Urformen, Umformen, Trennen, Fügen und Beschichten zugeordnet.

1 Größen, Einheiten, Toleranzen/Passungen, Werkstoffkennwerte

1.1 Physikalisch-technische Größen, SI- und weitere Einheiten, spezielle Umrechnungen

Physikalisch-technische Größen

Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen
Länge	$l; b, h, d, r$	Meter	m
		Millimeter	mm
Zeit	t	Sekunde	s
		Minute	min
Masse	m	Kilogramm	kg
		Gramm	g (1 g = 10 ⁻³ kg)
Temperatur	T, θ	Kelvin	K (1 K $\hat{=}$ 1 °C)
		Grad Celsius	°C (-273,16 °C $\hat{=}$ 0 K)
Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
Fläche	A	Quadratmeter	m ²
Lichtstärke	I_v	Candela	cd
Stoffmenge	n	Mol	mol
		Volumen	V
Volumen	V	Kubikmeter	m ³
		Liter	ℓ (1 ℓ = 1,000 028 · 10 ⁻³ m ³ , 1 ℓ = 1 dm ³)
Frequenz	f	Hertz	Hz (1 Hz = 1 s ⁻¹); bei Umlauffrequenzen: Hz = U/s
Ebener Winkel	ϕ	Radian	rad; $\hat{\alpha} = 0,01745\alpha^\circ$
		Grad	°
		Minute	' (1' = 1°/60)
		Sekunde	" (1" = 1'/60)
Raumwinkel	Ω	Steradian	sr
Geschwindigkeit	v	Meter/Sekunde	m/s
		Meter/Minute	m/min
Winkelgeschwindigkeit	ω	Radian/Sekunde	rad/s
Beschleunigung	a	Meter/Quadratsekunde	m/s ² (Normfallbeschleunigung: g _n = 9,806 65 m/s ²)
		Winkelbeschleunigung	α
Dichte	ρ	Kilogramm/Kubikmeter	kg/m ³ , auch g/cm ³ , t/m ³ , kg/dm ³
Kraft	F	Newton	N (1 N = 1 m · kg · s ⁻²)
		Kilopond	kp (1 kp = 9,806 65 N)
Druck	p	Newton/Quadratmeter	N · m ⁻² (1 N · m ⁻² = 1 Pa; Pascal)
		Bar	bar (1 bar = 10 ⁵ N/m ² = 1,02 kp · cm ⁻²)
		Technische Atmosphäre	at (1 at = 9,807 · 10 ⁴ Pa)
Arbeit	W	Joule	J (1 J = 1 N · m = 1 W · s)
Energie	E	Kilowattstunde	kW · h (1 kW · h = 3,6 · 10 ⁶ J)
Leistung	P	Watt	W (1 W = 1 J · s ⁻¹ = 1 N · m · s ⁻¹)
		Voltampere	V · A (1 V · A = 1 W)
Wärmemenge	Q	Joule (Kalorie, Erg)	J (1 cal = 4,1868 J)
Elektrische Spannung	U	Volt	V (1 V = 1 W · A ⁻¹ = 1 kg · m ² · s ⁻³ · A ⁻¹)
		Elektrischer Leitwert	G
Elektrischer Widerstand	R	Siemens	S (1 S = 1 A · V ⁻¹ = 1/Ω)
Elektrische Kapazität	C	Ohm	Ω (1 Ω = 1 V · A ⁻¹)
		Farad	F (1 F = 1 C · V ⁻¹ = 1 A ² · s ⁴ · kg ⁻¹ · m ⁻²)

Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen
Lichtstrom	Φ_v	Lumen	lm
Beleuchtungsstärke	E_v	Lux	lx (1 lx = 1 lm · m ⁻²)
Aktivität	A	Becquerel	Bq
Elastizitätsmodul	E	Newton/Quadratmillimeter	N · mm ⁻²

Anmerkung: Fett gedruckte Größen sind Basisgrößenarten des Internationalen Einheitensystems

Typische nichtdezimale Einheiten; Umrechnungen

Masse:	1 Karat (kt)	= 0,2 g (Metrisches Karat; Edelsteine)
	1 Grain (gr)	= 0,064 798 79 g (Apothekergewicht)
	1 pound (lb)	= 0,453 6 kg (USA/GB); (1 kg = 2,204 6 lb)
	1 long ton (1 tn)	= 1 016,05 kg (USA/GB)
	1 short ton (sh tn)	= 907,18 kg (USA/GB)
Längenmaße	1 foot (ft)	= 0,304 8 m (USA/GB); (1 m = 3,280 8 ft)
	1 Zoll 1")	= 0,025 4 m (USA/GB); (1 m = 39,370")
	1 inch (in)	= 0,025 4 m (USA/GB); (1 m = 39,370 in)
	1 yard (yd)	= 0,914 4 m (USA/GB); (1 m = 1,093 5 yd)
Flächen	1 sq yd	= 0,836 1 m ² (USA/GB); (sq. yd. = square yard)
	1 sq ft	= 929,03 cm ² (USA/GB); (sq. ft. = square foot)
	1 sq in	= 6,451 cm ² (USA/GB); (sq. in. = square inch)
Volumen:	1 m ³	= 35,314 667 ft ³ (USA/GB) = 264,172 052 4 gal (USA) = 219,97 gal (GB)
	1 cubic yard	= 0,764 5 m ³ (USA/GB)
	1 cubic foot	= 0,028 31 m ³ (USA/GB)
	1 cubic inch	= 16,38 cm ³ (USA/GB)
Durchflussmenge:	1 m ³ · min ⁻¹	≈ 35,314 cfm (cubic ft. per minute)
	1 cfm	≈ 1,699 m ³ · h
	1 MMcfd	≈ 1179,86 m ³ · h ⁻¹ ≈ 19,6644 m ³ · min ⁻¹ (million cft. per day)
Druck:	1 bar	= 10 ⁵ Pa ≈ 1,019 716 2 kg · cm ⁻²
	1 mm · WS	= 9,806 65 Pa
	1 psi	= 6,894 757 2 · 10 ³ Pa
	1 lb/sq. in.	= 0,007 03 N · mm ⁻²
	1 at	= 180 665 Pa = 0,980 665 bar
Kraft:	1 N	= 0,224 808 91 lbf
	1 lbf	= 4,448 222 3 N
Arbeit:	1 in. lb.	= 0,115 21 N · m
Leistung:	1 PS	= 735,5 W
	1 W	= 0,859 845 22 kcal · h ⁻¹
	1 hp	= 745,7 W = 1,013 9 PS (hp horsepower)
Temperatur:	t in °F	= (9/5) t /°C + 32
	t in °C	= (t /°C - 32)/1,8
	T in K	= (t /°F + 459,67)/1,8

1.2 Vorschübe und Lastdrehzahlen an Werkzeugmaschinen

Lastdrehzahlen nach DIN 804		Vorschübe nach DIN 803								
		Abgeleitete Reihen			Grund-Reihen					
Grund-Reihe	R 10 (R20/2)	R 20/3 (2 800)	R 20/4 (1 400)	R 20/6 (2 800)	R 10	R 5	R 20/3	R 20/6 (R 10/3)		
$n_{Mot.} \rightarrow$	$\varphi = 1,25$	$\varphi = 1,4$	$\varphi = 1,6$	$\varphi = 2,0$	$\varphi = 1,2$	$\varphi = 1,6$	$\varphi = 1,4$	$\varphi = 2,0$		
	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
100						1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
112	112	11,2		112	11,2	1,12	1,25	1,00	11,2	
125	140	125				1,25	1,40	0,125		0,125
140		1 400	140		1 400	1,40	1,60	1,40	16,0	16,0
160	180	180		180	180	1,60	1,80	1,60		
180		2 000				1,80	2,00	0,180		
200	224	224	224			2,00	2,24	2,00	2,00	2,00
224		250		224	22,4	2,24	2,50	0,250	22,4	
250	280	280				2,50	2,80	2,50		0,250
280		2 800		280	2 800	2,80	3,15	2,80	2,80	
315	355	355				3,15	3,55	0,355	31,5	31,5
355		4 000	355		355	3,55	4,00	0,355		
400	450	450		450		4,00	4,50	4,00	4,00	4,00
450		500				4,50	5,00	0,500	45,0	
500	560	560	560		5 600	5,00	5,60	0,500	5,60	0,500
560		8 000				5,60	6,30	0,500	63,0	63,0
630	710	710		710	710	6,30	7,10	0,710	63,0	
710		1 000				7,10	8,00	0,710	8,00	8,00
800	900	900	900		90,0	8,00	9,00	0,800	8,00	8,00
900						9,00	10,00	0,900	9,00	9,00
1 000						10,00		10,00	10,00	10,00

10-%-Regel: $n_{n+1}; f_{n+1} \geq n_n; f_n$





- Anmerkungen:**
- φ ... Stufensprünge nach DIN;
 - $n_{Mot.} \dots$ Lastdrehzahlen der Elektromotoren in min^{-1} ;
 - Eine Erweiterung der Tabellen nach unten oder oben ist zulässig. Die vorliegenden Werte sind dann mit 10 oder einer Potenz von 10 zu dividieren oder zu multiplizieren. Die Werte der Reihen R 20/3, R 20/6 bzw. R 10/3 ändern sich erst in der 4. Dezimale;
 - In den Lastdrehzahlen und Vorschüben sind mechanische Toleranzwerte nicht enthalten (Für R 20 z. B. ± 2)

1.3 Zulässige Maß-, Form-, Lage- und Oberflächenabweichungen, Toleranzen und Passungen



Toleranzangaben an Werkstücken

1. Kennzeichnung der Oberflächenbeschaffenheit nach DIN ISO 1302

- Oberflächenbeschaffenheit mit geringen Forderungen:

-  Oberfläche frei von groben Unebenheiten, gegebenenfalls geglättet (z. B. durch Übersleifen, Überfeilen)
-  spanende Nachbearbeitung nur zulässig, wenn das Maß nicht eingehalten wurde
-  Oberfläche darf nicht materialabtrennend bearbeitet werden oder muss im Anlieferungszustand verbleiben
-  saubere, rohe Oberfläche mit höheren Anforderungen ($R_a = 6,3 \mu\text{m}$)

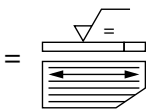
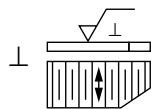
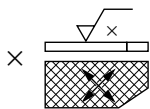
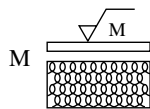
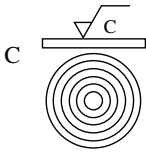
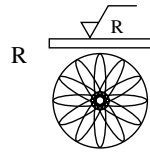
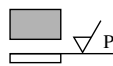
- Darstellung höherer Ansprüche an die Oberflächenqualität:

-  Wenn eine materialabtrennende Bearbeitung erforderlich ist, so ist dem Grundsymbol ein Querstrich hinzuzufügen. Die einzelnen Angaben der Oberflächenbeschaffenheit sind dem Symbol zuzuordnen.
-  Wenn gefordert wird, dass der Endzustand der Oberfläche durch ein bestimmtes Fertigungsverfahren hergestellt wird, so muss dieses Verfahren in ungekürzter Wortangabe auf die Verlängerung des längeren Schenkels des Symbols geschrieben werden.

- Vorzugsreihe für Rauheitskennwerte R_a , R_y und R_z (Werte in μm):


R_a : 0,025 0,05 0,1 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,3 12,5 25,0 50,0
 R_y, R_z : 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,3 12,5 25,0 50,0 100,0 200,0

- Beschreibung erforderlicher oder zugelassener Richtungen von Bearbeitungsspuren:

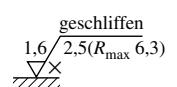
			
Parallel zur Projektionsebene der Ansicht, in der das Symbol angewendet wird	Senkrecht zur Projektionsebene der Ansicht, in der das Symbol angewendet wird	Gekreuzt in 2 schrägen Richtungen zur Projektionsebene in der Ansicht, in der das Symbol angewendet wird	Viele Richtungen
			
Annähernd zentrisch zum Mittelpunkt der Oberfläche, zu der das Symbol gehört	Annähernd radial zum Mittelpunkt der Oberfläche, zu der das Symbol gehört	Nichttrillige Oberfläche ungerichtet oder muldig	

2. Symbol für Oberflächenbeschreibungen an Werkstücken (DIN ISO 1302):

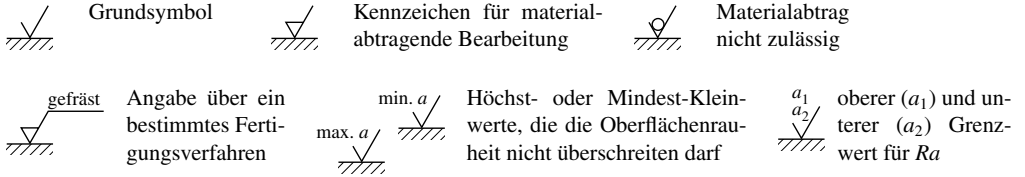
- Allgemeine Darstellung mit Beispiel:

	<p>a Rauheitswert R_a in μm</p> <p>b Fertigungsverfahren, Beschichtungen, Behandlungen,</p> <p>c Bezugsstrecke für P_t bzw. Grenzwellenlänge bei R_a und R_z</p> <p>d Rillenrichtung</p> <p>f ggf. anderer Rauheitskennwert, wie $R_{\text{max}}, P_t, \dots$</p>
---	---

Beispiel:

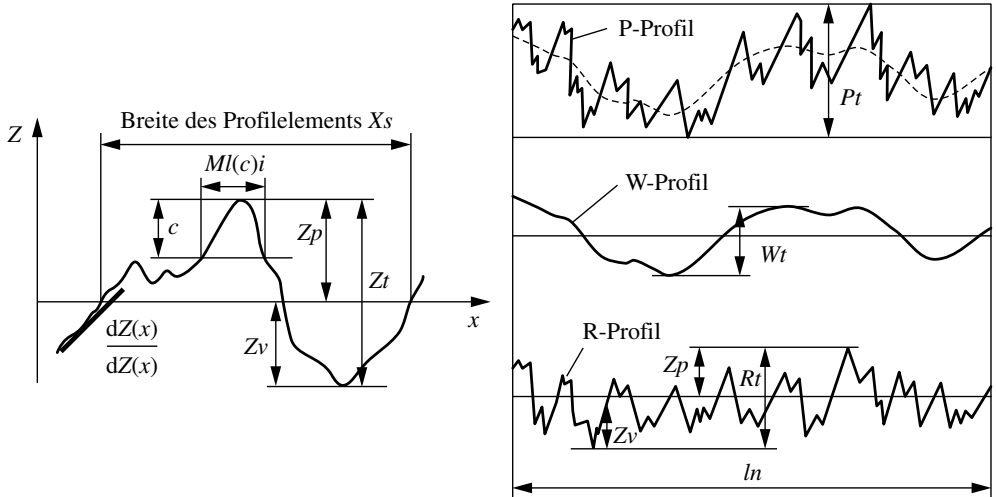


- Spezielle Kennzeichnungen und Symbole:



3. Kennwerte an Oberflächen (DIN EN ISO 3274, DIN EN ISO 4287 und [24]):

- Primärprofil (P-Profil), Rauheitsprofil (R-Profil), Welligkeitsprofil (W-Profil) und Profilelement:



- Oberflächenrauheiten:

Messbedingungen nach DIN EN ISO 4288 und DIN EN ISO 3274, vgl. [24]:

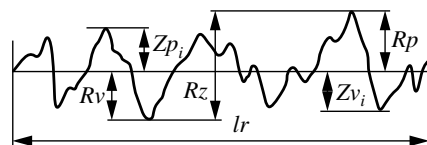
Messbedingungen

Periodische Profile (Drehen, Bohren, Fräsen)	Messbedingungen			Nichtperiodische Profile (Schleifen, Honen, Erodieren)	
	λ_c mm	$l_r / l_n / l_t$ mm	$r_{Sp\ max} / \Delta x_{max}$ μm	Arithmetischer Mittenrauhwert R_a μm	Maximale Rauheits- profilhöhe R_z μm
Mittlere Rillenbreite der Rauheitsprofilelemente					
R_{Sm} mm					
>0,013 ... 0,04	0,08	0,08 / 0,40 / 0,48	2 / 0,5	>(0,006) ...0,02	>(0,025) ... 0,1
>0,04 ... 0,13	0,25	0,25 / 1,25 / 1,50	2 / 0,5	>0,02 ... 0,1	>0,1 ... 0,5
>0,13 ... 0,4	0,8	0,80 / 4,00 / 4,80	2 oder 5 / 0,5	>0,10 ... 2,0	>0,5 ... 10
>0,4 ... 1,3	2,5	2,50 / 12,5 / 15,0	5 / 1,5	>2,00 ...10,0	>10 ... 50
>1,3 ... 4,0	8,0	8,00 / 40,0 / 48,0	10 / 5,0	>10,0 ...80,0	>50 ...200

Kennwerte:

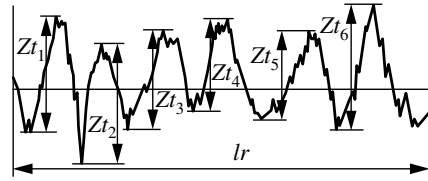
Kennwerte; Kurzdefinitionen, Berechnungen:

R_z ; Größte Höhe des Profils



Rc; Mittlere Höhe der Profilelemente

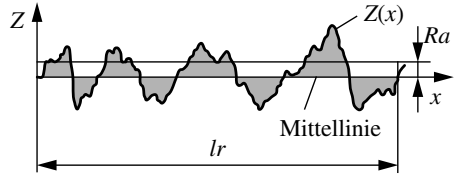
$$Rc = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Zt_i$$



Rt; Gesamthöhe des Profils (siehe Bild oben: Kennwerte)

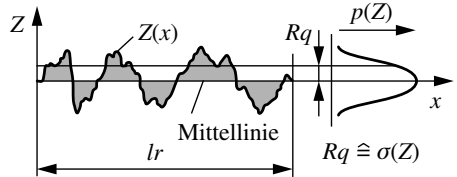
Ra; Arithmetische Mittelrauheit

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx$$



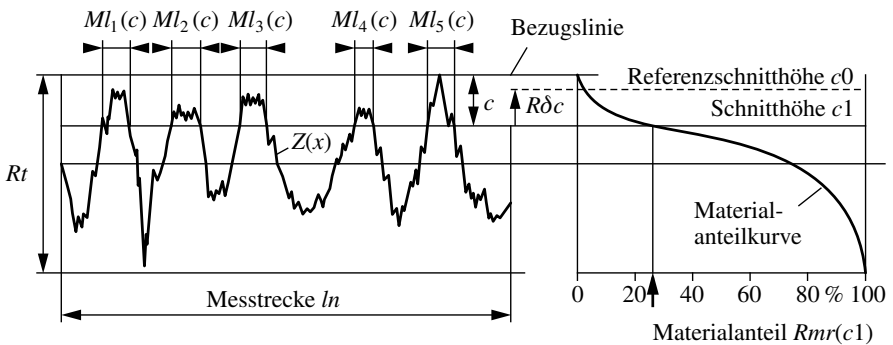
Rq; Quadratischer Mittelwert der Profilwerte

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^2(x) dx}$$



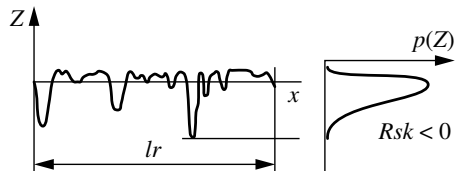
Rmr(c); Materialanteile des Rauheitsprofils

$$Rmr(c) = \frac{100}{ln} \sum_{i=1}^n Ml_i(c) = \frac{Ml(c)}{ln} \text{ in \%}$$



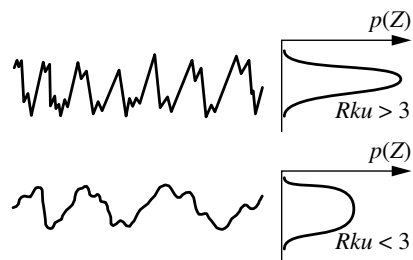
Rsk; Schiefeit des Profils

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^3(x) dx \right]$$



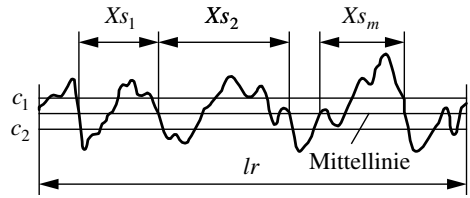
Rku; Steilheit (Kurtosis)

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^4(x) dx \right]$$



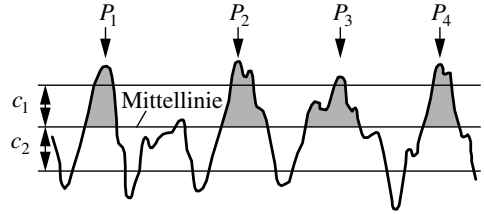
RSm; Mittlere Rillenbreite

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i$$



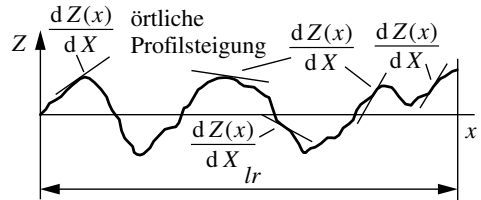
RPc; Spitzenanzahl (SEP 1940)

$$RPc = \frac{\text{Anzahl Rauheitsprofilspitzen (peak count)}}{10 \text{ mm Bezugslänge}}$$

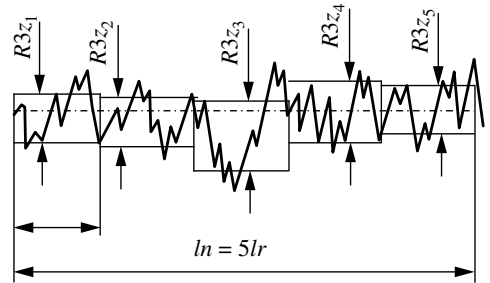


RΔq; Quadratische mittlere Profilsteigung

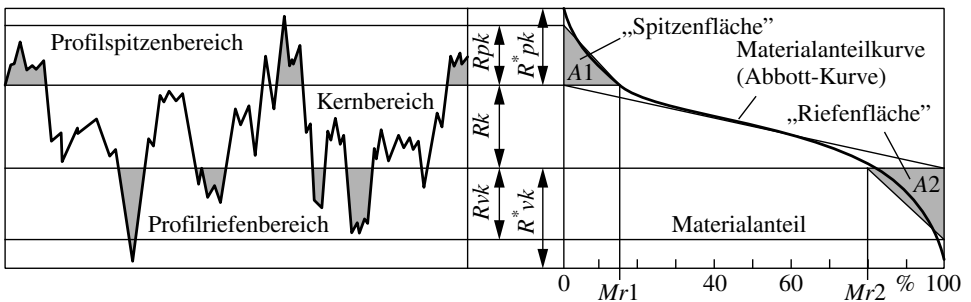
$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} \left(\frac{dZ}{dX} \right)^2 dx} \hat{=} \sigma(Z)$$



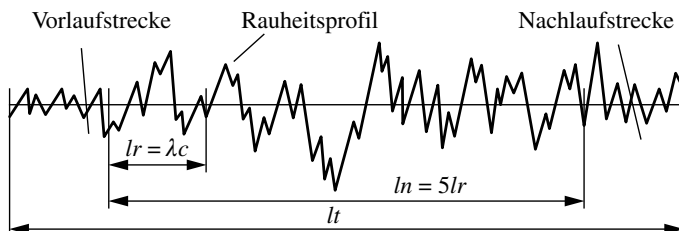
R3z; Grundrautiefe (DB-N 1007)



Rk; Rpk, Rvk, Mr1, Mr2; Bewertung der Materialanteile (vgl. DIN EN ISO 13 565)



lt, ln, lr-λc; Messstrecken-Grenzwellenlänge (DIN EN ISO 13 565):



4. Allgemein geltende Toleranzen nach DIN ISO 2768-1 für Längen- und Winkelmaße

Grenzabmaße (in mm) für Nennmaßbereiche (in mm)

Toleranz-klasse	(0,5 ... 3,0) mm	(3,0 ... 6,0) mm	(6,0 ... 30,0) mm	(30,0 120,0) mm	(120,0 400,0) mm
f ; fein	±0,05 mm	±0,05 mm	±0,10 mm	±0,15 mm	±0,20 mm
m ; mittel	±0,10 mm	±0,10 mm	±0,20 mm	±0,30 mm	±0,50 mm
c ; grob	±0,20 mm	±0,30 mm	±0,50 mm	±0,80 mm	±1,20 mm
v ; sehr grob	KA	±0,50 mm	±1,00 mm	±1,50 mm	±2,50 mm

Grenzabmaße für Winkelmaße; Nennmaßbereiche des kürzeren Schenkels (alle Werte in mm)

Toleranz-klasse	bis 10	über 10 bis 50	über 50 bis 120	über 120 bis 400	über 400
f ; fein	±1°	±30'	±20'	±10'	±5'
m ; mittel					
c ; grob	±1°30'	±1°	±30'	±15'	±10'
v ; sehr grob	±3°	±2°	±1°	±30'	±20'

Allgemein geltende Toleranzen nach DIN ISO 2768-2 für Form und Lageabweichungen (Werte in mm)

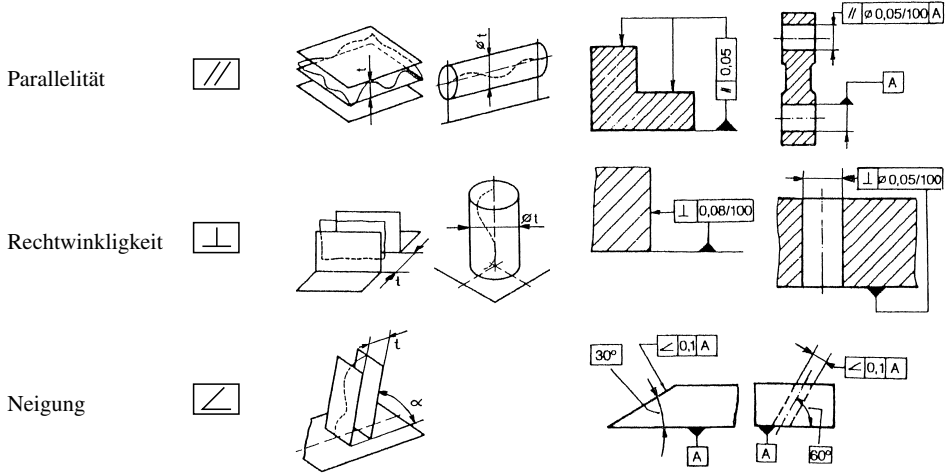
Toleranz-klasse	Für Geradheit und Ebenheit			Für Symmetrieabweichungen		
	≤ 10,0 mm	(10,0 30,0) mm	(30,0 100,0) mm	≤ 100,0 mm	(100,0 300,0) mm	Rundlauf
H	±0,02 mm	±0,05 mm	±0,10 mm	±0,50 mm	±0,50 mm	±0,10 mm
K	±0,05 mm	±0,10 mm	±0,20 mm	±0,60 mm	±0,60 mm	±0,20 mm
L	±0,10 mm	±0,20 mm	±0,40 mm	±0,60 mm	±1,00 mm	±0,50 mm

5. Kennzeichnung von Form- und Lagetoleranzen nach DIN ISO 1101 (nach [24]):

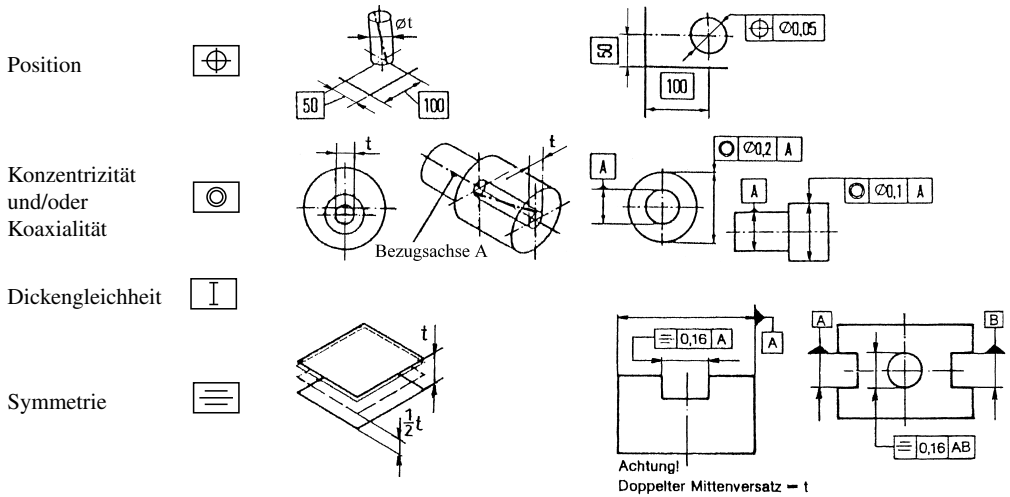
- Formelemente:

	Symbol	Toleranzbereich	Zeichnerische Darstellung
Geradheit			
Ebenheit			
Rundheit (Kreisform)			
Zylindrizität			
Beliebige Linie			
Beliebige Fläche			

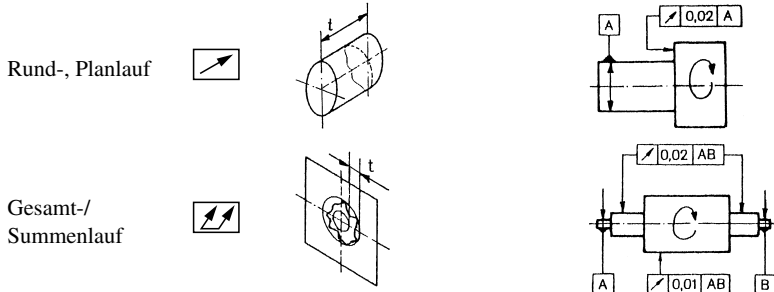
• Richtungstoleranzen



• Ortsabweichungen



• Lauftoleranzen



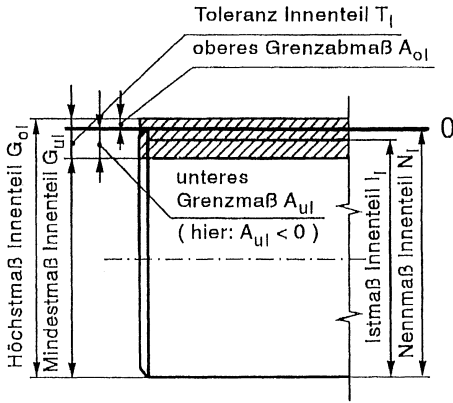
6. ISO-Toleranzen und -Passungen:

Begriffe und Benennungen (DIN ISO 286; [25])

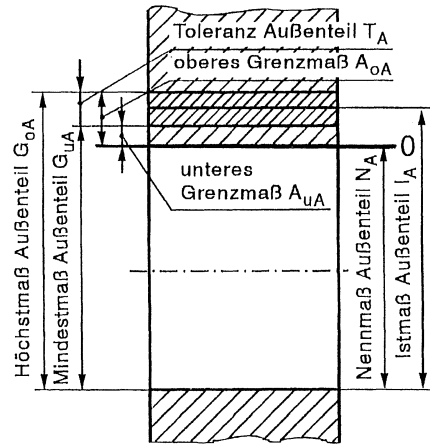
N Nennmaß
I Istmaß
T Maßtoleranz (Größtmaß minus Kleinstmaß)

G Grenzmaß
G_o Größtmaß (größeres der beiden Grenzmaße)
G_u Kleinstmaß (kleineres der beiden Grenzmaße)
A_o Oberes Abmaß (Größtmaß minus Nennmaß)
A_u Unteres Abmaß (Kleinstmaß minus Nennmaß)

Innenkontur (mit Außenpassflächen)



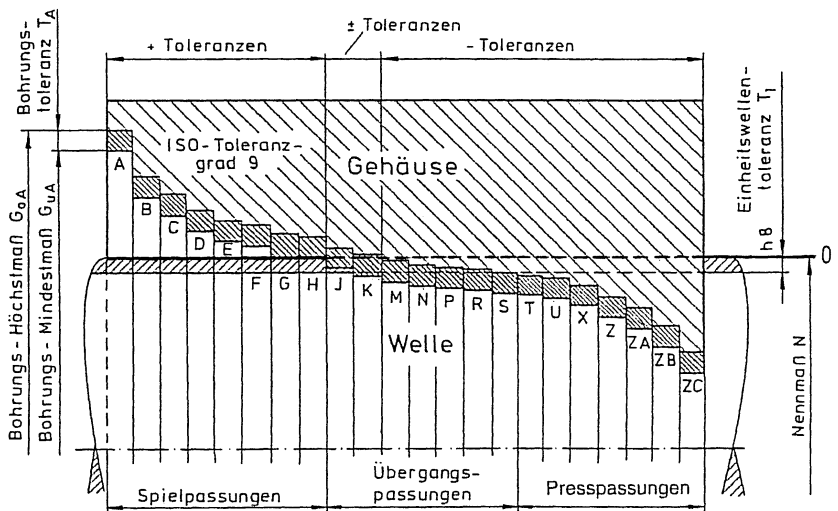
Außenkontur (mit Innenpassflächen)



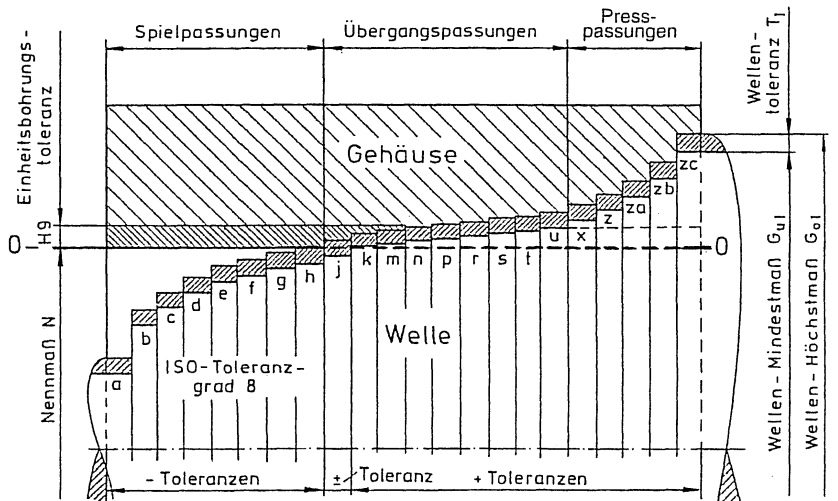
Passungssysteme „Einheitswelle (EW; Toleranzfeldlage: h)“ und „Einheitsbohrung (EB; Toleranzfeldlage: H)“

- Allgemeine Zusammenhänge

System EW:



System EB:



Anmerkung: Wälzlager toleranzen nach DIN 620

Größtpassung = Größtmaß_{Bohrung} – Kleinmaß_{Welle} > 0 → Größtspiel
 < 0 → Kleinstübermaß

Kleinstpassung = Kleinmaß_{Bohrung} – Größtmaß_{Welle} > 0 → Kleinstspiel
 > 0 → Größtübermaß

- Typische Anwendungen (Ausführungsbeispiele):

Spießpassungen (nach dem Paaren der Teile ist in jedem Fall ein Spiel vorhanden):

	EB	EW
Lokomotiv- und Waggonbau; Landmaschinen	H11/a11	A11/h11
Haushaltsmaschinen	H11/c11	C11/h11
Gleitlager	H8/e8	E8/h8
Kolben/Zylinder	H7/f7	F7/h7
Schieberäder, Kupplungsteile	H7/g6	G7/h6

Übergangspassungen (in Abhängigkeit der Lage der Istmaße an beiden Teilen können sowohl Spiel- als auch Pressbedingungen vorhanden sein):

	EB	EW
Riemenscheiben, Zahnräder, Lagerbuchsen	H7/j6	J6/h6
Anker auf Motorwellen, Naben in Buchsen	H7/n6	N7/h6
Kupplungen/Zahnräder auf Motorwellen	H7/m6	M7/h6

Press- oder Übermaßpassung (zwischen den Teilen erfolgt in jedem Fall eine Pressung, da vor dem Paaren Übermaße vorhanden waren), z. B.:

	EB	EW
Lagerbuchsen in Gehäuse	H7/s6	S7/h6
Übertragung großer Kräfte durch Reibschluss	H8/x8	X8/h8

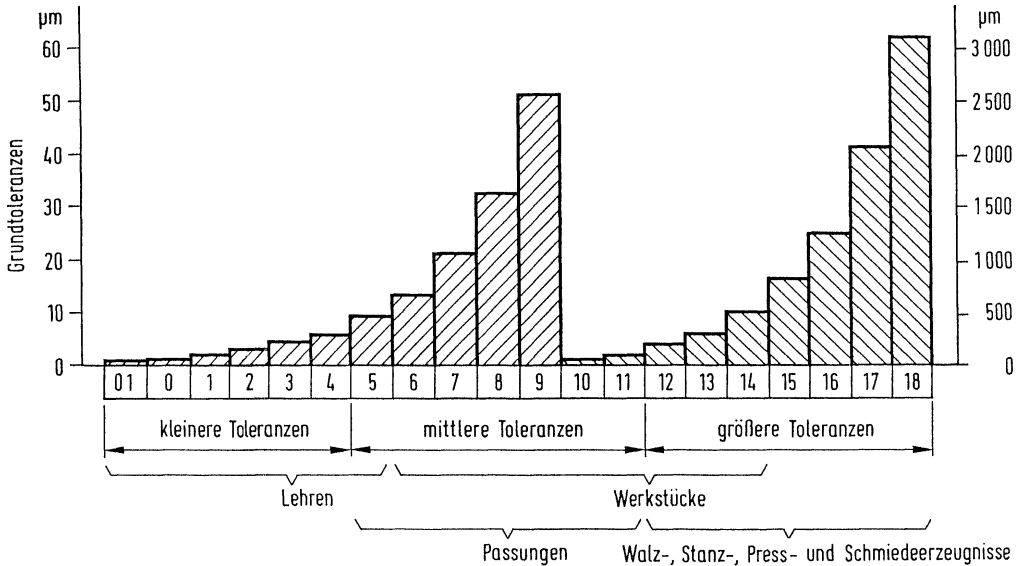
- ISO-Grundtoleranzen (Werte für Maßtoleranzen T , siehe oben) und Zuordnung von Toleranzklassen für ein Nennmaß $N = 30,000$ mm:

ISO-Grundtoleranzen (Auszug):

Toleranz-grad	über bis	Nennmaßbereich in mm													
		1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
IT	K^1	ISO-Grundtoleranzen T_g in μm (nach DIN ISO 286 T1)													
1		0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8	
2		1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10	
3		2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	
4		3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
5	7	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
6	10	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
7	16	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	
8	25	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	
9	40	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	
10	64	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	
11	100	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	
12	160	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	
13	250	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970	
14	400	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550	
15	640	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500	
16	1000	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000	

¹⁾ Klassenfaktor K

Toleranzklassen (Maßstabwechsel zwischen IT 9 und IT 10):



- ISO- Toleranzen für Wellen und Bohrungen siehe Anhang T 1.1
- Erreichbare Rauheiten R_z in Abhängigkeit unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren (Richtwerte) siehe Anhang T 1.2

1.4 Werkstoffe – Vergleichstabellen und Kennwerte

1.4.1 Bezeichnungssystematik typischer Maschinenbau-Werkstoffe [92], [93]

- Kurzbezeichnung für Eisengusswerkstoffe (DIN EN 1560):

Arten: GJL	DIN EN 1561	Gusseisen mit Lamellengraphit
GJV		Gusseisen mit Vermiculargraphit
GJS	DIN EN 1563	Gusseisen mit Kugelgraphit (Sphäroguss)
GJN		Hartguss (Weißes Gusseisen)
GJMW	DIN EN 1562	Temperguss (entkohlend gegläht)
GJMB	DIN EN 1562	Temperguss (nicht entkohlend gegläht)
	DIN EN 10 027	Stahlguss

Kurzzeichen: EN - XXX - XXX - X - XX

Bruchdehnung in %
 Probestück
 Härte oder Zugfestigkeit
 Art des Eisengusswerkstoffes (inkl. Graphitstruktur und Grundgefüge)

Graphitstruktur: L lamellar
 S kugelförmig (sphärolitisch)
 M temperkohlig
 V vermikular (wurmförmig)
 N graphitfrei (no grafit; Hartguss)
 Y Sonderstruktur

Grundgefüge (Beispiele): P Perlit

M Martensit

T vergütet

B black (nicht entkohlend gegläht)

W white (entkohlend gegläht)

- Benennung unlegierter und legierter Stahlwerkstoffe (DIN EN 10 027-1 und -2):

Einteilung von Eisenknetlegierungen: DIN EN 10 020

Kurznamen zur Kennzeichnung physikalisch-mechanischer Eigenschaften:

X - XXX - XX

Zusatzsymbol, z. B.:

Gütegruppe

Desoxidationsarten (Lieferzustand):

G 1 = FU unberuhigt gegossener Stahl

G 2 = FN unberuhigter Stahl nicht zugelassen

G 3 = FF vollständig beruhigter Stahl

Verwendungszweck:

C gut kalt umformbar

D gut schmelztauchbar

E emaillierbar

L für tiefe Temperaturen geeignet

W wetterfest

Behandlungszustand (Beispiele):

+ A weichgeglüht

+ N normalgeglüht

+ T angelassen

+ U unbehandelt

Besondere Anforderungen (Beispiele):

+ F Feinkornstahl

+ S Feuerverzinkt

+ ZN Elektrol. Zink-Nickel-Schicht

Mindestwert der Streckgrenze

Eigenschaften/Verwendungszweck, z. B.:

P Stähle für Druckbehälter

S Stähle für Stahlbau

L Stähle für den Rohrleitungsbau

E Maschinenbaustähle

B Betonbaustähle

Kurznamen zur Kennzeichnung der chemischen Zusammensetzung:

C XX Unlegierte Stahlwerkstoffe mit einem mittleren Mn-Gehalt von < 1 %:

— Kohlenstoff-Gehalt

XX XXXX XX Legierte Stahlwerkstoffe:

Zusatzsymbol, z. B.:

E; R Begrenzung des Schwefelgehaltes

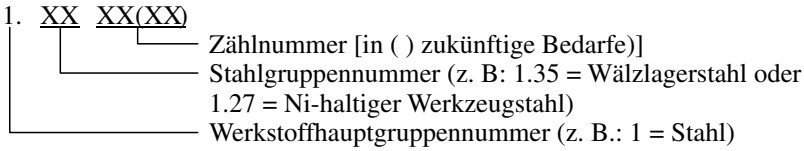
S für Federn geeignet

C spezieller C-Anteil (z. B. zum Kaltverformen)

— Chemische Symbole der den Stahl kennzeichnenden Legierungselemente

— Kohlenstoff-Gehalt

Schnellarbeitsstähle beginnen mit den Buchstaben HS, danach werden die W-, Mo-, V- und Co-Massegehalte genannt!

Europäisches Werkstoffnummernsystem nach DIN EN 10 027-2:

- Bezeichnung von NE-Werkstoffen (DIN 1700):

Kennzeichnung der Gießverfahren: G Guss (allgemein)

GS Sandformguss

GD Druckguss

GK Kokillenguss

GZ Schleuderguss (Zentrifugal –)

GC Strangguss (continuous –)

L Lotmetall

S Schweißmetall

Behandlungszustände: w gegläht (100%ig)

hh halbhart (120%ig)

h hart (140%ig)

fh federhart (180%ig)

a ausgehärtet

ka kaltausgehärtet

wa warmausgehärtet

wh walzhart

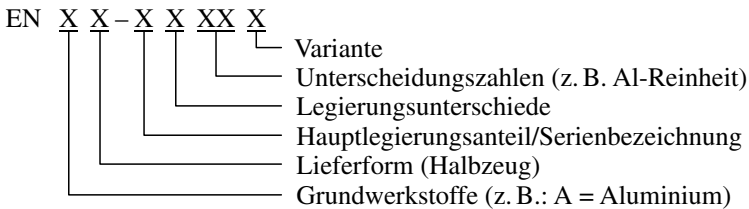
zh ziehhart

ho homogenisiert

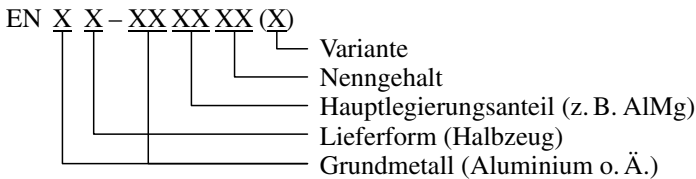
p plattiert

Bezeichnung für **Al-Knetwerkstoffe**:

- Numerische Bezeichnung nach DIN EN 573-1:



- Alphanumerische Benennung (mit chemischen Symbolen); DIN EN 573-2:



Bezeichnung für **Kupferwerkstoffe**: DIN EN 1412 und ISO 1190-1

1.4.2 Übersichten zu Stahl- und Gusswerkstoffen

Werkstoffvergleichstabelle für langspanende (plastische) Werkstoffe

ISO	Land									
	Großbritannien		Schweden	USA	Deutschland		Frankreich	Italien	Spanien	Japan
	BS	EN	SS	AISI/SAE	W.-nr.	DIN	AFNOR	UNI	UNE	JIS
P	Baustahl und Konstruktionsstahl									
	080M15	—	1350	1015	1.0401	C15	CC12	C15C16	F111	—
	050A20	2C	1450	1020	1.0402	C22	CC20	C20C21	F112	—
	060A35	—	1550	1035	1.0501	C35	CC35	C35	F113	—
	080M46	—	1650	1045	1.0503	C45	CC45	C45	F114	—
	070M55	—	1655	1055	1.0535	C55	—	C55	—	—
	080A62	43D	—	1060	1.0601	C60	CC55	C60	—	—
	230M07	—	1912	1213	1.0715	9SMn28	S250	CF9SMn28	11SMn2B	SUM22
	—	—	1914	12L13	1.0718	9SMnPb28	S250Pb	CF9SMnPb28	11SMnPb2B	SUM22L
	—	—	—	—	1.0722	10SPb20	10PbF2	CF10SPb20	10SPb20	—
	212M36	8M	1957	1140	1.0726	35S20	35MF4	—	F210G	—
	240M07	1B	—	1215	1.0736	9SMn36	S 300	CF9SMn36	12SMn35	—
	—	—	1926	12L14	1.0737	9SMnPb36	S300Pb	CF9SMnPb36	12SMnP35	—
	250A53	45	2085	9255	1.0904	55Si7	55S7	55Si8	56Si7	—
	—	—	—	9262	1.0961	60SiCr7	60SC7	60SiCr8	60SiCr8	—
	080M15	32C	1370	1015	1.1141	Ck15	XC12	C16	C15K	S15C
	150M36	15	—	1039	1.1157	40Mn4	35M5	—	—	—
	—	—	—	1025	1.1158	Ck25	—	—	—	S25C
	—	—	2120	1335	1.1167	36Mn5	40M5	—	36Mn5	SMn438(H)
	150M28	14A	—	1330	1.1170	28Mn6	20M5	C28Mn	—	SCMn1
	060A35	—	1572	1035	1.1183	Cf35	XC38TS	C36	—	S35C
	080M46	—	1672	1045	1.1191	Ck45	XC42	C45	C45K	S45C
	070M55	—	—	1055	1.1203	Ck55	XC55	C50	C55K	S55C
	080A62	43D	1678	1060	1.1221	Ck60	XC60	C60	—	S58C
	Z120M12	—	—	—	1.3401	G X120Mn12	Z120Mn12	XG120Mn12	X120Mn12	SGMnH/1
	534A99	31	2258	52100	1.3505	100Cr6	100C6	100C6	F131	SUJ2
	1501-240	—	2912	ASTM A204GrA	1.5415	15Mo3	15D3	16Mo3KW	16Mo3	—
	1503-245-420	—	—	4520	1.5423	16Mo5	—	16Mo5	16Mo5	—
	—	—	—	ASTM A350LF5	1.5622	14Ni6	16N6	14Ni6	15Ni6	—
	1501-509; 510	—	—	ASTM A353	1.5662	XBNi9	—	X10Ni9	XBNiO9	—
	—	—	—	2515	1.5680	12Ni19	Z18N5	—	—	—
	640A35	111A	—	3135	1.5710	36NiCr6	35NC6	—	—	SNC236
	—	—	—	3415	1.5732	14NiCr10	14NC11	16NiCr11	15NiCr11	SNC415(H)
	655M13;A12	36A	—	3415;3310	1.5752	14NiCr14	12NC15	—	—	SNC815(H)
	816M40	110	—	9840	1.6511	36CrNiMo4	40NCD3	3BNiCrMo4(KB)	35NiCrMo4	—
	805M20	362	2506	8620	1.6523	21NiCrMo2	20NCD2	20NiCrMo2	20NiCrMo2	SNCM220(H)
	311-Type 7	—	—	8740	1.6546	40NiCrMo22	—	40NiCrMo2(KB)	40NiCrMo2	SNCM240
	817M40	24	2541	4340	1.6582	35CrNiMo6	35NCD6	35NiCrMo6(KB)	—	—
	820A16	—	—	—	1.6587	17CrNiMo6	18NCD6	—	14NiCrMo13	—
	832M13	36C	—	—	1.6657	14NiCrMo134	—	15NiCrMo13	14NiCrMo131	—
	523M15	—	—	5015	1.7015	15Cr3	12C3	—	—	SCr415(H)
	530A32	18B	—	5132	1.7033	34Cr4	32C4	34Cr4(KB)	35Cr4	5Cr430(H)
	530M40	18	—	5140	1.7035	41Cr4	42C4	41Cr4	42Cr4	SCr440(H)
	—	—	2245	5140	1.7045	42Cr4	—	—	42Cr4	5Cr440
	(527M20)	—	2511	5115	1.7131	16MnCr5	16MC5	16MnCrS	16MnCr5	—
	527A60	48	—	5155	1.7176	55Cr3	55C3	—	—	SUP9(A)
	1717CD5110	—	2225	4130	1.7218	25CrMo4	25CD4	25CrMo4(KB)	55Cr3AM26CrMo4	SCM420;SCM430
	708A37	19B	2234	4137;4135	1.7220	34CrMo4	35CD4	35CrMo4	34CrMo4	SCM432;SCCRM3
	708M40	19A	2244	4140;4142	1.7223	41CrMo4	42CD4TS	41CrMo4	42CrMo4	SCM440
	708M40	19A	2244	4140	1.7225	42CrMo4	42CD4	42CrMo4	42CrMo4	SCM440(H)
	—	—	2216	—	1.7262	15CrMo5	12CD4	—	12CrMo4	SCM415(H)

ISO	Land									
	Großbritannien		Schweden	USA	Deutschland		Frankreich	Italien	Spanien	Japan
	Standard									
	BS	EN	SS	AISI/SAE	W.-nr.	DIN	AFNOR	UNI	UNE	JIS
P	Baustahl und Konstruktionsstahl									
	1501-620Gr27	—	—	ASTMA182 F11;F12	1.7335	13CrMo4 4	15CD3.5 15CD4.5	14CrMo45	14CrMo45	—
	722M24	408	2240	—	1.7361	32CrMo12	30CD12	32CrMo12	F124.A	—
	1501-622 Gr.31;45	—	2218	ASTMA182 F.22	1.7380	10CrMo9 10	12CD9, 10	12CrMo9, 10	TU.H	—
	1503-660-440	—	—	—	1.7715	14MoV6 3	—	—	13MoCrV6	—
	735A50	47	2230	6150	1.8159	50CrV4	50CV4	50CrV4	51CrV4	SUP10
	905M39	41B	2940	—	1.8509	41CrAlMo7	40CAD6, 12	41CrAlMo7	41CrAlMo7	—
	897M39	40C	—	—	1.8523	39CrMoV13 9	—	36CrMoV12	—	—
P	Werkzeugstähle									
	BL3	—	—	L3	1.2067	100Cr6	Y100C6	—	100Cr6	—
	BD3	—	—	D3	1.2080	X210Cr12	Z200C12	X210Cr13KU X250Cr12KU	X210Cr12	SKD1
	BH13	—	2242	H13	1.2344	X40CrMoV5 1	Z40CDVS	X33CrMoVO5KU X40CrMoV511KU	X40CrMoV5	SKD61
	BA2	—	2260	A2	1.2363	X100CrMoV5 1	Z100CDVS	X100CrMoV51KU	X100CrMoV5	SKD12
	—	—	2140	—	1.2419	105WCr6	105WC13	10WCr6 107WCr5KU	105WCr5	SKS31 SKS2, SKS3
	—	—	2312	—	1.2436	X210CrW12	—	X215CrW12 1KU	X210CrW12	SKD2
	BS1	—	2710	S1	1.2542	45WCrV7	—	45WCrV8KU	45WCrSi8	—
	8H21	—	—	H21	1.2581	X30WCrV9 3 X30WCrV9 3KU	Z30WCV9	X28W09KU X30WCrV9 3KU	X30WCrV9	SKD5
	—	—	2310	—	1.2601	X16SCrMoV 12	—	X165CrMoW12KU	X160CrMoV12	—
	401S45	52	—	HW3	1.4718	X45GrSi93	Z45CS9	X45GrSi8	F322	SUH1
	—	—	—	L6	1.2713	55NiCrMoV6	55NCDV7	—	F520.5	SKT4

Werkstoffvergleichstabelle für warmfeste und rostfreie Werkstoffe

ISO	Land									
	Großbritannien		Schweden	USA	Deutschland		Frankreich	Italien	Spanien	Japan
	Standard									
	BS	EN	SS	AISI/SAE	W.-nr.	DIN	AFNOR	UNI	UNE	JIS
M	Rostfreie und warmfeste Werkstoffe									
	403S17	—	2301	403	1.4000	X7Cr13	Z6C13	X6Cr13	F.3110	SU5403
					1.4001	X7Cr14	—	—	F.8401	—
	430S15	60	2320	430	1.4016	X8Cr17	Z8C17	X8Cr17	F.3113	SUS430
	410S21	56A	2302	410	1.4006	X10Cr13	Z10C14	X12Cr13	F.3401	SUS410
	430S17	60	2320	430	—	X8Cr17	Z8C17	X8Cr17	F.3113	SUS430
	420S45	56D	2304	—	1.4034	X46Cr13	Z40CM Z38C13M	X40Cr14	F.3405	SUS420J2
	405S17	—	—	405	1.4002	—	ZBCA12	X6CrA113	—	—
	420S37	—	2303	420	1.4021	—	Z20C13	X20Cr13	—	—
	431S29	57	2321	431	1.4057	X22CrNi17	Z15CNi6.02	X16CrNi16	F.3427	SUS431
	—	—	2383	430F	1.4104	X12CrMoS17	Z10CF17	X10CrSi17	F.3117	SUS430F
	434S17	—	2325	434	1.4113	X6CrMo17	ZBCD17.01	XBCrMo17	—	SUS434
	425C11	—	—	—	1.4313	X5CrNi13 4	Z4CND13.4M	—	—	SCS5
	403S17	—	—	405	1.4724	X10CrA113	Z10C13	X10CrA112	F.311	SUS405
	430S15	60	—	430	1.4742	X10CrA118	Z10CAS18	X8Cr17	F.3113	SUS430
	443S65	59	—	HNV6	1.4747	X80CrNiSi20	Z80CSN20.02	X80CrSiNi20	F.3208	SUH4
	—	—	2322	446	1.4762	X10CrA124	Z10CAS24	X16Cr26	—	SUH446
	349S54	—	—	EV8	1.4871	X53CrMnNiN21 9	Z52CMN21.09	X53CrMnNiN21 9	—	SUH35, SUH36
	—	—	—	630	1.4542/ 1.4548	—	Z7CNU17-04	—	—	—
	304S11	—	2352	304L	1.4306	—	Z2CN18-10	X2CrNi18 11	—	—

ISO	Land									
	Großbritannien		Schweden	USA	Deutschland		Frankreich	Italien	Spanien	Japan
	Standard									
BS	EN	SS	AISI/SAE	W.-nr.	DIN	AFNOR	UNI	UNE	JIS	
M	Rostfreie und warmfeste Werkstoffe									
304S31	58E	2332/ 2333	304	1.4350	X5CrNi189	Z6CN18.09	X5CrNi18 10	F.3551 F.3541 F.3504	SUS304	
303S21	58M	2346	303	1.4305	X12CrNiS18 8	Z10CNF 18.09	X10CrNiS 18.09	F.3558	SUS303	
304S15	58E	2332	304	1.4301	X5CrNi189	Z6CN18.09	X5CrNi18 10	F.3551	SUS304	
304C12	—	2333	—	—	—	Z3CN19.10	—	—	SUS304L	
304S12	—	2352	304L	1.4306	X2CrNi18 9	Z2CrNi18 10	X2CrNi18 11	F.3503	SCS19	
—	—	2331	301	1.4310	X12CrNi17 7	Z12CN17.07	X12CrNi17 07	F.3517	SUS301	
304S62	—	2371	304LN	1.4311	X2CrNi18 10	Z2CN18.10	—	—	SUS304LN	
316S16	58J	2347	316	1.4401	X5CrNiMo18 10	Z6CND17.11	X5CrNiMo17 12	F.3543	SUS316	
—	—	2375	316LN	1.4429	X2CrNiMoN18 13	Z2CND17.13	—	—	SUS316LN	
316S13	—	2348	316L	1.4404	—	Z2CND17-12	X2CrNiMo1712	—	—	
316S13	—	2353	316L	1.4435	X2CrNiMo18 12	Z2CND17.12	X2CrNiMo17 12	—	SCS16 SUS316L	
316S33	—	2343/ 2347	316	1.4436	—	Z6CND18-12-03	X8CrNiMo1713	—	—	
317S12	—	2367	317L	1.4438	X2CrNiMo18 16	Z2CND19.15	X2CrNiMo18 16	—	SUS317L	
—	—	—	S31500	1.4417	X2CrNiMoSi19 5	—	—	—	—	
—	—	2324	S32900	—	X8CrNiMo27 5	—	—	—	—	
—	—	2327	S32304	—	X2CrNiN23 4	Z2CN23-04AZ	—	—	—	
—	—	2328	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	2377	S31803	—	X2CrNiMoN22 53	Z2CND22-05-03	—	—	—	
321S12	58B	2337	321	1.4541	X10CrNiTi18 9	Z6CNT18.10	X6CrNiTi18 11	F.3553 F.3523	SUS321	
347S17	58F	2338	347	1.4550	X10CrNiNb18 9	Z6CNNb18.10	X6CrNiNb18 11	F.3552 F.3524	SUS347	
320S17	58J	2350	316Ti	1.4571	X10CrNiMoTi18 10	Z6NDT17.12	X6CrNiMoTi17 12	F.3535	—	
—	—	—	318	1.4583	X10CrNiMoNb 18 12	Z6CNDNb17 13B	X6CrNiMoNb17 13	—	—	
309S24	—	—	309	1.4828	X15CrNiSi20 12	Z15CNS20.12	—	—	SUH309	
310S24	—	2361	310S	1.4845	X12CrNi25 21	Z12CN25 20	X6CrNi25 20	F.331	SUH310	
316S111	—	—	17-7PH	1.4568/ 1.4504	—	Z8CNAI7-07	X2CrNiMo1712	—	—	
—	—	2584	N08028	1.4563	—	Z1NCDU31-27-03	—	—	—	
—	—	2378	S31254	—	—	Z1CNDU20-18-06AZ	—	—	—	
—	—	—	330	1.4864	X12NiCrSi36 16	Z12NCS35 16	—	—	SUH330	
330C11	—	—	—	1.4865	G-X40NiCrSi38 18	—	XG50NiCr39 19	—	SCH15	
—	—	—	5390A	2.4603	—	NC22FeD	—	—	—	
—	—	—	5666	2.4856	NiCr22Mo9Nb	NC22FeDNB	—	—	—	
HR5,203-4	—	—	—	2.4630	NiCr20Ti	NC20T	—	—	—	
—	—	—	5660	LW2.4662	NiFe35Cr14MoTi	ZSNCDT42	—	—	—	
3146-3	—	—	5391	LW2.4670	S-NiCr13A16MoNb	NCI2AD	—	—	—	
HR8	—	—	5383	LW2.4668	NiCr19Fe19NbMo	NC19eNB	—	—	—	
3072-76	—	—	4676	2.4375	NiCu30Al	—	—	—	—	
Hr401,601	—	—	—	2.4631	NiCr20TiAk	NC20TA	—	—	—	
—	—	—	AMS 5399	2.4973	NiCr19Co11MoTi	NC19KDT	—	—	—	
—	—	—	AMS 5544	LW2.4668	NiCr19Fe19NbMo	NC20K14	—	—	—	
—	—	—	AMS 5397	LW2.4674	NiCo15Cr10MoAlTi	—	—	—	—	
—	—	—	5537C	LW2.4964	CoCr20W15Ni	KC20WN	—	—	—	
—	—	—	AMS 5772	—	CoCr22W14Ni	KC22WN	—	—	—	
TA14/17	—	—	AMS R54520	—	TiAl5Sn2.S	T-A5E	—	—	—	
TA10- 13/TA2	—	—	AMS R56400	—	TiAl6V4	T-A6V	—	—	—	
TA11	—	—	AMS R56401	—	TiAl6V4ELI	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	TiAl4Mo4Sn4Si0.5	—	—	—	—	

Werkstoffvergleichstabelle für kurz spanende Werkstoffe

ISO	Land									
	Großbritannien		Schweden	USA	Deutschland		Frankreich	Italien	Spanien	Japan
K	Standard									
	BS	EN	SS	AISI/SAE	W.-nr.	DIN	AFNOR	UNI	UNE	JIS
Grauguss										
			ASTM A48-76							
		01 00								
		01 10	No 20 B		GG 10		Ft 10 D			
Grade 150		01 15	No 25 B		GG 15		Ft 15 D			
Grade 220		01 20	No 30 B		GG 20		Ft 20 D			
Grade 260		01 25	No 35 B		GG 25		Ft 25 D			
			No 40 B							
Grade 300		01 30	No 45 B		GG 30		Ft 30 D			
Grade 350		01 35	No 50 B		GG 35		Ft 35 D			
Grade 400		01 40	No 55 B		GG 40		Ft 40 D			
Kugelgraphitguss										
2789;1973			A536-72				NF A32-201			
SNG 420/12		07 17-02	60-40-18		GGG		FCS 400-12			
SNG 370/17		07 17-12	—		GGG 40.3		FGS 370-17			
—		07 17-15	—		GGG 35.3		—			
SNG 500/7		07 27-02	80-55-06		GGG 50		FGS 500-7			
SNG 600/3		07 32-03	—		GGG 60		FGS 600-3			
SNG 700/2		07 37-01	100-70-03		GGG 70		FGS 700-2			
Temperguss										
			ASTM A47-74 A 220-76 2							
8 290/6		08 14					MN 32-8			
B 340/12		08 15	32510		GTS-35		MN 35-10			
P 440/7		08 52	40010		GTS-45					
P 510/4		08 54	50005		GTS-55		MP 50-5			
P 570/3		08 58	70003		GTS-65		MP 60-3			
Aluminiumlegierungen, gegossen										
LM25		4244	356.1							
		4247	A413.0		GD-ALSi12					
LM24		4250	A380.1		GD-ALSiBCu3					
LM20		4260	A413.1		G-ALSi12(Cu)					
LM6		4261	A413.2		G-ALSi12					
LM9		4253	A360.2		G-ALSi10Mg(Cu)					