

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Größen, Einheiten, Toleranzen/Passungen, Werkstoffkennwerte</b> . . . . .	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
<b>2 Urformtechnik (Gießen, Sintern, Abscheiden)</b> . . . . .	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 (Galvanoformung) . . . . .	60
2.4.4 Urformen duro- und thermoplastischer Kunststoffe . . . . .	60
<b>3 Umformtechnik</b> . . . . .	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-)Stauchen . . . . .	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 -energiuumformung (Teilebearbeitung mit Schockwellen) . . . . .	108
<b>4 Trennen – Schneiden/Zerteilen, Spanen und Abtragen (Generieren)</b> . . . . .	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
<b>5 Fügetechnik – Übersichten zum Schweißen und Schneiden, Löten, Kleben und zu sonstigen Fügefahrten . . . . .</b>	<b>258</b>
5.1 Schweißen und Schneiden . . . . .	258
5.1.1 Schweißeignung, -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; Nahtwichtigkeit 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 . . . . .	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
<b>6 Beschichten – Herstellung fest haftender metallischer und nichtmetallischer Schichten . . . . .</b>	<b>315</b>
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
<b>7 Änderungen von Stoffeigenschaften – Härtens, Glühen, Vergüten . . . . .</b>	<b>324</b>
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	Härtan 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 Aufkühlungs- und Nitrierzeiten .....	333
7.5	Temperaturverläufe beim Abkühlen/Abschrecken .....	335
<b>8</b>	<b>Kalkulationen (Zeiten, Kosten, Preise, ...); Arbeitsstudien und Investitionsrechnungen .....</b>	<b>337</b>
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
<b>Anhang</b>	.....	<b>343</b>
<b>T 1 Allgemeine Übersichten</b>	.....	<b>343</b>
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	Wälzgerüststähle; 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
<b>T 2 Tabellen zur Urformtechnik</b>	.....	<b>361</b>
T 2.1	Spezielle Übersicht zur Gestaltung von Radien und Übergängen an Gussteilen .....	361
T 2.2	Empfehlungen für zulässige Maßabweichungen an Gießereimodellen .....	361
<b>T 3 Tafeln und Tabellen zur Umformtechnik</b>	.....	<b>362</b>
T 3.1	Formänderungsfestigkeiten und Fließkurven .....	362
T 3.1.1	Auswahl typischer Formänderungsfestigkeiten $k_f = f(\varphi)$ 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	Gewindefurchen 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 Gesenkweite in Abhängigkeit vom Biegehalbmesser .....	378
<b>T 4</b>	<b>Spanen (Schneiden/Zerteilen); Abtragen; Generieren .....</b>	<b>379</b>
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 Drahterdrieren (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
<b>T 5</b>	<b>Tabellen, Richtwerte und Empfehlungen zum Fügen von Bauteilen, Beschichten und Ändern von Stoffeigenschaften .....</b>	<b>447</b>
T 5.1	Übersichten zur Fügetechnik .....	447
T 5.2	Berechnungen und Empfehlungen für das Beschichten .....	462
T 5.3	Übersichten zur Stoffeigenschaftsänderung .....	463
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>465</b>	
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>468</b>	