

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                                    |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>Größen, Einheiten, Toleranzen/Passungen, Werkstoffkennwerte</b>                                 | <b>11</b>  |
| 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 30 910-1; DIN 1494-1)                          | 34         |
| 1.5      | Zielstellungen innerhalb der Fertigungstechnik                                                     | 35         |
| <b>2</b> | <b>Urformtechnik (Gießen, Sintern, Abscheiden)</b>                                                 | <b>37</b>  |
| 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</b> | <b>Umformtechnik</b>                                                                               | <b>63</b>  |
| 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        |
| <b>4</b> | <b>Trennen – Schneiden/Zerteilen, Spanen und Abtragen (Generieren)</b>                             | <b>112</b> |
| 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 Spannungswerkzeuge .....                                                                               | 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 Spannungsvorgängen und Maschinenauslastungen .....                                                                            | 254        |
| <b>5</b> | <b>Fügetechnik – Übersichten zum Schweißen und Schneiden, Löten, Kleben und zu sonstigen Fügeverfahren</b> .....                              | <b>258</b> |
| 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        |
| <b>6</b> | <b>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</b> | <b>Änderungen von Stoffeigenschaften – Härten, Glühen, Vergüten, Anlassen</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         | 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        |
| <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</b>    | <b>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     | 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        |
| <b>T 2</b>    | <b>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</b>    | <b>Tafeln und Tabellen zur Umformtechnik</b>                                                                                   | <b>362</b> |
| T 3.1         | Formänderungsfestigkeiten und Fließkurven                                                                                      | 362        |
| T 3.1.1       | Auswahl typischer Formänderungsfestigkeiten $k_{fl} = f(\varphi)$ 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 Fertigteildformen                                                                                         | 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        |
| <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 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$                                                                        | 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 <sub>3</sub> -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        |
| <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>469</b> |