

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>0</b> | <b>Allgemeines .....</b>                                          | <b>1</b>  |
| <b>1</b> | <b>Maß- und Toleranzanforderungen .....</b>                       | <b>5</b>  |
| 1.1      | Herstell- und Montierbarkeit .....                                | 5         |
| 1.2      | Qualitätsgerechte Gestaltung .....                                | 6         |
| 1.2.1    | Austauschgerechte Auslegung .....                                 | 6         |
| 1.2.2    | Solleigenschaften von Bauteilen .....                             | 7         |
| 1.2.3    | Qualitäts- und prozessfähige Toleranzen .....                     | 8         |
| 1.2.4    | Statistische Prozessregelung .....                                | 11        |
| 1.2.5    | Prüfanforderungen .....                                           | 12        |
| 1.3      | Kostenentwicklung .....                                           | 13        |
| 1.4      | Formteil-Qualität .....                                           | 16        |
| <b>2</b> | <b>Fertigungs- und anwendungsbedingte Maßungenaugkeiten .....</b> | <b>19</b> |
| <b>3</b> | <b>Eigenschaften von Kunststoffen .....</b>                       | <b>22</b> |
| <b>4</b> | <b>Maßabweichungen bei der Herstellung .....</b>                  | <b>32</b> |
| 4.1      | Maßbildung beim Urformen .....                                    | 32        |
| 4.2      | Erreichbare Genauigkeiten beim Pressen, Prägen und Gießen .....   | 34        |
| 4.3      | Allgemeintoleranzen und Urformen .....                            | 37        |
| 4.4      | Formteilstgestalt .....                                           | 37        |
| 4.5      | Erreichbare Genauigkeit beim Extrudieren .....                    | 38        |
| 4.6      | Maßbildung beim Umformen .....                                    | 39        |
| 4.7      | Maßbildung bei spanender Bearbeitung .....                        | 40        |
| <b>5</b> | <b>Maßtoleranzen für formgebende Werkzeuge .....</b>              | <b>44</b> |
| 5.1      | Toleranzzuordnung .....                                           | 44        |
| 5.2      | Abstimmungsprobleme .....                                         | 46        |
| <b>6</b> | <b>Fertigungs- und anwendungsbedingte Maßabweichungen .....</b>   | <b>51</b> |
| 6.1      | Maßbezugsebenen .....                                             | 51        |
| 6.2      | Toleranzabstimmung .....                                          | 56        |
| 6.3      | Passungen .....                                                   | 56        |
| 6.4      | Anwendungstoleranzen .....                                        | 57        |
| 6.4.1    | Kunststoff-Gleitlager .....                                       | 58        |
| 6.4.2    | Kunststoff-Zahnräder .....                                        | 60        |

|          |                                                            |            |
|----------|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>7</b> | <b>Maße und Toleranzen für Fertigteile aus Gummi .....</b> | <b>61</b>  |
| 7.1      | Herstelltoleranzen für Formteile .....                     | 61         |
| 7.1.1    | Toleranzklassen .....                                      | 61         |
| 7.1.2    | Grenzabmaße .....                                          | 63         |
| 7.2      | Herstelltoleranzen für Extrusionsteile .....               | 63         |
| 7.3      | Herstelltoleranzen für Kalandrierte Bahnen .....           | 64         |
| 7.4      | Herstellbare Form- und Lagetoleranzen .....                | 64         |
| 7.4.1    | Ebenheitstoleranz .....                                    | 64         |
| 7.4.2    | Parallelitätstoleranz .....                                | 65         |
| 7.4.3    | Rechtwinkligkeitstoleranz .....                            | 66         |
| 7.4.4    | Koaxialitätstoleranz .....                                 | 67         |
| 7.5      | Funktionstoleranzen .....                                  | 68         |
| <b>8</b> | <b>Geometrische Produktspezifizierung .....</b>            | <b>70</b>  |
| 8.1      | Entstehung von Maß- und Geometrieabweichungen .....        | 70         |
| 8.2      | Vereinbarungen zur Maßtolerierung .....                    | 71         |
| 8.3      | Theoretisch exaktes Maß .....                              | 72         |
| 8.4      | Geometrietoleranzen .....                                  | 73         |
| 8.5      | Minimum-Bedingung .....                                    | 75         |
| 8.6      | Stufenmaße .....                                           | 78         |
| 8.7      | Zeichnungseintragung .....                                 | 79         |
| 8.7.1    | Angabe von Maßen in einer Zeichnung .....                  | 79         |
| 8.7.2    | Beschreibung der Angaben am tolerierten Element .....      | 80         |
| 8.8      | Festlegung der Toleranzzone .....                          | 81         |
| 8.8.1    | Zuweisung der Toleranzzone .....                           | 81         |
| 8.8.2    | Gemeinsame Toleranzzone .....                              | 83         |
| 8.8.3    | Begrenzung der Toleranzzone .....                          | 84         |
| 8.8.4    | Projizierte Toleranzzone .....                             | 85         |
| 8.9      | Bildung von Bezügen .....                                  | 87         |
| 8.9.1    | Grundlagen .....                                           | 87         |
| 8.9.2    | Bezugselemente .....                                       | 88         |
| 8.9.2.1  | Kanten und Flächen .....                                   | 88         |
| 8.9.2.2  | Mittelachsen als Bezüge .....                              | 89         |
| 8.10     | Zeichnungseintragung von Bezügen .....                     | 90         |
| 8.10.1   | Mehrere Bezugselemente .....                               | 91         |
| 8.10.2   | Bezug aus mehreren Bezugsflächen .....                     | 93         |
| 8.10.3   | Bezugsstellenangaben .....                                 | 93         |
| 8.11     | Bildung von Bezugssystemen .....                           | 95         |
| 8.12     | Referenzen als Hilfsbezüge .....                           | 98         |
| <b>9</b> | <b>Tolerierungsprinzipien .....</b>                        | <b>100</b> |
| 9.1      | Anforderungen an Zeichnungen .....                         | 100        |
| 9.2      | Funktionsbeschreibung .....                                | 100        |
| 9.2.1    | Maximum-Material-Zustand/MMC .....                         | 101        |
| 9.2.2    | Maximum-Material-Maß .....                                 | 101        |

---

|           |                                                   |            |
|-----------|---------------------------------------------------|------------|
| 9.2.3     | Minimum-Material-Zustand/LMC .....                | 101        |
| 9.2.4     | Minimum-Material-Maß .....                        | 101        |
| 9.2.5     | Material-Bedingungen .....                        | 101        |
| 9.2.6     | Wirksames Maximum-Material-Maß .....              | 102        |
| 9.3       | Der Taylor'sche Prüfgrundsatz .....               | 102        |
| 9.4       | Unabhängigkeitsprinzip .....                      | 104        |
| 9.5       | Hüllprinzip .....                                 | 107        |
| 9.6       | Maximum-Material-Bedingung .....                  | 118        |
| 9.6.1     | Beschreibung der Maximum-Material-Bedingung ..... | 118        |
| 9.6.2     | Eingrenzung der Anwendung .....                   | 122        |
| 9.6.2.1   | Hüllbedingung .....                               | 123        |
| 9.6.2.2   | Wirkung der Hülle im Tolerierungsgrundsatz .....  | 124        |
| 9.6.3     | Prüfung der Maximum-Material-Bedingung .....      | 127        |
| 9.6.4     | Tolerierung mit dem Toleranzwert „0“ .....        | 129        |
| 9.6.5     | Festlegung von Prüflehren .....                   | 130        |
| 9.7       | Minimum-Material-Bedingung .....                  | 133        |
| 9.7.1     | Anwendung .....                                   | 136        |
| 9.8       | Reziprozitätsbedingung .....                      | 136        |
| 9.9       | Passungsfunktionalität .....                      | 139        |
| <b>10</b> | <b>Maß-, Form- und Lagetoleranzen .....</b>       | <b>142</b> |
| 10.1      | Bedeutung für die Herstellung .....               | 142        |
| 10.2      | Toleranzbegrenzungen .....                        | 142        |
| 10.3      | Angabe der Toleranzzonen .....                    | 142        |
| 10.4      | Formtoleranzen .....                              | 144        |
| 10.4.1    | Geradheit .....                                   | 144        |
| 10.4.2    | Ebenheit .....                                    | 146        |
| 10.4.3    | Rundheit .....                                    | 148        |
| 10.4.4    | Zylinderform .....                                | 150        |
| 10.5      | Profilformtoleranzen .....                        | 152        |
| 10.5.1    | Linienformprofil .....                            | 152        |
| 10.5.2    | Flächenformprofil .....                           | 154        |
| 10.6      | Lagetoleranzen .....                              | 156        |
| 10.6.1    | Richtungstoleranzen .....                         | 156        |
| 10.6.1.1  | Neigung .....                                     | 157        |
| 10.6.1.2  | Parallelität .....                                | 159        |
| 10.6.1.3  | Rechtwinkligkeit .....                            | 161        |
| 10.6.2    | Ortstoleranzen .....                              | 162        |
| 10.6.2.1  | Position .....                                    | 163        |
| 10.6.2.2  | Konzentrität bzw. Koaxialität .....               | 168        |
| 10.6.2.3  | Symmetrie .....                                   | 170        |
| 10.6.3    | Lauftoleranzen .....                              | 171        |
| 10.6.3.1  | Rundlauf .....                                    | 171        |
| 10.6.3.2  | Gesamtlauf .....                                  | 173        |
| 10.6.4    | Gewinde .....                                     | 174        |
| 10.6.5    | Freiformgeometrien .....                          | 175        |
| 10.7      | Tolerierung von Längenmaßen .....                 | 175        |

|                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>11 Toleranzverknüpfung durch Maßketten.....</b>                     | <b>185</b> |
| 11.1 Entstehung von Maßketten .....                                    | 185        |
| 11.2 Bedeutung des Schließmaßes und der Schließtoleranz.....           | 185        |
| 11.2.1 Vorgehen bei der Untersuchung von Toleranzketten .....          | 186        |
| 11.3 Berechnung von Toleranzketten .....                               | 186        |
| 11.3.1 Worst Case .....                                                | 186        |
| 11.3.2 Arithmetische Berechnung.....                                   | 187        |
| 11.3.3 Vorgehensweise .....                                            | 188        |
| 11.3.4 Bestimmung der Extremwerte von Kreisquerschnitten .....         | 192        |
| 11.3.5 Maßkette mit „ebenen“ Maßen .....                               | 193        |
| 11.4 Form- und Lagetoleranzen in Maßketten.....                        | 194        |
| 11.5 Statistische Tolerierung .....                                    | 198        |
| 11.5.1 Erweiterter Ansatz.....                                         | 198        |
| 11.5.2 Mathematische Grundlagen .....                                  | 199        |
| 11.5.2.1 Beispiel zur statistischen Tolerierung.....                   | 204        |
| <b>12 Interpretation und Festlegung Toleranzen .....</b>               | <b>211</b> |
| 12.1 Festlegung von Form- und Lagetoleranzen .....                     | 211        |
| 12.2 Interpretation von Toleranzen.....                                | 217        |
| <b>13 Temperaturabhängigkeit der geometrischen Eigenschaften .....</b> | <b>225</b> |
| 13.1 Wärmedehnung.....                                                 | 225        |
| 13.2 Übertragung auf Passmaße .....                                    | 226        |
| 13.3 Simulation an einer Spielpassung .....                            | 227        |
| 13.4 Grenztemperatur .....                                             | 230        |
| <b>14 Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit .....</b>         | <b>232</b> |
| 14.1 Technische Oberflächen .....                                      | 232        |
| 14.2 Herstellbare Oberflächenrauheiten .....                           | 234        |
| 14.3 Symbolik für die Oberflächenbeschaffenheit .....                  | 236        |
| 14.3.1 Oberflächencharakterisierung .....                              | 238        |
| 14.3.2 Filter und Übertragungscharakteristik .....                     | 241        |
| 14.3.3 Definition der Oberflächenkenngrößen .....                      | 243        |
| 14.3.4 Zeichnungsangaben für Oberflächen .....                         | 248        |
| 14.3.5 Zeichnungsangaben für Oberflächenrillen.....                    | 250        |
| <b>15 Unterschiede zwischen ISO und ASME .....</b>                     | <b>252</b> |
| 15.1 ASME-Standard.....                                                | 252        |
| 15.2 Symbole und Zeichen .....                                         | 252        |
| 15.2.1 Maßeintragung .....                                             | 252        |
| 15.2.2 Unterschied zwischen Millimeter und Inch-Bemaßung in ASME ..... | 253        |
| 15.2.3 Eintragung von Toleranzen.....                                  | 254        |
| 15.3 Besonderheiten der Maßangabe in ASME.....                         | 255        |
| 15.3.1 Radientolerierung.....                                          | 255        |
| 15.3.2 Begrenzende Toleranzangaben .....                               | 256        |
| 15.3.3 Darstellung von Bohrungen und Senkungen .....                   | 257        |

---

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| 15.3.4 Kennzeichnung statistischer Toleranzen.....           | 258        |
| 15.3.5 Tolerierung einer Tangentenebene.....                 | 258        |
| 15.4 Tolerierungsprinzipien.....                             | 259        |
| 15.4.1 Bedeutung .....                                       | 259        |
| 15.5 Definition der Materialprinzipien in ASME.....          | 261        |
| 15.5.1 Struktur der Toleranzprinzipien.....                  | 261        |
| 15.5.2 Unterschiede in der Begriffsdefinition.....           | 262        |
| 15.5.3 Anwendung einer Materialbedingung.....                | 263        |
| 15.6 Form- und Lagetoleranzen.....                           | 263        |
| 15.6.1 Ebenheitstolerierung bzw. Koplanarität.....           | 264        |
| 15.6.2 Profil- und Positionstolerierung.....                 | 265        |
| 15.6.3 Mehrfachtoleranzrahmen .....                          | 265        |
| 15.6.4 Profiltoleranzen.....                                 | 269        |
| <b>16 Prozessspezifikationen der Urformtechnik.....</b>      | <b>272</b> |
| 16.1 Technologische Restriktionen.....                       | 272        |
| 16.2 Teilungsebene und Auswerfer .....                       | 272        |
| 16.3 Werkzeugspuren .....                                    | 273        |
| 16.4 Versatz .....                                           | 274        |
| 16.5 Gratrippe .....                                         | 276        |
| 16.6 Formschrägen.....                                       | 277        |
| 16.7 Maßanalyse .....                                        | 282        |
| <b>17 Geometrische Produktspezifikation/GPS.....</b>         | <b>283</b> |
| 17.1 Konzeption.....                                         | 283        |
| 17.2 Normenkette.....                                        | 285        |
| <b>18 Erfahrungswerte für Form- und Lagetoleranzen .....</b> | <b>288</b> |
| <b>19 Übungen zur Zeichnungseintragung .....</b>             | <b>290</b> |
| 19.1 Form- und Lagetoleranzen in Zeichnungen.....            | 290        |
| 19.2 Eintragung von Formtoleranzen .....                     | 290        |
| 19.3 Eintragung von Profiltoleranzen .....                   | 293        |
| 19.4 Eintragung von Lagetoleranzen.....                      | 295        |
| 19.4.1 Richtungstoleranzen.....                              | 295        |
| 19.4.2 Ortstoleranzen .....                                  | 299        |
| 19.5 Eintragung von Bezügen.....                             | 301        |
| 19.6 Oberflächensymbole in technischen Zeichnungen .....     | 307        |
| <b>20 Normgerechte Anwendungsbeispiele.....</b>              | <b>314</b> |
| <b>21 Fallbeispiele.....</b>                                 | <b>328</b> |
| <b>22 Literaturverzeichnis .....</b>                         | <b>347</b> |
| <b>23 Sachwortverzeichnis.....</b>                           | <b>350</b> |