EUROPA-FACHBUCHREIHE
für metalltechnische Berufe

Josef Dillinger
Hans-Dieter Dobler
Werner Doll
Walter Escherich
Werner Günter
Max Heinzler
Dr. Eckhard Ignatowitz
Stefan Oesterle
Ludwig Reißler
Andreas Stephan
Reinhard Vetter

Metalltechnik Fachbildung

5., neu bearbeitete Auflage

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

Europa-Nr.: 11419

Autoren:

Dillinger, Josef	Studiendirektor	München
Dobler, Hans-Dieter	Dipl.-Ing. (FH)	Reutlingen
Doll, Werner	Dipl.-Gwl.	Bruchsal
Escherich, Walter	Studiendirektor	München
Günter, Werner	Dipl.-Ing. (FH)	Oberwolfach
Heinzler, Max	Dipl.-Ing. (FH)	Wangen im Allgäu
Ignatowitz, Dr. Eckhard	Dr.-Ing.	Waldbronn
Oesterle, Stefan	Dipl.-Ing.	Amtzell
Reißler, Ludwig	Studiendirektor	München
Stephan, Andreas	Dipl.-Ing. (FH)	Kressbronn
Vetter, Reinhard	Studiendirektor	Ottobeuren

Die Autoren sind Fachlehrer der technischen Ausbildung und Ingenieure.

Lektorat: Josef Dillinger
Bildentwürfe: Die Autoren
Fotos: Leihgaben der Firmen (Verzeichnis Seite 459)
Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Leinfelden-Echterdingen

Das vorliegende Buch wurde auf der **Grundlage der neuen amtlichen Rechtschreibregeln** erstellt.

5. Auflage 2008
Druck 5 4 3 2 1
Alle Drucke derselben Auflage sind im Unterricht nebeneinander einsetzbar, da sie bis auf korrigierte Druckfehler und kleine Änderungen, z.B. aufgrund neuer Normen, identisch sind.

ISBN 978-3-8085-1148-0

Umschlaggestaltung unter Verwendung eines Fotos der Firma Mikron AG, CH-Biel

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

© 2008 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
http://www.europa-lehrmittel.de
Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Druck: Media-Print Informationstechnologie, 33100 Paderborn

Vorwort zur 5. Auflage

Die METALLTECHNIK FACHBILDUNG baut auf der „Metalltechnik Grundbildung“ auf und eignet sich für die Ausbildung und Weiterbildung in allen Berufen des Maschinenbaus.

Inhalt

Der Inhalt des Buches ist in die rechts angegebenen sieben Hauptkapitel gegliedert.

Entsprechend der Entwicklung im Technischen Bereich und den KMK-Lehrplänen für Berufsschulen wurden die Kapitel Qualitätsmanagement und Instandhaltung erheblich erweitert.

Methodische Konzeption

Ziel des Buches ist es, den Benutzern die Inhalte übersichtlich und einprägsam zu vermitteln. Dazu dient der konsequente zweispaltige Aufbau der Seiten mit dem Text in der linken und den erläuternden Bildern in der rechten Spalte. Bei den Bildern werden Zeichnungen anstelle von Fotografien verwendet, wenn damit das Wesentliche besser dargestellt werden kann.

Das **Sachwortverzeichnis** enthält die technischen Fachbegriffe auch in **englischer** Sprache.

Unterricht nach Lernfeldern

Die lernfeldorientierten Rahmenlehrpläne erfordern handlungsorientierte Unterrichtsformen, durch die der Lernende das erworbene Wissen in die betriebliche Praxis übertragen kann (S. 448). Diese Fähigkeit kann im Unterricht oft durch Wahl geeigneter Lernprojekte und Lernsituationen erreicht werden.

Obwohl jede Schule eigene Lernprojekte benutzt und Lernfelder dem Leistungsvermögen einer Klasse angepasst werden müssen, wird für vier Lernfelder der Fachstufe je ein Leitprojekt mit einem Vorschlag für die Umsetzung (S. 449 bis 456) und für weitere fünf Lernfelder eine inhaltliche Kurzfassung (S. 457 und 458) angeboten.

Die dargestellten fachlichen Inhalte sollten aber noch durch wirtschaftliche, ökologische und sicherheitstechnische Aspekte sowie durch Präsentations- und englischsprachige Übungen ergänzt werden.

Die Autoren und der Verlag sind allen Benutzern der METALLTECHNIK FACHBILDUNG für kritische Hinweise und für Verbesserungsvorschläge dankbar.

Sommer 2008 Die Verfasser

1 Längenprüftechnik
2 Qualitätsmanagement
7 ... 76

3 Fertigungstechnik
77 ... 186

4 Werkstofftechnik
187 ... 264

5 Maschinen- und Gerätetechnik
265 ... 367

6 Automatisierungstechnik
368 ... 439

7 Elektrotechnik
440 ... 447

1 Längenprüftechnik 7

1.1 Grundlagen der Messtechnik ... 8
1.1.1 Grundbegriffe ... 8
1.1.2 Messabweichungen ... 11
1.1.3 Messmittelfähigkeit ... 14
1.2 Längenprüfmittel ... 16
1.2.1 Maßstäbe, Lehren und Endmaße ... 16
1.2.2 Mechanische Messgeräte ... 19
1.2.3 Pneumatische Messgeräte ... 25
1.2.4 Elektronische Messgeräte ... 27
1.2.5 Optoelektronische Messgeräte ... 28
1.2.6 Multisensortechnik in Koordinatenmessgeräten ... 30
1.3 Oberflächenprüfung ... 32
1.3.1 Oberflächenprofile ... 32
1.3.2 Kenngrößen von Oberflächen ... 33
1.3.3 Oberflächen-Prüfverfahren ... 34
1.4 Toleranzen und Passungen ... 36
1.4.1 Toleranzen ... 36
1.4.2 Passungen ... 40
1.5 Form- und Lageprüfung ... 44
1.5.1 Form- und Lagetoleranzen ... 44
1.5.2 Prüfung ebener Flächen und Winkel ... 46
1.5.3 Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung ... 49
1.5.4 Gewindeprüfung ... 54
1.5.5 Kegelprüfung ... 56

2 Qualitätsmanagement 57

2.1 Arbeitsbereiche und Begriffe des QM ... 57
2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000 ... 58
2.3 Qualitätsanforderungen ... 58
2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler ... 59
2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements ... 60
2.6 Qualitätslenkung ... 63
2.7 Qualitätsprüfung ... 64
2.7.1 Prüfplanung ... 64
2.7.2 Wahrscheinlichkeit ... 64
2.7.3 Die Normalverteilung von Merkmalswerten ... 65
2.7.4 Mischverteilung von Merkmalswerten ... 65
2.7.5 Kennwerte der Normalverteilung von Stichproben ... 66
2.7.6 Qualitätsprüfung nach dem Stichprobenverfahren ... 67
2.8 Maschinenfähigkeit ... 68
2.9 Prozessfähigkeit ... 71
2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten ... 72
2.11 Auditierung und Zertifizierung ... 75
2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse ... 76

3 Fertigungstechnik 77

3.1 Umformen ... 78
3.1.1 Biegeumformen ... 78
3.1.2 Zugdruckumformen ... 81
3.1.3 Druckumformen ... 85
3.1.4 Umformmaschinen ... 87
3.2 Schneiden ... 88
3.2.1 Scherschneiden ... 88
Schneiden mit Scheren ... 88
Schneiden mit Schneidwerkzeugen ... 89
3.2.2 Strahlschneiden ... 93
Thermisches Schneiden ... 93
Wasserstrahlschneiden ... 96
3.3 Spanende Fertigung ... 97
3.3.1 Grundlagen ... 97
Schneidstoffe ... 97
Kühlschmierstoffe ... 100
3.3.2 Bohren ... 103
3.3.3 Drehen ... 107
Schneidengeometrie ... 107
Spanbildung ... 109
Verschleiß und Standzeit ... 110
Drehwerkzeuge ... 112
Drehverfahren ... 115
Hartdrehen ... 117
Werkzeug- und Werkstück- Spannsysteme ... 118
CNC-Drehmaschinen ... 120
3.3.4 Fräsen ... 121
Zerspangrößen ... 121
Fräswerkzeuge ... 123
Fräserraufnahmen ... 126
Fräsverfahren ... 127
HSC-Fräsen ... 133
Fräsmaschinen ... 135
Laserbearbeitung ... 137
3.3.5 Schleifen ... 138
Schleifkörper ... 138
Einflüsse auf das Schleifergebnis ... 142
Schleifverfahren ... 144
3.3.6 Feinbearbeitung ... 150
Honen ... 151
Läppen ... 153
3.3.7 Funkenerosives Abtragen ... 156
Funkenerosives Senken ... 156
Funkenerosives Schneiden ... 159
3.4 Vorrichtungen und Spannelemente ... 160
3.5 Fügen ... 167
3.5.1 Übersicht über die Fügeverfahren ... 167
3.5.2 Schweißen ... 170
3.6 Beschichten ... 183
3.6.1 Beschichten mit Lacken und Kunststoffen ... 183
3.6.2 Beschichten mit Metallen ... 185
3.6.3 Beschichtungen mit besonderen Eigenschaften ... 186

4 Werkstofftechnik 187

4.1 Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe 188
4.2 Innerer Aufbau der Metalle 190
4.2.1 Innerer Aufbau und Eigenschaften 190
4.2.2 Kristallgittertypen der Metalle 191
4.2.3 Baufehler im Kristall 192
4.2.4 Entstehung des Metallgefüges 192
4.2.5 Gefügearten und Werkstoffeigenschaften ... 193
4.2.6 Gefüge reiner Metalle und Legierungen 194
4.3 Stähle 195
4.3.1 Bezeichnungssystem 195
4.3.2 Einteilung der Stähle 199
4.3.3 Verwendung der Stähle 200
4.4 Eisen-Gusswerkstoffe 202
4.5 Nichteisenmetalle 206
4.5.1 Leichtmetalle 206
4.5.2 Schwermetalle 206
4.6 Sinterwerkstoffe 211
4.7 Keramische Werkstoffe 213
4.8 Wärmebehandlung der Stähle 215
4.8.1 Gefügearten der Eisenwerkstoffe 215
4.8.2 Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm 216
4.8.3 Gefüge und Kristallgitter bei Erwärmung 217
4.8.4 Glühen 218
4.8.5 Härten 219
4.8.6 Vergüten 223
4.8.7 Härten der Randzone 224
4.8.8 Fertigungsbeispiel: Spannpratze 227
4.9 Werkstoffprüfung 228
4.9.1 Prüfung der Verarbeitungseigenschaften 228
4.9.2 Prüfung mechanischer Eigenschaften 229
4.9.3 Kerbschlagbiegeversuch 231
4.9.4 Härteprüfungen 232
4.9.5 Dauerfestigkeitsprüfung 236
4.9.6 Bauteil-Betriebslasten-Prüfung 237
4.9.7 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen 237
4.9.8 Metallografische Untersuchungen 238
4.10 Korrosion und Korrosionsschutz 239
4.10.1 Ursachen der Korrosion 239
4.10.2 Korrosionsarten und ihr Erscheinungsbild .. 241
4.10.3 Korrosionsschutz-Maßnahmen 242
4.11 Kunststoffe 245
4.11.1 Eigenschaften und Verwendung 245
4.11.2 Chemische Zusammensetzung und Herstellung 246
4.11.3 Technologische Einteilung und innere Struktur 247
4.11.4 Thermoplaste 248
4.11.5 Duroplaste 250
4.11.6 Elastomere 251
4.11.7 Prüfung der Kunststoff-Kennwerte 252
4.11.8 Kennwerte wichtiger Kunststoffe 253
4.11.9 Formgebung der Kunststoffe 254
4.11.10 Weiterverarbeitung der Kunststoffe 259
4.12 Verbundwerkstoffe 261
4.12.1 Innerer Aufbau 261
4.12.2 Faserverstärkte Kunststoffe 262
4.12.3 Teilchenverstärkte Verbundwerkstoffe 263
4.12.4 Schicht- und Strukturverbände 264

5 Maschinen- und Gerätetechnik 265

5.1 Aufbau von Maschinen 265
5.1.1 Funktionseinheiten 266
5.1.2 Sicherheitseinrichtungen von Maschinen .. 269
5.2 Fertigungseinrichtungen 271
5.2.1 Handhabungseinrichtungen 271
5.2.2 Flexible Fertigungseinrichtungen 275
5.3 Inbetriebnahme 281
5.3.1 Aufstellen von Maschinen 282
5.3.2 Inbetriebnahme von Maschinen oder Anlagen 283
5.3.3 Abnahme von Maschinen oder Anlagen ... 284
5.4 Funktionseinheiten zum Verbinden 286
5.4.1 Schraubenverbindungen 286
5.4.2 Welle-Nabe-Verbindungen 290
5.5 Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen 294
5.5.1 Reibung und Schmierstoffe 294
5.5.2 Lager 297
5.5.3 Führungen 306
5.5.4 Federn 309
5.5.5 Dichtungen 311
5.6 Funktionseinheiten zur Energieübertragung . 313
5.6.1 Wellen und Achsen 313
5.6.2 Kupplungen 315
5.6.3 Riementriebe 320
5.6.4 Kettentriebe 322
5.6.5 Zahnradtriebe 324
5.7 Antriebseinheiten 327
5.7.1 Elektromotore 327
5.7.2 Getriebe 334
5.7.3 Linearantriebe 340
5.8 Montagetechnik 342
5.8.1 Montageplanung 342
5.8.2 Organisationsformen bei der Montage 343
5.8.3 Automatisierung der Montage 343
5.8.4 Montagebeispiele 344
5.9 Instandhaltung 350
5.9.1 Tätigkeitsgebiete und Definitionen 350
5.9.2 Begriffe der Instandhaltung 351
5.9.3 Ziele der Instandhaltung 352
5.9.4 Instandhaltungskonzepte 352
5.9.5 Wartung 355
5.9.6 Inspektion 358
5.9.7 Instandsetzung 360
5.9.8 Verbesserung 362
5.9.9 Auffinden von Störstellen und Fehlerquellen 363
5.10 Schadensanalyse und Schadensvermeidung 364
5.11 Beanspruchung auf Festigkeit 366

6 Automatisierungstechnik 368

6.1 Steuern und Regeln 369
6.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik 369
6.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik 371

6.2 Pneumatische Steuerungen 375
6.2.1 Baugruppen 375
6.2.2 Bauelemente 376
Druckluftanlage 376
Arbeitselemente 377
Ventile 380
Eigenschaften der Pneumatik 383
6.2.3 Schaltpläne 384
6.2.4 Pneumatischer Steuerungen 385
6.2.5 Elektropneumatische Steuerungen 387

6.3 Hydraulische Steuerungen 389
6.3.1 Bauelemente 389
Hydraulikflüssigkeiten 389
Hydraulikpumpen 390
Arbeitselemente 391
Ventile 393
Hydraulikleitungen 396
6.3.2 Elektrohydraulische Steuerungen 397

6.4 Elektrische Steuerungen 400
6.4.1 Aufbau 400
6.4.2 Elektrische Schaltgeräte 400
6.4.3 Elektrische Kontaktsteuerungen 401

6.5 Speicherprogrammierbare Steuerungen . . 404
6.5.1 Aufbau einer SPS 404
6.5.2 Arbeitsweise einer SPS 405
6.5.3 Programmieren einer SPS 406
Grundlegende Operationen 407
Programmieren einer Verknüpfungssteuerung 408
Programmieren einer Ablaufsteuerung 410

6.6 CNC-Steuerungen 412
6.6.1 Merkmale numerisch gesteuerter Maschinen 412
6.6.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte 416
6.6.3 Steuerungsarten, Korrekturen 418
6.6.4 Erstellen von CNC-Programmen 421
6.6.5 Zyklen und Unterprogramme 426
6.6.6 Programmieren von NC-Drehmaschinen . . . 427
6.6.7 Programmieren von NC-Fräsmaschinen . . . 434
6.6.8 Programmierverfahren 438

7 Elektrotechnik 440

7.1 Stromarten 441

7.2 Elektrische Arbeit und Leistung 442

7.3 Überstrom-Schutzeinrichtungen 443

7.4 Fehler an elektrischen Anlagen und Schutzmaßnahmen 444
7.4.1 Wirkungen des elektrischen Stromes im menschlichen Körper 444
7.4.2 Fehler an elektrischen Anlagen 444
7.4.3 Schutzmaßnahmen 445
7.4.4 Schutzarten, Schutzklassen 446

7.4.5 Hinweise für den Umgang mit Elektrogeräten 447

Lernfelder 448

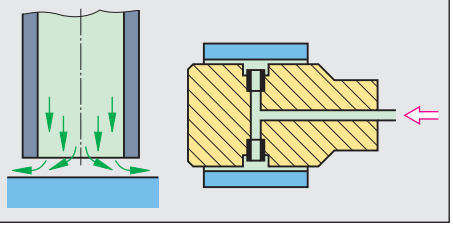
Ziele und Merkmale 448
Lernfeld 7: Montieren von technischen Teilsystemen 449
Lernfeld 8: Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen 451
Lernfeld 10: Herstellen und Inbetriebnahme von technischen Teilsystemen 453
Lernfeld 11: Überwachen der Produkt- und Prozessqualität 455
Lernfeld 5: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen (Kurzfassung) 457
Lernfeld 6: Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme (Kurzfassung) 457
Lernfeld 9: Instandsetzen von technischen Systemen (Kurzfassung) 457
Lernfeld 12: Instandhalten von technischen Systemen (Kurzfassung) 458
Lernfeld 13: Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme (Kurzfassung) 458

Firmenverzeichnis 459

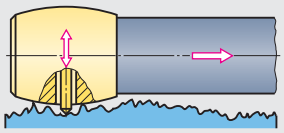
Sachwortverzeichnis 462

1.1 Grundlagen der Messtechnik 8
Grundbegriffe 8
Messabweichungen 11
Messmittelfähigkeit, Prüfmittelüberwachung . 14

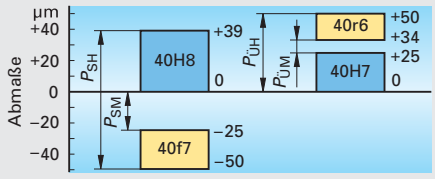
1.2 Längenprüfmittel 16
Maßstäbe, Lehren und Endmaße 16
Mechanische und elektronische Messgeräte . 19
Pneumatische Messgeräte 25
Elektronische Messgeräte 27
Optoelektronische Messgeräte 28
Multisensorik in Koordinatenmessmaschinen 30



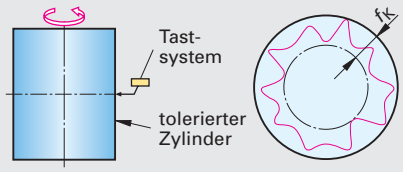
1.3 Oberflächenprüfung 32
Oberflächenprofile 32
Kenngrößen von Oberflächen 33
Oberflächen-Prüfverfahren 34



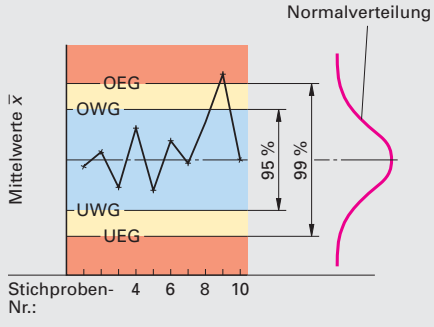
1.4 Toleranzen und Passungen 36
Toleranzen 36
Passungen 40



1.5 Form- und Lageprüfung 44
Form- und Lagetoleranzen 44
Prüfung ebener Flächen und Winkel 46
Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung 49
Gewindeprüfung 54
Kegelprüfung 56



2.1 Arbeitsbereiche und Begriffe des QM 57
2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000 58
2.3 Qualitätsanforderungen 58
2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler 59
2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements 60
2.6 Qualitätslenkung 63
2.7 Qualitätsprüfung 64
2.8 Maschinenfähigkeit 68
2.9 Prozessfähigkeit 71
2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten 72
2.11 Auditierung und Zertifizierung 75
2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse 76



1 Längenprüftechnik

1.1 Grundlagen der Messtechnik

1.1.1 Grundbegriffe

Beim Prüfen werden vorhandene Merkmale von Produkten wie Maß, Form oder Oberflächengüte mit den geforderten Eigenschaften verglichen.

Durch Prüfen wird an einem Prüfgegenstand festgestellt, ob er die geforderten Merkmale aufweist, z. B. Maße, Form oder Oberflächengüte.

Prüfarten

Subjektives Prüfen erfolgt über die Sinneswahrnehmung des Prüfers ohne Hilfsgeräte **(Bild 1).** Er stellt z. B. fest, ob die Gratbildung und Rautiefe am Werkstück zulässig sind (Sicht- und Tastprüfung).

Objektives Prüfen erfolgt mit Prüfmitteln, d. h. mit Messgeräten und Lehren **(Bild 2).**

Messen ist das Vergleichen einer Länge oder eines Winkels mit einem Messgerät. Das Ergebnis ist ein Messwert.

Lehren ist Vergleichen des Prüfgegenstandes mit einer Lehre. Man erhält dabei keinen Zahlenwert, sondern stellt nur fest, ob der Prüfgegenstand Gut oder Ausschuss ist.

Prüfmittel

Die Prüfmittel werden in drei Gruppen unterteilt: **Messgeräte, Lehren und Hilfsmittel.**

Alle Messgeräte und Lehren bauen auf **Maßverkörperungen** auf. Sie verkörpern die Messgröße z. B. durch den Abstand von Strichen (Strichmaß), durch den festen Abstand von Flächen (Endmaß, Lehre) oder durch die Winkellage von Flächen (Winkelendmaß).

Anzeigende Messgeräte besitzen bewegliche Marken (Zeiger, Noniusstrich), bewegliche Skalen oder Zählwerke. Der Messwert kann unmittelbar abgelesen werden.

Lehren verkörpern entweder das Maß oder das Maß **und** die Form des Prüfgegenstandes.

Hilfsmittel sind z. B. Messständer und Prismen.

Messtechnische Begriffe

Um Missverständnisse bei der Beschreibung von Messvorgängen oder Auswerteverfahren zu vermeiden, sind eindeutige Grundbegriffe unerlässlich **(Tabellen Seite 9** und **10).**

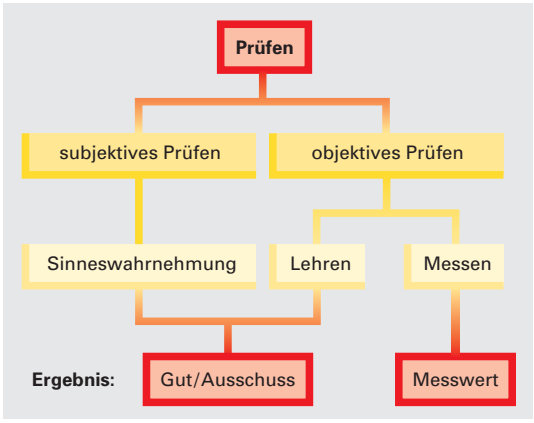


Bild 1: Prüfarten und Prüfergebnis

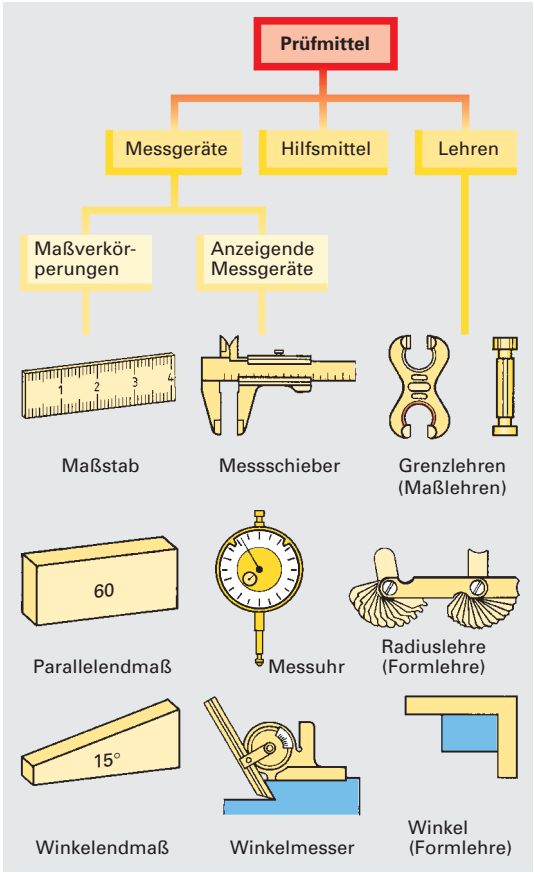


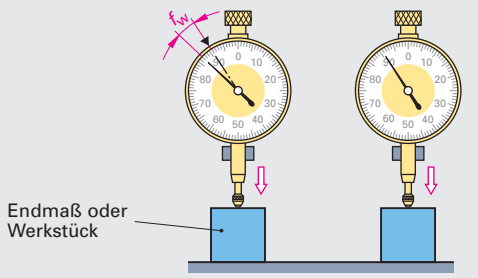
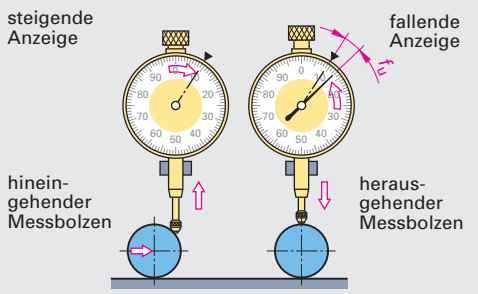
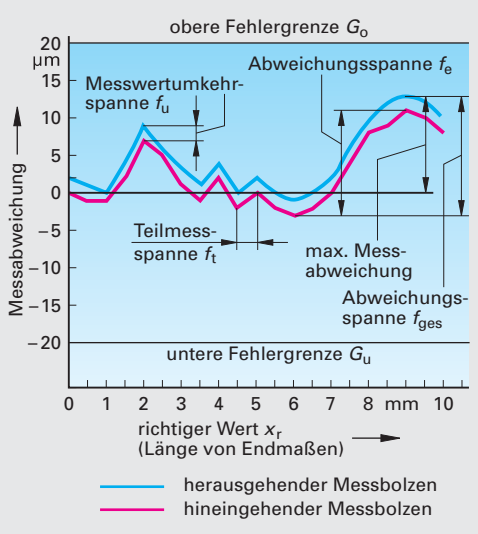
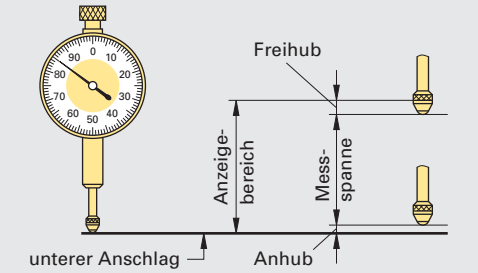
Bild 2: Prüfmittel

Tabelle 1: Messtechnische Begriffe

Begriff	Kurzzeichen	Definition, Erklärung	Beispiel, Formeln
Messgröße	***M***	Die zu messende Länge bzw. der zu messende Winkel, z. B. ein Bohrungsabstand oder ein Durchmesser	
Anzeige	**–**	Der angezeigte Zahlenwert des Messwertes ohne Einheit (vom Messbereich abhängig). Bei Maßverkörperungen entspricht die Aufschrift der Anzeige.	Skalenanzeige *Skw* = 0,01mm Ziffernanzeige *Zw* = 0,01mm
Skalenanzeige	**–**	Kontinuierliche Anzeige auf einer Strichskale	
Ziffernanzeige	**–**	Digitale Anzeige auf einer Ziffernskale	
Skalenteilungswert*	***Skw*** **oder** ⊣⋈⊢	Differenz zwischen den Messwerten, die zwei aufeinander folgenden Teilstrichen entsprechen. Der Skalenteilungswert Skw wird in der auf Skale stehenden Einheit angegeben.	
Ziffernschrittwert	***Zw***	Der Ziffernschrittwert entspricht dem Skalenteilungswert einer Strichskale.	
Angezeigter Messwert	x_a $x_1, x_2 \ldots$	Einzelne Messwerte oder Mittelwerte setzen sich aus dem richtigen Wert und den zufälligen sowie systematischen Messabweichungen zusammen.	
Mittelwert	$\bar{x}$	Der Mittelwert ergibt sich in der Regel aus fünf Wiederholungsmessungen.	
Wahrer Wert	x_w	Den wahren Wert würde man nur bei einer idealen Messung erhalten. Der wahre Wert x_w ist ein aus vielen Wiederholungsmessungen ermittelter und um die bekannten systematischen Abweichungen korrigierter „Schätzwert“.	
Richtiger Wert	x_r	Der richtige Wert x_r wird bei Maßverkörperungen durch Kalibrierung ermittelt. Er weicht meist vernachlässigbar vom wahren Wert ab. Bei einer Vergleichsmessung, z. B. mit einem Endmaß, kann dessen Maß als richtiger Wert angesehen werden.	
Unberichtigtes Messergebnis	x_a $x_1, x_2 \ldots$ $\bar{x}$	Gemessener Wert einer Messgröße, z. B. ein unkorrigierter Einzelmesswert oder ein durch Wiederholungsmessungen ermittelter Messwert, der um die systematischen Abweichungen A_s korrigiert wurde. In der Fertigungstechnik werden aufgrund bekannter Abweichungen aus früheren Messreihen oder von Fähigkeitsuntersuchungen überwiegend einmalige Messungen durchgeführt. Das Messergebnis bleibt bei Einzelmessungen durch die zufälligen sowie durch die unbekannten systematischen Messabweichungen unsicher.	
Systematische Messabweichung	A_s	Die Messabweichung ergibt sich durch Vergleich des angezeigten Messwertes x_a oder des Mittelwertes $\bar{x}_a$ mit dem richtigen Wert x_r (Seite 15).	$A_s = x_a - x_r$ $(A_s = \bar{x}_a - x_r)$
Korrektionswert	K	Ausgleich von bekannten, systematischen Abweichungen, z. B. Abweichung der Temperatur	$K = -A_s$ $(K = K_1 + K_2 \ldots + K_n)$
Messunsicherheit*	u	Die Messunsicherheit beinhaltet alle zufälligen Abweichungen sowie die unbekannten und nicht korrigierten Messabweichungen.	
Kombinierte Standardunsicherheit	u_c	Gesamtwirkung vieler Unsicherheitsanteile an der Streuung von Messwerten, z. B. durch Temperatur, Messeinrichtung, Prüfer und Messverfahren.	$u_c = \sqrt{u^2_{x1} + u^2_{x2} + \ldots u^2_{xn}}$
Erweiterte Messunsicherheit	U	Die erweiterte Unsicherheit gibt den Bereich $y - U$ bis $y + U$ um das Messergebnis an, in dem der „wahre Wert“ einer Messgröße erwartet wird.	$U = 2 \cdot u_c$ (Faktor 2 für Vertrauensniveau 95%)
Berichtigtes Messergebnis	y	Messwert, korrigiert um bekannte systematische Messabweichungen (K – Korrektion)	$y = x + K$ $(y = \bar{x} + K)$
Vollständiges Messergebnis	Y	Das Messergebnis Y ist der wahre Wert für die Messgröße M. Es schließt die erweiterte Messunsicherheit U ein.	$Y = y \pm U$ $(y = \bar{x} + K \pm U)$

* Merkmale von Messgeräten, die in Katalogen angegeben werden.

Tabelle 1: Messtechnische Begriffe

Begriff	Kurzzeichen	Definition, Erklärung	Beispiel
Wiederholpräzision*	f_W	Wiederholpräzision ist die Fähigkeit eines Messgerätes, bei meist 5 Messungen derselben Messgröße in gleicher Messrichtung unter denselben Messbedingungen nahe beieinander liegende Anzeigen zu erreichen. Je kleiner die Streuung ist, umso „präziser“ arbeitet das Messverfahren.	
Wiederholgrenze* (Wiederholbarkeit)	r	Die Wiederholgrenze ist der Differenzbetrag für zwei einzelne Messwerte bei einer Wahrscheinlichkeit von 95%.	
Messwertumkehrspanne*	f_u	Die Messwertumkehrspanne eines Messgerätes ist der Unterschied der Anzeige für dieselbe Messgröße, wenn einmal bei steigender Anzeige (bei hineingehenden Messbolzen) und einmal bei fallender Anzeige (bei herausgehenden Messbolzen) gemessen wird. Die Messwertumkehrspanne kann durch einzelne Messungen bei beliebigen Werten innerhalb des Messbereiches bestimmt oder aus dem Abweichungsdiagramm entnommen werden.	
Abweichungsspanne*	f_e	Die Abweichungsspanne f_e ist die Differenz zwischen der größten und kleinsten Messabweichung im gesamten Messbereich. Sie wird bei Messuhren und Feinzeigern bei hineingehendem Messbolzen ermittelt.	
Gesamtabweichungsspanne	f_{ges}	Die Gesamtabweichungsspanne f_{ges} von Messuhren wird durch Messungen im ganzen Messbereich mit hinein- und herausgehendem Messbolzen ermittelt.	
Fehlergrenze*	G	Fehlergrenzen sind vereinbarte oder vom Hersteller angegebene Abweichungsgrenzbeträge für Messabweichungen eines Messgerätes. Werden diese Beträge überschritten, sind die Abweichungen Fehler. Wenn die obere und untere Grenzabweichung gleich groß sind, gilt der angegebene Wert für jeden der beiden Grenzabweichungen, z. B. $G_o = G_u = 20$ µm	
Messbereich*	Meb	Der Messbereich ist der Bereich von Messwerten, in dem die Fehlergrenzen des Messgerätes nicht überschritten werden.	
Messspanne	Mes	Die Messspanne ist die Differenz zwischen Endwert und Anfangswert des Messbereiches.	
Anzeigebereich	Az	Der Anzeigebereich ist der Bereich zwischen der größten und der kleinsten Anzeige.	

* Merkmale von Messgeräten, die in Katalogen angegeben werden.

1.1.2 Messabweichungen

Ursachen von Messabweichungen
(Tabelle 1, Seite 12)

Die **Abweichung von der Bezugstemperatur** 20 °C bewirkt immer dann Messabweichungen, wenn die Werkstücke und die zur Kontrolle eingesetzten Messgeräte und Lehren nicht aus dem gleichen Material sind und nicht dieselbe Temperatur haben **(Bild 1)**.

Bereits bei der Erwärmung eines 100 mm langen Endmaßes aus Stahl um 4 °C, z. B. durch die Handwärme, tritt eine Längenänderung von 4,6 µm auf.

> Bei der **Bezugstemperatur von 20 °C** sollen Werkstücke, Messgeräte und Lehren innerhalb der vorgeschriebenen Toleranzen liegen.

Formänderungen durch die Messkraft treten an elastischen Werkstücken, Messgeräten und Messstativen auf.

Die elastische Aufbiegung eines Messstativs bleibt ohne Wirkung auf den Messwert, wenn beim Messen mit gleicher Messkraft wie bei der Nullstellung mit Endmaßen gemessen wird **(Bild 2)**.

> Die Verringerung von Messabweichungen wird erreicht, wenn die Anzeige eines Messgerätes unter gleichen Bedingungen eingestellt wird, unter denen Werkstücke gemessen werden.

Messabweichungen durch Parallaxe entstehen, wenn unter schrägem Blickwinkel abgelesen wird **(Bild 3)**.

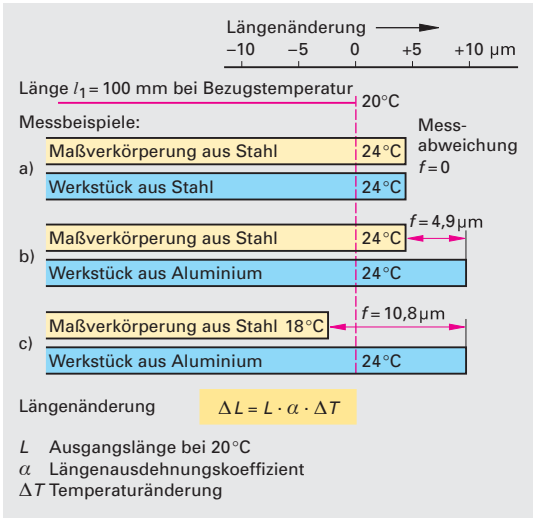


Bild 1: Messabweichungen durch die Temperatur

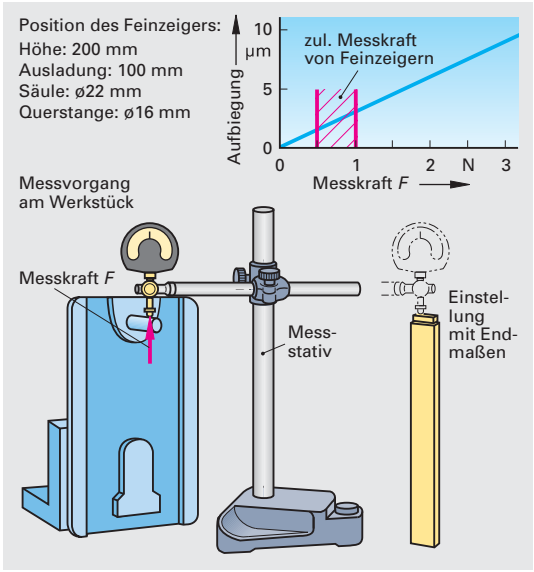


Bild 2: Messabweichungen durch elastische Formänderung am Messstativ durch die Messkraft

Arten von Abweichungen

Systematische Messabweichungen werden durch konstante Abweichungen verursacht: Temperatur, Messkraft, Radius des Messtasters oder ungenaue Skalen.

Zufällige Messabweichungen können hinsichtlich Größe und Richtung nicht erfasst werden. Ursachen können z. B. unbekannte Schwankungen der Messkraft und der Temperatur sein.

> **Systematische Messabweichungen** machen den Messwert unrichtig. Wenn Größe und Vorzeichen (+ oder –) der Abweichungen bekannt sind, können sie ausgeglichen werden.
>
> **Zufällige Messabweichungen** machen den Messwert unsicher. Unbekannte zufällige Abweichungen sind nicht ausgleichbar.

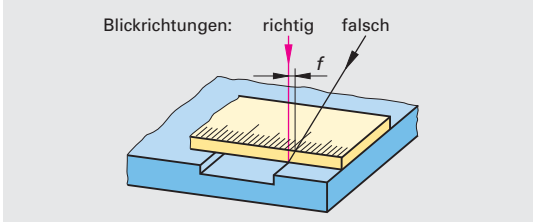
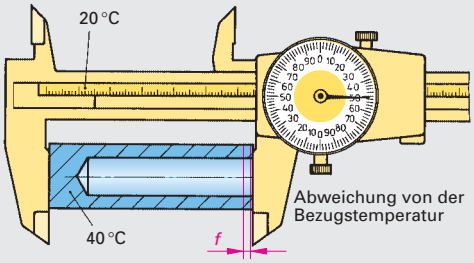


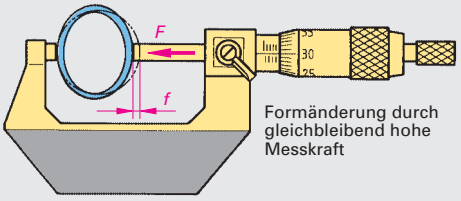
Bild 3: Messabweichung durch Parallaxe

Tabelle 1: Ursachen und Arten von Messabweichungen

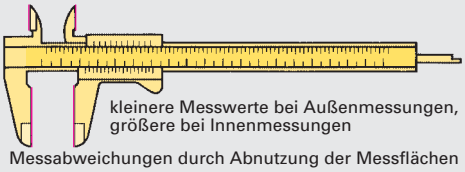
Systematische Messabweichungen



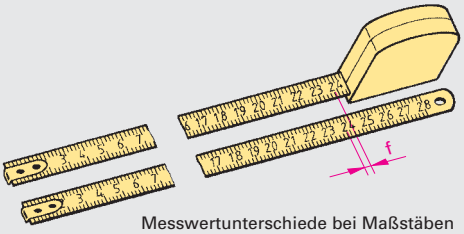
zu großer Messwert durch zu hohe Werkstücktemperatur



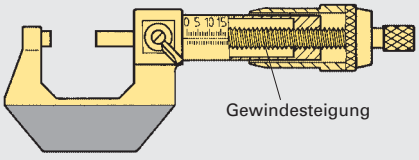
zu kleiner Messwert durch den Einfluss der Messkraft



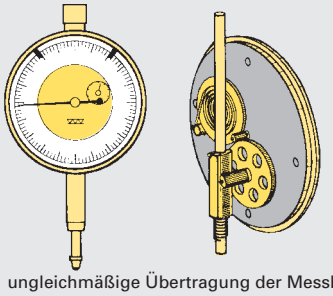
Messabweichungen durch Abnutzung der Messflächen



Messwertunterschiede bei Maßstäben



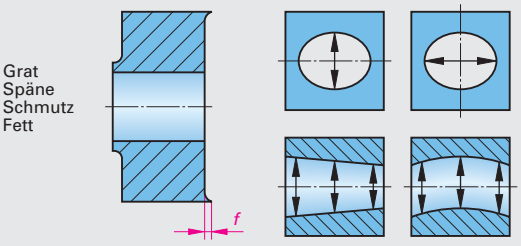
Einfluss von Steigungsabweichungen auf die Messwerte



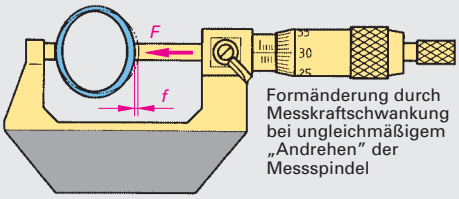
Kleine Abweichungen der Übersetzung bewirken, dass je nach der Position des Messbolzens die Anzeige messbar abweicht.

ungleichmäßige Übertragung der Messbolzenbewegung

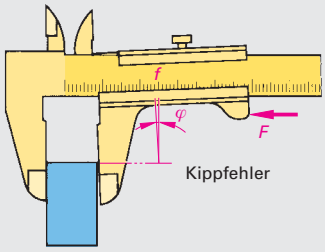
Zufällige Messabweichungen



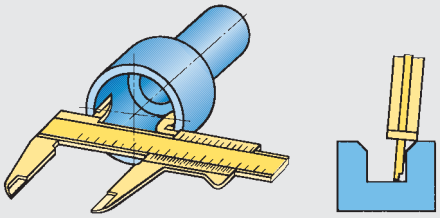
Unsicherheiten durch unsaubere Flächen u. Formabweichungen



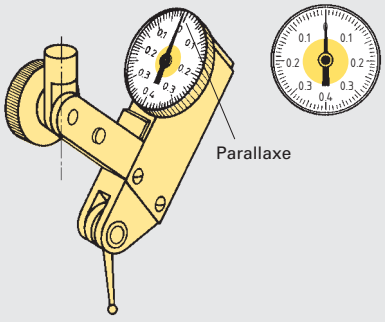
Streuung der Messwerte durch Messkraftschwankung



„Kippfehler" in Abhängigkeit von Messkraft und Führungsspiel



unsicheres Ansetzen des Messschiebers bei Innenmessungen



Ablesefehler durch schrägen Blickwinkel (Parallaxe)

Systematische Abweichungen können durch eine **Vergleichsmessung** mit genauen Messgeräten oder Endmaßen festgestellt werden.

Am Beispiel der Prüfung einer Messschraube wird die Anzeige mit einem Endmaß verglichen **(Bild 1)**. Der Nennwert der Endmaße (Aufschrift) kann als der richtige Wert angesehen werden.

Prüft man die Messabweichungen einer Bügelmessschraube im Messbereich von 0 mm bis 25 mm, erhält man das Diagramm der Messabweichungen **(Bild 2)**. Bei Messschrauben erfolgt die Vergleichsmessung mit festgelegten Endmaßen bei verschiedenen Drehwinkeln der Messspindel.

Fehlergrenzen und Toleranzen

- Die Fehlergrenze G darf an keiner Stelle des Messbereiches überschritten werden.
- Über die Messspanne von 25 mm darf die Fehlergrenze des Messelements G_{Me} von 3 µm nicht überschritten werden.
- Der Normalfall in der Messtechnik sind symmetrische Fehlergrenzen. Die Fehlergrenzen enthalten die Abweichungen des Messelements, z. B. Ebenheitsabweichungen.
- Die Einhaltung Fehlergrenze G kann mit Parallelendmaßen der Toleranzklasse 1 nach DIN EN ISO 3650 geprüft werden.

Die Verringerung systematischer Messabweichungen erreicht man durch eine **Nulleinstellung der Anzeige (Bild 3)**. Die Nulleinstellung erfolgt mit Endmaßen, die dem Prüfmaß am Werkstück entsprechen. Die zufällige Streuung kann durch **Messungen unter Wiederholbedingungen** ermittelt werden **(Bild 4)**:

Arbeitsregeln für Messungen unter Wiederholbedingungen

- Die wiederholten Messungen derselben Messgröße am selben Werkstück sollen aufeinanderfolgend durchgeführt werden.
- Messeinrichtung, Messverfahren, Prüfperson und die Umgebungsbedingungen dürfen sich während der Wiederholmessung nicht ändern.
- Wenn Rundheitsabweichungen die Messstreuung nicht beeinflussen sollen, muss stets an derselben Stelle gemessen werden.

Systematische Messabweichungen werden durch eine Vergleichsmessung festgestellt.

Zufällige Abweichungen können durch Wiederholmessungen ermittelt werden.

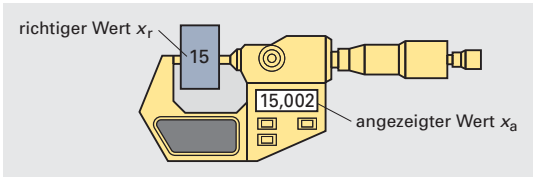


Bild 1: Prüfung einer Bügelmessschraube mit einem Endmaß

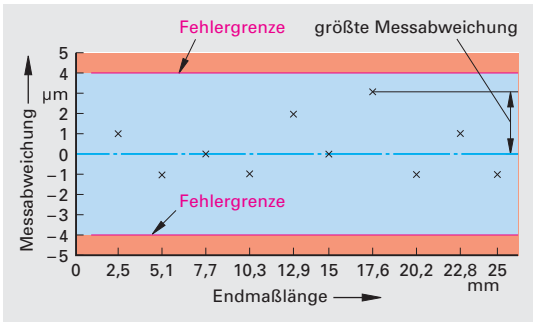


Bild 2: Diagramm der Maßabweichungen einer Bügelmessschraube im Messbereich 0–25 mm

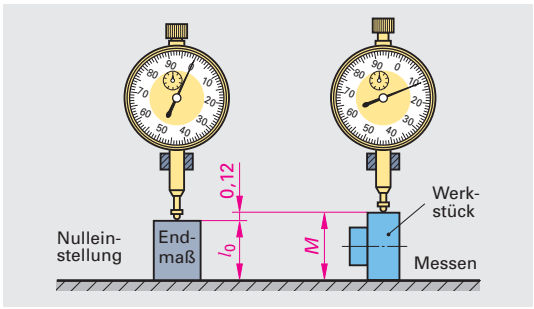


Bild 3: Nulleinstellung der Anzeige und Unterschiedsmessung

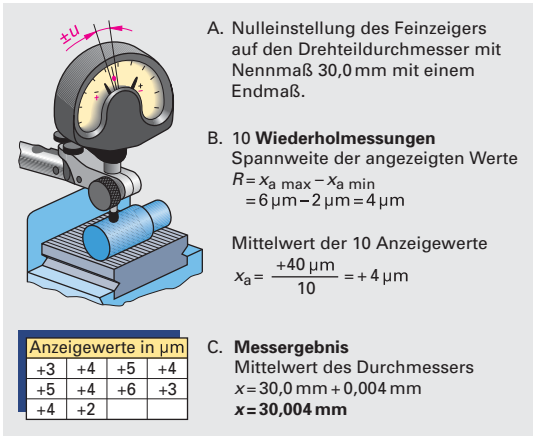


Bild 4: Zufällige Abweichungen eines Feinzeigers bei Messungen unter Wiederholbedingungen

1.1.3 Messmittelfähigkeit und Prüfmittelüberwachung

Messmittelfähigkeit

Die Auswahl von Messmitteln richtet sich nach den Messbedingungen am Einsatzort und der vorgegebenen Toleranz der Prüfmerkmale, z. B. Länge, Durchmesser oder Rundheit. Von Bedeutung ist auch die Anzahl der Prüfer, da z. B. im Schichtbetrieb mit wechselnden Prüfern für die gleichen Teile die Messunsicherheit insgesamt zunimmt.

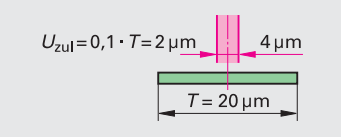


Bild 1: Zulässige Messunsicherheit

Messmittel gelten als fähig, wenn die Messunsicherheit höchstens 10% der Maß- oder Formtoleranz beträgt.

Messunsicherheit $U_{zul} = 1/10 \cdot T$ **(Bild 1)**

Messverfahren mit einer wesentlich kleineren Unsicherheit als $1/10 \cdot T$ sind zwar geeignet, aber zu teuer. Eine größere Messunsicherheit würde dazu führen, dass zu viele Werkstücke nicht mehr eindeutig als „Gutteil" oder „Ausschussteil" erkannt werden, da mehr Messwerte im Bereich der Messunsicherheit U liegen **(Bild 2).** Der messtechnisch sichere Bereich ist umso größer, je kleiner die Messunsicherheit U ist.

Liegen die Messwerte im messtechnisch sicheren Bereich, ist eine Übereinstimmung des Maßes mit der Toleranz mit Sicherheit gegeben.

Beispiel für die Folgen einer zu großen Messunsicherheit $U = 0{,}2 \cdot T$ (Bild 2): Obwohl der richtige Messwert 15,005 mm außerhalb der Toleranz liegt, wird durch eine Messabweichung von + 7 µm der Messwert 15,012 mm angezeigt, ein Maß, das in der Toleranz zu liegen scheint. Ein Ausschussteil wird dadurch nicht erkannt. Umgekehrt kann ein toleranzhaltiges Maß durch eine Messabweichung zu einem angezeigten Messwert außerhalb der Toleranz führen. Ein Gutteil würde in diesem Fall irrtümlich aussortiert.

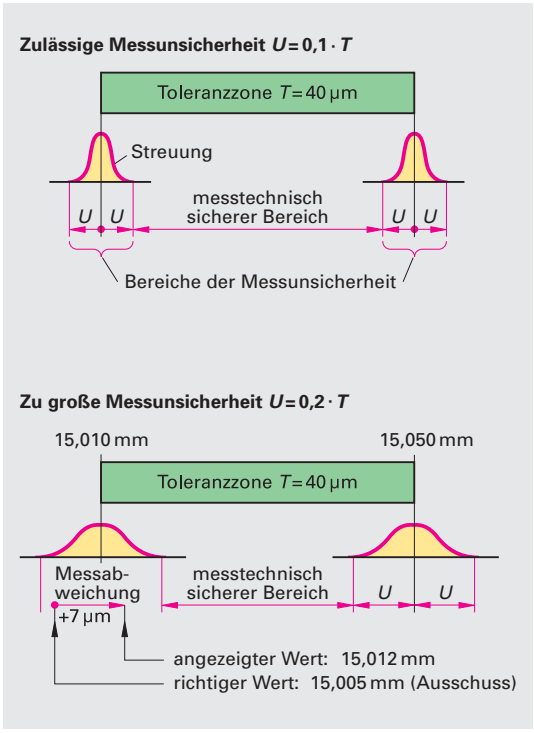


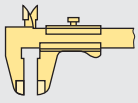
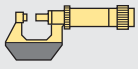
Bild 2: Messunsicherheit im Verhältnis zur Toleranz

Die **Beurteilung der Messmittelfähigkeit** ist näherungsweise möglich, wenn die voraussichtliche Messunsicherheit bekannt ist **(Tabelle 1).**

Unter Werkstattbedingungen beträgt die Messunsicherheit bei neuen oder neuwertigen mechanischen Handmessgeräten etwa einen Skalenteilungswert (1 Skw) und bei elektronischen etwa drei Ziffernschrittwerte (3 Zw).

Messgeräte für die Fertigung werden so ausgewählt, dass im Verhältnis zur Werkstücktoleranz die Messunsicherheit U vernachlässigbar klein ist. Dadurch kann der angezeigte Messwert dem Messergebnis gleich gesetzt werden.

Tabelle 1: Messunsicherheit

Messgerät		Voraussichtliche Messunsicherheit	Fehlergrenze G neuer Messgeräte
	*Skw* = 0,05 mm Messbereich: 0 ... 150 mm	$U \geq$ **50 µm**	50 µm
	*Skw* = 0,01 mm Messbereich: 50 ... 75 mm	$U \approx$ **10 µm**	5 µm
	Skw = 1 µm Messbereich: ± 50 µm	$U \approx$ **1 µm**	1 µm

Messmittelfähigkeit bei vorgegebener Toleranz

Beispiel: Mit einer mechanischen Bügelmessschraube (*Skw* = 0,01 mm) soll ein Durchmesser mit den Grenzmaßen 20,40 mm und 20,45 mm gemessen werden. Zu beurteilen ist die Messmittelfähigkeit (Eignung) der Messschraube in Abhängigkeit von der erwarteten Messunsicherheit und der vorgegebenen Toleranz.

Lösung: Die Messunsicherheit entspricht näherungsweise 1 Skalenteilungswert (0,01 mm). Aufgrund dieser Messunsicherheit kann bei der Anzeige 20,45 mm der richtige Messwert zwischen 20,44 mm und 20,46 mm liegen.

Erwartete Messunsicherheit der Messschraube: $U = 0{,}01$ mm

Zulässige Messunsicherheit: $U_{zul} = 0{,}1 \cdot T = 0{,}1 \cdot 0{,}05$ mm = **0,005 mm**

Die Bügelmessschraube ist bei der vorgegebenen Toleranz nicht geeignet, da die voraussichtliche Messunsicherheit zu groß ist. Zu empfehlen sind elektronische Messuhren oder Feinzeiger, da diese Messgeräte durch die kleinere Streuung der Messwerte präziser arbeiten.

Prüfmittelüberwachung

Bei anzeigenden Messgeräten wird durch das Kalibrieren (Einmessen) die systematische Messabweichung zwischen der Anzeige und dem richtigen Wert festgestellt. Dies geschieht durch Vergleich mit Endmaßen oder mit Messgeräten höherer Genauigkeit. Die ermittelten Abweichungen werden in einem Kalibrierschein und evtl. in Abweichungsdiagrammen dokumentiert (Bild 1, Seite 15).

Die Kalibrierung wird durch einen speziellen Prüfaufkleber bestätigt, der den Termin der nächsten Überprüfung anzeigt **(Bild 1)**.

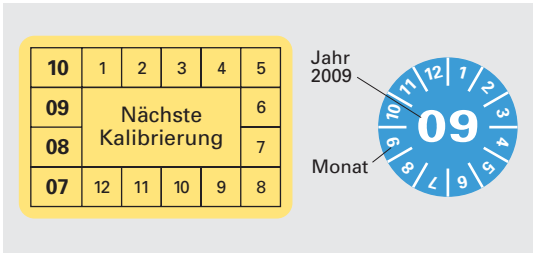


Bild 1: Aufkleber für kalibrierte Messgeräte

Kalibrieren ist das Ermitteln der vorhandenen Abweichung eines Messgerätes vom richtigen Wert. Ein Messgerät ist dann in Ordnung und kann zum Gebrauch freigegeben werden, wenn die ermittelten Messabweichungen innerhalb der festgelegten Grenzen liegen.

Das **Eichen** eines Prüfmittels umfasst die Prüfung und Stempelung durch eine Eichbehörde. Eichpflichtig sind z. B. Waagen, aber keine Fertigungsmessgeräte.

Durch **Justieren** (Abgleichen) wird ein Messgerät so verändert, dass die Messabweichungen möglichst klein werden. Beispiel: Änderung von Gewichten einer Waage.

Einstellen heißt, die Anzeige auf einen bestimmten Wert stellen, z. B. Nulleinstellung.

Wiederholung und Vertiefung

1 Wie wirken sich systematische und zufällige Messabweichungen auf das Messergebnis aus?
2 Wie kann man systematische Messabweichungen einer Messschraube ermitteln?
3 Warum ist das Messen dünnwandiger Werkstücke problematisch?
4 Warum können durch das Abweichen von der Bezugstemperatur bei Messgeräten und Werkstücken Messabweichungen entstehen?
5 Worauf können systematische Abweichungen bei Messschrauben voraussichtlich zurückgeführt werden?
6 Warum wird beim Messen in der Werkstatt der angezeigte Messwert als Messergebnis angesehen, während im Messlabor oft der angezeigte Wert korrigiert wird?
7 Welche Vorteile hat die Unterschiedsmessung und Nulleinstellung bei Messuhren?
8 Warum ist bei Aluminiumwerkstücken die Abweichung von der Bezugstemperatur messtechnisch besonders problematisch?
9 Wie groß ist etwa die Längenänderung eines Parallelendmaßes (l = 100 mm, a = 0,000 016 1/°C), wenn es durch die Handwärme von 20 °C auf 25 °C erwärmt wird?
10 Wie viel Prozent der Werkstücktoleranz dürfen die Messabweichungen höchstens betragen, damit sie beim Prüfen vernachlässigt werden können?
11 Welche Messunsicherheit ist bei einer mechanischen Messuhr (*Skw* = 0,01 mm) zu erwarten?

1.2 Längenprüfmittel

1.2.1 Maßstäbe, Lineale, Winkel, Lehren und Endmaße

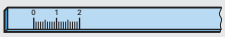
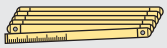
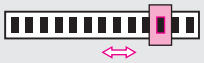
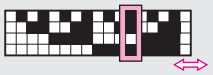
Maßstäbe, Lineale, Winkel

Strichmaßstäbe verkörpern das Längenmaß durch den Abstand von Strichen. Die Präzision der Strichteilung drückt sich in den Fehlergrenzen der Maßstäbe aus **(Tabelle 1).** Wenn das obere Grenzabmaß G_o eines Maßstabes überschritten oder das gleich große untere Grenzabmaß G_u unterschritten wird, entstehen Messfehler.

Maßstäbe für Wegmesssysteme, z. B. aus Glas oder Stahl, arbeiten nach dem fotoelektronischen Abtastprinzip. Fotoelemente erzeugen entsprechend den abgetasteten Hell-Dunkel-Feldern ein Spannungssignal.

Bei Inkrementalmaßstäben wird der Verfahrweg von Werkzeug- und Messmaschinen durch Aufsummierung von Lichtimpulsen gemessen. Als Maßverkörperung dient ein sehr genaues Strichgitter. Absolutmaßstäbe ermöglichen durch ihre Codierung die Anzeige der augenblicklichen Position des Messkopfes.

Tabelle 1: Fehlergrenzen von Maßstäben der Länge 500 mm

Arten		Grenzabmaße $G_o = G_u$
Vergleichsmaßstab		7,5 µm
Arbeitsmaßstab		30 µm
Biegsamer Stahlmaßst.		75 µm
Bandmaßstab		100 µm
Gliedermaßstab		1 mm
Impulsmaßstab		0,5 ... 20 µm
Absolutmaßstab		

Lineale werden zum Prüfen der Geradheit und Ebenheit eingesetzt **(Bild 1).** Haarlineale besitzen geläppte Prüfschneiden mit hoher Geradheit, die es ermöglichen, mit bloßem Auge unterschiedliche kleine Lichtspalte zu erkennen.

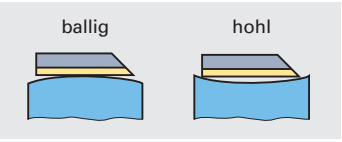


Bild 1: Geradheitsprüfung mit Haarlineal

Werden Werkstücke mit Haarlinealen gegen das Licht geprüft, erkennt man Abweichungen ab 2 µm am Lichtspalt zwischen Prüfschneide und Werkstück.

Feste Winkel sind Formlehren und verkörpern meist 90°. Haarwinkel bis zur Messschenkellänge 100 x 70 mm mit dem Genauigkeitsgrad 00 haben einen Grenzwert der Rechtwinkligkeitsabweichung von nur 3 µm **(Bild 2).** Beim Genauigkeitsgrad 0 beträgt der Grenzwert 7 µm. Mit Haarwinkeln kann die Rechtwinkligkeit und die Ebenheit geprüft werden oder es können zylindrische oder ebene Flächen ausgerichtet werden.

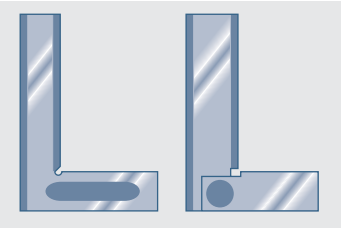


Bild 2: Haarwinkel 90°

Lehren

Lehren verkörpern Maße oder Formen, die in der Regel auf Grenzmaße bezogen sind **(Bild 3).**

Maßlehren sind Teile eines Lehrensatzes, bei dem das Maß von Lehre zu Lehre zunimmt, z. B. Parallelendmaße oder Prüfstifte.

Formlehren ermöglichen die Prüfung von Winkeln, Radien und Gewinden nach dem Lichtspaltverfahren.

Grenzlehren verkörpern die zulässigen Höchstmaße und Mindestmaße. Manche Grenzlehren verkörpern neben den Grenzmaßen auch noch die Form, um z. B. die Zylinderform einer Bohrung oder das Profil von Gewinden prüfen zu können.

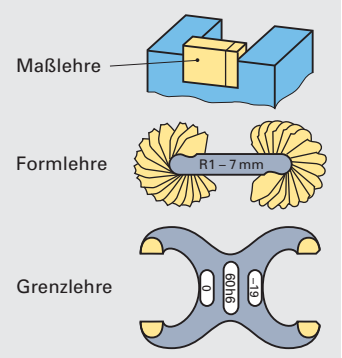


Bild 3: Lehrenarten

Grenzlehren

Die Grenzmaße von tolerierten Werkstücken können mit entsprechenden Lehrdornen bei Bohrungen oder mit Lehrringen bei Wellen geprüft werden **(Bild 1, Bild 2** und **Bild 3)**.

Taylorscher Grundsatz: Die Gutlehre muss so ausgebildet sein, dass Maß und Form eines Werkstückes bei der Paarung mit der Lehre geprüft werden (Bild 1). Mit der Ausschusslehre sollen nur einzelne Maße geprüft werden, z. B. der Durchmesser.

Gutlehren verkörpern Maß **und** Form.

Ausschusslehren sind reine Maßlehren.

- **Gutlehren** verkörpern das Höchstmaß bei Wellen und das Mindestmaß bei Bohrungen.
- **Ausschusslehren** verkörpern das Mindestmaß von Wellen oder das Höchstmaß von Bohrungen. Ein Werkstück, das sich mit der Ausschusslehre paaren lässt, ist daher Ausschuss.

Grenzlehrdorne verwendet man zum Prüfen von Bohrungen und Nuten **(Bild 4)**. Die Gutseite muss durch ihr Eigengewicht in die Bohrung gleiten, die Ausschussseite darf nur anschnäbeln. In den längeren Zylinder der Gutseite sind häufig Hartmetallleisten zur Verschleißminderung eingesetzt. Die Ausschussseite hat einen kurzen Prüfzylinder, ist rot gekennzeichnet und mit dem oberen Grenzabmaß beschriftet.

Grenzrachenlehren eignen sich zur Prüfung von Durchmessern und Dicken von Werkstücken **(Bild 5)**. Die Gutseite verkörpert das zulässige Höchstmaß. Sie muss durch das Eigengewicht über die Prüfstelle gleiten. Die Ausschussseite ist um die Toleranz kleiner und darf nur anschnäbeln. Die Ausschussseite hat angeschrägte Prüfbacken, ist rot gekennzeichnet und mit dem unteren Grenzabmaß beschriftet.

Das Prüfergebnis ist beim Lehren **Gut** oder **Ausschuss**. Da das Lehren keine Messwerte ergibt, können die Prüfergebnisse nicht zur Qualitätslenkung eingesetzt werden.

Prüfkraftschwankungen und der Lehrenverschleiß beeinflussen sehr stark die Prüfergebnisse.

Die Prüfunsicherheit ist beim Lehren umso höher, je kleiner die Maße und Toleranzen sind. Toleranzgrade kleiner 6 (< IT6) sind mit Lehren daher kaum prüfbar.

Wiederholung und Vertiefung

1 Warum haben Haarlineale und Haarwinkel geläppte Prüfschneiden?

2 Warum eignet sich das Prüfen mit Lehren nicht zur Qualitätslenkung, z. B. beim Drehen?

3 Warum entspricht eine Grenzrachenlehre nicht dem Taylorschen Grundsatz?

4 Woran erkennt man die Ausschussseite eines Grenzlehrdornes?

5 Warum verschleißt die Gutseite einer Grenzlehre schneller als die Ausschussseite?

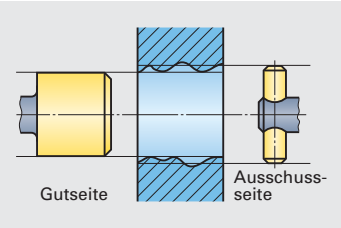


Bild 1: Grenzlehre nach Taylor

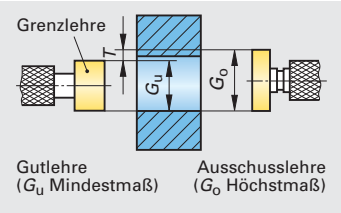


Bild 2: Grenzlehrdorn

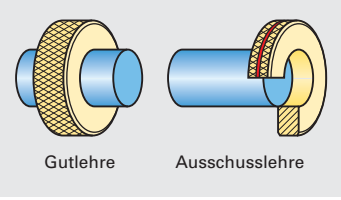


Bild 3: Lehrringe

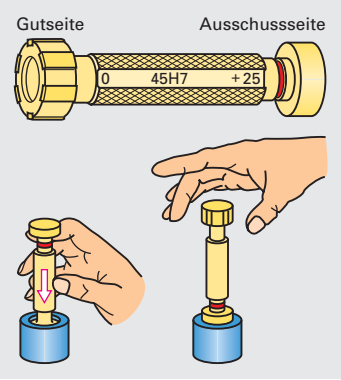


Bild 4: Grenzlehrdorn

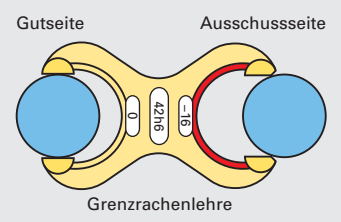


Bild 5: Grenzrachenlehre

Parallelendmaße

Parallelendmaße sind die genauesten und wichtigsten Maßverkörperungen zur Längenprüfung. Die Maßgenauigkeit der Endmaße ist abhängig von der Toleranzklasse und vom Nennmaß **(Tabelle 1** und **Bild 1)**. Die Toleranz für die Abweichungsspanne t_v begrenzt die Ebenheits- und Parallelitätsabweichungen und das Grenzabmaß t_e beschreibt die zulässige Längenabweichung vom Nennmaß.

Tabelle 1: Parallelendmaße (Werte in µm für Nennmaße 10 ... 25 mm)

Toleranzklasse	Toleranz für die Abweichungsspanne t_v	Grenzabmaße der Länge t_e	Verwendung
K	0,05	+ 0,3	Bezugsnormale zum Kalibrieren von Endmaßen u. zum Einstellen präziser Messgeräte und Lehren
0	0,1	+ 0,14	Einstellen und Kalibrieren von Lehren und Messgeräten in klimatisierten Messräumen
1	0,16	+ 0,3	Meistbenutzte Gebrauchsnormale zum Prüfen in Messräumen und in der Fertigung
2	0,3	+ 0,6	Gebrauchsnormale zum Einstellen und Prüfen von Werkzeugen, Maschinen und Vorrichtungen

Endmaße der **Kalibrierklasse K** haben die kleinsten Abweichungen der Ebenheit und Parallelität, was für genaue Messungen und Endmaßkombinationen sehr wichtig ist **(Bild 3)**. Die relativ großen Grenzabmaße der Länge werden durch den bekannten Korrektionswert *K* ausgeglichen (Seite 9). Endmaße der **Toleranzklassen K** und **0** kann man ohne Druck anschieben **(Bild 2)**.

Beim Zusammenstellen einer Endmaßkombination beginnt man mit dem kleinsten Endmaß **(Tabelle 2** und Bild 3). Angeschobene **Stahlendmaße** neigen nach einiger Zeit zum Kaltverschweißen und sollten daher nach dem Gebrauch getrennt werden.

Endmaße aus Hartmetall sind gegenüber Stahlendmaßen 10-mal verschleißfester. Nachteilig ist die um 50% geringere Wärmedehnung, die bei Werkstücken aus Stahl zu Messabweichungen führen kann. Hartmetall besitzt die besten Hafteigenschaften beim Anschieben.

Endmaße aus Keramik haben eine stahlähnliche Wärmedehnung. Sie sind extrem verschleißfest, bruchfest und korrosionsbeständig.

Mit Endmaßen und Prüfstiften werden Meßgeräte und Lehren geprüft **(Bild 4)**. Parallelendmaßsätze sind meist 46-teilig, sortiert in 5 Maßbildungsreihen **(Tabelle 3)**.

Arbeitsregeln für den Gebrauch von Endmaßen

- Die Endmaße werden vor Gebrauch mit einem nicht fasernden Stoff (Leinenlappen) sauber abgewischt.
- Endmaßkombinationen sollen wegen der Gesamtabweichung aus möglichst wenigen Endmaßen bestehen.
- Stahlendmaße dürfen nicht länger als 8 Stunden angesprengt bleiben, da sie sonst kaltverschweißen.
- Nach Gebrauch müssen Endmaße aus Stahl oder Hartmetall gereinigt und mit säurefreier Vaseline eingefettet werden.

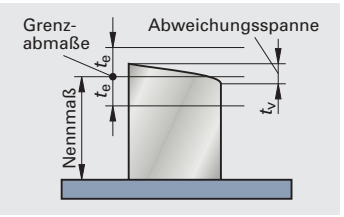


Bild 1: Abmaße von Endmaßen

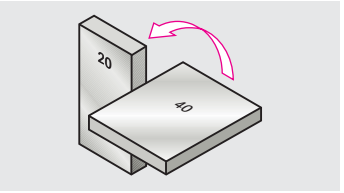


Bild 2: Ansprengen von Endmaßen

Bild 3: Endmaßkombination

Bild 4: Prüfen von Rachenlehren mit Endmaß und Prüfstift

Tabelle 2: Maßkombination

1. Endmaß	1,003 mm
2. Endmaß	9,000 mm
3. Endmaß	50,000 mm
Maßkombination:	60,003 mm

Tabelle 3: Endmaßsatz

Reihe	Nennmaße mm	Stufung mm
1	1,001 ... 1,009	0,001
2	1,01 ... 1,09	0,01
3	1,1 ... 1,9	0,1
4	1 ... 9	1
5	10 ... 100	10

1.2.2 Mechanische und elektronische Messgeräte

Die sogenannten „Handmessgeräte“ wie Messschieber, Messuhren oder Feinzeiger werden in der kostengünstigeren mechanischen Ausführung oder mit dem elektronischen Messsystem eingesetzt.

Elektronische Messschieber

Diese Messschieber sind durch große Ziffern schnell und irrtumsfrei ablesbar **(Bild 1)**. Zusätzlich zur Absolutmessung im ganzen Messbereich sind Unterschiedsmessungen und weitere Funktionen wählbar:

- Ein-/Ausschalten und Nullstellen an beliebiger Stelle, d. h. die Anzeige auf 0,00 setzen (C/ON)
- Funktion wählen (M = MODE), z. B. Umrechnung mm/in (Inch), Absolutmessung oder Unterschiedsmessung, Blockieren der Anzeige usw.
- Voreinstellung von Toleranzwerten ( )

Mit der Funktion „Unterschiedsmessung“ und durch Nullstellen der Anzeige an beliebiger Stelle werden viele Messungen einfacher **(Tabelle 1)**: Die Differenz der Messgröße zu einem bekannten Einstellwert oder der Unterschied zwischen zwei Messwerten muss nicht mehr berechnet, sondern kann direkt angezeigt werden.

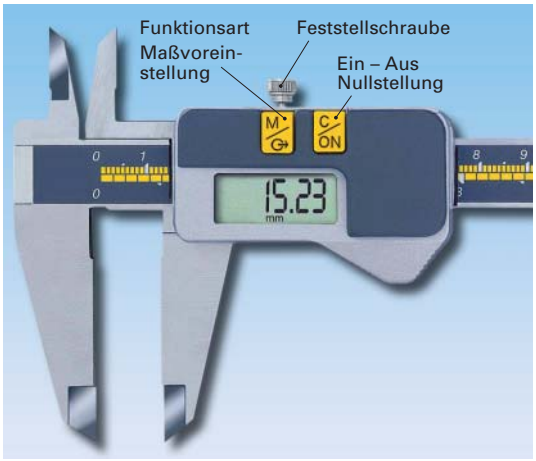
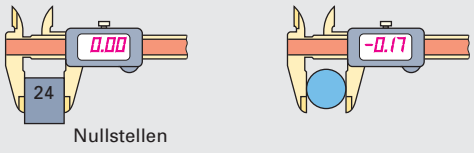
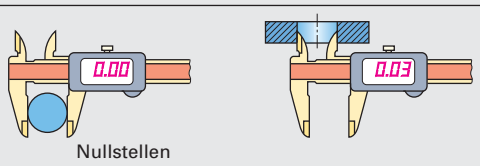
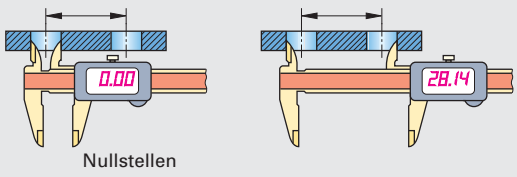
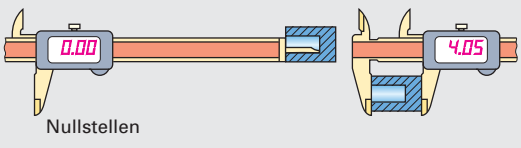
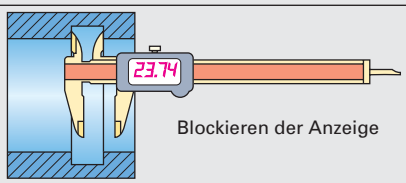


Bild 1: Elektronischer Messschieber

Tabelle 1: Messmöglichkeiten mit elektronischen Messschiebern

Messen von Abmaßen Abmaße von Nennmaßen werden durch Vergleich mit einem Bezugsendmaß vorzeichenrichtig angezeigt.	
Messen von Passungen (Spiel oder Übermaß) Spiel oder Übermaß werden durch die Vergleichsmessung direkt angezeigt.	
Messen von Bohrungs- und Achsabständen Bei Bohrungen mit gleichem Durchmesser kann der Abstand direkt angezeigt werden, wenn zunächst eine Bohrung gemessen, die Anzeige auf null gestellt und anschließend der größte Abstand der Bohrung gemessen wird.	
Messen von Wanddicken Die Wanddicke des Bodens wird durch eine Vergleichsmessung mit der Bohrungstiefe angezeigt.	
Messen an schwer zugänglicher Stelle Das Blockieren der Anzeige trotz Schließens der Messschenkel ermöglicht das Lesen der Anzeige in blickgünstiger Position.	

Messschrauben

Das wichtigste Teil der mechanischen Bügelmessschraube ist die geschliffene Messspindel **(Bild 1)**. Sie verkörpert durch die Gewindesteigung das Maß 0,5 mm. Wird die Skalentrommel um einen der 50 Teilstriche gedreht, verschiebt sich die Messspindel um 0,5 mm : 50 = 0,01 mm. Die Hundertstel-Millimeter werden auf der Skalentrommel abgelesen **(Bild 2)**.

Der Skalenteilungswert beträgt bei mechanischen Bügelmessschrauben meist 0,01 mm.

Durch die Messspindel wird nicht nur die Anzeige vergrößert, sondern auch die Messkraft stark erhöht. Eine Kupplung begrenzt daher die Messkraft auf 5 N bis 10 N, vorausgesetzt man dreht die Messspindel über die Kupplung langsam an das Werkstück heran.

Übliche Messbereiche sind: 0 ... 25 mm (bei elektronischen Bügelmessschrauben 0 ... 30 mm), 25 ... 50 mm, 50 ... 75 mm bis 275 ... 300 mm.

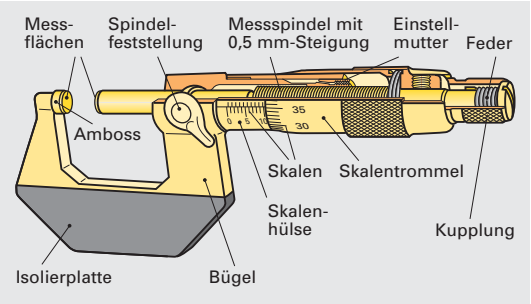
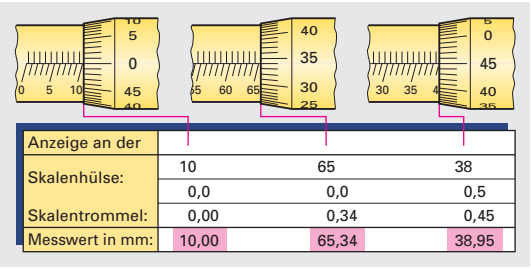


Bild 1: Schnittbild der Bügelmessschraube



Anzeige an der			
Skalenhülse:	10	65	38
	0,0	0,0	0,5
Skalentrommel:	0,00	0,34	0,45
Messwert in mm:	10,00	65,34	38,95

Bild 2: Ablesebeispiele

Elektronische Bügelmessschrauben (Bild 3)

Das elektronische Messsystem ermöglicht:

- Ziffernschrittwert Zw = 0,001 mm
- Nullstellen an beliebiger Stelle (ZERO), um eine Unterschiedsmessung durchzuführen
- Funktionen wählen (M = MODE), z. B. Umrechnung mm/in (Inch), Absolutmessung (ABS) oder Unterschiedsmessung, Blockieren der Anzeige
- Voreinstellung von Toleranzwerten
- Infrarotübertragung (bzw. Funkübertragung) der Messwerte auf Knopfdruck an den PC

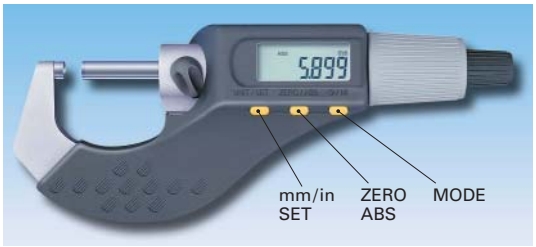


Bild 3: Elektronische Bügelmessschraube

Einflüsse auf Messabweichungen

- Steigungsabweichungen der Messspindel sowie Parallelitäts- und Ebenheitsabweichungen der Messflächen **(Bild 4)**
- Aufbiegung des Bügels durch die Messkraft
- Abweichen von der Bezugstemperatur
- zu schnelles Drehen der Messspindel

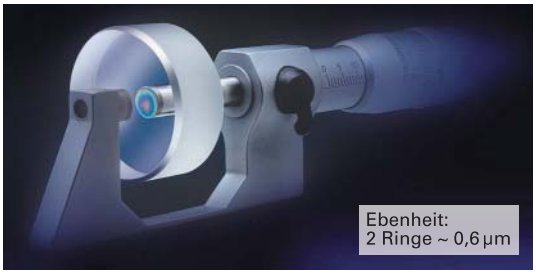


Bild 4: Prüfung von Parallelität und Ebenheit der Messflächen mit planparallelem Prüfglas

Wiederholung und Vertiefung

1 Aus welchen Parallelendmaßen lässt sich das Maß 97,634 mm zusammensetzen?
2 Worin unterscheiden sich Parallelendmaße der Toleranzklasse „K“ und „0“?
3 Warum dürfen Stahlendmaße nicht tagelang angesprengt bleiben?
4 Welchen Vorteil hat das Nullstellen der Anzeige bei elektronischen Messschiebern?
5 Warum sollte man die Messspindel einer Messschraube nicht zu schnell an das Werkstück herandrehen?