



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für metalltechnische Berufe

Jürgen Burmester  
Josef Dillinger  
Walter Escherich  
Dr. Eckhard Ignatowitz  
Stefan Oesterle

Ludwig Reißler  
Andreas Stephan  
Reinhard Vetter  
Falko Wieneke

# Fachkunde Metall

**59. Auflage**

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

**Europa-Nr.: 10129**

**Autoren:**

Burmester, Jürgen	Dipl.-Ing.	Soest
Dillinger, Josef	Studiendirektor	München
Escherich, Walter	Studiendirektor	München
Ignatowitz, Dr. Eckhard	Dr.-Ing.	Waldbonn
Oesterle, Stefan	Dipl.-Ing.	Amtzell
Reißler, Ludwig	Studiendirektor	München
Stephan, Andreas	Dipl.-Ing. (FH)	Marktoberdorf
Vetter, Reinhard	Oberstudiendirektor	Ottobeuren
Wieneke, Falko	Dipl.-Ing.	Essen

Die Autoren sind Fachlehrer der technischen Ausbildung und Ingenieure.

**Lektorat:**

Josef Dillinger

**Bildentwürfe:**

Die Autoren

**Fotos:**

Leihgaben der Firmen (Verzeichnis Seite 706)

**Bildbearbeitung:**

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

**Englische Übersetzung:**

StDin Christina Murphy, Wolfratshausen

59. Auflage 2023, korrigierter Nachdruck 2023

Druck 6 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind im Unterricht nebeneinander einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-1680-5

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

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlag: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlagfotos: Sauter Feinmechanik GmbH, 72555 Metzingen, und TESA/Brown & Sharpe, CH-Renens

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

## Vorwort

Die Fachkunde Metall dient der Ausbildung und der Weiterbildung in den Maschinenbauberufen.

### //Zielgruppen

- Industriemechaniker/-in
- Feinwerkmechaniker/-in
- Fertigungsmechaniker/-in
- Zerspanungsmechaniker/-in
- Technischer Produktdesigner/-in
- Meister/-in und Techniker/-in
- Praktiker/-in in der metallverarbeitenden Industrie und im Handwerk
- Schülerinnen und Schüler technischer Schulen
- Praktikanten und Studierende der Fachrichtung Maschinenbau

### //Inhalt

Der Inhalt des Buches ist auf die Bildungspläne, Ausbildungsordnungen und den KMK-Lehrplänen abgestimmt und berücksichtigt neueste Entwicklungen im technischen Bereich.

### //Unterricht nach Lernfeldern

Für den Unterricht nach Lernfeldern werden 13 Leitprojekte vorgeschlagen. Ein Lernfeldkompass ist in der EUROPATHEK abrufbar.

## Vorwort zur 59. Auflage

Der Inhalt wurde anhand der Zusatzmaterialien unserer digitalen Premium-Edition mit Animationen und interaktiven Simulationen dem Stand der Technik angepasst und durch E-Learning-Einheiten ergänzt. Die Inhalte sind auch zur Darstellung auf kleinen Displays (Smartphone, Tablet) geeignet. Die vorliegende Auflage enthält einen Freischaltcode im hinteren Teil des Buches. Dessen Einlösung ermöglicht die Nutzung der **vollständigen digitalen Premium-Edition für die Dauer eines Jahres gratis** (ohne automatische Verlängerung). Über die verlagseigene Plattform EUROPATHEK kann damit auf die **im Buch mit QR-Codes/Shortlinks gekennzeichneten Zusatzmaterialien** zugegriffen werden.

Folgende Inhalte wurden neu aufgenommen bzw. aktualisiert

- Prüftechnik:  
Geometrische Produktspezifikation (ISO-GPS)
- Fertigungstechnik:  
Bohrmaschinen, Unterpulverschweißen, Rührreibschweißen, Magnetarc-Schweißen
- Automatisierung der Produktion:  
Neugestaltung des Kapitels Industrieroboter, Automatisierte CNC-Werkzeugmaschinen, Industrieroboter in der Produktion, Kollaboration (Cobot), Industrie 4.0 – Smart Factory

Der Lernfeldkompass ist in der EUROPATHEK abrufbar.

Bei den Leitprojekten zu den Lernfeldern sind die entsprechenden Kapitelnummern angegeben.

Die Autoren und der Verlag sind allen Nutzern der „Fachkunde Metall“ für kritische Hinweise und Verbesserungsvorschläge an lektorat@europa-lehrmittel.de dankbar.

### 1 Prüftechnik

### 2 Qualitätsmanagement

### 3 Fertigungstechnik

### 4 Werkstofftechnik

### 5 Maschinentechnik

### 6 Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung

### 7 Elektrotechnik

### 8 Grundlagen der Automatisierungs- technik

### 9 Automatisierung der Produktion

### 10 Technische Projekte

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Prüftechnik mit Geometrischer Produktspezifikation (ISO GPS)</b>	
1.1 Größen und Einheiten . . . . .	9
1.2 Grundlagen der Messtechnik . . . . .	11
1.2.1 Grundbegriffe . . . . .	11
1.2.2 Messabweichungen . . . . .	14
1.2.3 Messmittelfähigkeit und Prüfmittelüberwachung . . . . .	17
<b>1.3 Längenprüfmittel</b> . . . . .	19
1.3.1 Maßverkörperungen und Formverkörperungen . . . . .	19
1.3.2 Mechanische und elektronische Messgeräte . . . . .	22
1.3.3 Pneumatische Messgeräte . . . . .	30
1.3.4 Elektronische Messgeräte . . . . .	32
1.3.5 Optoelektronische Messgeräte . . . . .	33
1.3.6 Koordinatenmessgeräte . . . . .	35
<b>1.4 Geometrische Produktspezifikation (ISO-GPS)</b> . . . . .	39
1.4.1 Bedeutung und Zielsetzung . . . . .	39
1.4.2 Das ISO-GPS-Normensystem . . . . .	39
1.4.3 Spezifikation, Verifikation, Validierung . . . . .	40
1.4.4 Spezifikation durch Längen- und Winkelgrößenmaße . . . . .	41
1.4.5 Zeichnungseintragung und Messung von Größenmaßen . . . . .	42
1.4.6 Tolerierungsgrundsätze . . . . .	43
1.4.7 Geometrische Spezifikation durch eine Zone . . . . .	44
1.4.8 Beispiele zum Spezifizierungsprozess an Bauteilen einer Flügelzellenpumpe . . . . .	44
1.4.9 Fachbegriffe zu ISO-GPS (Auswahl) . . . . .	47
<b>1.5 Toleranzen und Passungen</b>	
<b>Dimensionelle Tolerierung</b> . . . . .	49
1.5.1 Toleranzen . . . . .	49
1.5.2 Passungen . . . . .	53
<b>1.6 Geometrische Tolerierung und Prüfung von Form, Richtung, Ort und Lauf</b> . . . . .	57
1.6.1 Form- und Lagetoleranzen . . . . .	57
1.6.2 Prüfung von ebenen Flächen und Winkeln . . . . .	59
1.6.3 Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung . . . . .	62
1.6.4 Gewindeprüfung . . . . .	67
1.6.5 Kegelprüfung . . . . .	69
<b>1.7 Kenngrößen und Prüfung von Oberflächen</b> . . . . .	70
<b>1.8 Practice your English</b> . . . . .	74
<b>2 Qualitätsmanagement</b>	
<b>2.1 Arbeitsbereiche des QM</b> . . . . .	75
<b>2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000</b> . . . . .	76
<b>2.3 Qualitätsforderungen</b> . . . . .	76
<b>2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler</b> . . . . .	77
<b>2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements</b> . . . . .	78
<b>2.6 Qualitätslenkung</b> . . . . .	81
<b>2.7 Qualitätssicherung</b> . . . . .	82
2.7.1 Prüfplanung . . . . .	82
2.7.2 Wahrscheinlichkeit . . . . .	82
2.7.3 Die Normalverteilung von Merkmalswerten . . . . .	83
<b>2.7.4 Mischverteilung von Merkmalswerten</b> . . . . .	83
<b>2.7.5 Kennwerte der Normalverteilung von Stichproben</b> . . . . .	84
<b>2.7.6 Qualitätsprüfung nach dem Stichprobenverfahren</b> . . . . .	85
<b>2.8 Maschinenfähigkeit</b> . . . . .	86
<b>2.9 Prozessfähigkeit</b> . . . . .	89
<b>2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten</b> . . . . .	90
<b>2.11 Auditierung und Zertifizierung</b> . . . . .	93
<b>2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse</b> . . . . .	94
<b>2.13 Practice your English</b> . . . . .	95
<b>3 Fertigungstechnik</b>	
<b>3.1 Arbeitssicherheit</b> . . . . .	97
3.1.1 Sicherheitszeichen . . . . .	97
3.1.2 Unfallverhütung . . . . .	98
3.1.3 Sicherheitsmaßnahmen . . . . .	98
<b>3.2 Gliederung der Fertigungsverfahren</b> . . . . .	99
<b>3.3 Gießen</b> . . . . .	101
3.3.1 Formen und Modelle . . . . .	101
3.3.2 Gießen in verlorene Formen . . . . .	102
3.3.3 Gießen in Dauerformen . . . . .	105
3.3.4 Gusswerkstoffe . . . . .	106
3.3.5 Gussfehler . . . . .	106
<b>3.4 Formgebung der Kunststoffe</b> . . . . .	107
3.4.1 Extrudieren . . . . .	107
3.4.2 Spritzgießen . . . . .	108
3.4.3 Formpressen . . . . .	111
3.4.4 Urformen von Schaumstoffen . . . . .	111
3.4.5 Weiterverarbeitung der Halbzeuge und Fertigteile aus Kunststoffen . . . . .	112
<b>3.5 Umformen</b> . . . . .	114
3.5.1 Verhalten der Werkstoffe beim Umformen . . . . .	114
3.5.2 Umformverfahren . . . . .	114
3.5.3 Biegeumformen . . . . .	115
3.5.4 Zugdruckumformen . . . . .	118
3.5.5 Druckumformen . . . . .	122
3.5.6 Maschinen zum Umformen . . . . .	124
<b>3.6 Schneiden</b> . . . . .	125
3.6.1 Scherschneiden . . . . .	125
3.6.2 Strahlschneiden . . . . .	130
<b>3.7 Hand geführte spanende Fertigung</b> . . . . .	134
3.7.1 Grundlagen . . . . .	134
3.7.2 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen . . . . .	135
<b>3.8 Spanende Fertigung mit Werkzeugmaschinen</b> . . . . .	139
3.8.1 Schneidstoffe . . . . .	139
3.8.2 Kühl schmierstoffe . . . . .	143
3.8.3 Sägen . . . . .	146
3.8.4 Bohren . . . . .	147
3.8.5 Senken . . . . .	158
3.8.6 Reiben . . . . .	159
3.8.7 Drehen . . . . .	161
3.8.8 Fräsen . . . . .	185
3.8.9 Räumen . . . . .	202
3.8.10 Entgraten von Werkstücken . . . . .	204
3.8.11 Schleifen . . . . .	207

3.8.12 Feinbearbeitung .....	219	4.4.4 Einteilung der Stähle nach Zusammensetzung und Güteklassen .....	337
3.8.13 Funkenerosives Abtragen .....	225	4.4.5 Stahlsorten und ihre Verwendung .....	338
3.8.14 Vorrichtungen und Spannelemente an Werkzeugmaschinen .....	229	4.4.6 Handelsformen der Stähle .....	340
3.8.15 Fertigungsbeispiel Spannpratze .....	236	4.4.7 Legierungs- und Begleitelemente der Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe .....	341
<b>3.9 CNC-Steuerungen für Werkzeugmaschinen .....</b>	<b>240</b>	4.4.8 Erschmelzen der Eisen-Gusswerkstoffe .....	342
3.9.1 Funktionseinheiten von CNC-Werkzeugmaschinen .....	240	4.4.9 Das Bezeichnungssystem für Gusseisenwerkstoffe .....	343
3.9.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte .....	244	4.4.10 Eisen-Gusswerkstoffarten .....	344
3.9.3 Steuerungsarten, Werkzeugkorrekturen .....	246	4.4.11 Kohlenstoffgehalt der Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe im Vergleich .....	346
3.9.4 Erstellen von CNC-Programmen nach DIN 66025 .....	249	<b>4.5 Nichteisenmetalle (NE-Metalle) .....</b>	347
3.9.5 Zyklen und Unterprogramme .....	254	4.5.1 Leichtmetalle .....	347
3.9.6 Programmieren von CNC-Drehmaschinen .....	255	4.5.2 Schwermetalle .....	349
3.9.7 Programmieren von CNC-Fräsmaschinen .....	263	<b>4.6 Sinterwerkstoffe .....</b>	352
3.9.8 Programmierverfahren .....	269	4.6.1 Herstellung von Sinter-Formteilen aus Metallen .....	352
3.9.9 5-Achsen-Bearbeitung nach PAL .....	271	4.6.2 Eigenschaften und Verwendung von Sinter-Formteilen .....	353
3.9.10 Practice your English .....	275	4.6.3 Spezial-Sinterwerkstoffe .....	353
<b>3.10 Fügen .....</b>	<b>276</b>	<b>4.7 Keramische Werkstoffe .....</b>	354
3.10.1 Fügeverfahren .....	276	<b>4.8 Wärmebehandlung der Stähle .....</b>	356
3.10.2 Press- und Schnappverbindungen .....	279	Gefügearten der Eisenwerkstoffe .....	356
3.10.3 Kleben .....	281	Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm .....	357
3.10.4 Löten .....	283	Gefüge und Kristallgitter bei Erwärmung .....	358
3.10.5 Schweißen .....	289	4.8.1 Glühen .....	359
<b>3.11 Generative Fertigungsverfahren .....</b>	<b>303</b>	4.8.2 Härteten .....	360
3.11.1 Rapid Prototyping .....	304	4.8.3 Vergüten .....	364
3.11.2 Selektives Schmelzen .....	306	4.8.4 Härteten der Randzone .....	365
<b>3.12 Beschichten .....</b>	<b>308</b>	4.8.5 Fertigungsbeispiel: Wärmebehandlung einer Spannpratze .....	368
3.12.1 Beschichten mit Lacken und Kunststoffen .....	308	<b>4.9 Kunststoffe .....</b>	369
3.12.2 Beschichten mit Metallen .....	310	4.9.1 Eigenschaften und Verwendung .....	369
3.12.3 Beschichtungen mit besonderen Eigenschaften .....	311	4.9.2 Chemische Zusammensetzung und Herstellung .....	370
<b>3.13 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz .....</b>	<b>312</b>	4.9.3 Technologische Einteilung und innere Struktur .....	371
<b>3.14 Practice your English .....</b>	<b>315</b>	4.9.4 Thermoplaste .....	372
<b>4 Werkstofftechnik</b>		4.9.5 Duroplaste .....	374
<b>4.1 Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe .....</b>	<b>317</b>	4.9.6 Elastomere .....	375
4.1.1 Einteilung der Werkstoffe .....	317	4.9.7 Kennwerte der Kunststoffe .....	375
4.1.2 Herstellung der Werkstoffe .....	318	<b>4.10 Verbundwerkstoffe .....</b>	377
4.1.3 Hilfsstoffe und Energie .....	318	4.10.1 Innerer Aufbau .....	377
<b>4.2 Auswahl und Eigenschaften der Werkstoffe .....</b>	<b>319</b>	4.10.2 Faserverstärkte Kunststoffe .....	378
4.2.1 Werkstoffauswahl .....	319	4.10.3 Herstellungsverfahren für faserverstärkte Verbundwerkstoffe .....	379
4.2.2 Physikalische Eigenschaften der Werkstoffe .....	320	4.10.4 Teilchenverstärkte und Durchdringungs-Verbundwerkstoffe .....	380
4.2.3 Mechanisch-technologische Eigenschaften .....	321	4.10.5 Schicht-Verbundwerkstoffe .....	380
4.2.4 Fertigungstechnische Eigenschaften .....	323	4.10.6 Struktur-Verbundbauteile .....	381
4.2.5 Chemisch-technologische Eigenschaften .....	323	<b>4.11 Werkstoffprüfung .....</b>	382
4.2.6 Umweltverträglichkeit, gesundheitliche Unschädlichkeit .....	324	4.11.1 Prüfung der Verarbeitungseigenschaften .....	382
<b>4.3 Innerer Aufbau der Metalle .....</b>	<b>325</b>	4.11.2 Prüfung mechanischer Eigenschaften .....	383
4.3.1 Innerer Aufbau und Eigenschaften der Metalle .....	325	4.11.3 Kerbschlagbiegeversuch .....	385
4.3.2 Kristallgittertypen der Metalle .....	326	4.11.4 Härteprüfungen .....	386
4.3.3 Baufehler im Kristall .....	327	4.11.5 Dauerfestigkeitsprüfung .....	390
4.3.4 Entstehung des Metallgefuges .....	327	4.11.6 Bauteil-Betriebslasten-Prüfung .....	391
4.3.5 Gefügearten und Werkstoffeigenschaften .....	328	4.11.7 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen .....	391
4.3.6 Gefüge reiner Metalle und Gefüge von Legierungen .....	329	4.11.8 Metallografische Untersuchungen .....	392
<b>4.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe .....</b>	<b>330</b>	4.11.9 Prüfung der Kunststoff-Kennwerte .....	393
4.4.1 Gewinnung von Roheisen .....	330	<b>4.12 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe .....</b>	394
4.4.2 Herstellung von Stahl .....	331	<b>4.13 Practice your English .....</b>	396
4.4.3 Das Bezeichnungssystem für Stähle .....	334		

<b>5 Maschinentechnik</b>	
5.1 Einteilung der Maschinen .....	398
5.1.1 Kraftmaschinen .....	398
5.1.2 Arbeitsmaschinen .....	402
5.1.3 Datenverarbeitungsanlagen .....	405
<b>5.2 Funktionseinheiten von Maschinen und Geräten .....</b>	<b>406</b>
5.2.1 Innerer Aufbau von Maschinen .....	406
5.2.2 Funktionseinheiten einer CNC-Werkzeugmaschine .....	408
5.2.3 Funktionseinheiten einer Klimaanlage .....	410
5.2.4 Sicherheitseinrichtungen an Maschinen .....	411
<b>5.3 Funktionseinheiten zum Verbinden .....</b>	<b>413</b>
5.3.1 Gewinde .....	413
5.3.2 Schraubenverbindungen .....	415
5.3.3 Stiftverbindungen .....	423
5.3.4 Nietverbindungen .....	425
5.3.5 Welle-Nabe-Verbindungen .....	427
<b>5.4 Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen .....</b>	<b>431</b>
5.4.1 Reibung und Schmierstoffe .....	431
5.4.2 Lager .....	434
5.4.3 Führungen .....	443
5.4.4 Dichtungen .....	446
5.4.5 Federn .....	448
<b>5.5 Funktionseinheiten zur Energieübertragung .....</b>	<b>450</b>
5.5.1 Wellen und Achsen .....	450
5.5.2 Kupplungen .....	452
5.5.3 Riementriebe .....	457
5.5.4 Kettenriebe .....	459
5.5.5 Zahnradtriebe .....	461
<b>5.6 Antriebseinheiten .....</b>	<b>464</b>
5.6.1 Elektromotoren .....	464
5.6.2 Getriebe .....	471
5.6.3 Linearantriebe .....	477
<b>5.7 Practice your English .....</b>	<b>479</b>
<b>6 Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung</b>	
<b>6.1 Montagetechnik .....</b>	<b>480</b>
6.1.1 Montageplanung .....	480
6.1.2 Organisationsformen bei der Montage .....	481
6.1.3 Automatisierung der Montage .....	481
6.1.4 Montagebeispiele .....	482
<b>6.2 Inbetriebnahme .....</b>	<b>488</b>
6.2.1 Aufstellung von Maschinen oder Anlagen .....	489
6.2.2 Inbetriebnahme von Maschinen oder Anlagen .....	490
6.2.3 Abnahme von Maschinen oder Anlagen .....	492
<b>6.3 Instandhaltung .....</b>	<b>493</b>
6.3.1 Tätigkeitsgebiete und Definition .....	493
6.3.2 Begriffe der Instandhaltung .....	494
6.3.3 Ziele der Instandhaltung .....	495
6.3.4 Instandhaltungskonzepte .....	495
6.3.5 Wartung .....	498
6.3.6 Inspektion .....	501
6.3.7 Instandsetzung .....	503
6.3.8 Verbesserungen .....	505
6.3.9 Auffinden von Störstellen und Fehlerquellen .....	506
<b>6.4 Korrosion und Korrosionsschutz .....</b>	<b>508</b>
6.4.1 Ursachen der Korrosion .....	508
6.4.2 Korrosionsarten und ihr Erscheinungsbild .....	510
6.4.3 Korrosionsschutz-Maßnahmen .....	511
<b>6.5 Schadensanalyse und Schadensvermeidung .....</b>	<b>514</b>
<b>6.6 Beanspruchung und Festigkeit der Bauelemente .....</b>	<b>516</b>
<b>6.7 Practice your English .....</b>	<b>518</b>
<b>7 Elektrotechnik</b>	
<b>7.1 Der elektrische Stromkreis .....</b>	<b>520</b>
7.1.1 Die elektrische Spannung .....	520
7.1.2 Der elektrische Strom .....	521
7.1.3 Der elektrische Widerstand .....	522
<b>7.2 Schaltung von Widerständen .....</b>	<b>523</b>
7.2.1 Reihenschaltung von Widerständen .....	523
7.2.2 Parallelschaltung von Widerständen .....	524
<b>7.3 Stromarten .....</b>	<b>525</b>
<b>7.4 Elektrische Leistung und elektrische Arbeit .....</b>	<b>526</b>
<b>7.5 Überstrom-Schutzeinrichtungen .....</b>	<b>527</b>
<b>7.6 Fehler an elektrischen Anlagen .....</b>	<b>528</b>
<b>7.7 Schutzmaßnahmen bei elektrischen Maschinen .....</b>	<b>529</b>
<b>7.8 Hinweise für den Umgang mit Elektrogeräten .....</b>	<b>531</b>
<b>7.9 Practice your English .....</b>	<b>532</b>
<b>8 Grundlagen der Automatisierungstechnik</b>	
<b>8.1 Steuern und Regeln .....</b>	<b>533</b>
8.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik .....	533
8.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik .....	535
<b>8.2 Grundlagen und Grundelemente von Steuerungen .....</b>	<b>539</b>
8.2.1 Arbeitsweise von Steuerungen .....	539
8.2.2 Steuerungskomponenten .....	540
<b>8.3 Pneumatische Steuerungen .....</b>	<b>545</b>
8.3.1 Baugruppen pneumatischer Anlagen .....	545
8.3.2 Bauelemente der Pneumatik .....	546
8.3.3 Schaltpläne pneumatischer Steuerungen .....	555
8.3.4 Systematischer Schaltplanentwurf .....	556
8.3.5 Beispiele pneumatischer Steuerungen .....	560
8.3.6 Vakuumtechnik .....	563
<b>8.4 Elektropneumatische Steuerungen .....</b>	<b>565</b>
8.4.1 Bauelemente elektrischer Kontaktsteuerungen .....	565
8.4.2 Signalelemente – Sensoren .....	568
8.4.3 Verdrahtung mit Klemmleiste .....	573
8.4.4 Beispiele für elektropneumatische Steuerungen .....	574
8.4.5 Ventilinseln .....	579
<b>8.5 Hydraulische Steuerungen .....</b>	<b>581</b>
8.5.1 Energieversorgung und Druckmittelaufbereitung .....	582
8.5.2 Arbeitselemente und Hydrospeicher .....	584
8.5.3 Hydraulikventile .....	588
8.5.4 Proportionalhydraulik .....	592
8.5.5 Hydraulikleitungen und Zubehör .....	594
8.5.6 Beispiele für hydraulische Schaltungen .....	596
<b>8.6 Speicherprogrammierbare Steuerungen .....</b>	<b>599</b>
8.6.1 Speicherprogrammierbare Steuerung als Kleinsteuerung (Logikmodul) .....	599
8.6.2 Speicherprogrammierbare Steuerung als modulares Automatisierungssystem ..	602
<b>8.7 Practice your English .....</b>	<b>612</b>

<b>9 Automatisierung der Produktion</b>	
9.1 Vergleich der konventionellen und automatisierten Produktion .....	614
9.2 Automatisierungsstufen von Fertigungsanlagen .....	616
9.3 Komponenten automatisierter flexibler Fertigungsanlagen .....	617
9.4 Automatisierte CNC-Werkzeugmaschinen .....	618
9.4.1 Automatisierung eines CNC-Bearbeitungszentrums .....	618
9.4.2 Automatisierung einer CNC-Drehmaschine .....	620
9.4.3 Überwachungseinrichtungen in Werkzeugmaschinen .....	622
9.5 Transportsysteme in automatisierten Produktionsanlagen .....	623
9.6 Industrieroboter in der Produktion .....	624
9.6.1 Handhabungstechnik .....	624
9.6.2 Einteilung der Handhabungssysteme .....	625
9.6.3 Kinematik und Bauarten von Industrierobotern .....	625
9.6.4 Funktionseinheiten von Industrierobotern .....	627
9.6.5 Programmiermethoden von Industrierobotern .....	628
9.6.6 Koordinatensysteme für die Roboterprogrammierung .....	629
9.6.7 Programmierroutinen: Bewegungen und Kommunikation .....	630
9.6.8 Formen der Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter .....	633
9.6.9 Schutzmaßnahmen und Einsatz von Cobots .....	635
9.6.10 COBOT-Programm Beispiel .....	635
9.7 Automatisierte flexible Fertigungsanlage .....	638
9.8 Automatisierte Transferstraße .....	639
9.9 Marktanforderungen und Produktionsanlagen .....	640
<b>9.10 Vergleich der Flexibilität und Produktivität von Produktionsanlagen .....</b>	<b>641</b>
<b>9.11 Industrie 4.0 – Smart Factory .....</b>	<b>642</b>
9.11.1 Komponenten einer Smart Factory .....	642
9.11.2 Struktur der Smart Factory .....	644
9.11.3 Beispiele für Industrie-4.0-Anwendungen .....	645
9.11.4 Smart Factory .....	648
<b>9.12 Practice your English .....</b>	<b>650</b>
<b>10 Technische Projekte</b>	
<b>10.1 Grundlagen der Projektarbeit .....</b>	<b>651</b>
10.1.1 Arbeitsorganisation Linie und Projekt .....	651
10.1.2 Der Projektbegriff .....	651
10.1.3 Technische Projektarten .....	652
<b>10.2 Projektarbeit als vollständige Handlung und planmäßige Problemlösung .....</b>	<b>652</b>
<b>10.3 Projekte in Phasen erarbeiten am Projektbeispiel Hebevorrichtung .....</b>	<b>653</b>
10.3.1 Die Initialisierungsphase .....	653
10.3.2 Die Definitionsphase .....	654
10.3.3 Die Planungsphase mit Konzeptentwicklung .....	657
10.3.4 Die Durchführungsphase mit Projektrealisierung .....	662
10.3.5 Der Projektabschluss .....	664
<b>10.4 Veränderte Vorgehensmodelle bei der Projektarbeit .....</b>	<b>665</b>
<b>10.5 Dokumentation und technische Unterlagen .....</b>	<b>666</b>
10.5.1 Erstellung von technischen Unterlagen und Dokumentationen .....	666
10.5.2 Anleitungen .....	666
10.5.3 Technische Kommunikation .....	667
10.5.4 Office-Lösungen in der Dokumentation ..	673
<b>10.6 Practice your English .....</b>	<b>678</b>

## Informationen zum lernfeldorientierten Unterrichten

Lernfeld: Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen .....	680
Lernfeld: Fertigen von Bauelementen mit Maschinen .....	682
Lernfeld: Herstellen einfacher Baugruppen .....	684
Lernfeld: Warten technischer Systeme .....	686
Lernfeld: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen .....	688
Lernfeld: Installieren und in Betrieb nehmen steuerungstechnischer Systeme .....	690
Lernfeld: Montieren von technischen Teilsystemen .....	692
Lernfeld: Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen .....	694
Lernfeld: Instandsetzen von technischen Systemen .....	696
Lernfeld: Herstellen und in Betrieb nehmen von technischen Teilsystemen .....	698
Lernfeld: Überwachen der Produkt- und Prozessqualität .....	700
Lernfeld: Instandhaltung von technischen Systemen .....	702
Lernfeld: Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme .....	704

## Firmen- und Bildquellenverzeichnis .....

## Sachwortverzeichnis .....



## 1 Prüftechnik mit Geometrischer Produktspezifikation (ISO GPS)

<b>1.1 Größen und Einheiten . . . . .</b>	<b>9</b>	Tolerierungsgrundsätze . . . . .	<b>43</b>
<b>1.2 Grundlagen der Messtechnik . . . . .</b>	<b>11</b>	Geometrische Spezifikation durch eine Zone . . . . .	<b>44</b>
Grundbegriffe . . . . .	11	Beispiele zum Spezifizierungsprozess an Bauteilen einer Flügelzellenpumpe . . . . .	44
Messabweichungen . . . . .	14	Fachbegriffe zu ISO-GPS (Auswahl) . . . . .	47
Messmittelfähigkeit und Prüfmittelüberwachung . . . . .	17		
<b>1.3 Längenprüfmittel . . . . .</b>	<b>19</b>	<b>1.5 Toleranzen und Passungen</b>	
Maßverkörperungen und Formverkörperungen . . . . .	19	<b>Dimensionelle Tolerierung . . . . .</b>	<b>49</b>
Mechanische und elektronische Messgeräte . . . . .	22	Toleranzen . . . . .	49
Pneumatische Messgeräte . . . . .	30	Passungen . . . . .	53
Elektronische Messgeräte . . . . .	32	<b>1.6 Geometrische Tolerierung und Prüfung von Form, Richtung, Ort und Lauf . . . . .</b>	<b>57</b>
Optoelektronische Messgeräte . . . . .	33	Form- und Lagetoleranzen . . . . .	57
Koordinatenmessgeräte . . . . .	35	Prüfung von ebenen Flächen und Winkeln . . . . .	59
<b>1.4 Geometrische Produktspezifikation (ISO-GPS) . . . . .</b>	<b>39</b>	Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung . . . . .	62
Bedeutung und Zielsetzung . . . . .	39	Gewindeprüfung . . . . .	67
Das ISO-GPS-Normensystem . . . . .	39	Kegelprüfung . . . . .	69
Spezifikation, Verifikation, Validierung . . . . .	40	<b>1.7 Kenngrößen und Prüfung von Oberflächen . . . . .</b>	<b>70</b>
Spezifikation durch Längen- und Winkelgrößenmaße . . . . .	41	<b>1.8 Practice your English . . . . .</b>	<b>74</b>
Zeichnungseintragung und Messung von Größenmaßen . . . . .	42		

## 2 Qualitätsmanagement

<b>2.1 Arbeitsbereiche des QM . . . . .</b>	<b>75</b>	Kennwerte der Normalverteilung von Stichproben . . . . .	<b>84</b>
<b>2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000 . . . . .</b>	<b>76</b>	Qualitätsprüfung nach dem Stichprobenverfahren . . . . .	<b>85</b>
<b>2.3 Qualitätsforderungen . . . . .</b>	<b>76</b>		
<b>2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler . . . . .</b>	<b>77</b>	<b>2.8 Maschinenfähigkeit . . . . .</b>	<b>86</b>
<b>2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements . . . . .</b>	<b>78</b>	<b>2.9 Prozessfähigkeit . . . . .</b>	<b>89</b>
<b>2.6 Qualitätslenkung . . . . .</b>	<b>81</b>	<b>2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten . . . . .</b>	<b>90</b>
<b>2.7 Qualitätssicherung . . . . .</b>	<b>82</b>	<b>2.11 Auditierung und Zertifizierung . . . . .</b>	<b>93</b>
Prüfplanung . . . . .	82	<b>2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse . . . . .</b>	<b>94</b>
Wahrscheinlichkeit . . . . .	82	<b>2.13 Practice your English . . . . .</b>	<b>95</b>
Die Normalverteilung von Merkmalswerten . . . . .	83		
Mischverteilung von Merkmalswerten . . . . .	83		

# 1 Prüftechnik mit Geometrischer Produktspezifikation (ISO GPS)

## 1.1 Größen und Einheiten

Größen beschreiben Merkmale, z.B. Länge, Zeit, Temperatur oder Stromstärke (**Bild 1**).

Im internationalen Einheitensystem **SI** (System International) sind Basisgrößen und Basiseinheiten festgelegt (**Tabelle 1**).

Zur Vermeidung von sehr großen oder kleinen Zahlen werden dezimale Vielfache oder dezimale Teile den Namen der Einheiten vorangestellt, z.B. Millimeter (**Tabelle 2**).

### //Länge

Die Basiseinheit der Länge ist das Meter. Ein Meter ist die Länge des Weges, den das Licht im luftleeren Raum in einer 299729458stel Sekunde durchläuft.

In Verbindung mit der Einheit Meter sind einige Vorsätze gebräuchlich, die zweckmäßige Angaben von großen Entfernungen oder von kleinen Längen ermöglichen (**Tabelle 3**).

Neben dem metrischen System wird in einigen Ländern noch das Inch-System verwendet.

Umrechnung: 1 Inch (in) = 25,4 mm

### //Winkel

Die Einheiten des Winkels bezeichnen Mittelpunktwinkel, die sich auf den Vollkreis beziehen.

Ein **Grad** ( ${}^{\circ}$ ) ist der 360ste Teil des Vollwinkels (**Bild 2**). Die Unterteilung von  ${}^{\circ}$  kann in Minuten ('), Sekunden ("') oder in dezimale Teile erfolgen.

Der **Radian** (**rad**) ist der Winkel, der aus einem Kreis mit dem Radius 1 m einen Bogen von 1 m Länge schneidet (**Bild 2**). Ein Radian entspricht einem Winkel von 57,29577951 $^{\circ}$ .

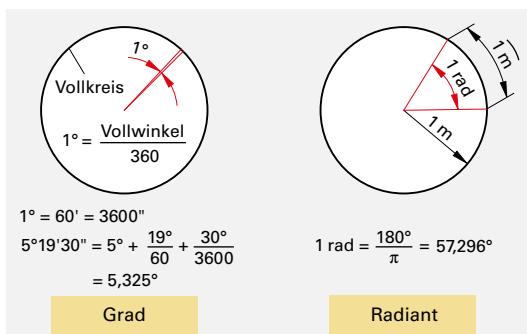


Bild 2: Winkeleinheiten

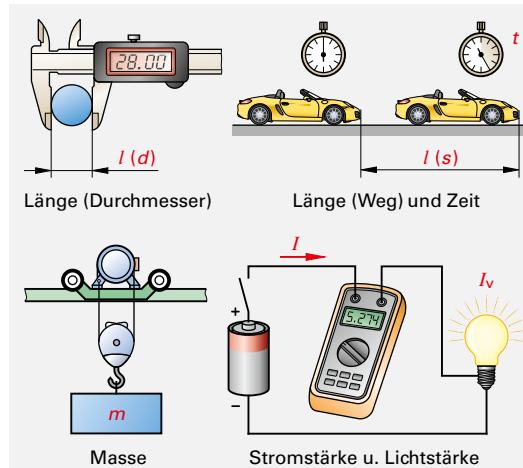


Bild 1: Basisgrößen

**Tabelle 1: Internationales Einheitensystem**

Basisgrößen und Formelzeichen	Basiseinheiten	
	Name	Zeichen
Länge $l$	Meter	m
Masse $m$	Kilogramm	kg
Zeit $t$	Sekunde	s
Thermodynamische Temperatur $T$	Kelvin	K
Elektrische Stromstärke $I$	Ampere	A
Lichtstärke $I_v$	Candela	cd

**Tabelle 2: Vorsätze zur Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen der Einheiten**

Vorsatz	Faktor
M Mega	millionenfach $10^6 = 1\,000\,000$
k Kilo	tausendfach $10^3 = 1\,000$
h Hekto	hundertfach $10^2 = 100$
da Deka	zehnfach $10^1 = 10$
d Dezi	Zehntel $10^{-1} = 0,1$
c Zenti	Hundertstel $10^{-2} = 0,01$
m Milli	Tausendstel $10^{-3} = 0,001$
$\mu$ Mikro	Millionstel $10^{-6} = 0,000\,001$

**Tabelle 3: Gebräuchliche Längeneinheiten**

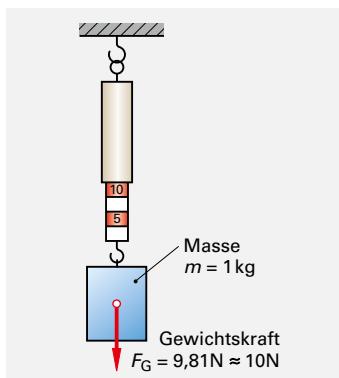
Metrisches System	
1 Kilometer (km)	= 1000 m
1 Dezimeter (dm)	= 0,1 m
1 Zentimeter (cm)	= 0,01 m
1 Millimeter (mm)	= 0,001 m
1 Mikrometer ( $\mu$ m)	= 0,000 001 m = 0,001 mm
1 Nanometer (nm)	= 0,000 000 001 m = 0,001 $\mu$ m

## // Masse, Kraft und Druck

Die **Masse  $m$**  eines Körpers ist abhängig von seiner Stoffmenge. Sie ist unabhängig vom Ort, an dem sich der Körper befindet. Die Basiseinheit der Masse ist das Kilogramm. Gebräuchliche Einheiten sind auch das Gramm und die Tonne:  $1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$ ,  $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$ .

Ein Platin-Iridium-Zylinder, der in Paris aufbewahrt wird, ist das internationale Normal für die Masse 1 kg. Es ist die einzige Basis-Einheit, die bisher nicht mithilfe einer Naturkonstanten definiert werden konnte.

Ein Körper mit der Masse von einem Kilogramm wirkt auf der Erde (Normort Zürich) mit einer **Kraft  $F_G$**  (Gewichtskraft) von  $9,81 \text{ N}$  auf seine Aufhängung oder Auflage (**Bild 1**).



**Bild 1: Masse und Kraft**

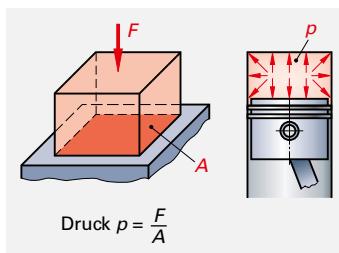
Der **Druck  $p$**  bezeichnet die Kraft je Flächeneinheit (**Bild 2**) in Pascal (Pa) oder Bar (bar).

Einheiten:  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 0,00001 \text{ bar}$ ;  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10 \text{ N/cm}^2$

## // Temperatur

Die Temperatur beschreibt den Wärmezustand von Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen. Das **Kelvin (K)** ist der 273,15te Teil der Temperaturdifferenz zwischen dem absoluten Nullpunkt und dem Gefrierpunkt des Wassers (**Bild 3**). Die gebräuchlichste Einheit der Temperatur ist das **Grad Celsius (°C)**. Der Gefrierpunkt des Wassers entspricht  $0^\circ\text{C}$ , der Siedepunkt des Wassers  $100^\circ\text{C}$ .

Umrechnung:  $0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$ ;  $0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$



**Bild 2: Druck**

## // Zeit, Frequenz und Drehzahl

Für die **Zeit  $t$**  ist die Basiseinheit Sekunde (s) festgelegt.

Einheiten:  $1 \text{ s} = 1000 \text{ ms}$ ;  $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$

Die **Periodendauer  $T$** , auch Schwingungsdauer genannt, ist die Zeit in Sekunden, in der sich ein Vorgang regelmäßig wiederholt, z.B. eine volle Schwingung eines Pendels oder die Umdrehung einer Schleifscheibe (**Bild 4**).

Die **Frequenz  $f$**  ist der Kehrwert der Periodendauer  $T$  ( $f = 1/T$ ). Sie gibt an, wie viele Vorgänge je Sekunde stattfinden. Sie wird in 1/s oder Hertz (Hz) angegeben.

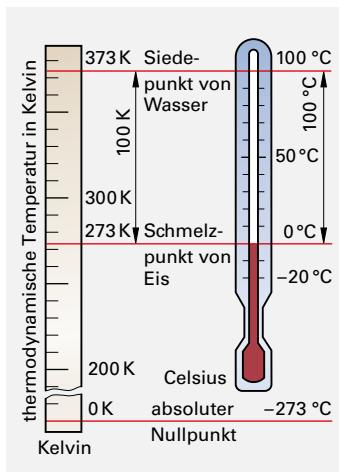
Einheiten:  $1/\text{s} = 1 \text{ Hz}$ ;  $10^3 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$ ;  $10^6 \text{ Hz} = 1 \text{ MHz}$

Die **Umdrehungsfrequenz  $n$  (Drehzahl)** ist die Anzahl der Umdrehungen je Sekunde oder Minute.

**Beispiel:** Eine Schleifscheibe mit dem Durchmesser von 200 mm macht 6000 Umdrehungen in 2 min.

Wie groß ist die Drehzahl?

Lösung: Drehzahl (Umdrehungsfrequenz)  $n = \frac{6000}{2} = 3000/\text{min}$



**Bild 3: Temperaturskalen**

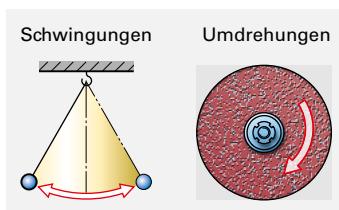
## // Größengleichungen (Formeln)

Formeln stellen Beziehungen zwischen Größen her.

**Beispiel:** Der Druck  $p$  ist die Kraft  $F$  je Fläche  $A$ .

$$p = \frac{F}{A}; \quad p = \frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} = \frac{100 \text{ N}}{\text{cm}^2} = 10 \text{ bar}$$

Beim Rechnen werden die Größen durch Formelzeichen ausgedrückt. Der Größenwert wird als Produkt aus Zahlenwert und Einheit angegeben, z.B.  $F = 100 \text{ N}$  oder  $A = 1 \text{ cm}^2$ . Einheitengleichungen geben die Beziehung zwischen Einheiten an, z.B.  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ .



**Bild 4: Periodische Vorgänge**

## 1.2 Grundlagen der Messtechnik

### 1.2.1 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 Messeinrichtungen, d. h. mit Messgeräten und Hilfsmitteln (**Bild 1 und 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.

#### //Messeinrichtungen

Messeinrichtungen umfassen die jeweiligen **Messgeräte** und **Hilfsmittel** (zusätzlich erforderlichen Einrichtungen).

Alle anzeigenende 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 Winkel Lage von Flächen (Winkelendmaß).

**Anzeigenende 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, aber auch Messverstärker oder Messumformer.

#### //Messtechnische Begriffe

Um Missverständnisse bei der Beschreibung von Messvorgängen oder Auswerteverfahren zu vermeiden, sind eindeutige Grundbegriffe unerlässlich (**Tabelle folgende Seite**).

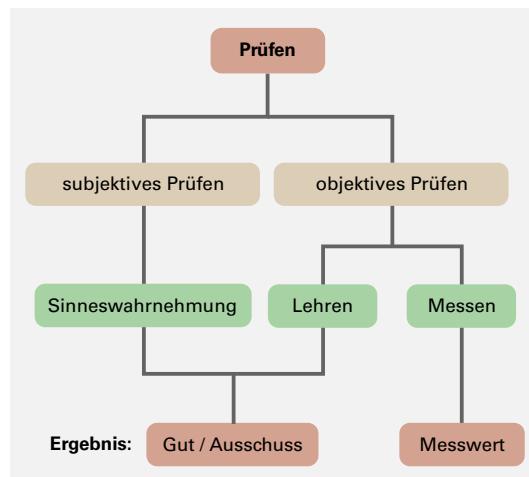


Bild 1: Prüfarten und Prüfergebnis

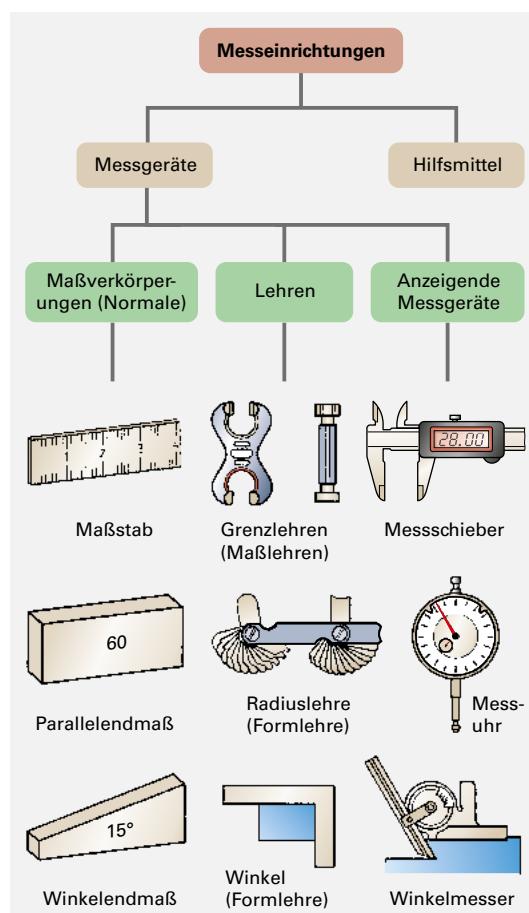


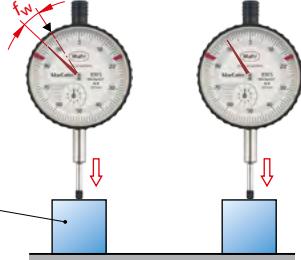
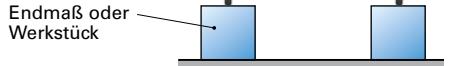
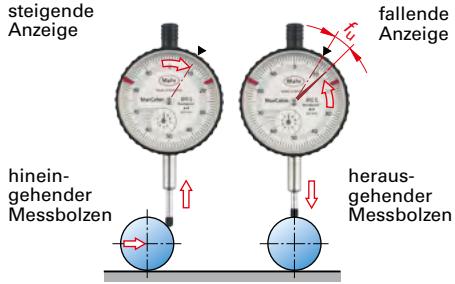
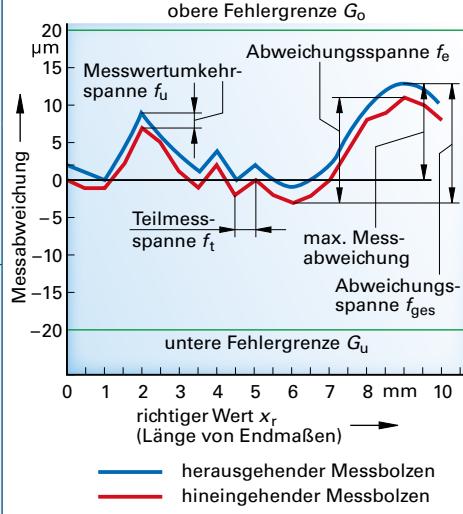
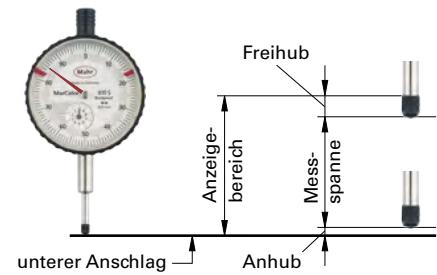
Bild 2: Messeinrichtungen

**Tabelle 1: Messtechnische Begriffe**

Begriff	Kurzzeichen	Definition, Erklärung	Beispiel, Formeln
<b>Messgröße</b>	<b>M</b>	Die zu messende Länge bzw. der zu messende Winkel, z.B. ein Bohrungsabstand oder ein Durchmesser.	
<b>Anzeige</b>	-	Der angezeigte Zahlenwert des Messwertes ohne Einheit (vom Messbereich abhängig). Bei Maßverkörperungen entspricht die Aufschrift der Anzeige.	 Skalenanzeige $Skw = 0,01\text{mm}$
Skalenanzeige	-	Kontinuierliche Anzeige auf einer Strichskale	
Ziffernanzeige	-	Digitale Anzeige auf einer Ziffernskale	
<b>Skalenteilungswert*</b>	<b>Skw oder →←</b>	Differenz zwischen den Messwerten, die zwei aufeinander folgenden Teilstrichen entsprechen. Der Skalenteilungswert $Skw$ wird in der auf der Skale stehenden Einheit angegeben.	
<b>Ziffernschrittwert</b>	<b>Zw</b>	Der Ziffernschrittwert entspricht dem Skalenteilungswert einer Strichskale.	 Ziffernanzeige $Zw = 0,01\text{mm}$
<b>Angezeigter Messwert</b>	$x_a$ $x_1, x_2 \dots$	Einzelne Messwerte oder Mittelwerte setzen sich aus dem richtigen Wert und den zufälligen sowie systematischen Messabweichungen zusammen.	
Mittelwert	$\bar{x}$	Der Mittelwert $\bar{x}$ 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.	
<b>Unberichtigtes Messergebnis</b>	$x_a$ $x_1, x_2 \dots$ $\bar{x}$	Gemessener Wert einer Messgröße, z.B. ein unkorrigierter Einzelmesswert oder ein durch Wiederholungsmessungen ermittelter Messwert, der noch nicht 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.	
<b>Systematische Messabweichung</b>	$A_s$	Die Messabweichung ergibt sich durch Vergleich des angezeigten Messwertes $x_a$ oder des Mittelwertes $\bar{x}_a$ mit dem richtigen Wert $x_r$ (Seite 16).	$A_s = x_a - x_r \quad (A_s = \bar{x}_a - x_r)$
<b>Korrektionswert</b>	$K$	Ausgleich von bekannten, systematischen Abweichungen, z.B. Abweichung der Temperatur.	$K = -A_s \quad (K = K_1 + K_2 \dots + K_n)$
<b>Messunsicherheit*</b>	$u$	Die Messunsicherheit beinhaltet alle zufälligen Abweichungen sowie die unbekannten und nicht korrigierten systematischen Messabweichungen.	
Kombinierte Standardunsicherheit	$u_c$	Gesamtwirkung vieler Unsicherheitsanteile an der Streuung von Messwerten, z.B. durch Temperatur, Messeinrichtung, Prüfer und Messverfahren.	$u_c = \sqrt{u_{x1}^2 + u_{x2}^2 + \dots + u_{xn}^2}$
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.	$U = 2 \cdot u_c \quad (\text{Faktor } 2 \text{ für Vertrauensniveau } 95\%)$
<b>Berichtigtes Messergebnis</b>	$y$	Messwert, korrigiert um bekannte systematische Messabweichungen ( $K$ – Korrektion).	$y = x + K \quad (y = \bar{x} + K)$
<b>Vollständiges Messergebnis</b>	$Y$	Das Messergebnis $Y$ ist der wahre Wert für die Messgröße $M$ . Es schließt die erweiterte Messunsicherheit $U$ ein.	$Y = y \pm U \quad (Y = \bar{x} + K \pm U)$

\* Merkmale von Messgeräten, die in Katalogen angegeben werden.

**Tabelle 1: Messtechnische Begriffe**

Begriff	Kurz-zeichen	Definition, Erklärung	Beispiel
<b>Wiederhol-präzision*</b>	$f_w$	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.	
<b>Wiederhol-grenze* (Wiederhol-barkeit)</b>	$r$	Die Wiederholgrenze ist der Differenzbetrag für zwei einzelne Messwerte bei einer Wahrscheinlichkeit von 95%.	
<b>Messwert-umkehr-spanne*</b>	$f_u$	<p>Die Messwertumkehrspanne eines Messgerätes ist der Unterschied der Anzeige für dieselbe Messgröße, wenn einmal bei steigender Anzeige (bei hineingehendem Messbolzen) und einmal bei fallender Anzeige (bei herausgehendem Messbolzen) gemessen wird.</p> <p>Die Messwertumkehrspanne kann durch einzelne Messungen bei beliebigen Werten innerhalb des Messbereiches bestimmt oder aus dem Abweichungsdiagramm entnommen werden.</p>	
<b>Abwei-chungs-spanne*</b>	$f_e$	<p>Die Abweichungsspanne <math>f_e</math> ist die Differenz zwischen der größten und kleinsten Messabweichung im gesamten Messbereich. Sie wird bei Messuhren und Feinzeigern bei hineingehendem Messbolzen ermittelt.</p>	
Gesamt-abweichungs-spanne	$f_{ges}$	<p>Die Gesamtabweichungsspanne <math>f_{ges}</math> von Messuhren wird durch Messungen im ganzen Messbereich mit hinein- und herausgehendem Messbolzen ermittelt.</p>	
<b>Fehler-grenze*</b>	$G$	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. $G_o = G_u = 20 \mu\text{m}$	
<b>Mess-bereich*</b>	<b>Meb</b>	Der Messbereich ist der Bereich von Messwerten, in dem die Fehlergrenzen des Messgerätes nicht überschritten werden.	
<b>Mess-spanne</b>	<b>Mes</b>	Die Messspanne ist die Differenz zwischen Endwert und Anfangswert des Messbereiches.	
<b>Anzeige-bereich</b>	<b>Azb</b>	Der Anzeigebereich ist der Bereich zwischen der größten und der kleinsten Anzeige.	

\* Merkmale von Messgeräten, die in Katalogen angegeben werden.

## 1.2.2 Messabweichungen

### // Ursachen von Messabweichungen (Tabelle 1, folgende Seite)

**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**).

### // Arten von Abweichungen

**Systematische Messabweichungen** werden durch konstante Abweichungen verursacht: Temperatur, Messkraft, Radius des Messstifts 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.

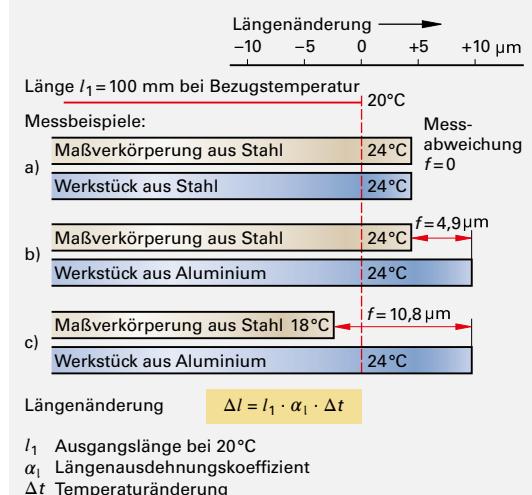


Bild 1: Messabweichungen durch die Temperatur

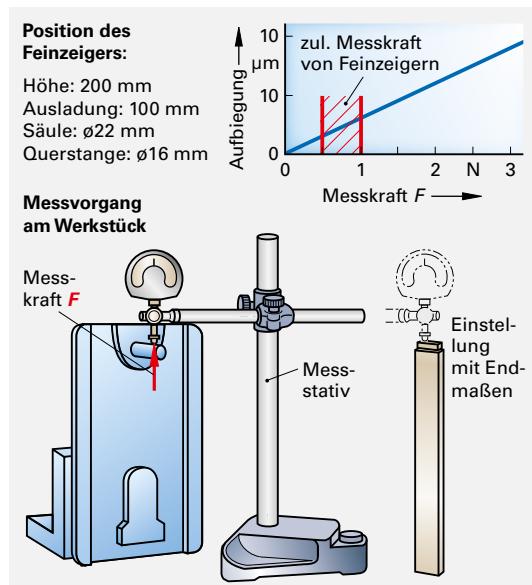


Bild 2: Messabweichungen durch elastische Formänderung am Messstativ durch die Messkraft

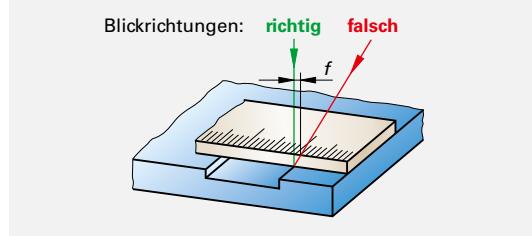
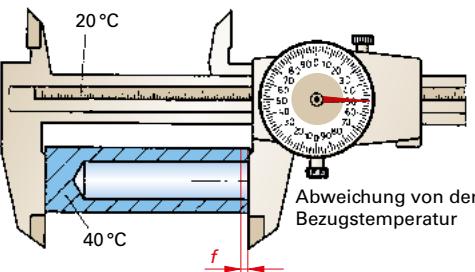
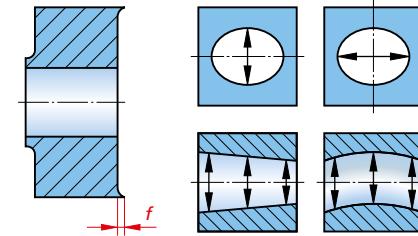
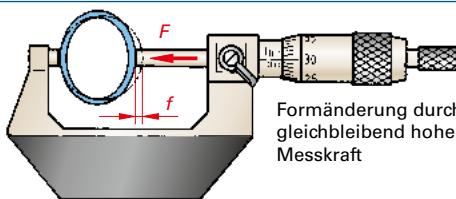
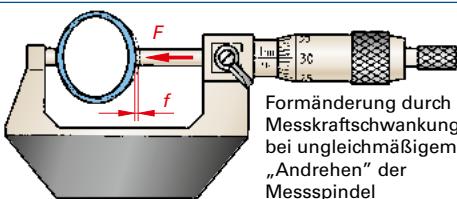
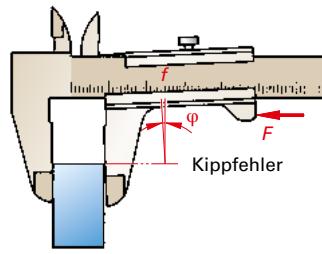
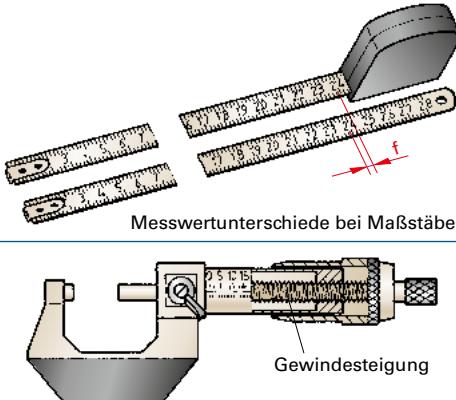
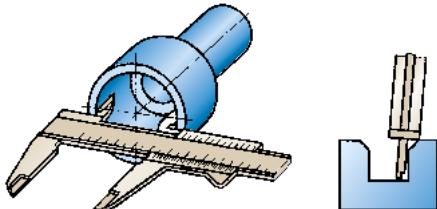
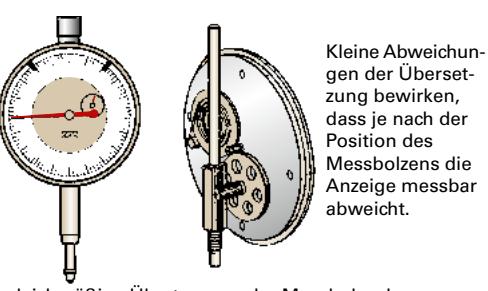
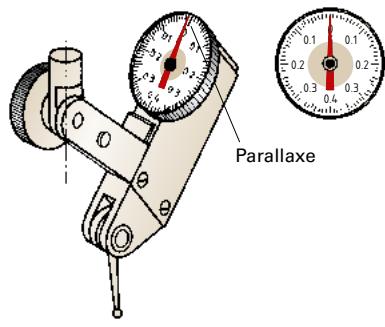


Bild 3: Messabweichung durch Parallaxe

**Tabelle 1: Ursachen und Arten von Messabweichungen**

Systematische Messabweichung	Zufällige Messabweichung
 <p>Abweichung von der Bezugstemperatur</p> <p>zu großer Messwert durch zu hohe Werkstücktemperatur</p>	 <p>Grat Späne Schmutz Fett</p> <p>Unsicherheiten durch unsaubere Flächen u. Formabweichungen</p>
 <p>Formänderung durch gleichbleibend hohe Messkraft</p> <p>zu kleiner Messwert durch den Einfluss der Messkraft</p>	 <p>Formänderung durch Messkraftschwankung bei ungleichmäßigem „Andrehen“ der Messspindel</p> <p>Streuung der Messwerte durch Messkraftschwankung</p>
 <p>kleinere Messwerte bei Außenmessungen, größere bei Innenmessungen</p> <p>Messabweichungen durch Abnutzung der Messflächen</p>	 <p>Kippfehler</p> <p>„Kippfehler“ in Abhängigkeit von Messkraft und Führungsspiel</p>
 <p>Gewindesteigung</p> <p>Einfluss von Steigungsabweichungen auf die Messwerte</p>	 <p>unsicheres Ansetzen des Messschiebers bei Innenmessungen</p>
 <p>Kleine Abweichungen der Übersetzung bewirken, dass je nach der Position des Messbolzens die Anzeige messbar abweicht.</p> <p>ungleichmäßige Übertragung der Messbolzenbewegung</p>	 <p>Parallaxe</p> <p>Ablesefehler durch schrägen Blickwinkel (Parallaxe)</p>

**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. Die systematische **Abweichung  $A_s$**  eines einzelnen Messwertes ergibt sich aus der Differenz von angezeigtem Wert  $x_a$  und richtigem Wert  $x_r$ .

Prüft man die Messabweichungen einer Bügelmessschraube im Messbereich von 0 mm bis 25 mm, erhält man das Diagramm der Messabweichungen (**Bild 1**). 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.
- Der Normalfall in der Messtechnik sind symmetrische Fehlergrenzen. Die Fehlergrenzen enthalten die Abweichungen des Messelements, z. B. Ebenheitsabweichungen.
- Die Einhaltung der 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 2**). Die Nulleinstellung erfolgt mit Endmaßen, die dem Prüfmaß am Werkstück entsprechen. Die zufällige Streuung kann durch **Messungen unter Wiederholbedingungen** ermittelt werden (**Bild 3**):

### 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.

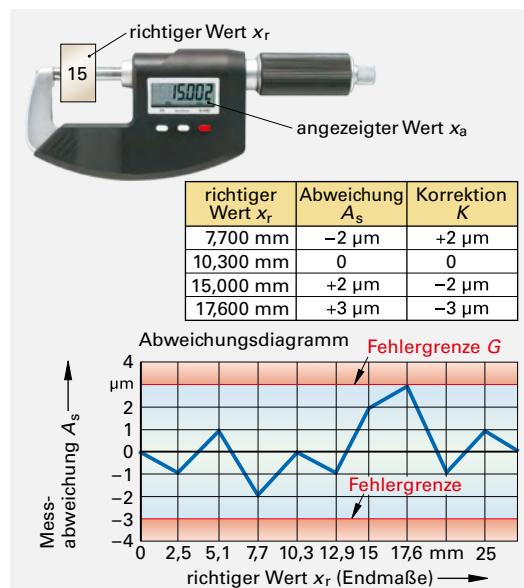


Bild 1: Systematische Abweichungen einer Bügelmessschraube

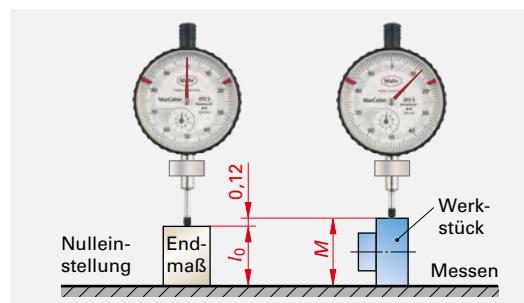


Bild 2: Nulleinstellung der Anzeige und Unterschiedsmessung

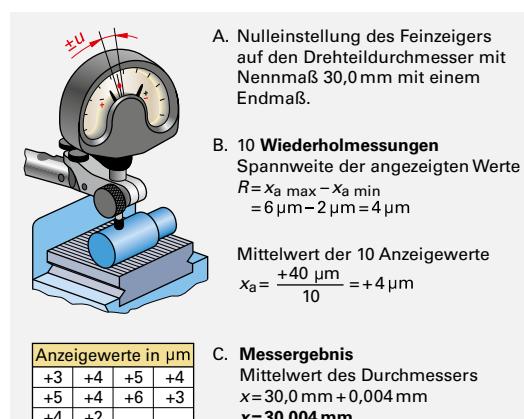


Bild 3: Zufällige Abweichungen eines Feinzeigers bei Messungen unter Wiederholbedingungen

## 1.2.3 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.

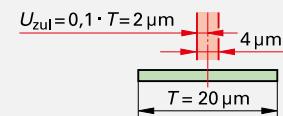


Bild 1: Zulässige Messunsicherheit

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.

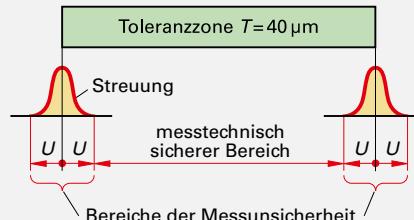
**Beispiel** für die Folgen einer zu großen Messunsicherheit  $U = 0,2 \cdot T$  (Bild 2): Obwohl der richtige Messwert 15,005 mm außerhalb der Toleranz liegt, wird durch eine Messabweichung von +7 µm der Messwert 15,012 mm angezeigt, ein Maß, das in der Toleranz zu liegen scheint. Ein Ausschussteil 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.

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.

### Zulässige Messunsicherheit $U = 0,1 \cdot T$



### Zu große Messunsicherheit $U = 0,2 \cdot T$

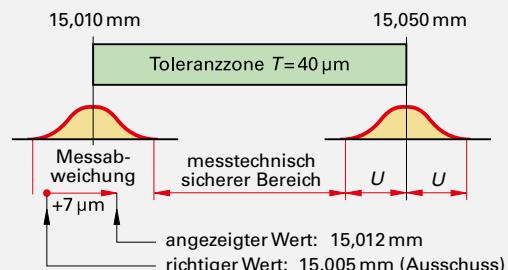


Bild 2: Messunsicherheit im Verhältnis zur Toleranz

Tabelle 1: Messunsicherheit

Messgerät	Voraussichtliche Messunsicherheit	Fehlergrenze $G$ neuer Messgeräte	
	$Skw = 0,05 \text{ mm}$ Messbereich: 0 ... 150 mm	$U \geq 50 \mu\text{m}$	50 µm
	$Skw = 0,01 \text{ mm}$ Messbereich: 50 ... 75 mm	$U \approx 10 \mu\text{m}$	5 µm
	$Skw = 1 \mu\text{m}$ Messbereich: $\pm 50 \mu\text{m}$	$U \approx 1 \mu\text{m}$	1 µm

## // Messmittelfähigkeit bei vorgegebener Toleranz

**Beispiel:** Mit einer mechanischen Bügelmessschraube ( $Skw = 0,01 \text{ mm}$ ) 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:  $U = 0,01 \text{ mm}$

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

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 anzeigenenden 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 16**).

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

- Wie wirken sich systematische und zufällige Messabweichungen auf das Messergebnis aus?
- Wie kann man systematische Messabweichungen einer Messschraube ermitteln?
- Warum ist das Messen dünnwandiger Werkstücke problematisch?
- Warum können durch das Abweichen von der Bezugstemperatur bei Messgeräten und Werkstücken Messabweichungen entstehen?
- Worauf können systematische Abweichungen bei Messschrauben voraussichtlich zurückgeführt werden?
- Warum wird beim Messen in der Werkstatt der angezeigte Messwert als Messergebnis angesehen, während im Messlabor oft der angezeigte Wert korrigiert wird?
- Welche Vorteile hat die Unterschiedsmessung und Nulleinstellung bei Messuhren?
- Warum ist bei Aluminiumwerkstücken die Abweichung von der Bezugstemperatur messtechnisch besonders problematisch?
- Wie groß ist etwa die Längenänderung eines Parallelendmaßes ( $l = 100 \text{ mm}$ ,  $a = 0,000016 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), wenn es durch die Handwärme von  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  auf  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  erwärmt wird?
- Wie viel Prozent der Werkstücktoleranz dürfen die Messabweichungen höchstens betragen, damit sie beim Prüfen vernachlässigt werden können?
- Welche Messunsicherheit ist bei einer mechanischen Messuhr ( $Skw = 0,01 \text{ mm}$ ) zu erwarten?

## 1.3 Längenprüfmittel

### 1.3.1 Maßverkörperungen und Formverkörperungen

#### //Maßstäbe

**Strichmaßstäbe** verkörpern das Längenmaß durch den Abstand von Strichen. Die Präzision der Stricheinteilung drückt sich in den Fehlergrenzen der Maßstäbe aus (**Tabelle 1**). Wenn die obere Fehlergrenze  $G_o$  eines Maßstabes überschritten oder die gleich große untere Fehlergrenze  $G_u$  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.

#### //Lehren

Lehren verkörpern Maße oder Formen, die in der Regel auf Grenzmaße bezogen sind (**Bild 1**).

**Maßlehren** sind Teile eines Lehrensatzes, bei dem das Maß von Lehre zu Lehre zunimmt, z.B. Parallelendmaße (Seite 21) oder Prüfstifte.

**Grenzlehren** (Seite 20) 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.

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

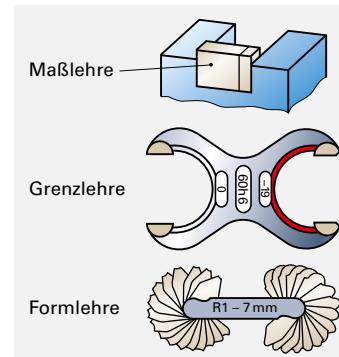
**Lineale** werden als Formlehren zum Prüfen der Geradheit und Ebenheit eingesetzt (**Bild 2**). Haarlineale besitzen geläpppte Prüfschneiden mit hoher Geradheit, die es ermöglichen, mit bloßem Auge unterschiedliche kleine Lichtspalte zu erkennen.

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

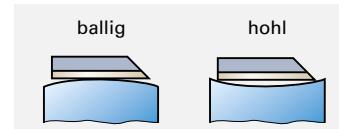
**Feste Winkel** sind Formlehren und verkörpern meist 90°. Haarwinkel bis zur Messschenkellänge 100 x 70 mm mit dem Genauigkeitsgrad 00 haben einen Grenzwert der Rechtwinkligkeitsabweichung von nur 3 µm (**Bild 3**). Beim Genauigkeitsgrad 0 beträgt der Grenzwert 7 µm. Mit Haarwinkeln kann die Rechtwinkligkeit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

**Tabelle 1: Fehlergrenzen von Maßstäben der Länge 500 mm**

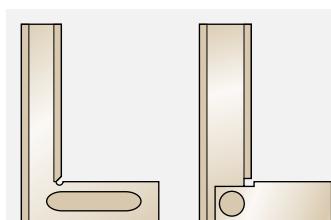
	Arten	Fehlergrenze $G_o = G_u$
Vergleichsmaßstab		7,5 µm
Arbeitsmaßstab		30 µm
Biegsamer Stahlmaßst.		75 µm
Bandmaßstab		100 µm
Gliedermaßstab		1 mm
Impulsmaßstab		
Absolutmaßstab		0,5 ... 20 µm



**Bild 1: Lehrenarten**



**Bild 2: Geradheitsprüfung mit Haarlineal**



**Bild 3: Haarwinkel 90°**

## // Grenzlehrtechnik

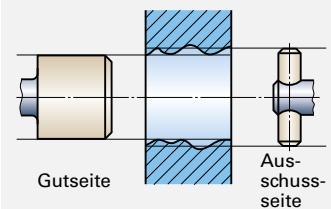
Die Grenzmaße von tolerierten Werkstücken können mit entsprechenden Lehrdornen bei Bohrungen oder mit Lehrringen bei Wellen geprüft werden (**Bild 1**, **Bild 2** und **Bild 3**).

**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.

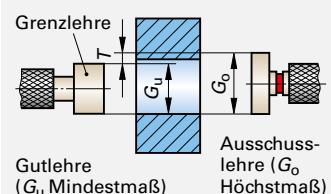
Gutlehrtechnik verkörpern Maß **und** Form.

Ausschusslehrtechnik sind reine Maßlehrtechniken.

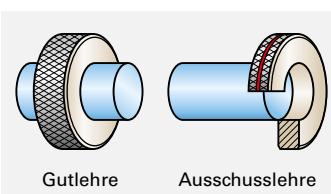
- **Gutlehrtechnik** verkörpern das Höchstmaß bei Wellen und das Mindestmaß bei Bohrungen.
- **Ausschusslehrtechnik** verkörpern das Mindestmaß von Wellen oder das Höchstmaß von Bohrungen. Ein Werkstück, das sich mit der Ausschusslehre paaren lässt, ist daher Ausschuss.



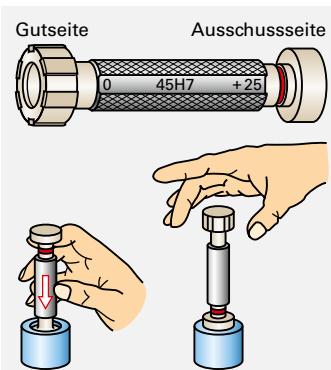
**Bild 1: Grenzlehre nach Taylor**



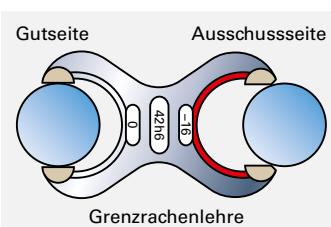
**Bild 2: Grenzlehrdorn**



**Bild 3: Lehrringe**



**Bild 4: Grenzlehrdorn**



**Bild 5: Grenzrachenlehre**

## Wiederholung und Vertiefung

- 1 Warum haben Haarlineale und Haarwinkel geläpppte 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 Ausschusseite eines Grenzlehrdornes?
- 5 Warum verschleißt die Gutseite einer Grenzlehre schneller als die Ausschusseite?