



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
Düsseldorfer 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.	Waldbronn
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

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 Automatisierungstechnik

9 Automatisierung der Produktion
10 Technische Projekte

Inhaltsverzeichnis

1 Prüftechnik mit Geometrischer Produktspezifikation (ISO GPS)

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
1.3 Längenprüfmittel	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
1.4 Geometrische Produktspezifikation (ISO-GPS)	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
1.5 Toleranzen und Passungen	
Dimensionelle Tolerierung	49
1.5.1 Toleranzen	49
1.5.2 Passungen	53
1.6 Geometrische Tolerierung und Prüfung von Form, Richtung, Ort und Lauf	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
1.7 Kenngrößen und Prüfung von Oberflächen	70
1.8 Practice your English	74

2 Qualitätsmanagement

2.1 Arbeitsbereiche des QM	75
2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000	76
2.3 Qualitätsforderungen	76
2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler	77
2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements	78
2.6 Qualitätslenkung	81
2.7 Qualitätssicherung	82
2.7.1 Prüfplanung	82
2.7.2 Wahrscheinlichkeit	82
2.7.3 Die Normalverteilung von Merkmalswerten	83

2.7.4 Mischverteilung von Merkmalswerten	83
2.7.5 Kennwerte der Normalverteilung von Stichproben	84
2.7.6 Qualitätsprüfung nach dem Stichprobenverfahren	85
2.8 Maschinenfähigkeit	86
2.9 Prozessfähigkeit	89
2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten	90
2.11 Auditierung und Zertifizierung	93
2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse	94
2.13 Practice your English	95

3 Fertigungstechnik

3.1 Arbeitssicherheit	97
3.1.1 Sicherheitszeichen	97
3.1.2 Unfallverhütung	98
3.1.3 Sicherheitsmaßnahmen	98
3.2 Gliederung der Fertigungsverfahren	99
3.3 Gießen	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
3.4 Formgebung der Kunststoffe	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
3.5 Umformen	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
3.6 Schneiden	125
3.6.1 Scherschneiden	125
3.6.2 Strahlschneiden	130
3.7 Handgeführte spanende Fertigung	134
3.7.1 Grundlagen	134
3.7.2 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen	135
3.8 Spanende Fertigung mit Werkzeugmaschinen	139
3.8.1 Schneidstoffe	139
3.8.2 Kühlschmierstoffe	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
3.9	CNC-Steuerungen für Werkzeugmaschinen	240	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	4.5	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	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	4.6	Sinterwerkstoffe	352
3.9.8	Programmiervorgang	269	4.6.1	Herstellung von Sinter-Formteilen aus Metallen	352
3.9.9	5-Achs-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
3.10	Fügen	276	4.7	Keramische Werkstoffe	354
3.10.1	Fügeverfahren	276	4.8	Wärmebehandlung der Stähle	356
3.10.2	Press- und Schnappverbindungen	279	4.8.1	Gefügearten der Eisenwerkstoffe	356
3.10.3	Kleben	281	4.8.2	Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm	357
3.10.4	Löten	283	4.8.3	Gefüge und Kristallgitter bei Erwärmung	358
3.10.5	Schweißen	289	4.8.4	Glühen	359
3.11	Generative Fertigungsverfahren	303	4.8.5	Härten	360
3.11.1	Rapid Prototyping	304	4.8.6	Vergüten	364
3.11.2	Selektives Schmelzen	306	4.8.7	Härten der Randzone	365
3.12	Beschichten	308	4.8.8	Fertigungsbeispiel: Wärmebehandlung einer Spannpratze	368
3.12.1	Beschichten mit Lacken und Kunststoffen	308	4.9	Kunststoffe	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
3.13	Fertigungsbetrieb und Umweltschutz	312	4.9.3	Technologische Einteilung und innere Struktur	371
3.14	Practice your English	315	4.9.4	Thermoplaste	372
4	Werkstofftechnik		4.9.5	Duroplaste	374
4.1	Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe	317	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	4.10	Verbundwerkstoffe	377
4.1.3	Hilfsstoffe und Energie	318	4.10.1	Innerer Aufbau	377
4.2	Auswahl und Eigenschaften der Werkstoffe	319	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	4.11	Werkstoffprüfung	382
4.2.6	Umweltverträglichkeit, gesundheitliche Unschädlichkeit	324	4.11.1	Prüfung der Verarbeitungseigenschaften	382
4.3	Innerer Aufbau der Metalle	325	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 Metallgefüges	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
4.4	Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe	330	4.11.9	Prüfung der Kunststoff-Kennwerte	393
4.4.1	Gewinnung von Roheisen	330	4.12	Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe	394
4.4.2	Herstellung von Stahl	331	4.13	Practice your English	396
4.4.3	Das Bezeichnungssystem für Stähle	334			

5 Maschinentechnik

5.1 Einteilung der Maschinen	398
5.1.1 Kraftmaschinen	398
5.1.2 Arbeitsmaschinen	402
5.1.3 Datenverarbeitungsanlagen	405
5.2 Funktionseinheiten von Maschinen und Geräten	406
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
5.3 Funktionseinheiten zum Verbinden	413
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
5.4 Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen	431
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
5.5 Funktionseinheiten zur Energieübertragung	450
5.5.1 Wellen und Achsen	450
5.5.2 Kupplungen	452
5.5.3 Riementriebe	457
5.5.4 Kettentriebe	459
5.5.5 Zahnradtriebe	461
5.6 Antriebseinheiten	464
5.6.1 Elektromotoren	464
5.6.2 Getriebe	471
5.6.3 Linearantriebe	477
5.7 Practice your English	479

6 Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung

6.1 Montagetechnik	480
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
6.2 Inbetriebnahme	488
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
6.3 Instandhaltung	493
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
6.4 Korrosion und Korrosionsschutz	508
6.4.1 Ursachen der Korrosion	508
6.4.2 Korrosionsarten und ihr Erscheinungsbild	510
6.4.3 Korrosionsschutz-Maßnahmen	511

6.5 Schadensanalyse und Schadensvermeidung	514
6.6 Beanspruchung und Festigkeit der Bauelemente	516
6.7 Practice your English	518

7 Elektrotechnik

7.1 Der elektrische Stromkreis	520
7.1.1 Die elektrische Spannung	520
7.1.2 Der elektrische Strom	521
7.1.3 Der elektrische Widerstand	522
7.2 Schaltung von Widerständen	523
7.2.1 Reihenschaltung von Widerständen	523
7.2.2 Parallelschaltung von Widerständen	524
7.3 Stromarten	525
7.4 Elektrische Leistung und elektrische Arbeit	526
7.5 Überstrom-Schutzeinrichtungen	527
7.6 Fehler an elektrischen Anlagen	528
7.7 Schutzmaßnahmen bei elektrischen Maschinen	529
7.8 Hinweise für den Umgang mit Elektrogeräten	531
7.9 Practice your English	532

8 Grundlagen der Automatisierungstechnik

8.1 Steuern und Regeln	533
8.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik	533
8.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik	535
8.2 Grundlagen und Grundelemente von Steuerungen	539
8.2.1 Arbeitsweise von Steuerungen	539
8.2.2 Steuerungskomponenten	540
8.3 Pneumatische Steuerungen	545
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
8.4 Elektropneumatische Steuerungen	565
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
8.5 Hydraulische Steuerungen	581
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
8.6 Speicherprogrammierbare Steuerungen	599
8.6.1 Speicherprogrammierbare Steuerung als Kleinsteuerung (Logikmodul)	599
8.6.2 Speicherprogrammierbare Steuerung als modulares Automatisierungssystem	602
8.7 Practice your English	612

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

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	706
---	-----

Sachwortverzeichnis	709
----------------------------	-----



1 Prüftechnik mit Geometrischer Produktspezifikation (ISO GPS)

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

2 Qualitätsmanagement

2.1 Arbeitsbereiche des QM	75	Kennwerte der Normalverteilung	
2.2 Die Normenreihe		von Stichproben	84
DIN EN ISO 9000	76	Qualitätsprüfung nach dem	
2.3 Qualitätsforderungen	76	Stichprobenverfahren	85
2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler	77	2.8 Maschinenfähigkeit	86
2.5 Werkzeuge des Qualitäts-		2.9 Prozessfähigkeit	89
managements	78	2.10 Statistische Prozessregelung mit	
2.6 Qualitätslenkung	81	Qualitätsregelkarten	90
2.7 Qualitätssicherung	82	2.11 Auditierung und Zertifizierung	93
Prüfplanung	82	2.12 Kontinuierlicher	
Wahrscheinlichkeit	82	Verbesserungsprozess:	
Die Normalverteilung von		Mitarbeiter optimieren Prozesse	94
Merkmalswerten	83	2.13 Practice your English	95
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 299 729 458stel 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 Mittelpunktswinkel, die sich auf den Vollkreis beziehen. Ein **Grad (1°)** ist der 360ste Teil des Vollwinkels (**Bild 2**). Die Unterteilung von 1° 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 57,295 779 51°.

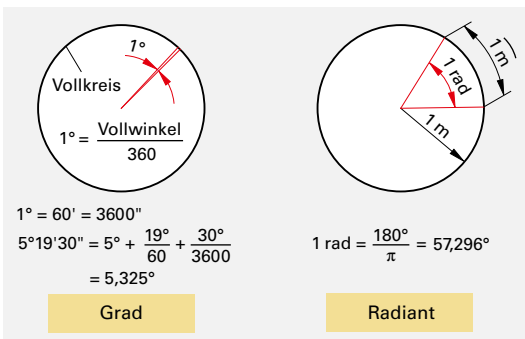


Bild 2: Winkleinheiten

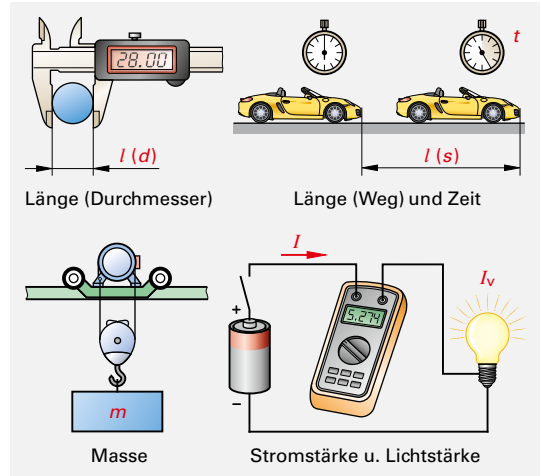


Bild 1: Basisgrößen

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 Deko	zehnfach	$10^1 = 10$	
d Dezi	Zehntel	$10^{-1} = 0,1$	
c Zenti	Hundertstel	$10^{-2} = 0,01$	
m Milli	Tausendstel	$10^{-3} = 0,001$	
μ 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 (μm)	= 0,000 001 m = 0,001 mm
1 Nanometer (nm)	= 0,000 000 001 m = 0,001 μm

//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 Basiseinheit, 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**).

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°C , der Siedepunkt des Wassers 100°C .

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

//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) $n = \frac{6000}{2} = 3000/\text{min}$

//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. $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$.

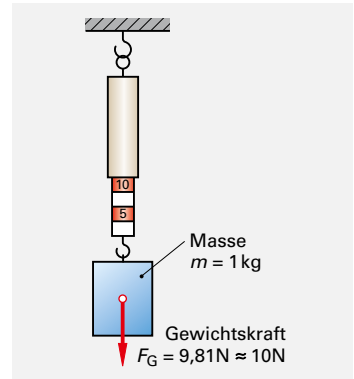


Bild 1: Masse und Kraft

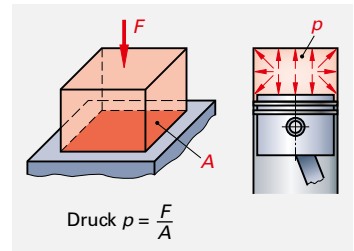


Bild 2: Druck

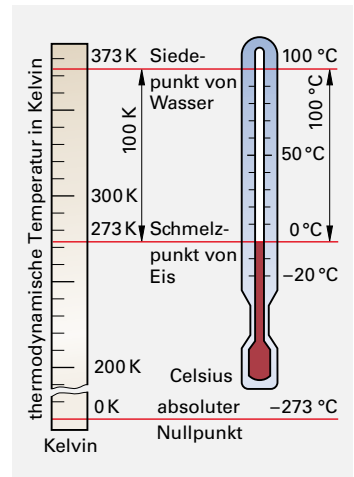


Bild 3: Temperaturskalen

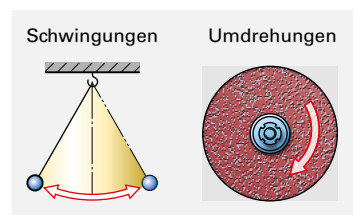


Bild 4: Periodische Vorgänge

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 anzeigende 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, 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**).

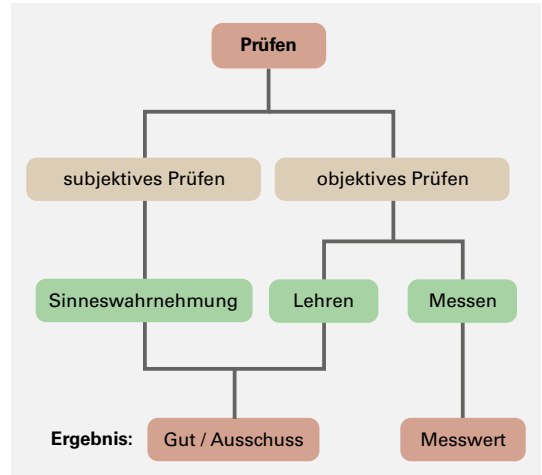


Bild 1: Prüfarten und Prüfergebnis

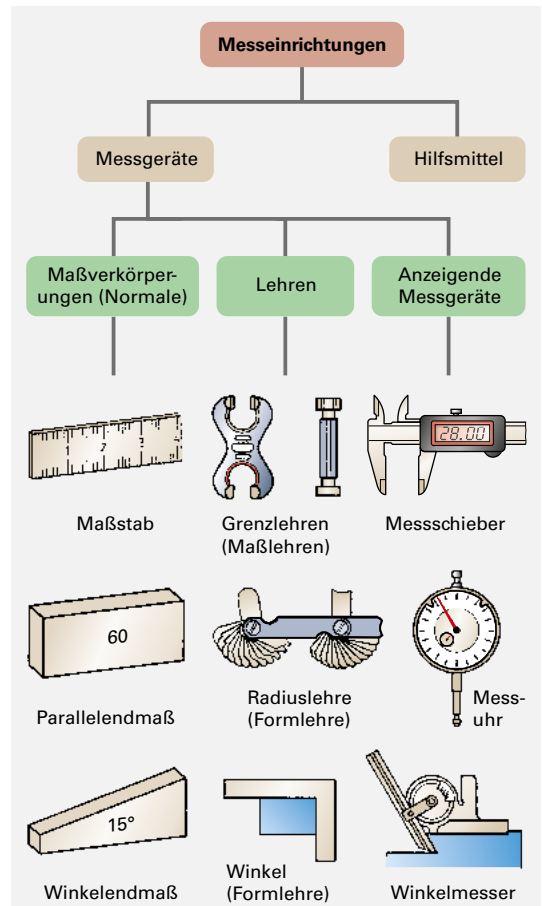





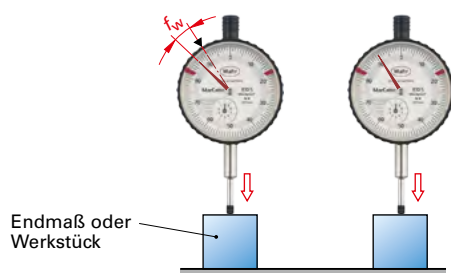
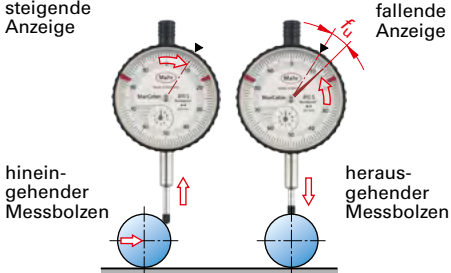
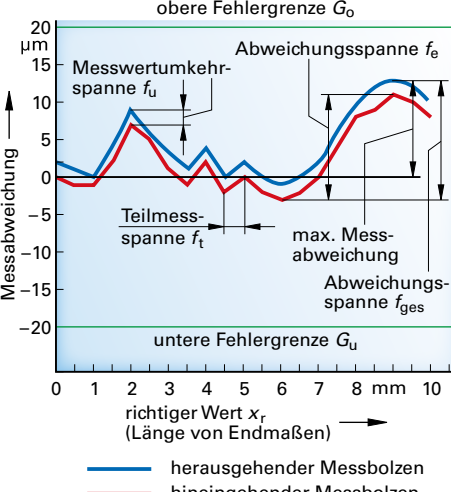
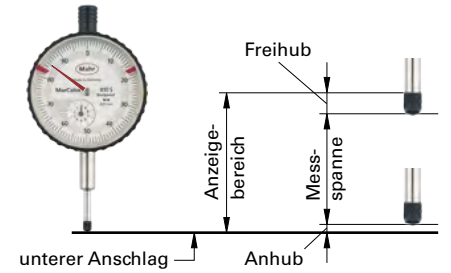
Bild 2: Messeinrichtungen

Tabelle 1: Messtechnische Begriffe

Begriff	Kurzzeichen	Definition, Erklärung	Beispiel, Formeln
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	–	Kontinuierliche Anzeige auf einer Strichskale	Skalenanzeige $Skw=0,01\text{mm}$
Ziffernanzeige	–	Digitale Anzeige auf einer Ziffernskale	
Skalenteilungswert*	Skw oder $\rightarrow \leftarrow$	Differenz zwischen den Messwerten, die zwei aufeinander folgenden Teilstrichen entsprechen. Der Skalenteilungswert Skw wird in der auf der Skale stehenden Einheit angegeben.	
Ziffernschritt	Zw	Der Ziffernschritt entspricht dem Skalenteilungswert einer Strichskale.	
Angezeigter Messwert	x_a $x_1, x_2 \dots$	Einzelne Messwerte oder Mittelwerte setzen sich aus dem richtigen Wert und den zufälligen sowie systematischen Messabweichungen zusammen.	Ziffernanzeige $Zw=0,01\text{mm}$
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.	
Unberichtigtes Messergebnis	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.	
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 16).	$A_s = x_a - x_r$ ($A_s = \bar{x}_a - x_r$)
Korrektionswert	K	Ausgleich von bekannten, systematischen Abweichungen, z.B. Abweichung der Temperatur.	$K = -A_s$ ($K = K_1 + K_2 \dots + K_n$)
Messunsicherheit*	u	Die Messunsicherheit beinhaltet alle zufälligen Abweichungen sowie die unbekannten und nicht korrigierten systematischen Messabweichungen.	$u_c = \sqrt{u_{x1}^2 + u_{x2}^2 + \dots + u_{xn}^2}$ $U = 2 \cdot u_c$ (Faktor 2 für Vertrauensniveau 95 %)
Kombinierte Standardunsicherheit	u_c	Gesamtwirkung vieler Unsicherheitsanteile an der Streuung von Messwerten, z.B. durch Temperatur, Messeinrichtung, Prüfer und Messverfahren.	
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.	
Berichtigtes Messergebnis	y	Messwert, korrigiert um bekannte systematische Messabweichungen (K – Korrektion).	
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 hineingehendem Messbolzen) und einmal bei fallender Anzeige (bei herausgehendem 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. $G_o = G_u = 20 \mu m$	
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	Azb	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 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.

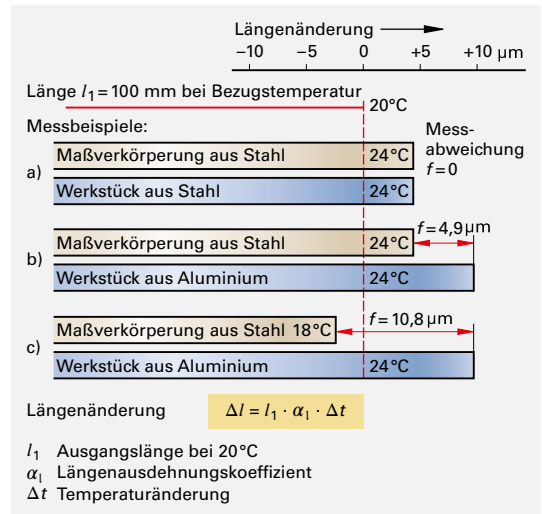


Bild 1: Messabweichungen durch die Temperatur

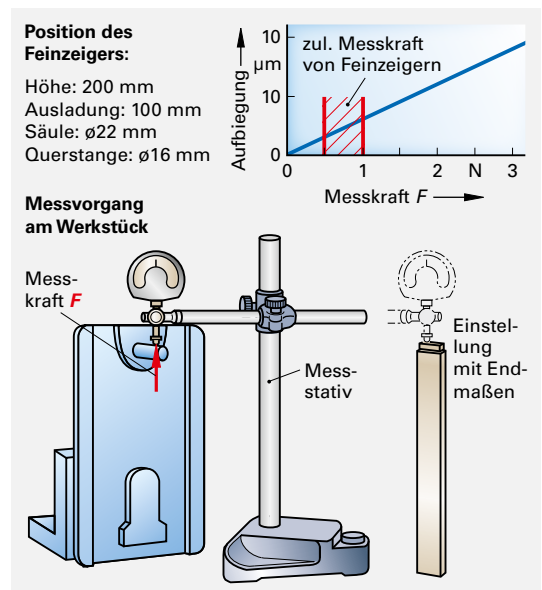


Bild 2: Messabweichungen durch elastische Formänderung am Messstativ durch die Messkraft

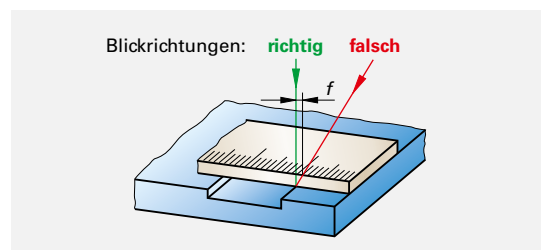
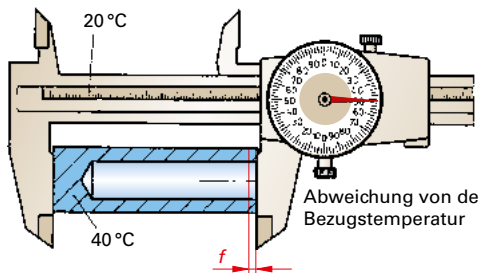
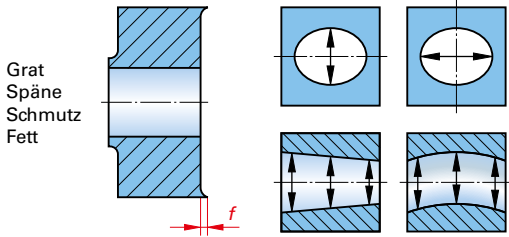
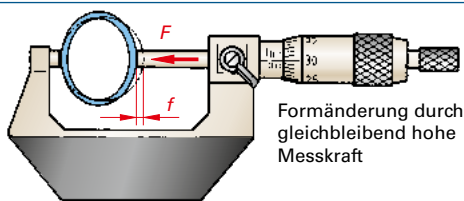
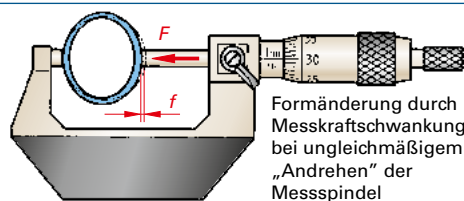

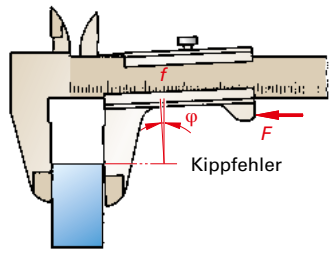
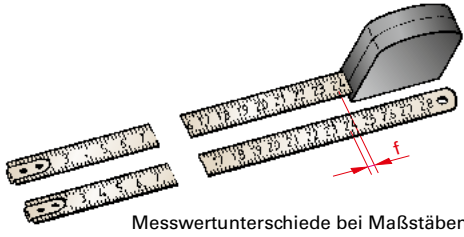
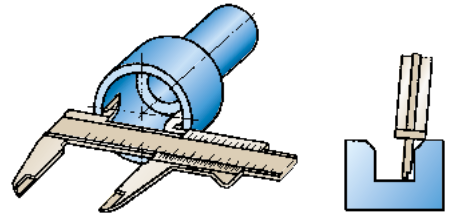
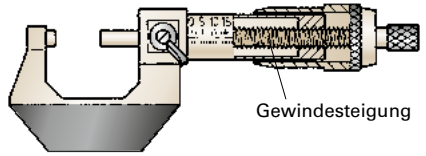
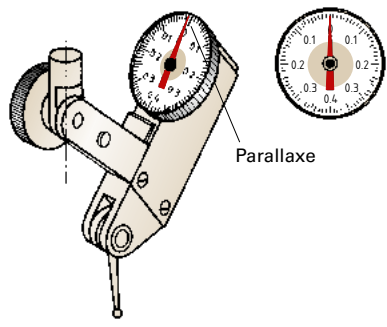
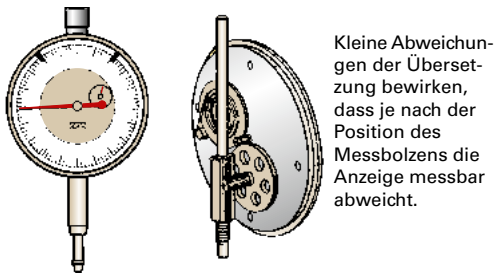


Bild 3: Messabweichung durch Parallaxe

Tabelle 1: Ursachen und Arten von Messabweichungen

Systematische Messabweichung	Zufällige Messabweichung
<div><p>20 °C</p><p>40 °C</p><p>Abweichung von der Bezugstemperatur</p><p>zu großer Messwert durch zu hohe Werkstücktemperatur</p></div>	<div><p>Grat Späne Schmutz Fett</p><p>Unsicherheiten durch unsaubere Flächen u. Formabweichungen</p></div>
<div><p>Formänderung durch gleichbleibend hohe Messkraft</p><p>zu kleiner Messwert durch den Einfluss der Messkraft</p></div>	<div><p>Formänderung durch Messkraftschwankung bei ungleichmäßigem „Andrehen“ der Messspindel</p><p>Streuung der Messwerte durch Messkraftschwankung</p></div>
<div><p>kleinere Messwerte bei Außenmessungen, größere bei Innenmessungen</p><p>Messabweichungen durch Abnutzung der Messflächen</p></div>	<div><p>Kippfehler</p><p>„Kippfehler“ in Abhängigkeit von Messkraft und Führungsspiel</p></div>
<div><p>Messwertunterschiede bei Maßstäben</p></div>	<div><p>unsicheres Ansetzen des Messschiebers bei Innenmessungen</p></div>
<div><p>Gewindesteigung</p><p>Einfluss von Steigungsabweichungen auf die Messwerte</p></div>	<div><p>Parallaxe</p><p>Ablesefehler durch schrägen Blickwinkel (Parallaxe)</p></div>
<div><p>Kleine Abweichungen der Übersetzung bewirken, dass je nach der Position des Messbolzens die Anzeige messbar abweicht.</p><p>ungleichmäßige Übertragung der Messbolzenbewegung</p></div>	

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**):

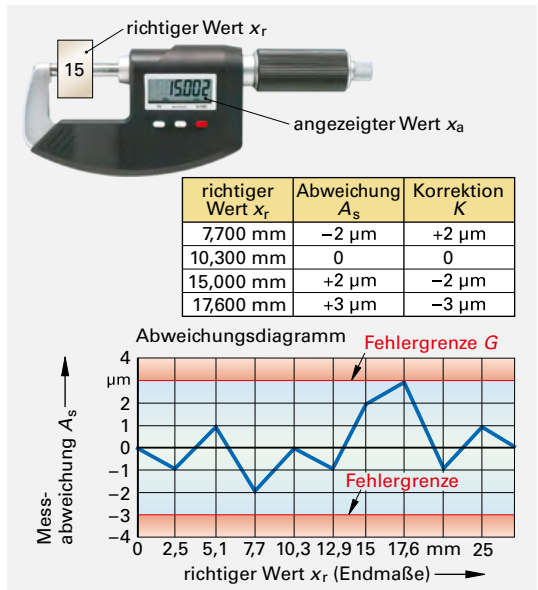


Bild 1: Systematische Abweichungen einer Bügelmessschraube

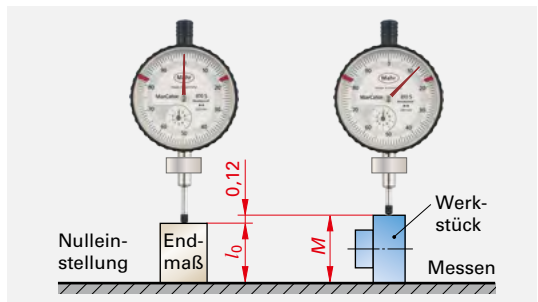


Bild 2: Nulleinstellung der Anzeige und Unterschiedsmessung

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.

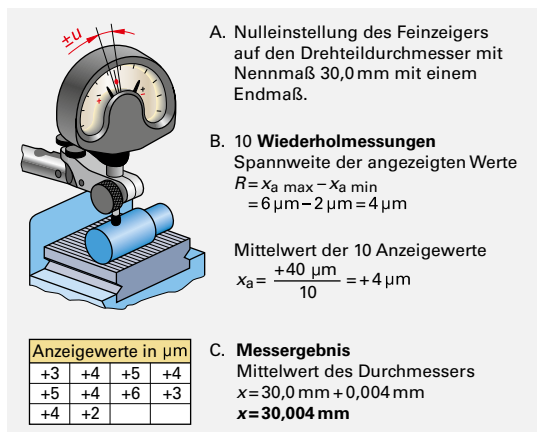


Bild 3: Zufällige Abweichungen eines Feinzeigers bei Messungen unter Wiederholbedingungen

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.

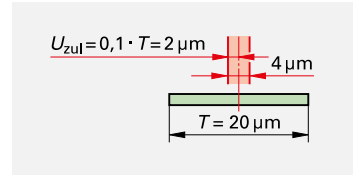


Bild 1: Zulässige Messunsicherheit

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.

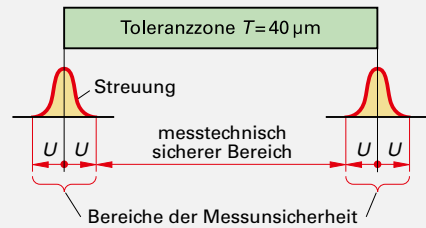
Beispiel für die Folgen einer zu großen Messunsicherheit $U = 0,2 \cdot T$ (Bild 2): Obwohl der richtige Messwert 15,005 mm außerhalb der Toleranz liegt, wird durch eine Messabweichung von +7 µm der Messwert 15,012 mm angezeigt, ein Maß, das in der Toleranz zu liegen scheint. Ein Ausschussteil wird dadurch 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 Skalenteilswert (1 Skw) und bei elektronischen etwa drei Ziffernschrittweite (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 $U=0,2 \cdot T$

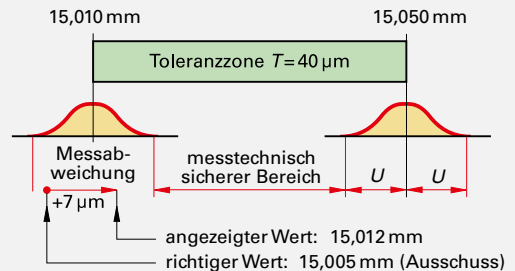
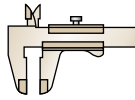
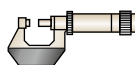



Bild 2: Messunsicherheit im Verhältnis zur Toleranz

Tabelle 1: Messunsicherheit

Messgerät	Voraussichtliche Messunsicherheit	Fehlergrenze G neuer Messgeräte
 Skw = 0,05 mm Messbereich: 0 ... 150 mm	$U \geq 50 \mu\text{m}$	50 µm
 Skw = 0,01 mm Messbereich: 50 ... 75 mm	$U \approx 10 \mu\text{m}$	5 µm
 Skw = 1 µm Messbereich: ± 50 µm	$U \approx 1 \mu\text{m}$	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: $U_{zul} = 0,1 \cdot T = 0,1 \cdot 0,05 \text{ mm} = \mathbf{0,005 \text{ mm}}$

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 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 16**).

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

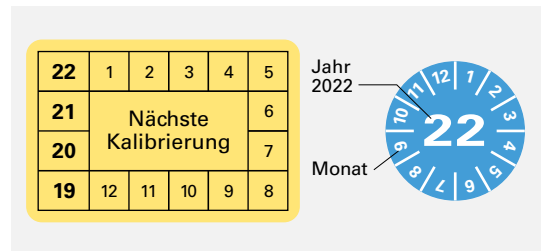


Bild 1: Aufkleber für kalibrierte Messgeräte

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

- 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 ($l = 100 \text{ mm}$, $\alpha = 0,000016 \text{ 1/}^\circ\text{C}$), 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 ($Skw = 0,01 \text{ mm}$) zu erwarten?

1.3 Längenprüfmittel

1.3.1 Maßverkörperungen und Formverkörperungen

//Maßstäbe

Strichmaßstäbe verkörpern das Längenmaß durch den Abstand von Strichen. Die Präzision der Strichteilung 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 Verfahrensweg 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	Fehlergrenze $G_o = G_u$
Vergleichsmaßstab	7,5 μm
Arbeitsmaßstab	30 μm
Biegsamer Stahlmaßst.	75 μm
Bandmaßstab	100 μm
Gliedermaßstab	1 mm
Impulsmaßstab	0,5 ... 20 μm
Absolutmaßstab	

//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 geläppte 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.

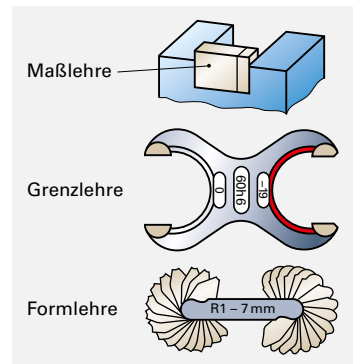


Bild 1: Lehrenarten

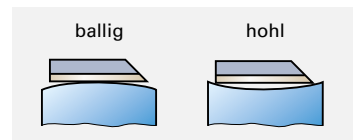


Bild 2: Geradheitsprüfung mit Haarlineal

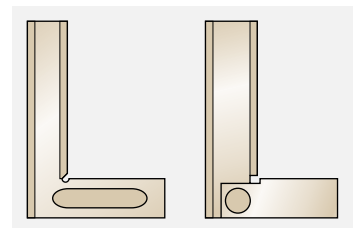


Bild 3: Haarwinkel 90°

// Grenzlehren

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

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

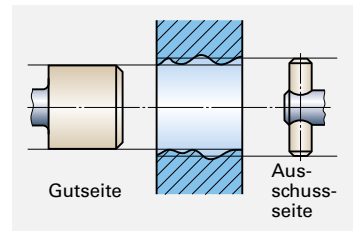


Bild 1: Grenzlehre nach Taylor

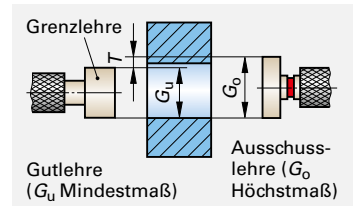


Bild 2: Grenzlehrdorn

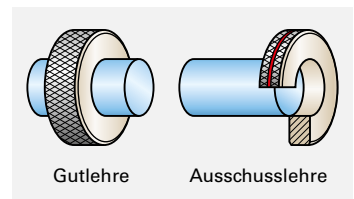


Bild 3: Lehrhinge

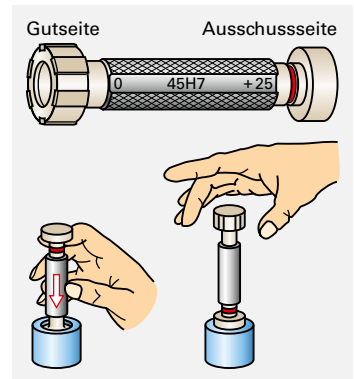


Bild 4: Grenzlehrdorn

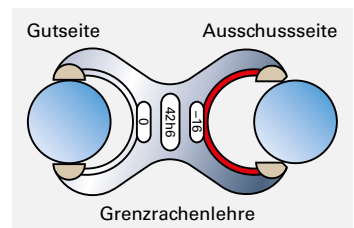


Bild 5: Grenzrachenlehre

Wiederholung und Vertiefung

- 1 Warum haben Haarlineale und Haarwinkel geläppte Prüf-schneiden?
- 2 Warum eignet sich das Prüfen mit Lehren nicht zur Qualitäts-lenkung, z. B. beim Drehen?
- 3 Warum entspricht eine Grenzrachenlehre nicht dem Taylor-schen Grundsatz?
- 4 Woran erkennt man die Ausschussseite eines Grenzlehrdorn-es?
- 5 Warum verschleißt die Gutseite einer Grenzlehre schneller als die Ausschussseite?