



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

58., neu bearbeitete 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.	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 680)
Bildbearbeitung:	Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern
Englische Übersetzung:	OStRin Christina Murphy, Wolfratshausen

58. Auflage 2017, korrigierter Nachdruck 2020

Druck 6 5 (keine Änderung seit der 4. Druckquote)

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

ISBN 978-3-8085-1290-6

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

© 2017 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
- Feinwerkmechaniker
- Fertigungsmechaniker
- Zerspanungsmechaniker
- Technischer Produktdesigner
- Meister und Techniker
- Praktiker in der metallverarbeitenden Industrie und im Handwerk
- Schüler technischer Schulen
- Praktikanten und Studierende der Fachrichtung Maschinenbau

Inhalt

Der Inhalt des Buches ist in zehn Hauptkapitel gegliedert. Er ist auf die Bildungspläne und Ausbildungsordnungen der oben genannten Berufsgruppen als auch mit den KMK-Lehrplänen abgestimmt und berücksichtigt neueste Entwicklungen im technischen Bereich. Das **Sachwortverzeichnis** enthält die technischen Fachbegriffe auch in **englischer** Sprache.

Unterricht nach Lernfeldern

Die lernfeldorientierten Rahmenlehrpläne erfordern handlungsorientierte Unterrichtsformen, durch die der Lernende das erworbene Wissen in die betriebliche Praxis übertragen kann. Der Erwerb dieser Fähigkeit wird in dreizehn Lernfeldern durch je ein Leitprojekt mit einem Vorschlag für die Umsetzung angeboten.

Vorwort zur 58. Auflage

In der vorliegenden Auflage wurden folgende Inhalte neu aufgenommen bzw. aktualisiert:

- Längenprüfmittel:
Koordinatenmessgeräte,
Geometrische Produktspezifikation (GPS)
- Fertigungstechnik:
Drehwerkzeuge,
Entgraten von Werkstücken,
Selektives Schmelzen
- Automatisierung der Fertigung:
Industrie 4.0
- Automatisierungstechnik:
Alle Schaltpläne nach der Referenznorm DIN EN 81346-2
- Technische Projekte:
Erstellen von technischen Unterlagen und Dokumentationen,
Anleitungen, Technische Kommunikation, Office-Lösungen in der Dokumentation

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

12 ... 92

3 Fertigungstechnik

93 ... 273

4 Automatisierung der Fertigung

274 ... 330

5 Werkstofftechnik

331 ... 411

6 Maschinentechnik 7 Elektrotechnik 8 Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung

412 ... 545

9 Automatisierungstechnik 10 Technische Projekte

546 ... 652

Inhaltsverzeichnis

1 Prüftechnik	
1.1 Größen und Einheiten	13
1.2 Grundlagen der Messtechnik	15
1.2.1 Grundbegriffe	15
1.2.2 Messabweichungen	18
1.2.3 Messmittelfähigkeit, Prüfmittelüberwachung	21
1.3 Längenprüfmittel	23
1.3.1 Maßverkörperungen und Formverkörperungen	23
1.3.2 Mechanische und elektronische Messgeräte	26
1.3.3 Pneumatische Messgeräte	34
1.3.4 Elektronische Messgeräte	36
1.3.5 Optoelektronische Messgeräte	37
1.3.6 Koordinatenmessgeräte	39
1.4 Oberflächenprüfung	43
1.4.1 Oberflächenprofile	43
1.4.2 Kenngrößen von Oberflächen	44
1.4.3 Oberflächen-Prüfverfahren	45
1.5 Toleranzen und Passungen	47
1.5.1 Toleranzen	47
1.5.2 Passungen	51
1.6 Geometrische Produktspezifikation	55
1.7 Form- und Lageprüfung	58
1.7.1 Form- und Lagetoleranzen	58
1.7.2 Prüfung von ebenen Flächen und Winkeln	60
1.7.3 Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung	63
1.7.4 Gewindeprüfung	68
1.7.5 Kegelprüfung	70
1.8 Practise your English	71
2 Qualitätsmanagement	
2.1 Arbeitsbereiche des QM	72
2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000	73
2.3 Qualitätsforderungen	73
2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler	74
2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements	75
2.6 Qualitätslenkung	78
2.7 Qualitätssicherung	79
2.8 Maschinenfähigkeit	83
2.9 Prozessfähigkeit	86
2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten	87
2.11 Auditierung und Zertifizierung	90
2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse	91
2.13 Practise your English	92
3 Fertigungstechnik	
3.1 Arbeitssicherheit	94
3.2 Gliederung der Fertigungsverfahren	96
3.3 Gießen	98
3.3.1 Formen und Modelle	98
3.3.2 Gießen in verlorene Formen	99
3.3.3 Gießen in Dauerformen	102
3.3.4 Gusswerkstoffe	103
3.3.5 Gussfehler	103
3.4 Formgebung der Kunststoffe	104
3.4.1 Extrudieren	104
3.4.2 Spritzgießen	105
3.4.3 Formpressen	108
3.4.4 Urformen von Schaumstoffen	108
3.4.5 Weiterverarbeitung der Halbzeuge und Fertigteile aus Kunststoffen	109
3.5 Umformen	111
3.5.1 Verhalten der Werkstoffe beim Umformen	111
3.5.2 Umformverfahren	111
3.5.3 Biegeumformen	112
3.5.4 Zugdruckumformen	115
3.5.5 Druckumformen	119
3.5.6 Maschinen zum Umformen	121
3.6 Schneiden	122
3.6.1 Scherschneiden	122
3.6.2 Strahlschneiden	127
3.7 Handgeführte spanende Fertigung	131
3.7.1 Grundlagen	131
3.7.2 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen	132
3.8 Spanende Fertigung mit Werkzeugmaschinen	136
3.8.1 Schneidstoffe	136
3.8.2 Kühlschmierstoffe	140
3.8.3 Sägen	143
3.8.4 Bohren	144
3.8.5 Senken	153
3.8.6 Reiben	154
3.8.7 Drehen	156
3.8.8 Fräsen	180
3.8.9 Entgraten von Werkstücken	197
3.8.10 Schleifen	200
3.8.11 Räumen	212
3.8.12 Feinbearbeitung	214
3.8.13 Funkenerosives Abtragen	220
3.8.14 Vorrichtungen und Spannelemente	224
3.8.15 Fertigungsbeispiel Spannpratze	231
3.9 Fügen	235
3.9.1 Fügeverfahren	235
3.9.2 Press- und Schnappverbindungen	238
3.9.3 Kleben	240
3.9.4 Löten	242
3.9.5 Schweißen	248
3.10 Generative Fertigungsverfahren	261
3.10.1 Rapid Prototyping	262
3.10.2 Selektives Schmelzen	264
3.11 Beschichten	266
3.12 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz	270
3.13 Practise your English	273

4 Automatisierung der Fertigung

4.1 CNC-Steuerungen für Werkzeugmaschinen.	275	4.3 Automatisierte CNC-Werkzeugmaschinen.	318
4.1.1 Merkmale CNC-gesteuerter Maschinen	275	4.3.1 Automatisierung eines CNC-Bearbeitungs-	318
4.1.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte	279	zentrums.	318
4.1.3 Steuerungsarten, Korrekturen	281	4.3.2 Automatisierung einer CNC-Drehmaschine.	320
4.1.4 Erstellen von CNC-Programmen nach DIN.	284	4.4 Transportsysteme in automatisierten	
4.1.5 Zyklen und Unterprogramme.	289	Fertigungsanlagen	322
4.1.6 Programmieren von CNC-Drehmaschinen.	290	4.5 Überwachungseinrichtungen in	
4.1.7 Programmieren von CNC-Fräsmaschinen	298	Werkzeugmaschinen	323
4.1.8 Programmierverfahren	304	4.6 Automatisierungsstufen von	
4.1.9 5-Achs-Bearbeitung nach PAL	306	Fertigungsanlagen	324
4.2 Handhabungsroboter in der Fertigung	310	4.7 Beispiel einer automatisierten Fertigungs-	
4.2.1 Handhabungssystemtechnik	310	anlage für Getriebewellen	325
4.2.2 Einteilung der Handhabungssysteme.	311	4.8 Industrie 4.0	326
4.2.3 Kinematik und Bauarten von		4.9 Betriebswirtschaftliche Anforderungen	
Industrierobotern.	311	und Ziele der Fertigung	328
4.2.4 Funktionseinheiten von Industrierobotern	313	4.10 Vergleich der Flexibilität und Produktivität	
4.2.5 Programmierung von Industrierobotern.	313	von Fertigungsanlagen	329
4.2.6 Koordinatensysteme	314	4.11 Practise your English	330
4.2.7 Bewegungsarten von Industrierobotern.	315		
4.2.8 Kommunikation von Industrierobotern			
und Peripherie	316		
4.2.9 Sicherheit beim Einsatz von			
Handhabungssystemen	317		

5 Werkstofftechnik

5.1 Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe	332	5.8.3 Gefüge und Kristallgitter bei Erwärmung.	373
5.2 Auswahl und Eigenschaften der Werkstoffe	334	5.8.4 Glühen	374
5.3 Innerer Aufbau der Metalle	340	5.8.5 Härten	375
5.3.1 Innerer Aufbau und Eigenschaften der		5.8.6 Vergüten	379
Metalle	340	5.8.7 Härten der Randzone.	380
5.3.2 Kristallgittertypen der Metalle	341	5.8.8 Fertigungsbeispiel: Wärmebehandlung einer	
5.3.3 Baufehler im Kristall	342	Spannpratze	383
5.3.4 Entstehung des Metallgefüges.	342	5.9 Kunststoffe.	384
5.3.5 Gefügearten und Werkstoffeigenschaften	343	5.9.1 Eigenschaften und Verwendung	384
5.3.6 Gefüge reiner Metalle und Legierungen.	344	5.9.2 Chemische Zusammensetzung und	
5.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe	345	Herstellung	385
5.4.1 Gewinnung von Roheisen	345	5.9.3 Technologische Einteilung und innere	
5.4.2 Herstellung von Stahl	346	Struktur	386
5.4.3 Das Bezeichnungssystem für Stähle.	349	5.9.4 Thermoplaste	387
5.4.4 Einteilung der Stähle nach Zusammen-		5.9.5 Duroplaste	389
setzung und Güteklassen	352	5.9.6 Elastomere	390
5.4.5 Stahlsorten und ihre Verwendung	353	5.9.7 Kennwerte der Kunststoffe.	390
5.4.6 Handelsformen der Stähle	355	5.10 Verbundwerkstoffe.	392
5.4.7 Legierungs- und Begleitelemente	356	5.11 Werkstoffprüfung	397
5.4.8 Erschmelzen der Eisen-Gusswerkstoffe	357	5.11.1 Prüfung der Verarbeitungseigenschaften.	397
5.4.9 Das Bezeichnungssystem für		5.11.2 Prüfung mechanischer Eigenschaften.	398
Gusseisenwerkstoffe.	358	5.11.3 Kerbschlagbiegeversuch.	400
5.4.10 Eisen-Gusswerkstoffarten.	359	5.11.4 Härteprüfungen	401
5.4.11 Kohlenstoffgehalt der Stähle und		5.11.5 Dauerfestigkeitsprüfung	405
Eisen-Gusswerkstoffe im Vergleich.	361	5.11.6 Bauteil-Betriebslasten-Prüfung	406
5.5 Nichteisenmetalle.	362	5.11.7 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen.	406
5.5.1 Leichtmetalle	362	5.11.8 Metallografische Untersuchungen	407
5.5.2 Schwermetalle.	364	5.11.9 Prüfung der Kunststoff-Kennwerte	408
5.6 Sinterwerkstoffe.	367	5.12 Umweltproblematik der Werk- und	
5.7 Keramische Werkstoffe	369	Hilfsstoffe.	409
5.8 Wärmebehandlung der Stähle	371	5.13 Practise your English	411
5.8.1 Gefügearten der Eisenwerkstoffe	371		
5.8.2 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm.	372		

6 Maschinentechnik

6.1	Einteilung der Maschinen	413	6.4.3	Führungen	458
6.2	Funktionseinheiten von Maschinen und Geräten	421	6.4.4	Dichtungen	461
6.2.1	Innerer Aufbau von Maschinen	421	6.4.5	Federn	463
6.2.2	Funktionseinheiten einer CNC-Werkzeug- maschine	423	6.5	Funktionseinheiten zur Energieübertragung 465	
6.2.3	Funktionseinheiten einer Klimaanlage	425	6.5.1	Wellen und Achsen	465
6.2.4	Sicherheitseinrichtungen an Maschinen.	426	6.5.2	Kupplungen	467
6.3	Funktionseinheiten zum Verbinden	428	6.5.3	Riementriebe	472
6.3.1	Gewinde	428	6.5.4	Kettentriebe	474
6.3.2	Schraubenverbindungen	430	6.5.5	Zahnradtriebe	476
6.3.3	Stiftverbindungen	438	6.6	Antriebseinheiten	479
6.3.4	Nietverbindungen	440	6.6.1	Elektromotoren	479
6.3.5	Welle-Nabe-Verbindungen	442	6.6.2	Getriebe	486
6.4	Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen 446		6.6.3	Linearantriebe	492
6.4.1	Reibung und Schmierstoffe	446	6.7	Practise your English	494
6.4.2	Lager	449			

7 Elektrotechnik

7.1	Der elektrische Stromkreis	495	7.7	Schutzmaßnahmen bei elektrischen Maschinen	504
7.2	Schaltung von Widerständen	498	7.8	Hinweise für den Umgang mit Elektrogeräten	506
7.3	Stromarten	500	7.9	Practise your English	507
7.4	Elektrische Leistung und elektrische Arbeit 501				
7.5	Überstrom-Schutzeinrichtungen	502			
7.6	Fehler an elektrischen Anlagen	503			

8 Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung

8.1	Montagetechnik	508	8.3.5	Wartung	526
8.1.1	Montageplanung	508	8.3.6	Inspektion	529
8.1.2	Organisationsformen bei der Montage.	509	8.3.7	Instandsetzung	531
8.1.3	Automatisierung der Montage	509	8.3.8	Verbesserungen	533
8.1.4	Montagebeispiele	510	8.3.9	Auffinden von Störstellen und Fehlerquellen 534	
8.2	Inbetriebnahme	516	8.4	Korrosion und Korrosionsschutz	535
8.2.1	Aufstellung von Maschinen oder Anlagen	517	8.4.1	Ursachen der Korrosion	535
8.2.2	Inbetriebnahme von Maschinen oder Anlagen.	518	8.4.2	Korrosionsarten und ihr Erscheinungsbild.	537
8.2.3	Abnahme von Maschinen oder Anlagen	520	8.4.3	Korrosionsschutz-Maßnahmen	538
8.3	Instandhaltung	521	8.5	Schadensanalyse und Schadens- vermeidung	541
8.3.1	Tätigkeitsgebiete und Definition	521	8.6	Beanspruchung und Festigkeit der Bauelemente	543
8.3.2	Begriffe der Instandhaltung	522	8.7	Practise your English	545
8.3.3	Ziele der Instandhaltung	523			
8.3.4	Instandhaltungskonzepte	523			

9 Automatisierungstechnik

9.1 Steuern und Regeln	547	9.4.3 Verdrahtung mit Klemmleiste	587
9.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik	547	9.4.4 Beispiele für elektropneumatische Steuerungen.	588
9.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik	549	9.4.5 Ventilinseln.	593
9.2 Grundlagen und Grundelemente von Steuerungen	553	9.5 Hydraulische Steuerungen	594
9.2.1 Arbeitsweise von Steuerungen	553	9.5.1 Energieversorgung und Druckmittelaufbereitung.	595
9.2.2 Steuerungskomponenten.	554	9.5.2 Arbeitselemente und Hydrospeicher.	597
9.3 Pneumatische Steuerungen	559	9.5.3 Hydraulikventile.	601
9.3.1 Baugruppen pneumatischer Anlagen	559	9.5.4 Proportionalhydraulik	605
9.3.2 Bauelemente der Pneumatik	560	9.5.5 Hydraulikleitungen und Zubehör.	607
9.3.3 Schaltpläne pneumatischer Steuerungen	569	9.5.6 Beispiele hydraulischer Schaltungen	609
9.3.4 Systematischer Schaltplanentwurf	570	9.6 Speicherprogrammierbare Steuerungen	612
9.3.5 Beispiele pneumatischer Steuerungen	574	9.6.1 Speicherprogrammierbare Steuerung als Kleinststeuerung.	612
9.3.6 Vakuumtechnik	577	9.6.2 Speicherprogrammierbare Steuerung als modulares Automatisierungssystem	615
9.4 Elektropneumatische Steuerungen	579	9.7 Practise your English	624
9.4.1 Bauelemente elektrischer Kontaktsteuerungen	579		
9.4.2 Signalelemente – Sensoren	582		

10 Technische Projekte

10.1 Grundlagen der Projektarbeit	625	10.3.4 Die Durchführungsphase mit Projektrealisierung.	636
10.1.1 Arbeitsorganisation Linie und Projekt.	625	10.3.5 Der Projektabschluss.	638
10.1.2 Der Projektbegriff.	625	10.4 Veränderte Vorgehensmodelle bei der Projektarbeit	639
10.1.3 Technische Projektarten	626	10.5 Dokumentation und technische Unterlagen 640	
10.2 Projektarbeit als vollständige Handlung und planmäßige Problemlösung	626	10.5.1 Erstellung von technischen Unterlagen und Dokumentationen	640
10.3 Projekte in Phasen erarbeiten am Projektbeispiel Hebevorrichtung	627	10.5.2 Anleitungen	640
10.3.1 Die Initialisierungsphase.	627	10.5.3 Technische Kommunikation.	641
10.3.2 Die Definitionsphase	628	10.5.4 Office-Lösungen in der Dokumentation	647
10.3.3 Die Planungsphase mit Konzeptentwicklung	631	10.6 Practise your English	652

Informationen zum lernfeldorientierten Unterrichten

Lernfeld: Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	654
Lernfeld: Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	656
Lernfeld: Herstellen einfacher Baugruppen	658
Lernfeld: Warten technischer Systeme	660
Lernfeld: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen	662
Lernfeld: Installieren und in Betrieb nehmen steuerungstechnischer Systeme	664
Lernfeld: Montieren von technischen Teilsystemen	666
Lernfeld: Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	668
Lernfeld: Instandsetzen von technischen Systemen	670
Lernfeld: Herstellen und in Betrieb nehmen von technischen Teilsystemen	672
Lernfeld: Überwachen der Produkt- und Prozessqualität	674
Lernfeld: Instandhalten von technischen Systemen	676
Lernfeld: Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme	678

Firmen- und Bildquellenverzeichnis	680
--	-----

Sachwortverzeichnis	683
-------------------------------	-----

Lernfeldkompass

Mit dem Lernfeldkompass wird dem Nutzer an Berufsschulen in der Metalltechnik eine Hilfe an die Hand gegeben, mit der der Lernfeldunterricht zielgerichtet durchgeführt werden kann.

Die Inhalte der Fachkunde Metall sind sachlogisch strukturiert, um dem Lehrenden und Lernenden ein Höchstmaß an didaktischer und methodischer Freiheit zu ermöglichen. Die im Buch gewählte Sachstruktur soll den Lernenden zu selbstständigem Erarbeiten der in den Lernfeldern geforderten unterschiedlichen fachlichen Inhalte führen.

Die folgende Kapitelauswahl zu den Lernfeldern aus den einzelnen Rahmenlehrplänen zeigt die Zuordnung der Kapitel und Inhalte des Fachbuches zu den einzelnen Lernfeldern. Sie dient als Anregung und Hinweis, um den lernfeldorientierten Unterricht zielgerichtet durchführen zu können.

Lernfeld	Sachinformationen im Buch (Beispiele)
Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen Vorbereiten und Fertigen von berufstypischen Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen. Erstellen und Ändern von Zeichnungen für einfache Baugruppen. Arbeitsschritte mit Werkzeugen und Materialien planen und Berechnungen durchführen. Geeignete Prüfmittel auswählen, anwenden und Ergebnisse protokollieren. Fertigungskosten überschlägig ermitteln. Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse. Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	Projekt: Schlüsselanhänger 654 3.6.2 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen 1.2 Grundlagen der Messtechnik 1.2.1 Grundbegriffe 1.2.2 Messabweichungen 1.2.3 Messmittelfähigkeit 1.3 Längenprüfmittel 1.5 Toleranzen und Passungen 2.7.1 Prüfplanung 3.2 Gliederung der Fertigungsverfahren 3.4.1 Verhalten der Werkstoffe 3.4.2 Umformverfahren 3.4.3 Biegeumformen 3.5 Schneiden 3.5.1 Scherschneiden 4.1 Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe 4.2 Auswahl und Eigenschaften der Werkstoffe 4.4 Stähle und Gusswerkstoffe 4.5 NE-Metalle 4.9 Kunststoffe 4.10 Verbundwerkstoffe 10.5 Technische Projekte dokumentieren 3.1 Arbeitssicherheit 3.11 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz 4.12 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe
Fertigen von Bauelementen mit Maschinen Auswerten von Zeichnungen und Stücklisten. Auswahl von Werkstoffen nach spezifischen Eigenschaften. Planen von Fertigungsabläufen mit Berechnungen. Aufbau und Wirkungsweise von Maschinen. Einsatz von Werkzeugen. Auswahl und Einsatz von Prüfmitteln.	Projekt: Spanngerät für runde Werkstücke 656 6.6 Antriebseinheiten 6.5 Funktionseinheiten zur Energieübertragung 1.4 Oberflächenprüfung 1.5 Toleranzen und Passungen 3.7 Fertigen mit Werkzeugmaschinen 3.8 Fügen 4.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe 5.6 Antriebseinheiten 5.5 Funktionseinheiten zur Energieübertragung 5.1 Einteilung der Maschinen 5.2 Funktionseinheiten von Maschinen 3.7.1 Schneidstoffe 1.2 Grundlagen der Messtechnik

Lernfeld	Sachinformationen im Buch (Beispiele)
	1.2.1 Grundbegriffe 1.2.2 Messabweichungen 1.2.3 Messmittelfähigkeit 1.3 Längenprüfmittel 2 Qualitätsmanagement 2.3 Qualitätsforderungen 2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler 2.7.1 Prüfplanung
Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse.	10.5 Technische Projekte dokumentieren
Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	3.1 Arbeitssicherheit 3.11 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz 4.12 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe
Herstellen einfacher Baugruppen	Projekt: Bohrstände für Handbohrmaschine 658
Gruppenzeichnungen und Schaltpläne lesen und verstehen. Planen einfacher Steuerungen. Montage von Baugruppen. Teile normgerecht kennzeichnen.	5.1 Einteilen der Maschinen 5.4 Funktionseinheiten von Maschinen 5.6 Antriebseinheiten 5.5 Funktionseinheiten zur Energieübertragung 8.3.3 Schaltpläne pneumatischer Steuerungen 8.3.4 Systematischer Schaltplanentwurf 8.3.5 Grafacet
Fügeverfahren unterscheiden. Auswahl von Werkzeugen und Normteilen.	3.8 Fügen 4.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe
Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse.	2 Qualitätsmanagement 2.1 Arbeitsbereiche QM 2.2 Normen QM 2.3 Qualitätsforderungen 2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler 10.1.1 Arbeitsorganisation Linie und Projekt 10.5.1 Textverarbeitung 10.5.2 Tabellenkalkulation 10.5.3 Präsentationssoftware 10.5.4 Technische Kommunikation
Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	3.1 Arbeitssicherheit 3.11 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz 4.12 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe
Warten technischer Systeme	Projekt: Warten einer Säulenbohrmaschine 660
Bewertung der Instandhaltungsmaßnahmen.	1 Prüftechnik 1.1 Größen und Einheiten 8.3 Instandhaltung 8.4 Korrosion und Korrosionsschutz 8.5 Schadensanalyse und Schadensvermeidung 8.6 Beanspruchung und Festigkeit der Bauteile
Wartungsarbeiten planen, Werkzeuge und Hilfsstoffe bestimmen.	5.1.3 Hilfsstoffe und Energie 6.6 Antriebseinheiten 6.5 Funktionseinheiten zur Energieübertragung 6.4.1 Schmierstoffe 8.3.6 Inspektion
Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse.	10.5 Technische Projekte dokumentieren
Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	3.1 Arbeitssicherheit 3.11 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz 4.12 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe

Lernfeld	Sachinformationen im Buch (Beispiele)
Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen	Projekt: Hydraulisches Spannelement 662
Fertigen von Werkstücken aus verschiedenen Werkstoffen auf Werkzeugmaschinen.	3.7 Fertigen mit Werkzeugmaschinen 4.4.3 Bezeichnungssystem der Stähle 2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler 2.7.1 Prüfplanung
Geeignete Fertigungsverfahren auswählen und Spannmittel für Werkzeuge und Werkstücke wählen.	1.2 Grundlagen der Messtechnik 1.3 Längenprüfmittel 1.4 Oberflächenprüfung 1.5 Toleranzen und Passungen 1.6 Form- und Lageprüfung
Glühen, Härten, Vergüten.	4.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe 2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler
Prüfpläne mit den Mitteln des Qualitätsmanagements entwickeln.	2.7.1 Prüfplanung 4.8 Wärmebehandlung der Stähle
Installieren und in Betrieb nehmen steuerungs-technischer Systeme	Projekt: Vereinzeln unterschiedlicher Metallkugeln 664
Steuerungstechnische Systeme installieren und in Betrieb nehmen.	5.1 Einteilung der Maschinen 10.3 Projekte in Phasen erarbeiten
Aus Steuerungen in unterschiedlichen Gerätetechniken Komponenten und Funktionsabläufe ermitteln. Aufbau und Inbetriebnahme unterschiedlicher Steuerungen.	5.6 Antriebseinheiten 8.2 Grundlagen und Elemente von Steuerungen 8.3 Pneumatische Steuerungen 8.4 Elektropneumatische Steuerungen 8.5 Hydraulische Steuerungen
Montieren von technischen Teilsystemen	Projekt: Kegelaradgetriebe 666
Montage technischer Teilsysteme planen und Montagepläne erstellen.	1.5 Toleranzen und Passungen 1.6 Form- und Lageprüfung
Baugruppen montieren.	3.8 Fügen
Funktionskontrolle durchführen und Prüfprotokolle erstellen.	5.4 Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen
Festigkeitskenngrößen.	4.11 Werkstoffprüfung
Arbeitsergebnisse dokumentieren und präsentieren.	10.5 Technische Projekte dokumentieren
Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Projekt: Getriebewelle und Lagerdeckel 668
Bauelemente auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen fertigen.	9.1 CNC-Steuerungen 9.1.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte 9.1.3 Werkzeugvermessung und Korrekturen 9.1.4 Grundlagen der CNC-Programmierung 9.1.5 Zyklen und Unterprogramme 9.1.6 Programmieren von CNC-Drehmaschinen 9.1.7 Programmieren von CNC-Fräsmaschinen 9.2 Automatisierte Fertigungseinrichtungen 2.3 Qualitätsforderungen 2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler
Arbeits- und Werkzeugpläne erstellen.	
Einrichten der Werkzeugmaschine. CNC-Programme entwickeln.	9.1.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte 9.1.3 Werkzeugvermessung und Korrekturen 9.1.4 Grundlagen der CNC-Programmierung 9.1.5 Zyklen und Unterprogramme 9.1.6 Programmieren von CNC-Drehmaschinen 9.1.7 Programmieren von CNC-Fräsmaschinen
Prüfpläne mit den Mitteln des Qualitätsmanagement entwickeln.	2.7.1 Prüfplanung 1.2 Grundlagen der Messtechnik 1.4 Oberflächenprüfung 1.5 Toleranzen und Passungen 1.6 Form- und Lageprüfung

Lernfeld	Sachinformationen im Buch (Beispiele)
<p>Instandsetzen von technischen Systemen</p> <p>Instandsetzungsmaßnahmen planen.</p> <p>Demontage von Teilsystemen. Analyse und Dokumentation von Fehlern.</p> <p>Ersatz und Montage defekter Bauteile.</p>	<p>Projekt: Motorspindel einer CNC-Fräsmaschine ... 670</p> <p>7.5 Schadensanalyse und Schadensvermeidung 7.6 Beanspruchung und Festigkeit der Bauteile 3.8 Fügen</p> <p>4.8 Wärmebehandlung der Stähle 4.11 Werkstoffprüfung 5.4.1 Reibung und Schmierstoffe 7.3.6 Schmierstoffe 7.3.8 Instandsetzung 7.3.9 Verbesserungen 10.5 Technische Projekte dokumentieren</p>
<p>Herstellen und in Betrieb nehmen von technischen Teilsystemen</p> <p>Funktionszusammenhänge von Bauelementen und Baugruppen beschreiben. Geeignete Fertigungsverfahren und Montagehilfsmittel wählen. Teilsysteme zu Gesamtsystemen zusammenfügen und in Betrieb nehmen. Übergabe protokollieren.</p>	<p>Projekt: Vorschubantrieb einer CNC-Fräsmaschine 672</p> <p>3.7.10 Räumen 3.7.11 Feinbearbeitung 3.8 Fügen</p> <p>7.2 Inbetriebnahme</p> <p>10.5 Technische Projekte dokumentieren</p>
<p>Überwachen der Produkt- und Prozessqualität</p> <p>Prozessdaten aufnehmen und Kenngrößen bewerten. Unterscheiden von systematischen und zufälligen Einflussgrößen. Den Produktionsprozess in der Massen- und Serienfertigung mit den Methoden der Qualitätssicherung überwachen, den Verlauf dokumentieren und Korrekturmaßnahmen ableiten. Maschinen und Prozessfähigkeitsuntersuchungen durchführen.</p>	<p>Projekt: Richtwaage 674</p> <p>2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements 2.6 Qualitätslenkung 2.7 Qualitätssicherung 2.8 Maschinenfähigkeit 2.9 Prozessfähigkeit 2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten 2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess 10.5 Technische Projekte dokumentieren</p>
<p>Instandhalten von technischen Systemen</p> <p>Technische Systeme instandhalten. Ursachen für Fehler untersuchen. Schwachstellenanalyse durchführen und geeignete Prüfverfahren und Prüfmittel wählen.</p> <p>Technische Systeme übergeben.</p>	<p>Projekt: Getränkeabfüllanlage 676</p> <p>2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess 2.5 Werkzeuge des QM 7.3 Instandhaltung 7.5 Schadensanalyse und Schadensvermeidung 7.6 Beanspruchung und Festigkeit der Bauteile 7.2.3 Abnahme von Maschinen oder Anlagen 10.3.3.1 Projektorganisation 10.3.5 Projektabschluss</p>
<p>Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme</p> <p>Automatisierte Systeme analysieren und Betriebsfähigkeit sichern. Betriebsstörungen beheben, Strategien zur Fehlereingrenzung entwickeln und Prozessabläufe optimieren. Arbeitsschutz beim Umgang mit Fertigungs- und Handhabungssystemen beachten.</p>	<p>Projekt: Automatisieren eines Handarbeitsplatzes 678</p> <p>2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess 8.6 Speicherprogrammierbare Steuerungen 8.7 Handhabungstechnik in der Automation 10.3.2 Definitionsphase 10.3.3.1 Projektorganisation 10.3.5 Projektabschluss</p>

1 Prüftechnik

1.1	Größen und Einheiten	13
1.2	Grundlagen der Messtechnik	15
	Grundbegriffe	15
	Messabweichungen	18
	Messmittelfähigkeit, Prüfmittelüberwachung ..	21
1.3	Längenprüfmittel	23
	Maßstäbe, Lehren und Endmaße	23
	Mechanische und elektronische Messgeräte ...	26
	Pneumatische, elektronische Messgeräte	34
	Optoelektronische Messgeräte	37
	Koordinatenmessgeräte	39
	3D-Messmaschine	40
1.4	Oberflächenprüfung	43
	Oberflächenprofile	43
	Kenngrößen; Oberflächen-Prüfverfahren	44
1.5	Toleranzen und Passungen	47
	Toleranzen	47
	Passungen	51
1.6	Geometrische Produktspezifikation (GPS)	55
1.7	Form- und Lageprüfung	58
	Form- und Lagetoleranzen	58
	Prüfung ebener Flächen und Winkel	60
	Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung .	63
	Gewindeprüfung; Kegelprüfung	63
1.8	Practise your English	71

2 Qualitätsmanagement

2.1	Arbeitsbereiche des QM	72
2.2	Die Normenreihe DIN EN ISO 9000	73
2.3	Qualitätsforderungen	73
2.4	Qualitätsmerkmale und Fehler	74
2.5	Werkzeuge des Qualitätsmanagements	75
2.6	Qualitätslenkung	78
2.7	Qualitätssicherung	79
2.8	Maschinenfähigkeit	83
2.9	Prozessfähigkeit	86
2.10	Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten	87
2.11	Auditierung und Zertifizierung	90
2.12	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse	91
2.13	Practise your English	92



1 Prüftechnik

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°.

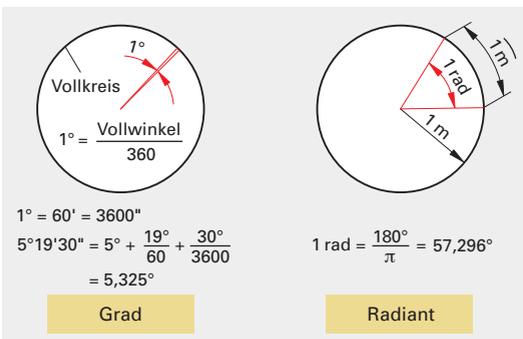


Bild 2: Winkleinheiten

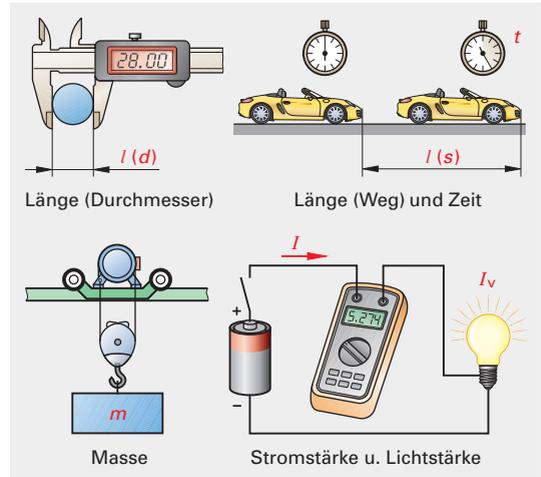


Bild 1: Basisgrößen

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)	= 0,000001 m = 0,001 mm
1 Nanometer (nm)	= 0,000000001 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 ($f = 1/T$). Sie gibt an, wie viele Vorgänge je Sekunde stattfinden. Sie wird in $1/\text{s}$ 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) $n = \frac{6000}{2\text{ min}} = 3000/\text{min}$

Größengleichungen (Formeln)

Formeln stellen Beziehungen zwischen Größen her.

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

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

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

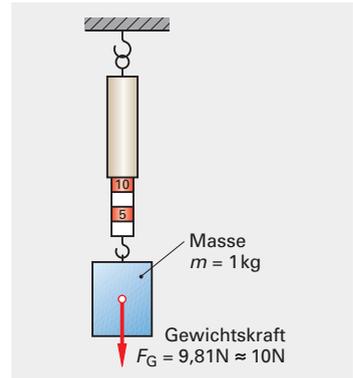


Bild 1: Masse und Kraft

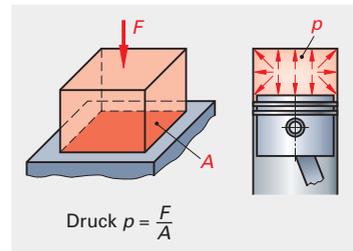


Bild 2: Druck

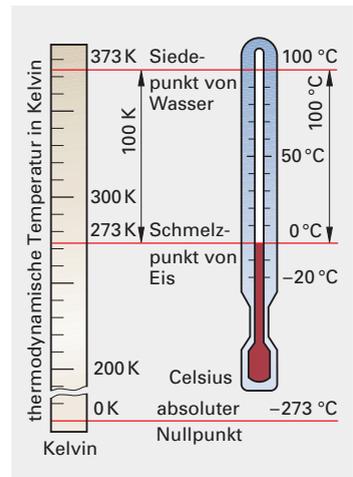


Bild 3: Temperaturskalen

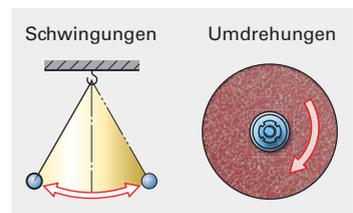


Bild 4: Periodische Vorgänge

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**).

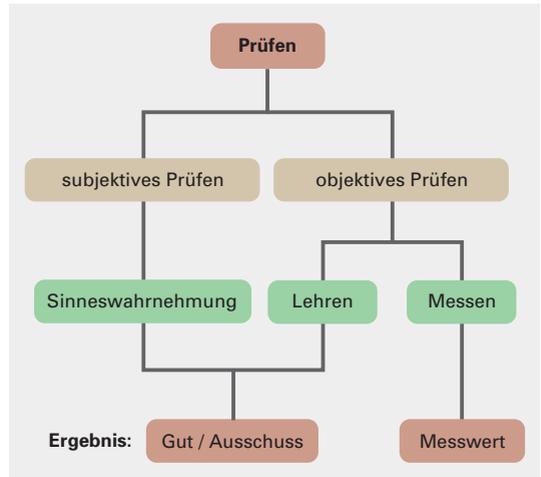


Bild 1: Prüfarten und Prüfergebnis

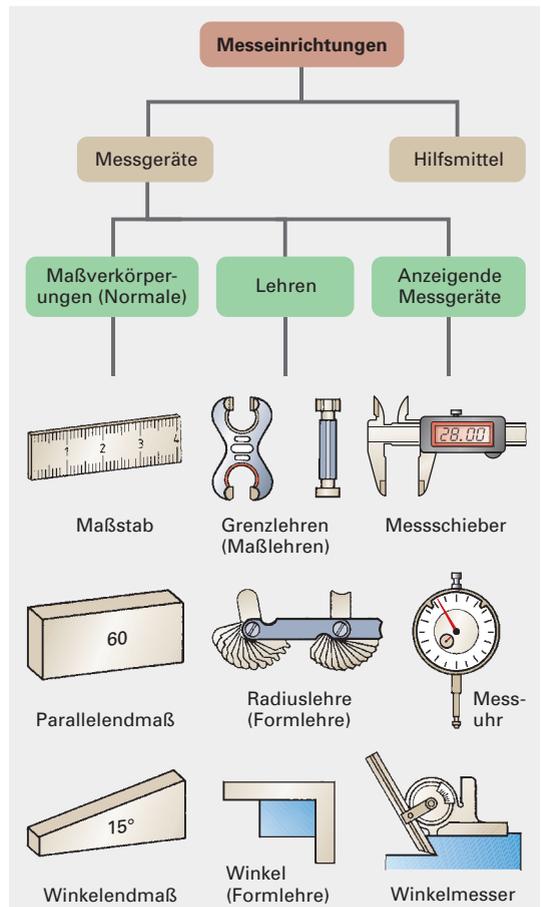


Bild 2: Messeinrichtungen

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 $Skw = 0,01\text{mm}$  Ziffernanzeige $Zw = 0,01\text{mm}$
Skalenanzeige	-	Kontinuierliche Anzeige auf einer Strichskale	
Ziffernanzeige	-	Digitale Anzeige auf einer Ziffernskale	
Skalenteilungswert*	Skw oder →←	Differenz zwischen den Messwerten, die zwei aufeinander folgenden Teilstrichen entsprechen. Der Skalenteilungswert Skw wird in der auf der Skale stehenden Einheit angegeben.	
Zifferschriftwert	Zw	Der Zifferschriftwert 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.	
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 unbekannt 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 20).	$A_s = x_a - x_r$ ($A_s = \bar{x}_a - x_r$)
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 unbekannt und nicht korrigierten systematischen Messabweichungen.	$u_c = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2 + \dots + u_{x_n}^2}$ $U = 2 \cdot u_c$ (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).	$y = x + K$ ($y = \bar{x} + K$)
Vollständiges Messergebnis	Y	Das Messergebnis Y ist der wahre Wert für die Messgröße M . Es schließt die erweiterte Messunsicherheit U ein.	$Y = y \pm U$ ($Y = \bar{x} + K \pm U$)

* Merkmale von Messgeräten, die in Katalogen angegeben werden.

Tabelle 1: Messtechnische Begriffe

Begriff	Kurzzeichen	Definition, Erklärung	Beispiel
<p>Wiederholpräzision*</p> <p>Wiederholgenze* (Wiederholbarkeit)</p>	<p>f_w</p> <p>r</p>	<p>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.</p> <p>Die Wiederholgenze ist der Differenzbetrag für zwei einzelne Messwerte bei einer Wahrscheinlichkeit von 95%.</p>	<p>Endmaß oder Werkstück</p>
<p>Messwertumkehrspanne*</p>	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>	<p>steigende Anzeige</p> <p>fallende Anzeige</p> <p>hineingehender Messbolzen</p> <p>herausgehender Messbolzen</p>
<p>Abweichungsspanne*</p> <p>Gesamtabweichungsspanne</p>	<p>f_e</p> <p>f_{ges}</p>	<p>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.</p> <p>Die Gesamtabweichungsspanne f_{ges} von Messuhren wird durch Messungen im ganzen Messbereich mit hinein- und herausgehendem Messbolzen ermittelt.</p>	<p>obere Fehlergrenze G_o</p> <p>untere Fehlergrenze G_u</p> <p>Messwertumkehrspanne f_u</p> <p>Teilmessspanne f_t</p> <p>max. Messabweichung</p> <p>Abweichungsspanne f_e</p> <p>richtiger Wert x_r (Länge von Endmaßen)</p> <p>— herausgehender Messbolzen</p> <p>— hineingehender Messbolzen</p>
<p>Fehlergrenze*</p>	G	<p>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. $G_o = G_u = 20 \mu m$</p>	
<p>Messbereich*</p>	Meb	<p>Der Messbereich ist der Bereich von Messwerten, in dem die Fehlergrenzen des Messgerätes nicht überschritten werden.</p>	
<p>Messspanne</p>	Mes	<p>Die Messspanne ist die Differenz zwischen Endwert und Anfangswert des Messbereiches.</p>	
<p>Anzeigebereich</p>	Az	<p>Der Anzeigebereich ist der Bereich zwischen der größten und der kleinsten Anzeige.</p>	<p>unterer Anschlag</p> <p>Anzeigebereich</p> <p>Messspanne</p> <p>Anhub</p> <p>Freihub</p>

* 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.

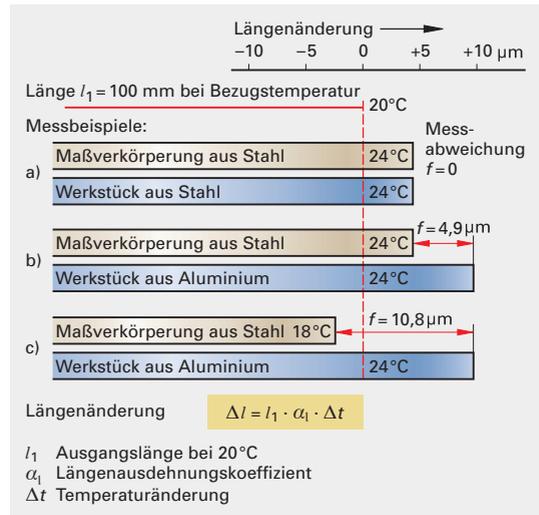


Bild 1: Messabweichungen durch die Temperatur

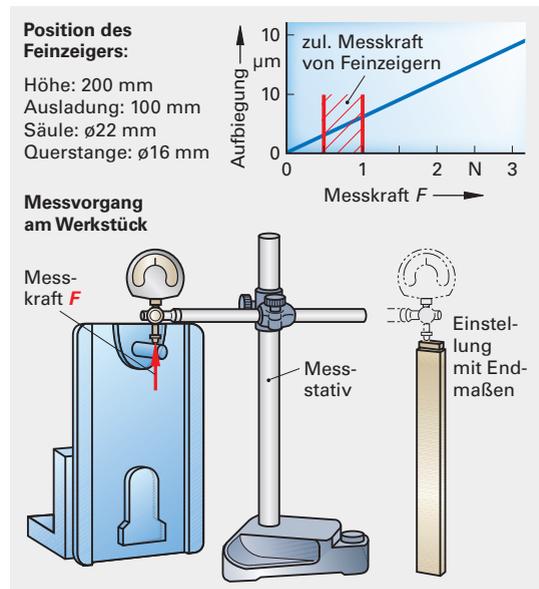


Bild 2: Messabweichung durch elastische Formänderung am Messstativ durch die Messkraft

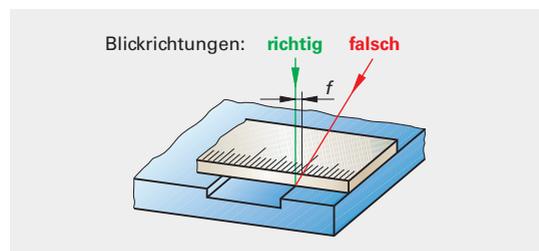
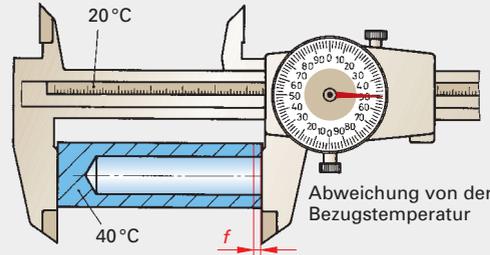
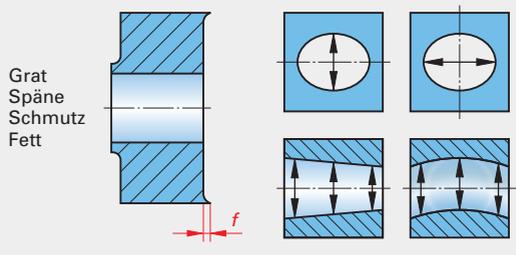
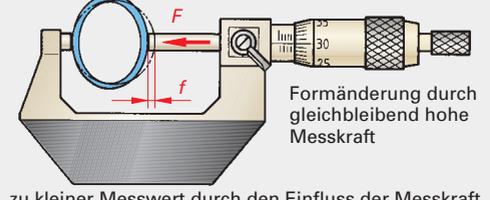
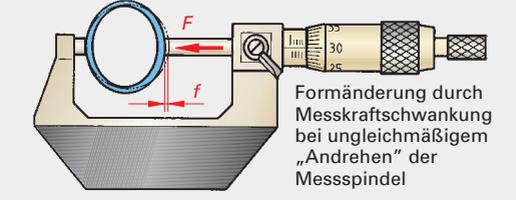
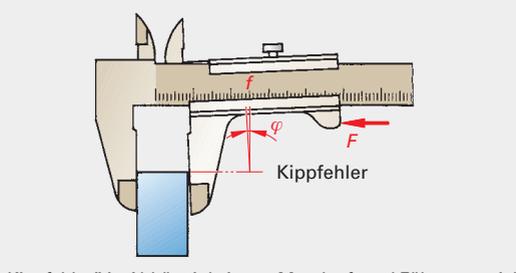
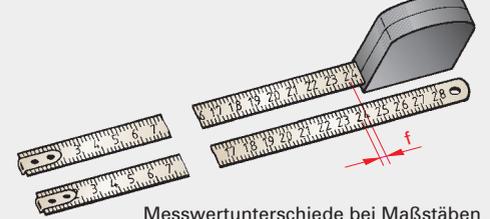
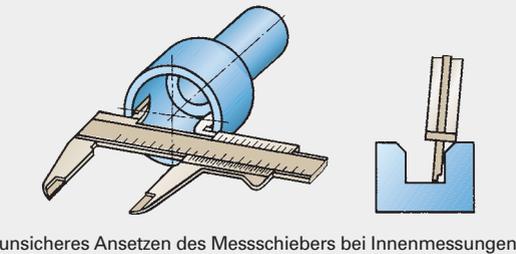
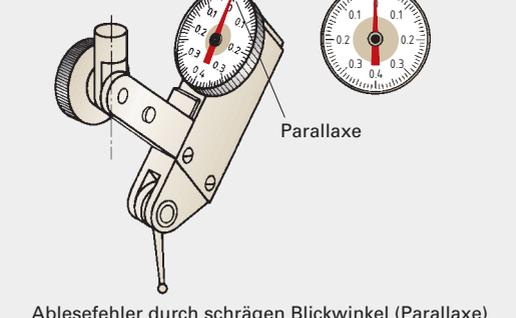
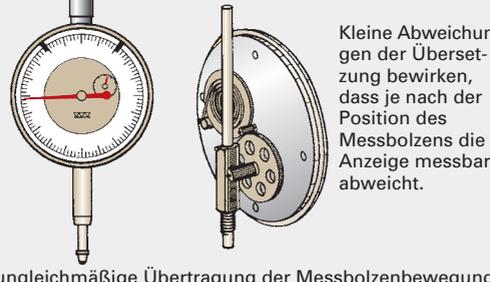


Bild 3: Messabweichung durch Parallaxe

Tabelle 1: Ursachen und Arten von Messabweichungen

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

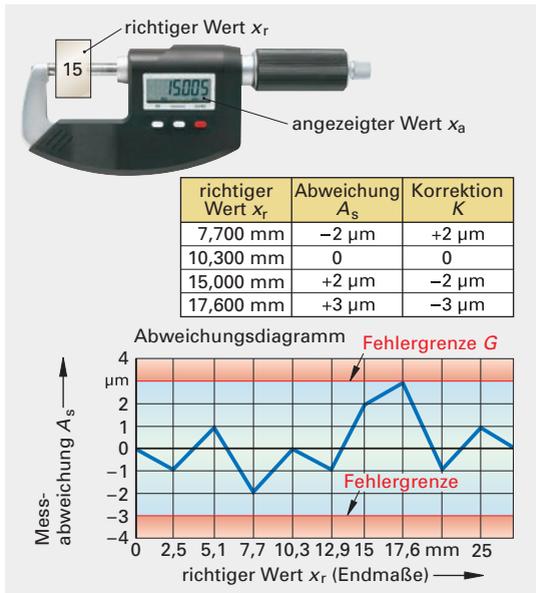


Bild 1: Systematische Abweichungen einer Bügelmessschraube

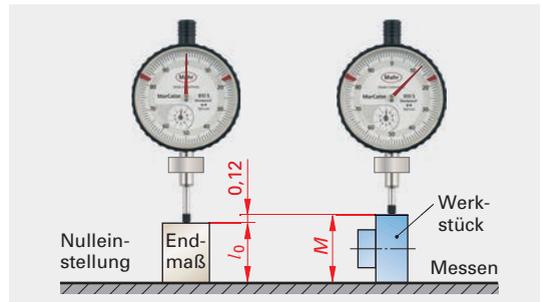


Bild 2: Nulleinstellung der Anzeige und Unterschiedsmessung

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.

A. Nulleinstellung des Feinzeigers auf den Drehteildurchmesser mit Nennmaß 30,0 mm mit einem Endmaß.

B. 10 Wiederholmessungen
Spannweite der angezeigten Werte
 $R = x_{a \max} - x_{a \min} = 6 \mu\text{m} - 2 \mu\text{m} = 4 \mu\text{m}$
Mittelwert der 10 Anzeigewerte
 $x_a = \frac{+40 \mu\text{m}}{10} = +4 \mu\text{m}$

Anzeigewerte in μ m			
+3	+4	+5	+4
+5	+4	+6	+3
+4	+2		

C. Messergebnis
Mittelwert des Durchmessers
 $x = 30,0 \text{ mm} + 0,004 \text{ mm}$
 $x = 30,004 \text{ mm}$

Bild 3: Zufällige Abweichungen eines Feinzeigers bei Messungen unter Wiederholbedingungen