



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für metalltechnische Berufe

Jörg Bartenschlager
Josef Dillinger
Walter Escherich
Werner Günter
Dr. Eckhard Ignatowitz

Stefan Oesterle
Ludwig Reißler
Andreas Stephan
Reinhard Vetter
Falko Wieneke

Fachkunde Metall

57., neu bearbeitete Auflage

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

Europa-Nr.: 10129

Autoren:

Bartenschlager, Jörg	Oberstudienrat	Rheinbreitbach
Dillinger, Josef	Studiendirektor	München
Escherich, Walter	Studiendirektor	München
Günter, Werner	Dipl.-Ing. (FH)	Oberwolfach
Ignatowitz, Dr. Eckhard	Dr.-Ing.	Waldbronn
Oesterle, Stefan	Dipl.-Ing.	Amtzell
Reißler, Ludwig	Studiendirektor	München
Stephan, Andreas	Dipl.-Ing. (FH)	Kressbronn
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 664)
Bildbearbeitung:	Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern
Englische Übersetzung:	OStRin Christina Murphy, Wolfratshausen

57. Auflage 2013

Druck 6 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind im Unterricht nebeneinander einsetzbar, da sie bis auf korrigierte Druckfehler und kleine Änderungen, z. B. aufgrund neuer Normen, identisch sind.

ISBN 978-3-8085-1157-2

Umschlaggestaltung unter Verwendung eines Fotos der Firma TESA / Brown & Sharpe, CH-Renens

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

© 2013 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Druck: B.o.s.s Druck und Medien GmbH, 47574 Goch

Vorwort

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

Zielgruppen

- Industriemechaniker
- Feinwerkmechaniker
- Fertigungsmechaniker
- Zerspanungsmechaniker
- Technische 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 57. Auflage

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

- Lernfeldkompass und Überarbeitung der Leitprojekte für die Fachstufe.
- Fertigungstechnik: Generative Fertigungsverfahren; Räumen
- Automatisierungstechnik: Zeitbausteine, Vakuumtechnik und Ventilinseln; Proportionaltechnik.
- Automatisierte Fertigung:
 - Drehen: Programmierverfahren nach Siemens und PAL. Angetriebene Werkzeuge nach PAL.
 - Fräsen: Programmierverfahren nach Heidenhain und PAL. 5-Achs-Bearbeitung nach PAL.
- Technische Projekte in Ausbildung und Beruf planen, erarbeiten, dokumentieren und präsentieren.
- Zu jedem Kapitel eine Seite in englischer Sprache zum Üben und Vertiefen. Die Übersetzung ist auf der beiliegenden CD.

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

1 Prüftechnik
2 Qualitätsmanagement

12 ... 87

3 Fertigungstechnik

88 ... 259

4 Werkstofftechnik

260 ... 340

5 Maschinentechnik
6 Elektrotechnik

341 ... 436

7 Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung

437 ... 475

8 Automatisierungstechnik

476 ... 562

9 Automatisierte Fertigung
10 Technische Projekte

563 ... 636

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 638 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 640 5.6 Antriebseinheiten 5.5 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: Bohrständer für Handbohrmaschine 642
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 Grafcet
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 644
Bewertung der Instandhaltungsmaßnahmen.	1 Prüftechnik 1.1 Größen und Einheiten 7.3 Instandhaltung 7.4 Korrosion und Korrosionsschutz 7.5 Schadensanalyse und Schadensvermeidung 7.6 Beanspruchung und Festigkeit der Bauteile
Wartungsarbeiten planen, Werkzeuge und Hilfsstoffe bestimmen.	4.1.3 Hilfsstoffe und Energie 5.6 Antriebseinheiten 5.5 Funktionseinheiten zur Energieübertragung 7.3.6 Schmierstoffe 7.3.7 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)
<p>Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen</p> <p>Fertigen von Werkstücken aus verschiedenen Werkstoffen auf Werkzeugmaschinen.</p> <p>Geeignete Fertigungsverfahren auswählen und Spannmittel für Werkzeuge und Werkstücke wählen.</p> <p>Glühen, Härten, Vergüten.</p> <p>Prüfpläne mit den Mitteln des Qualitätsmanagements entwickeln.</p>	<p>Projekt: Hydraulisches Spannelement 646</p> <p>3.7 Fertigen mit Werkzeugmaschinen</p> <p>4.4.3 Bezeichnungssystem der Stähle</p> <p>2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler</p> <p>2.7.1 Prüfplanung</p> <p>1.2 Grundlagen der Messtechnik</p> <p>1.3 Längenprüfmittel</p> <p>1.4 Oberflächenprüfung</p> <p>1.5 Toleranzen und Passungen</p> <p>1.6 Form- und Lageprüfung</p> <p>4.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe</p> <p>2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler</p> <p>2.7.1 Prüfplanung</p> <p>4.8 Wärmebehandlung der Stähle</p>
<p>Installieren und Inbetriebnahme steuerungstechnischer Systeme</p> <p>Steuerungstechnische Systeme installieren und in Betrieb nehmen.</p> <p>Aus Steuerungen in unterschiedlichen Gerätetechniken Komponenten und Funktionsabläufe ermitteln. Aufbau und Inbetriebnahme unterschiedlicher Steuerungen.</p>	<p>Projekt: Vereinzeln unterschiedlicher Metallkugeln 648</p> <p>5.1 Einteilung der Maschinen</p> <p>10.3 Projekte in Phasen erarbeiten</p> <p>5.6 Antriebseinheiten</p> <p>8.2 Grundlagen und Elemente von Steuerungen</p> <p>8.3 Pneumatische Steuerungen</p> <p>8.4 Elektropneumatische Steuerungen</p> <p>8.5 Hydraulische Steuerungen</p>
<p>Montieren von technischen Systemen</p> <p>Montage technischer Teilsysteme planen und Montagepläne erstellen.</p> <p>Baugruppen montieren.</p> <p>Funktionskontrolle durchführen und Prüfprotokolle erstellen.</p> <p>Festigkeitskenngrößen.</p> <p>Arbeitsergebnisse dokumentieren und präsentieren.</p>	<p>Projekt: Kegellradgetriebe 650</p> <p>1.5 Toleranzen und Passungen</p> <p>1.6 Form- und Lageprüfung</p> <p>3.8 Fügen</p> <p>5.4 Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen</p> <p>4.11 Werkstoffprüfung</p> <p>10.5 Technische Projekte dokumentieren</p>
<p>Programmieren und Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen</p> <p>Bauelemente auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen fertigen.</p> <p>Arbeits- und Werkzeugpläne erstellen.</p> <p>Einrichten der Werkzeugmaschine.</p> <p>CNC-Programme entwickeln.</p> <p>Prüfpläne mit den Mitteln des Qualitätsmanagement entwickeln.</p>	<p>Projekt: Getriebewelle und Lagerdeckel 652</p> <p>9.1 CNC-Steuerungen</p> <p>9.1.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte</p> <p>9.1.3 Werkzeugvermessung und Korrekturen</p> <p>9.1.4 Grundlagen der CNC-Programmierung</p> <p>9.1.5 Zyklen und Unterprogramme</p> <p>9.1.6 Programmieren von CNC-Drehmaschinen</p> <p>9.1.7 Programmieren von CNC-Fräsmaschinen</p> <p>9.2 Automatisierte Fertigungseinrichtungen</p> <p>2.3 Qualitätsforderungen</p> <p>2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler</p> <p>9.1.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte</p> <p>9.1.3 Werkzeugvermessung und Korrekturen</p> <p>9.1.4 Grundlagen der CNC-Programmierung</p> <p>9.1.5 Zyklen und Unterprogramme</p> <p>9.1.6 Programmieren von CNC-Drehmaschinen</p> <p>9.1.7 Programmieren von CNC-Fräsmaschinen</p> <p>2.7.1 Prüfplanung</p> <p>1.2 Grundlagen der Messtechnik</p> <p>1.4 Oberflächenprüfung</p> <p>1.5 Toleranzen und Passungen</p> <p>1.6 Form- und Lageprüfung</p>

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 ... 654</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 technischer Teilsysteme</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 656</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>Maschinen und Prozessfähigkeitsuntersuchungen durchführen. 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.</p>	<p>Projekt: Richtwaage 658</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 660</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 662</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>

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 Maßstäbe, Lehren und Endmaße	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 Multisensortechnik in Koordinatenmessgeräten	39
1.4 Oberflächenprüfung	41
1.4.1 Oberflächenprofile	41
1.4.2 Kenngrößen von Oberflächen	42
1.4.3 Oberflächen-Prüfverfahren	43
1.5 Toleranzen und Passungen	45
1.5.1 Toleranzen	45
1.5.2 Passungen	49
1.6 Form- und Lageprüfung	53
1.6.1 Form- und Lagetoleranzen	53
1.6.2 Prüfung ebener Flächen und Winkel	55
1.6.3 Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung	58
1.6.4 Gewindeprüfung	63
1.6.5 Kegelprüfung	65
1.7 Practice your English	66
2 Qualitätsmanagement	
2.1 Arbeitsbereiche des QM	67
2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000	68
2.3 Qualitätsforderungen	68
2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler	69
2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements	70
2.6 Qualitätslenkung	73
2.7 Qualitätssicherung	74
2.8 Maschinenfähigkeit	78
2.9 Prozessfähigkeit	81
2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten	82
2.11 Auditierung und Zertifizierung	85
2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse	86
2.13 Practice your English	87
3 Fertigungstechnik	
3.1 Arbeitssicherheit	89
3.2 Gliederung der Fertigungsverfahren	91
3.3 Gießen	93
3.3.1 Formen und Modelle	93
3.3.2 Gießen in verlorene Formen	94
3.3.3 Gießen in Dauerformen	97
3.3.4 Gusswerkstoffe	98
3.3.5 Gussfehler	98
3.3.6 Formgebung der Kunststoffe	99
3.3.7 Weiterverarbeitung der Halbzeuge und Fertigteile	104
3.4 Umformen	106
3.4.1 Verhalten der Werkstoffe beim Umformen	106
3.4.2 Umformverfahren	106
3.4.3 Biegeumformen	107
3.4.4 Zugdruckumformen	110
3.4.5 Druckumformen	114
3.4.6 Maschinen zum Umformen	116
3.5 Schneiden	117
3.5.1 Scherschneiden	117
3.5.2 Strahlschneiden	122
3.6 Spanende Fertigung	126
3.6.1 Grundlagen	126
3.6.2 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen	127
3.7 Fertigen mit Werkzeugmaschinen	131
3.7.1 Schneidstoffe	131
3.7.2 Kühlschmierstoffe	135
3.7.3 Sägen	138
3.7.4 Bohren	139
3.7.5 Senken	148
3.7.6 Reiben	149
3.7.7 Drehen	151
3.7.8 Fräsen	171
3.7.9 Schleifen	188
3.7.10 Räumen	200
3.7.11 Feinbearbeitung	202
3.7.12 Funkenerosives Abtragen	208
3.7.13 Vorrichtungen und Spannelemente	212
3.7.14 Fertigungsbeispiel Spannpratze	219
3.8 Fügen	223
3.8.1 Fügeverfahren	223
3.8.2 Press- und Schnappverbindungen	226
3.8.3 Kleben	228
3.8.4 Löten	230
3.8.5 Schweißen	236
3.9 Generative Fertigungsverfahren	249
3.9.1 Rapid Prototyping	249
3.9.2 Rapid Tooling	251
3.9.3 Rapid Manufacturing	251
3.10 Beschichten	252
3.11 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz	256
3.12 Practice your English	259

4 Werkstofftechnik

4.1	Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe	261	4.8.4	Glühen	303
4.2	Auswahl und Eigenschaften der Werkstoffe	263	4.8.5	Härten	304
4.3	Innerer Aufbau der Metalle	269	4.8.6	Vergüten	308
4.3.1	Innerer Aufbau und Eigenschaften	269	4.8.7	Härten der Randzone	309
4.3.2	Kristallgittertypen der Metalle	270	4.8.8	Fertigungsbeispiel: Wärmebehandlung einer Spannpratze	312
4.3.3	Baufehler im Kristall	271	4.9	Kunststoffe	313
4.3.4	Entstehung des Metallgefüges	271	4.9.1	Eigenschaften und Verwendung	313
4.3.5	Gefügearten und Werkstoffeigenschaften	272	4.9.2	Chemische Zusammensetzung und Herstellung	314
4.3.6	Gefüge reiner Metalle und Legierungen	273	4.9.3	Technologische Einteilung und innere Struktur	315
4.4	Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe	274	4.9.4	Thermoplaste	316
4.4.1	Gewinnung von Roheisen	274	4.9.5	Duroplaste	318
4.4.2	Herstellung von Stahl	275	4.9.6	Elastomere	319
4.4.3	Das Bezeichnungssystem für Stähle	278	4.9.7	Wichtige Kunststoffe und ihre Kennwerte	319
4.4.4	Einteilung der Stähle nach Zusammensetzung und Güteklassen	281	4.10	Verbundwerkstoffe	321
4.4.5	Stahlsorten und ihre Verwendung	282	4.11	Werkstoffprüfung	326
4.4.6	Handelsformen der Stähle	284	4.11.1	Prüfung der Verarbeitungseigenschaften	326
4.4.7	Legierungs- und Begleitelemente	285	4.11.2	Prüfung mechanischer Eigenschaften	327
4.4.8	Erschmelzen der Eisen-Gusswerkstoffe	286	4.11.3	Kerbschlagbiegeversuch	329
4.4.9	Das Bezeichnungssystem für Gusseisenwerkstoffe	287	4.11.4	Härteprüfungen	330
4.4.10	Eisen-Gusswerkstoffarten	288	4.11.5	Dauerfestigkeitsprüfung	334
4.5	Nichteisenmetalle	291	4.11.6	Bauteil-Betriebslasten-Prüfung	335
4.5.1	Leichtmetalle	291	4.11.7	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen	335
4.5.2	Schwermetalle	293	4.11.8	Metallografische Untersuchungen	336
4.6	Sinterwerkstoffe	296	4.11.9	Prüfung der Kunststoff-Kennwerte	337
4.7	Keramische Werkstoffe	298	4.12	Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe	338
4.8	Wärmebehandlung der Stähle	300	4.13	Practice your English	340
4.8.1	Gefügearten der Eisenwerkstoffe	300			
4.8.2	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	301			
4.8.3	Gefüge und Kristallgitter bei Erwärmung	302			

5 Maschinentchnik

5.1	Einteilung der Maschinen	342	5.4.2	Lager	378
5.2	Funktionseinheiten von Maschinen und Geräten	350	5.4.3	Führungen	387
5.2.1	Innerer Aufbau von Maschinen	350	5.4.4	Dichtungen	390
5.2.2	Funktionseinheiten einer CNC-Werkzeugmaschine	352	5.4.5	Federn	392
5.2.3	Funktionseinheiten einer Klimaanlage	354	5.5	Funktionseinheiten zur Energieübertragung	394
5.2.4	Sicherheitseinrichtungen an Maschinen	355	5.5.1	Wellen und Achsen	394
5.3	Funktionseinheiten zum Verbinden	357	5.5.2	Kupplungen	396
5.3.1	Gewinde	357	5.5.3	Riementreibe	401
5.3.2	Schraubenverbindungen	359	5.5.4	Kettentriebe	403
5.3.3	Stiftverbindungen	367	5.5.5	Zahnradtriebe	405
5.3.4	Nietverbindungen	369	5.6	Antriebseinheiten	408
5.3.5	Welle-Nabe-Verbindungen	371	5.6.1	Elektromotoren	408
5.4	Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen	375	5.6.2	Getriebe	415
5.4.1	Reibung und Schmierstoffe	375	5.6.3	Linearantriebe	421
			5.7	Practice your English	423

6 Elektrotechnik

6.1	Der elektrische Stromkreis	424	6.7	Schutzmaßnahmen bei elektrischen Maschinen	433
6.2	Schaltung von Widerständen	427	6.8	Hinweise für den Umgang mit Elektrogeräten	435
6.3	Stromarten	429	6.9	Practice your English	436
6.4	Elektrische Leistung und elektrische Arbeit	430			
6.5	Überstrom-Schutzeinrichtungen	431			
6.6	Fehler an elektrischen Anlagen	432			

7 Montage, Inbetriebnahme, Instandhaltung

7.1 Montagetchnik	438	7.3.5 Wartung	456
7.1.1 Montageplanung	438	7.3.6 Inspektion	459
7.1.2 Organisationsformen bei der Montage	439	7.3.7 Instandsetzung	461
7.1.3 Automatisierung der Montage	439	7.3.8 Verbesserungen	463
7.1.4 Montagebeispiele	440	7.3.9 Auffinden von Störstellen und Fehlerquellen	464
7.2 Inbetriebnahme	446	7.4 Korrosion und Korrosionsschutz	465
7.2.1 Aufstellen von Maschinen oder Anlagen	447	7.4.1 Ursachen der Korrosion	465
7.2.2 Inbetriebnahme von Maschinen oder Anlagen	448	7.4.2 Korrosionsarten und ihr Erscheinungsbild	467
7.2.3 Abnahme von Maschinen oder Anlagen	450	7.4.3 Korrosionsschutz-Maßnahmen	468
7.3 Instandhaltung	451	7.5 Schadensanalyse und Schadensvermeidung	471
7.3.1 Tätigkeitsgebiete und Definition	451	7.6 Beanspruchung und Festigkeit der Bauelemente	473
7.3.2 Begriffe der Instandhaltung	452	7.7 Practice your English	475
7.3.3 Ziele der Instandhaltung	453		
7.3.4 Instandhaltungskonzepte	453		

8 Automatisierungstechnik

8.1 Steuern und Regeln	477	8.5.2 Arbeitselemente und Hydrospeicher	527
8.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik	477	8.5.3 Hydraulikventile	531
8.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik	479	8.5.4 Proportionalhydraulik	535
8.2 Grundlagen und Grundelemente von Steuerungen	483	8.5.5 Hydraulikleitungen und Zubehör	537
8.2.1 Arbeitsweise von Steuerungen	483	8.5.6 Beispiele für hydraulische Schaltungen	539
8.2.2 Steuerungskomponenten	484	8.6 Speicherprogrammierbare Steuerungen	542
8.3 Pneumatische Steuerungen	489	8.6.1 Speicherprogrammierbare Steuerung als Kleinststeuerung	542
8.3.1 Baugruppen pneumatischer Anlagen	489	8.6.2 Speicherprogrammierbare Steuerung als modulares Automatisierungssystem	545
8.3.2 Bauelemente der Pneumatik	490	8.7 Handhabungstechnik in der Automation	554
8.3.3 Schaltpläne pneumatischer Steuerungen	499	8.7.1 Handhabungssystemtechnik	554
8.3.4 Systematischer Schaltplanentwurf	500	8.7.2 Einteilung der Handhabungssysteme	555
8.3.5 Beispiele pneumatischer Steuerungen	504	8.7.3 Kinematik und Bauarten von Industrierobotern	555
8.3.6 Vakuumtechnik	507	8.7.4 Funktionseinheiten von Industrierobotern	557
8.4 Elektropneumatische Steuerungen	509	8.7.5 Programmierung von Industrierobotern	557
8.4.1 Bauelemente elektrischer Kontaktsteuerungen	509	8.7.6 Koordinatensysteme	558
8.4.2 Signalelemente – Sensoren	512	8.7.7 Bewegungsarten von Industrierobotern	559
8.4.3 Verdrahtung mit Klemmleiste	517	8.7.8 Kommunikation von Industrierobotern	560
8.4.4 Beispiele für elektropneumatische Steuerungen	518	8.7.9 Sicherheit beim Einsatz von Handhabungssystemen	561
8.4.5 Ventilinseln	523	8.8 Practice your English	562
8.5 Hydraulische Steuerungen	524		
8.5.1 Energieversorgung und Druckmittelaufbereitung	525		

9 Automatisierte Fertigung

9.1 CNC-Steuerungen	564	9.2.3 Automatisierungsstufen von Fertigungsanlagen	601
9.1.1 Merkmale CNC-gesteuerter Maschinen	564	9.2.4 Automatisierung von Werkzeugmaschinen	602
9.1.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte	568	9.2.5 Transportsysteme in automatisierten Fertigungsanlagen	605
9.1.3 Steuerungsarten, Korrekturen	570	9.2.6 Informationsfluss in automatisierten Fertigungsanlagen	605
9.1.4 Erstellen von CNC-Programmen	573	9.2.7 Beispiel einer automatisierten Fertigungsanlage für Getriebewellen	606
9.1.5 Zyklen und Unterprogramme	578	9.2.8 Flexibilität und Produktivität von Fertigungsanlagen	607
9.1.6 Programmieren von CNC-Drehmaschinen	579	9.3 Practice your English	608
9.1.7 Programmieren von CNC-Fräsmaschinen	587		
9.1.8 Programmierverfahren	593		
9.1.9 5-Achs-Bearbeitung nach PAL	595		
9.2 Automatisierte Fertigungseinrichtungen	599		
9.2.1 Betriebswirtschaftliche Anforderungen	599		
9.2.2 Vergleich: Herkömmliche Fertigung und automatisierte Fertigung	600		

10 Technische Projekte

10.1 Grundlagen der Projektarbeit	609	10.3.4 Die Durchführungsphase mit Projektrealisierung	620
10.1.1 Arbeitsorganisation Linie und Projekt	609	10.3.5 Der Projektabschluss	622
10.1.2 Der Projektbegriff	609	10.4 Veränderte Vorgehensmodelle bei der Projektarbeit	623
10.1.3 Technische Projektarten	610	10.5 Technische Projekte dokumentieren	624
10.2 Projektarbeit als vollständige Handlung und planmäßige Problemlösung	610	10.5.1 Textverarbeitung	625
10.3 Projekte in Phasen erarbeiten am Projektbeispiel Hebevorrichtung	611	10.5.2 Tabellenkalkulation	627
10.3.1 Die Initialisierungsphase	611	10.5.3 Präsentationssoftware	630
10.3.2 Die Definitionsphase	612	10.5.4 Technische Kommunikation	633
10.3.3 Die Planungsphase mit Konzeptentwicklung als Hauptprojekt	615	10.6 Practice your English	636

Lernfelder

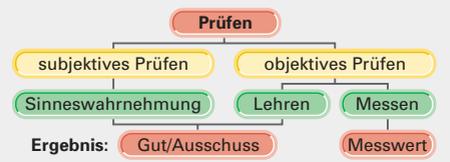
Lernfeld: Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	638
Lernfeld: Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	640
Lernfeld: Herstellen einfacher Baugruppen	642
Lernfeld: Warten technischer Systeme	644
Lernfeld: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen	646
Lernfeld: Installieren und Inbetriebnahme steuerungstechnischer Systeme	648
Lernfeld: Montieren von technischen Systemen	650
Lernfeld: Programmieren und Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	652
Lernfeld: Instandsetzen von technischen Systemen	654
Lernfeld: Herstellen und in Betrieb nehmen technischer Teilsysteme	656
Lernfeld: Überwachen der Produkt- und Prozessqualität	658
Lernfeld: Instandhalten von technischen Systemen	660
Lernfeld: Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme	662

Firmenverzeichnis	664
-------------------	-----

Sachwortverzeichnis	667
---------------------	-----

1 Prüftechnik

1.1 Größen und Einheiten	13
1.2 Grundlagen der Messtechnik	15
Grundbegriffe	15
Messabweichungen	18
Messmittelfähigkeit, Prüfmittelüberwachung	21



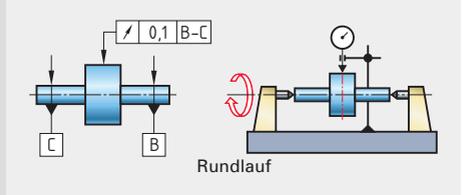
1.3 Längenprüfmittel	23
Maßstäbe, Lehren und Endmaße	23
Mechanische und elektronische Messgeräte	26
Pneumatische, elektronische Messgeräte	34
Optoelektronische Messgeräte	37
Multisensortechnik in Koordinatenmessgeräten	39



1.4 Oberflächenprüfung	41
Oberflächenprofile	41
Kenngrößen; Oberflächen-Prüfverfahren	42
1.5 Toleranzen und Passungen	45
Toleranzen	45
Passungen	49

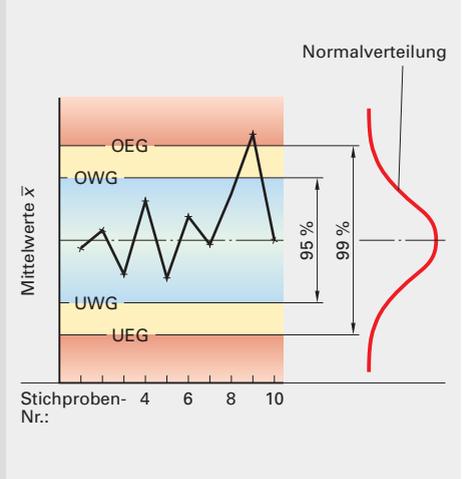


1.6 Form- und Lageprüfung	53
Form- und Lagetoleranzen	53
Prüfung ebener Flächen und Winkel	55
Rundform-, Koaxialitäts- und Rundlaufprüfung	58
Gewindeprüfung; Kegelpfung	63
1.7 Practice your English	66



2 Qualitätsmanagement

2.1 Arbeitsbereiche des QM	67
2.2 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000	68
2.3 Qualitätsforderungen	68
2.4 Qualitätsmerkmale und Fehler	69
2.5 Werkzeuge des Qualitätsmanagements	70
2.6 Qualitätslenkung	73
2.7 Qualitätssicherung	74
2.8 Maschinenfähigkeit	78
2.9 Prozessfähigkeit	81
2.10 Statistische Prozessregelung mit Qualitätsregelkarten	82
2.11 Auditierung und Zertifizierung	85
2.12 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess: Mitarbeiter optimieren Prozesse	86
2.13 Practice your English	87



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 $57,295\,779\,51^\circ$.

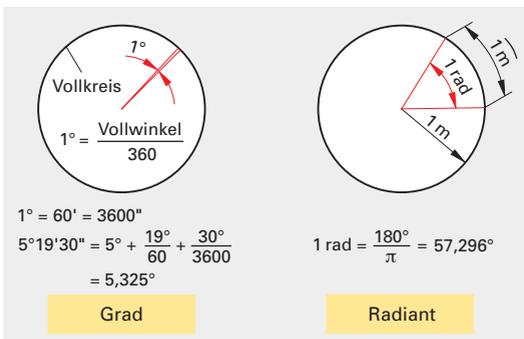


Bild 2: Winkeleinheiten

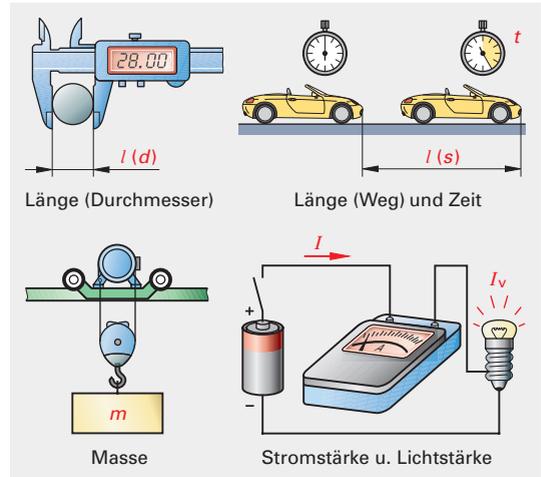


Bild 1: Basisgrößen

Tabelle 1: Internationales Einheitensystem

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

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

Vorsatz	Faktor		
M Mega	millionenfach	$10^6 = 1\,000\,000$	
k Kilo	tausendfach	$10^3 = 1\,000$	
h Hekto	hundertfach	$10^2 = 100$	
da 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. $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$.

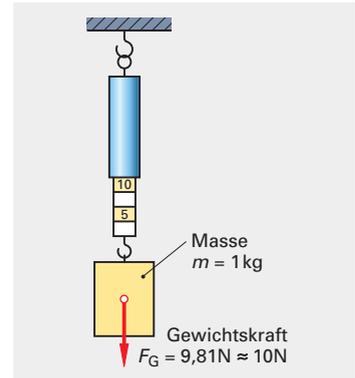


Bild 1: Masse und Kraft

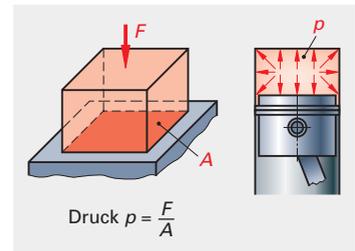


Bild 2: Druck

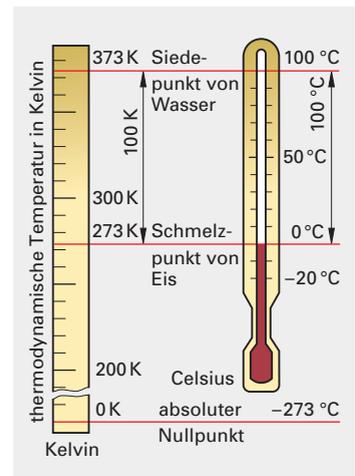


Bild 3: Temperaturskalen

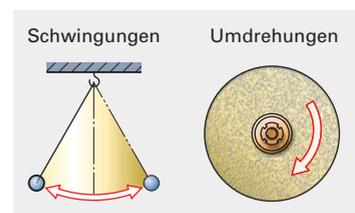


Bild 4: Periodische Vorgänge

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.

■ Prüforten

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

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

■ Prüfmittel

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

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

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

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

Hilfsmittel sind z. B. Messständer und Prismen.

■ Messtechnische Begriffe

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

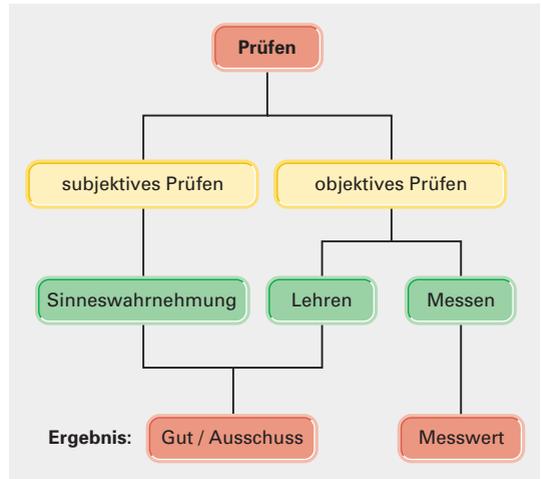


Bild 1: Prüforten und Prüfergebnis

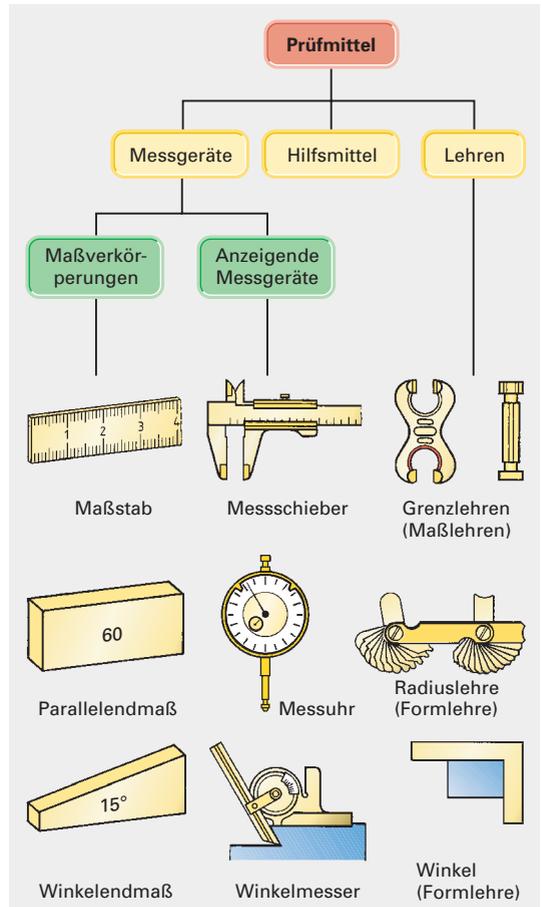
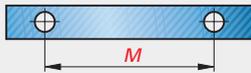


Bild 2: Prüfmittel

Tabelle 1: Messtechnische Begriffe

Begriff	Kurzzeichen	Definition, Erklärung	Beispiel, Formeln
Messgröße	M	Die zu messende Länge bzw. der zu messende Winkel, z. B. ein Bohrungsabstand oder ein Durchmesser.	
Anzeige	-	Der angezeigte Zahlenwert des Messwertes ohne Einheit (vom Messbereich abhängig). Bei Maßverkörperungen entspricht die Aufschrift der Anzeige.	 Skalenanzeige $Skw = 0,01\text{mm}$  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.	$u_c = \sqrt{u^2_{x_1} + u^2_{x_2} + \dots + u^2_{x_n}}$
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>	<p>f_u</p>	<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>Abweichungsspanne f_{ges}</p> <p>richtiger Wert x_r (Länge von Endmaßen)</p> <p>— herausgehender Messbolzen</p> <p>— hineingehender Messbolzen</p>
<p>Fehlergrenze*</p>	<p>G</p>	<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>	<p>Meb</p>	<p>Der Messbereich ist der Bereich von Messwerten, in dem die Fehlergrenzen des Messgerätes nicht überschritten werden.</p>	
<p>Messspanne</p>	<p>Mes</p>	<p>Die Messspanne ist die Differenz zwischen Endwert und Anfangswert des Messbereiches.</p>	
<p>Anzeigebereich</p>	<p>Az</p>	<p>Der Anzeigebereich ist der Bereich zwischen der größten und der kleinsten Anzeige.</p>	<p>Freihub</p> <p>Anzeigebereich</p> <p>Messspanne</p> <p>unterer Anschlag</p> <p>Anhub</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.

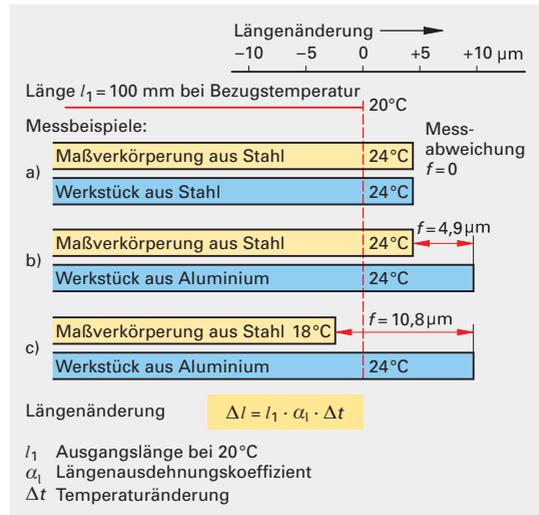


Bild 1: Messabweichungen durch die Temperatur

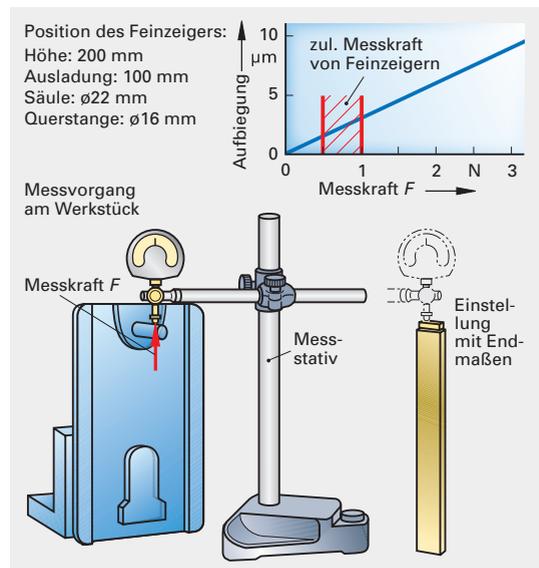


Bild 2: Messabweichungen durch elastische Formänderung am Messstativ durch die Messkraft

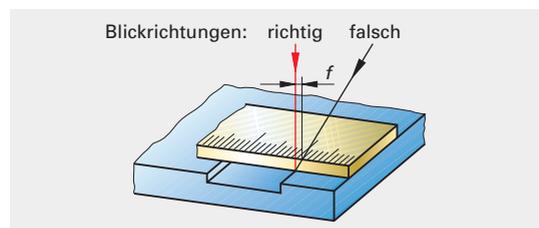
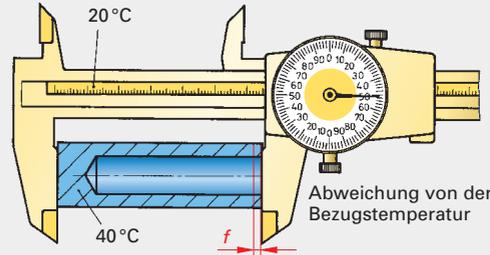
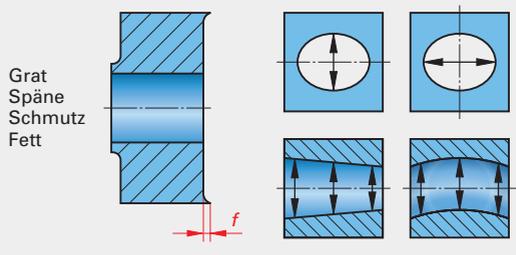
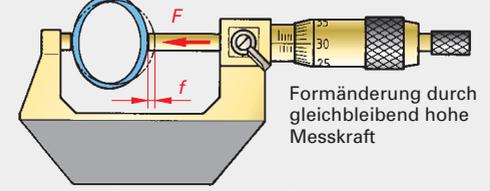
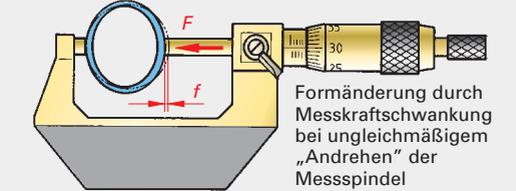
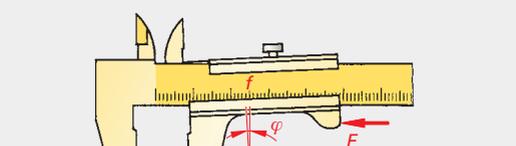
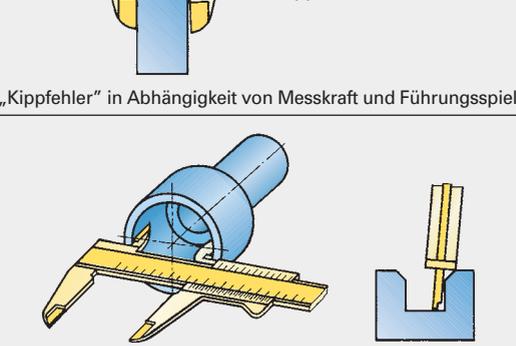
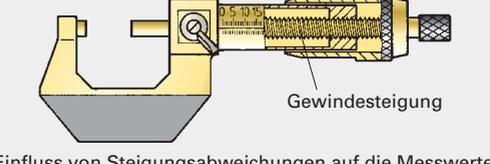
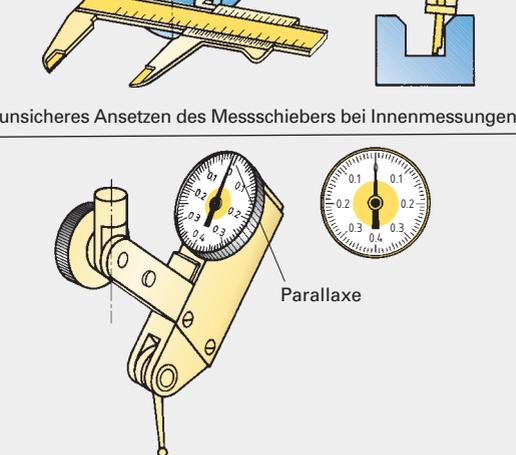
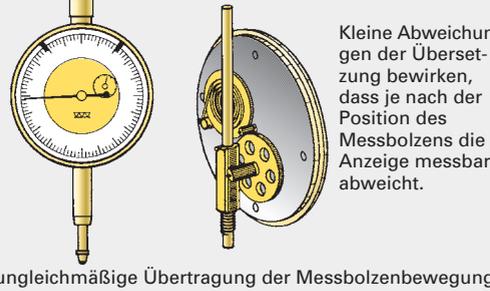
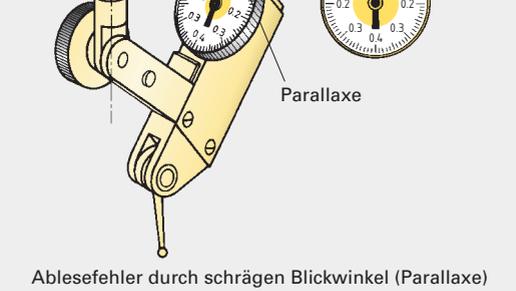


Bild 3: Messabweichung durch Parallaxe

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>Kleine Abweichungen der Übersetzung bewirken, dass je nach der Position des Messbolzens die Anzeige messbar abweicht. ungleichmäßige Übertragung der Messbolzenbewegung</p>
 <p>Ablesefehler durch schrägen Blickwinkel (Parallaxe)</p>	 <p>Parallaxe</p>

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

Am Beispiel der Prüfung einer Messschraube wird die Anzeige mit einem Endmaß verglichen (**Bild 1**). Der Nennwert der Endmaße (Aufschrift) kann als der richtige Wert angesehen werden. Die systematische **Abweichung A_s** eines einzelnen Messwertes ergibt sich aus der Differenz von angezeigtem Wert x_a und richtigem Wert x_r .

Prüft man die Messabweichungen einer Bügelmessschraube im Messbereich von 0 mm bis 25 mm, erhält man das Diagramm der Messabweichungen (**Bild 1**). Bei Messschrauben erfolgt die Vergleichsmessung mit festgelegten Endmaßen bei verschiedenen Drehwinkeln der Messspindel.

Fehlergrenzen und Toleranzen

- Die Fehlergrenze G darf an keiner Stelle des Messbereiches überschritten werden.
- Der Normalfall in der Messtechnik sind symmetrische Fehlergrenzen. Die Fehlergrenzen enthalten die Abweichungen des Messelements, z. B. Ebenheitsabweichungen.
- Die Einhaltung der Fehlergrenze G kann mit Parallelendmaßen der Toleranzklasse 1 nach DIN EN ISO 3650 geprüft werden.

Die Verringerung systematischer Messabweichungen erreicht man durch eine **Nulleinstellung** der Anzeige (**Bild 2**). Die Nulleinstellung erfolgt mit Endmaßen, die dem Prüfmaß am Werkstück entsprechen. Die zufällige Streuung kann durch **Messungen unter Wiederholbedingungen** ermittelt werden (**Bild 3**):

Arbeitsregeln für Messungen unter Wiederholbedingungen

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

Systematische Messabweichungen werden durch eine Vergleichsmessung festgestellt.

Zufällige Abweichungen können durch Wiederholmessungen ermittelt werden.

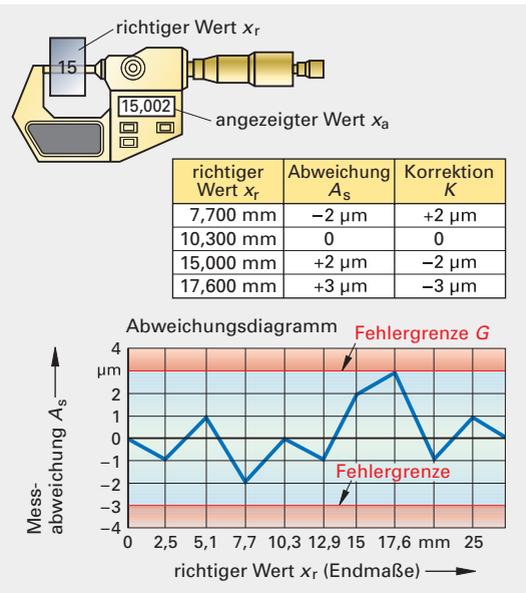


Bild 1: Systematische Abweichungen einer Bügelmessschraube

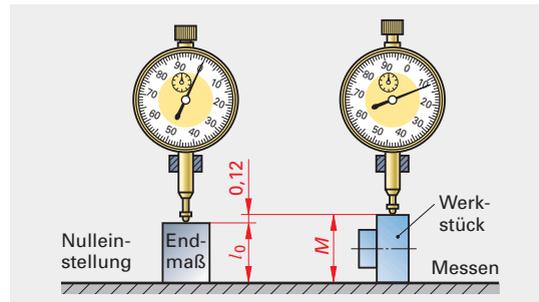


Bild 2: Nulleinstellung der Anzeige und Unterschiedsmessung

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

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

Anzeigewerte in μm			
+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