



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für metalltechnische Berufe

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

Ludwig Reißler
Andreas Stephan
Reinhard Vetter
Falko Wieneke

Metaltechnik Grundbildung

8. Auflage



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

Europa-Nr.: 11117

Autoren:

Burmester, Jürgen	Oberstudienrat	Rheinbreitbach
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)	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 346)

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Englische Übersetzung:

OStRin Christina Murphy, Wolfratshausen

8. Auflage 2018

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-1368-2

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

© 2018 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

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: Mitutoyo Europe GmbH, Neuss, und Vektor-Illustration © majcot – Fotolia.com

Druck: M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort

Die METALLTECHNIK GRUNDBILDUNG enthält die Grundkenntnisse der Berufe des Handwerks und der Industrie im **Berufsfeld Metalltechnik** sowie die Lerninhalte für die **Fachkraft für Metalltechnik** bis zur **Facharbeiterprüfung Teil 1**. Der Inhalt des Buches ist in die rechts angegebenen acht Hauptkapitel gegliedert, die mit **Arbeitsbeispielen** versehen sind.

Vorwort zur 8. Auflage

In der vorliegenden Auflage wurden Inhalte aktualisiert bzw. Neuerungen aufgenommen:

- Werkzeuge des QM und Qualitätssicherung
- Fertigen mit handgeführten Werkzeugen
- Grundlagen der CNC-Technik
- Technische Kommunikation und Projektarbeit
- Automatisierungstechnik:
Alle Schaltpläne nach der Referenznorm DIN EN 81346-2
- Kennzeichnung der Themenbereiche durch , bei denen die Simulationssoftware **SimMetall** eingesetzt werden kann.

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 durch geeignete Lernprojekte und Lernsituationen gefördert.

Obwohl jede Schule eigene Lernprojekte benutzt und Lernsituationen dem Leistungsvermögen einer Klasse angepasst werden müssen, wird auf den Seiten 333 bis 346 für die sechs Lernfelder bis zur Facharbeiterprüfung Teil 1 je ein Leitprojekt mit einem Vorschlag für die Umsetzung angeboten.

Zur Unterstützung der Themen dient der Lernfeldkompass auf Seite 6.

Die dargestellten fachlichen Inhalte sollten aber noch durch wirtschaftliche, ökologische und sicherheitstechnische Aspekte sowie durch Präsentations- und englischsprachige Übungen ergänzt werden. Zur Übung wird jedes Kapitel mit einer Seite „Practice your English“ abgeschlossen

Die Autoren und der Verlag sind allen Nutzern der METALLTECHNIK GRUNDBILDUNG für kritische Hinweise und Verbesserungsvorschläge an lektorat@europa-lehrmittel.de dankbar.

1 Prüftechnik und Qualitäts- management

9 ... 48

2 Fertigungstechnik

49 ... 156

3 Werkstofftechnik

157 ... 208

4 Maschinentechnik 5 Instandhaltung

209 ... 256

6 Automatisierungstechnik 7 Elektrotechnik 8 Technische Kommunikation und Projektarbeit

257 ... 332

Inhaltsverzeichnis

1 Prüftechnik und Qualitätsmanagement

1.1 Größen und Einheiten	10	1.5 Toleranzen und Passungen	34
1.2 Grundlagen der Messtechnik	12	1.5.1 Toleranzen	34
1.2.1 Grundbegriffe	12	1.5.2 Passungen	38
1.2.2 Messabweichungen	14	1.6 Qualitätsmanagement	41
1.2.3 Messmittelfähigkeit, Prüfmittelüberwachung	17	1.6.1 Qualitätsforderungen	41
1.3 Längenprüfmittel	18	1.6.2 Qualitätsmerkmale und Fehler	42
1.3.1 Maßstäbe, Lehren und Endmaße	18	1.6.3 Werkzeuge des Qualitätsmanagements	43
1.3.2 Mechanische und elektronische Messgeräte	21	1.6.4 Qualitätslenkung	46
1.4 Oberflächenprüfung	32	1.6.5 Qualitätssicherung	47
1.4.1 Oberflächenprofile	32	1.7 Practise your English	48
1.4.2 Kenngrößen von Oberflächen	33		

2 Fertigungstechnik

2.1 Arbeitssicherheit	50	2.7.1 Schneidstoffe	76
2.1.1 Sicherheitszeichen	50	2.7.2 Kühlschmierstoffe	78
2.1.2 Unfallverhütung	51	2.7.3 Sägen	79
2.1.3 Sicherheitsmaßnahmen	51	2.7.4 Bohren	80
2.2 Gliederung der Fertigungsverfahren	52	2.7.5 Senken	85
2.3 Gießen	54	2.7.6 Reiben	86
2.3.1 Formen und Modelle	54	2.7.7 Drehen	89
2.3.2 Gießen in verlorene Formen	55	2.7.8 Fräsen	102
2.3.3 Gießen in Dauerformen	58	2.7.9 Fertigungsbeispiel Spannpratze	115
2.3.4 Gusswerkstoffe	59	2.8 CNC-Steuerungen	119
2.3.5 Gussfehler	59	2.8.1 Merkmale CNC-gesteuerter Maschinen	119
2.4 Umformen	62	2.8.2 Koordinaten, Null- und Bezugspunkte	123
2.4.1 Verhalten der Werkstoffe beim Umformen	62	2.8.3 Steuerungsarten, Korrekturen	125
2.4.2 Umformverfahren	62	2.8.4 Erstellen von CNC-Programmen	128
2.4.3 Biegeumformen	63	2.9 Fügen	133
2.4.4 Druckumformen	67	2.9.1 Fügeverfahren	133
2.5 Schneiden	69	2.9.2 Press- und Schnappverbindungen	136
2.5.1 Scherschneiden	69	2.9.3 Kleben	138
2.6 Spanende Fertigung	71	2.9.4 Löten	140
2.6.1 Grundlagen	71	2.9.5 Schweißen	146
2.6.2 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen	72	2.10 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz	153
2.7 Fertigen mit Werkzeugmaschinen	76	2.11 Practise your English	156

3 Werkstofftechnik

3.1 Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe	158	3.5 Nichteisenmetalle	187
3.2 Auswahl und Eigenschaften der Werkstoffe	160	3.5.1 Leichtmetalle	187
3.3 Innerer Aufbau der Metalle	166	3.5.2 Schwermetalle	189
3.3.1 Innerer Aufbau und Eigenschaften	166	3.6 Wärmebehandlung der Stähle	192
3.3.2 Kristallgittertypen der Metalle	167	3.6.1 Gefügearten der Eisenwerkstoffe	192
3.3.3 Baufehler im Kristall	168	3.6.2 Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm	193
3.3.4 Entstehung des Metallgefüges	168	3.6.3 Glühen	194
3.3.5 Gefügearten und Werkstoffeigenschaften	169	3.6.4 Härten	195
3.3.6 Gefüge reiner Metalle und Legierungen	170	3.7 Kunststoffe	196
3.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe	171	3.7.1 Eigenschaften und Verwendung	196
3.4.1 Gewinnung von Roheisen	171	3.7.2 Thermoplaste	197
3.4.2 Herstellung von Stahl	172	3.7.3 Duroplaste	198
3.4.3 Das Bezeichnungssystem für Stähle	175	3.7.4 Elastomere	198
3.4.4 Einteilung der Stähle nach Zusammen- setzung und Güteklassen	178	3.8 Verbundwerkstoffe	199
3.4.5 Stahlsorten und ihre Verwendung	179	3.9 Werkstoffprüfung	200
3.4.6 Handelsformen der Stähle	181	3.9.1 Prüfung der Verarbeitungseigenschaften	200
3.4.7 Erschmelzen der Eisen-Gusswerkstoffe	182	3.9.2 Zugversuch	201
3.4.8 Das Bezeichnungssystem für Gusseisen- werkstoffe	183	3.9.3 Kerbschlagbiegeversuch	202
3.4.9 Eisen-Gusswerkstoffarten	184	3.9.4 Härteprüfungen	203
3.4.10 Kohlenstoffgehalt der Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe im Vergleich	186	3.10 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe	205
		3.11 Practise your English	208

4 Maschinentechnik

4.1 Einteilung der Maschinen	210	4.3 Funktionseinheiten zum Verbinden	225
4.2 Funktionseinheiten von Maschinen und Geräten	218	4.3.1 Gewinde	225
4.2.1 Innerer Aufbau von Maschinen	218	4.3.2 Schraubenverbindungen	227
4.2.2 Funktionseinheiten einer CNC-Werkzeugmaschine	220	4.3.3 Stiftverbindungen	235
4.2.3 Funktionseinheiten einer Klimaanlage	222	4.3.4 Nietverbindungen	238
4.2.4 Sicherheitseinrichtungen an Maschinen	223	4.3.5 Welle-Nabe-Verbindungen	240
		4.4 Practise your English	244

5 Instandhaltung

5.1 Instandhaltung	245	5.1.5 Wartung	250
5.1.1 Tätigkeitsgebiete und Definition	245	5.1.6 Schmierstoffe und Reibung	253
5.1.2 Begriffe der Instandhaltung	246	5.2 Practise your English	256
5.1.3 Ziele der Instandhaltung	247		
5.1.4 Instandhaltungskonzepte	247		

6 Automatisierungstechnik

6.1 Steuern und Regeln	258	6.3.5 Beispiele pneumatischer Steuerungen	283
6.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik	258	6.4 Elektropneumatische Steuerungen	286
6.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik	260	6.4.1 Bauelemente elektrischer Kontaktsteuerungen	286
6.2 Grundlagen und Grundelemente von Steuerungen	262	6.4.2 Signalelemente – Sensoren	289
6.3 Pneumatische Steuerungen	268	6.4.3 Verdrahtung mit Klemmleiste	294
6.3.1 Baugruppen pneumatischer Anlagen	268	6.4.4 Beispiele für elektropneumatische Steuerungen	295
6.3.2 Bauelemente der Pneumatik	269	6.5 Practise your English	300
6.3.3 Schaltpläne pneumatischer Steuerungen	278		
6.3.4 Systematischer Schaltplanentwurf	279		

7 Elektrotechnik

7.1 Der elektrische Stromkreis	301	7.7 Schutzmaßnahmen bei elektrischen Maschinen	310
7.2 Schaltung von Widerständen	304	7.8 Hinweise für den Umgang mit Elektrogeräten	312
7.3 Stromarten	306	7.9 Practise your English	313
7.4 Elektrische Leistung und elektrische Arbeit	307		
7.5 Überstrom-Schutzeinrichtungen	308		
7.6 Fehler an elektrischen Anlagen	309		

8 Technische Kommunikation und Projektarbeit

8.1 Technische Zeichnungen	314	8.3.3 Projekte in Phasen erarbeiten	321
8.2 Technische Unterlagen	317	8.4 Technische Projekte dokumentieren	323
8.3 Projektarbeit	319	8.4.1 Textverarbeitung	324
8.3.1 Grundlagen der Projektarbeit	319	8.4.2 Tabellenkalkulation	326
8.3.2 Projektarbeit als vollständige Handlung und planmäßige Problemlösung	320	8.4.3 Präsentationssoftware	329
		8.5 Practise your English	332

Lernfeldprojekte	333
-------------------------------	-----

Firmenverzeichnis	346
--------------------------------	-----

Sachwortverzeichnis	347
----------------------------------	-----

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 Metalltechnik Grundbildung 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)	Seite
Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	Projekt: Schlüsselanhänger	334
	8.1 Technische Zeichnungen	314
Vorbereiten und Fertigen von berufstypischen Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen.	2.6.2 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen . .	72
Erstellen und Ändern von Zeichnungen für einfache Baugruppen.	1.2 Grundlagen der Messtechnik	12
	1.2.1 Grundbegriffe	12
	1.2.2 Messabweichungen	14
	1.2.3 Messmittelfähigkeit	17
	1.3 Längenprüfmittel	18
	1.5 Toleranzen und Passungen	35
Arbeitsschritte mit Werkzeugen und Materialien planen und Berechnungen durchführen.	1.6 Grundlagen des Qualitätsmanagement . .	41
Geeignete Prüfmittel auswählen, anwenden und Ergebnisse protokollieren.	2.2 Gliederung der Fertigungsverfahren	52
Fertigungskosten überschlägig ermitteln.	2.4.1 Verhalten der Werkstoffe	62
	2.4.2 Umformverfahren	62
	2.4.3 Biegeumformen	63
	2.5 Schneiden	69
	2.5.1 Scherschneiden	69
	3.1 Übersicht der Werk- und Hilfsstoffe	158
	3.2 Auswahl und Eigenschaften der Werkstoffe	160
	3.4 Übersicht Stähle und Gusswerkstoffe . . .	171
	3.5 Übersicht NE-Metalle	187
	3.7 Übersicht Kunststoffe	196
	3.8 Übersicht Verbundwerkstoffe	199
Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse.	8.4 Technische Projekte dokumentieren	323
Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	2.1 Arbeitssicherheit	50
	2.10 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz . . .	153
	3.10 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe	205

Anmerkungen:

- Die Themen 8.1 bis 8.3 sind bei den Lernfeldern nicht aufgeführt.
- Ebenso die Themen 7 Elektrotechnik.

Lernfeld	Sachinformationen im Buch (Beispiele)	Seite
Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Projekt: Spanngerät für runde Werkstücke	336
	8.1 Technische Zeichnungen	314
Auswerten von Zeichnungen und Stücklisten.	1.4 Oberflächenprüfung	32
Auswahl von Werkstoffen nach spezifischen Eigenschaften.	1.5 Toleranzen und Passungen	34
Planen von Fertigungsabläufen mit Berechnungen.	2.7 Fertigen mit Werkzeugmaschinen	76
	2.9 Fügen	133
	3.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe	171
Aufbau und Wirkungsweise von Maschinen.	4.1 Einteilung der Maschinen	210
Einsatz von Werkzeugen.	4.2 Funktionseinheiten von Maschinen	218
	2.7.1 Schneidstoffe.	76
	7 Elektrotechnik	301
Auswahl und Einsatz von Prüfmitteln.	1.2 Grundlagen der Messtechnik.	12
	1.3 Längenprüfmittel	18
	1.6 Qualitätsmanagement	41
Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse.	8.4 Technische Projekte dokumentieren	323
Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	2.1 Arbeitssicherheit	50
	2.10 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz	153
	3.10 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe	205
Herstellen einfacher Baugruppen	Projekt: Bohrstände für Handbohrmaschine . .	338
	8.1 Technische Zeichnungen	314
	8.2 Technische Unterlagen	317
Gruppenzeichnungen und Schaltpläne lesen und verstehen.	4.1 Einteilen der Maschinen.	210
Planen einfacher Steuerungen.	4.2 Funktionseinheiten von Maschinen	218
Montage von Baugruppen.	6.1 Schaltpläne pneumatischer Steuerungen	278
Teile normgerecht kennzeichnen.	bis Systematischer Schaltplanentwurf	279
	6.4 Grafcet	283
Fügeverfahren unterscheiden.	2.9 Fügen	133
Auswahl von Werkzeugen und Normteilen.	3.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe	171
Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse.	1.6 Qualitätsmanagement	41
	8.4 Technische Projekte dokumentieren.	323
	8.4.1 Textverarbeitung.	324
	8.4.2 Tabellenkalkulation.	326
	8.4.3 Präsentation	329
Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	2.1 Arbeitssicherheit	50
	2.10 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz	153
	3.10 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe	205

Lernfeld	Sachinformationen im Buch (Beispiele)	Seite
Warten technischer Systeme	Projekt: Warten einer Säulenbohrmaschine	340
Bewertung der Instandhaltungsmaßnahmen.	1 Prüftechnik	10
	1.1 Größen und Einheiten	10
	5.1 Instandhaltung	245
	5.1.1 Tätigkeitsgebiete und Definitionen	245
	5.1.2 Begriffe der Instandhaltung	246
	5.1.3 Ziele der Instandhaltung	247
	5.1.4 Instandhaltungskonzepte	247
	5.1.5 Wartung	250
	7 Elektrotechnik	301
Wartungsarbeiten planen, Werkzeuge und Hilfsstoffe bestimmen.	3.1.3 Hilfsstoffe und Energie	159
Dokumentieren und Präsentieren der Arbeitsergebnisse.	5.1.6 Schmierstoffe	253
Bestimmungen des Arbeits- und Umweltschutzes beachten.	8.4 Technische Projekte dokumentieren	323
	2.1 Arbeitssicherheit	50
	2.10 Fertigungsbetrieb und Umweltschutz . . .	153
	3.10 Umweltproblematik der Werk- und Hilfsstoffe	205
Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen	Projekt: Hydraulisches Spannelement	342
Fertigen von Werkstücken aus verschiedenen Werkstoffen auf Werkzeugmaschinen.	2.7 Fertigen mit Werkzeugmaschinen	76
	3.4.3 Bezeichnungssystem der Stähle	175
	1.6.2 Qualitätsmerkmale und Fehler	42
	1.6.5 Qualitätssicherung	47
Geeignete Fertigungsverfahren auswählen und Spannmittel für Werkzeuge und Werkstücke wählen.	1.2 Grundlagen der Messtechnik	12
	1.3 Längenprüfmittel	18
	1.4 Oberflächenprüfung	32
	1.5 Toleranzen und Passungen	34
Glühen, Härten, Vergüten.	3.4 Stähle und Eisen-Gusswerkstoffe	171
Prüfpläne mit den Mitteln des Qualitätsmanagements entwickeln.	1.6.2 Qualitätsmerkmale und Fehler	42
	1.6.5 Qualitätssicherung	47
	3.6 Wärmebehandlung der Stähle	192
Installieren und Inbetriebnahme steuerungs-technischer Systeme	Projekt: Vereinzelung unterschiedlicher Metallkugeln	344
Steuerungstechnische Systeme installieren und in Betrieb nehmen.	4.1 Einteilung der Maschinen	210
Aus Steuerungen in unterschiedlichen Gerätetechniken Komponenten und Funktionsabläufe ermitteln.	6.1 Steuern und Regeln	258
Aufbau und Inbetriebnahme unterschiedlicher Steuerungen.	6.2 Grundlagen und Elemente von Steuerungen	262
	6.3 Pneumatische Steuerungen	268
	6.4 Elektropneumatische Steuerungen	286
	7 Elektrotechnik	301
	(7.1 bis 7.8)	301–312

1 Prüftechnik und Qualitätsmanagement

1.1 Größen und Einheiten	10
Länge	10
Winkel	10
Masse, Kraft, Druck	11
Temperatur	11
Zeit, Frequenz, Drehzahl	11
1.2 Grundlagen der Messtechnik	12
Grundbegriffe	12
Prüfarten	12
Messeinrichtungen	12
Messtechnische Begriffe	12
Messabweichungen	14
Messmittelfähigkeit	17
Prüfmittelüberwachung	17
1.3 Längenprüfmittel	18
Maßstäbe, Lineale, Winkel, Lehren, Endmaße	18
Mechanische und elektronische Messgeräte	21
Messschieber, Messschrauben	21
Innenmessgeräte, Messuhren	25
Fühlhebelmessgeräte	27
Arbeitsbeispiele zum Messen und Prüfen	30
1.4 Oberflächenprüfung	32
Oberflächenprofile	32
Kenngrößen von Oberflächen	33
1.5 Toleranzen und Passungen	34
Toleranzen	34
Grundbegriffe	34
Allgemeintoleranzen	35
ISO-Toleranzen	36
Passungen	38
Passungsarten	38
Arbeitsbeispiel zu den Toleranzen	40
1.6 Qualitätsmanagement	41
Qualitätsforderungen	41
Qualitätsmerkmale und Fehler	42
Werkzeuge des Qualitätsmanagement	43
Qualitätslenkung	46
Qualitätssicherung	47
1.7 Practise your English	48



1 Prüftechnik und Qualitätsmanagement

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°.

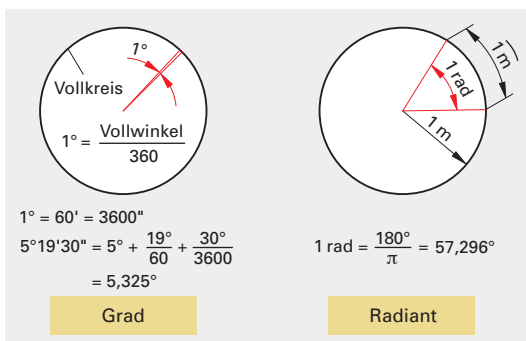


Bild 2: Winkleinheiten

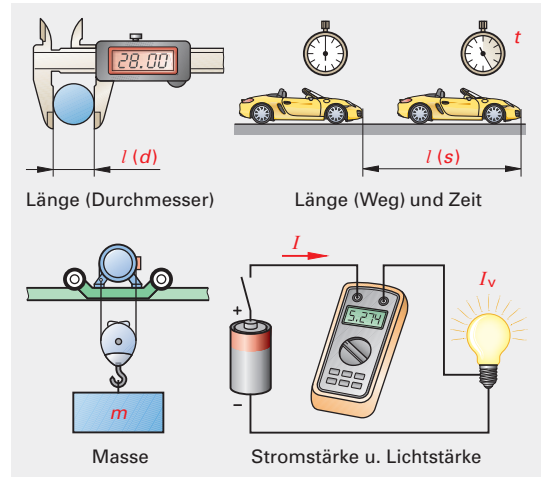


Bild 1: Basisgrößen

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

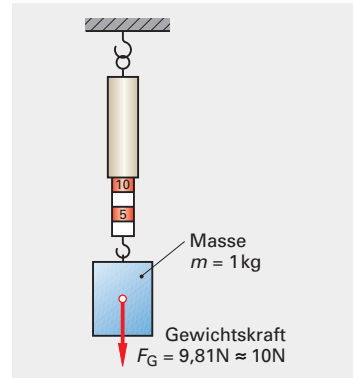


Bild 1: Masse und Kraft

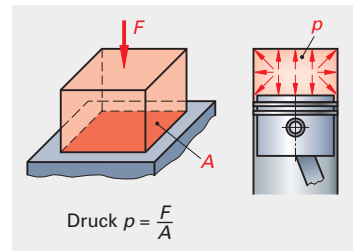


Bild 2: Druck

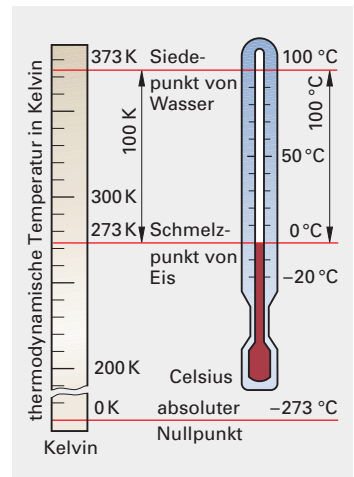


Bild 3: Temperaturskalen

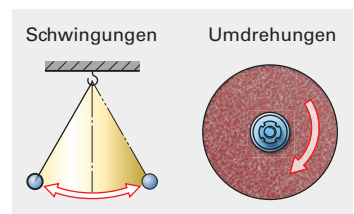


Bild 4: Periodische Vorgänge

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 Hilfsgерäte (**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**).

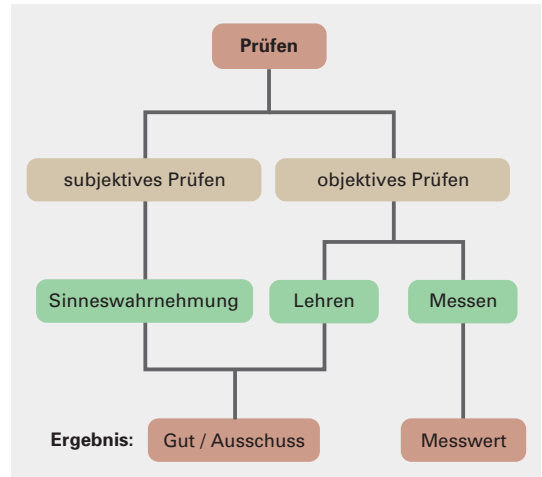


Bild 1: Prüfarten und Prüfergebnis

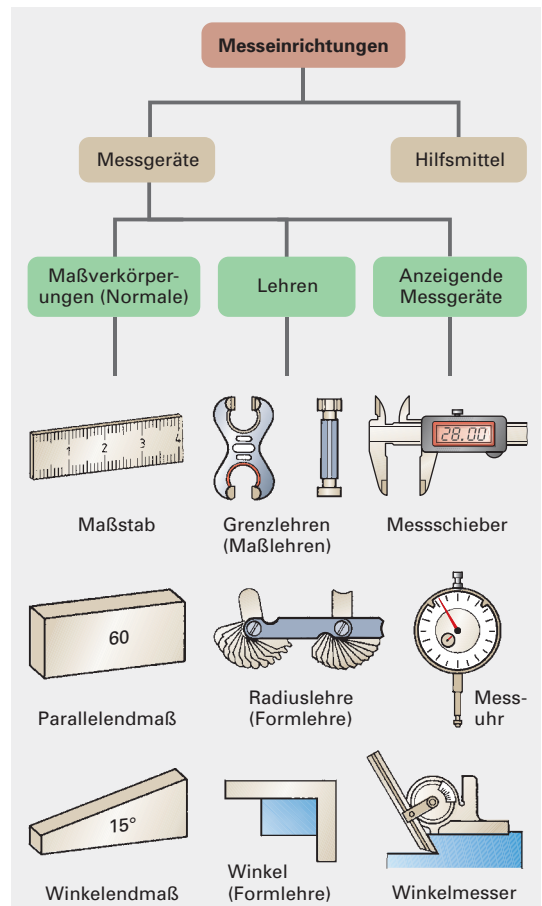
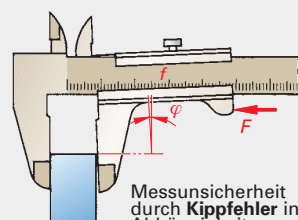
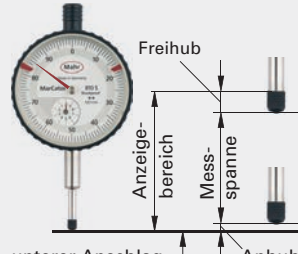


Bild 2: Messeinrichtungen

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 ist die Änderung der Anzeige um einen Ziffernwert.	$A_s = x_a - x_r$ $K = -A_s$ (K = Korrektur)
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.	
Systematische Messabweichung	A_s	Die Messabweichung ergibt sich durch Vergleich des angezeigten Messwertes x_a mit dem richtigen Wert x_r (Seite 16).	
Korrektionswert	K	Ausgleich von bekannten systematischen Abweichungen, z. B. Abweichung von der Bezugstemperatur.	
Berichtigtes Messergebnis	y	Messwert, korrigiert um bekannte systematische Messabweichungen.	$y = x + K$
Messunsicherheit	u	Die Messunsicherheit beinhaltet alle zufälligen Abweichungen sowie die unbekannten und nicht korrigierten Messabweichungen.	 Messunsicherheit durch Kippfehler in Abhängigkeit von Messkraft und Führung
Erweiterte Messunsicherheit	U	Die erweiterte Messunsicherheit gibt den Bereich um das Messergebnis an, in dem der „wahre Wert“ einer Messgröße erwartet wird. (Die zulässige Messunsicherheit soll 1/10 der Toleranz möglichst nicht überschreiten.)	
Messbereich	Meb	Der Messbereich ist der Bereich von Messwerten, in dem die Fehlergrenzen des Messgerätes nicht überschritten werden.	
Messspanne	Mes	Die Messspanne ist die Differenz zwischen Endwert und Anfangswert des Messbereiches.	
Anzeigebereich	Az	Der Anzeigebereich ist der Bereich zwischen der größten und der kleinsten Anzeige eines Messgerätes.	

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.

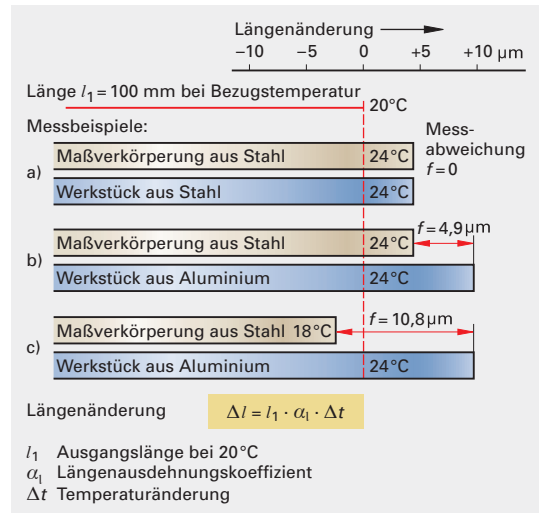


Bild 1: Messabweichungen durch die Temperatur

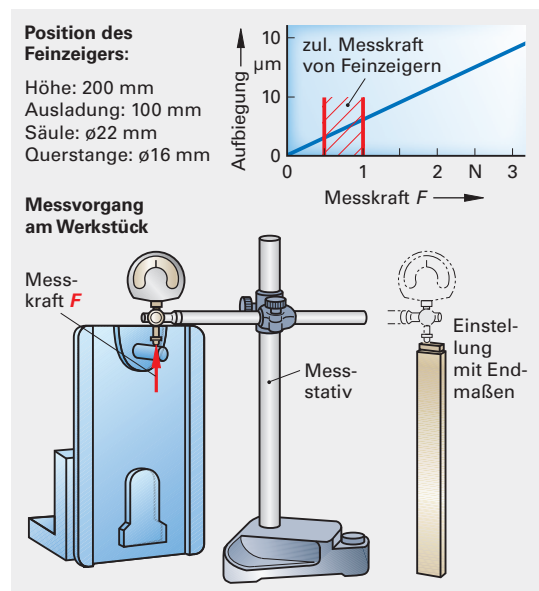


Bild 2: Messabweichungen durch elastische Formänderung am Messstativ durch die Messkraft

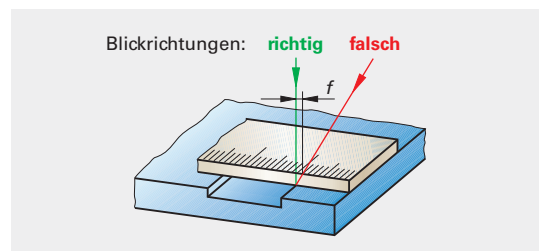
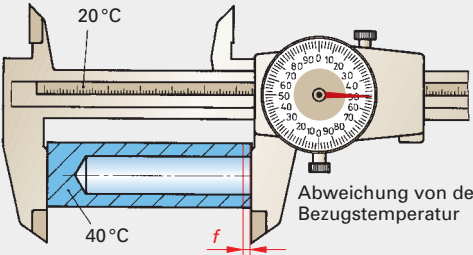
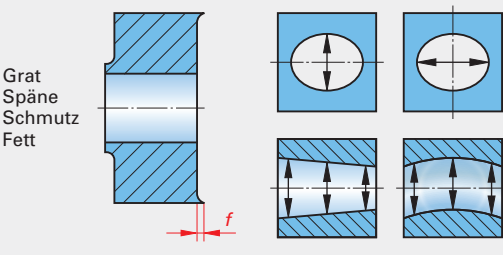
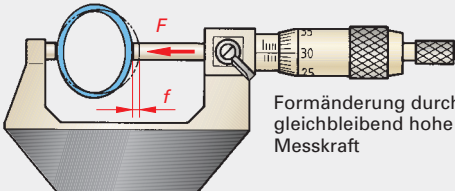
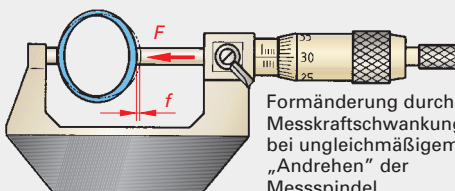
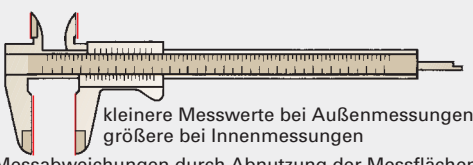
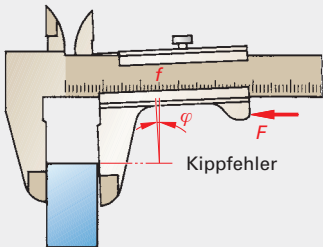
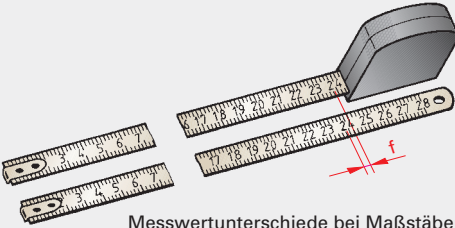
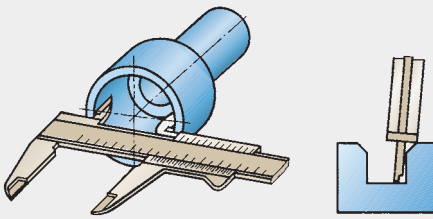
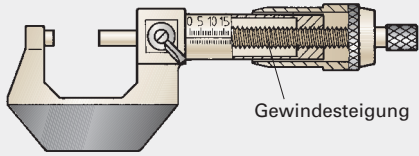
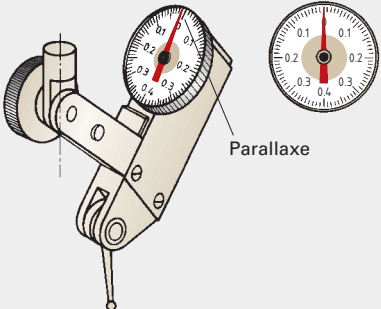
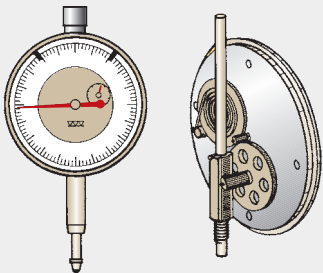


Bild 3: Messabweichung durch Parallaxe

Tabelle 1: Ursachen und Arten von Messabweichungen

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

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

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

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

Fehlergrenzen und Toleranzen

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

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

Arbeitsregeln für Messungen unter Wiederholbedingungen

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

Systematische Messabweichungen werden durch eine Vergleichsmessung festgestellt.

Zufällige Abweichungen können durch Wiederholmessungen ermittelt werden.

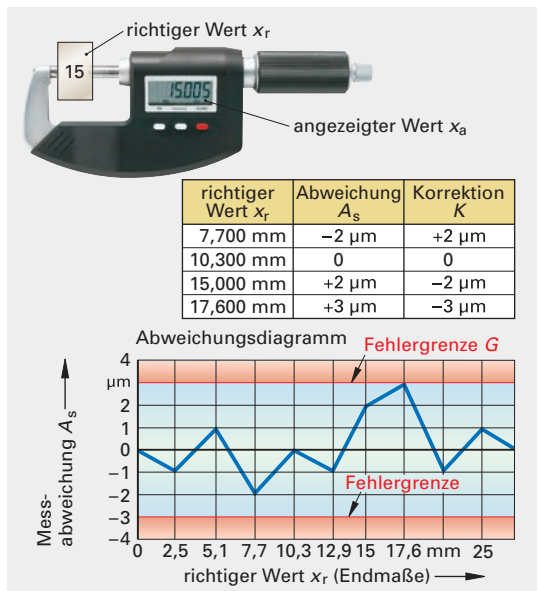


Bild 1: Systematische Abweichungen einer Bügelmessschraube

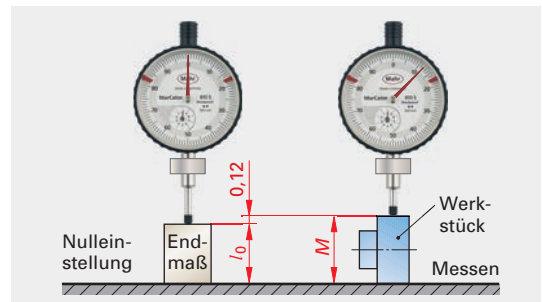


Bild 2: Nulleinstellung der Anzeige und Unterschiedsmessung

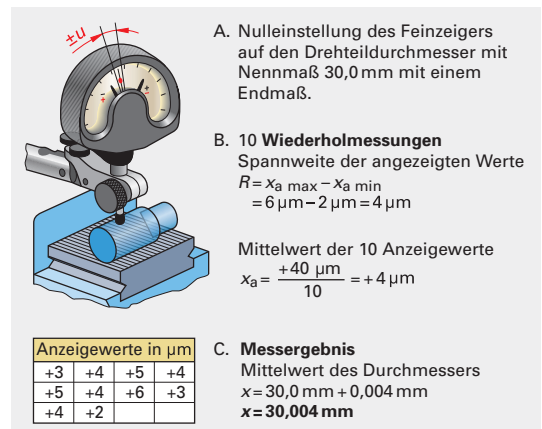


Bild 3: Zufällige Abweichungen eines Feinzeigers bei Messungen unter Wiederholbedingungen

1.2.3 Messmittelfähigkeit und Prüfmittelüberwachung

■ Messmittelfähigkeit

Die Auswahl von Messmitteln richtet sich nach den Messbedingungen am Einsatzort und der vorgegebenen Toleranz der Prüfmerkmale, z. B. Länge oder Durchmesser.

Messmittel gelten als fähig, wenn die Messunsicherheit höchstens 10% der Toleranz beträgt. Je kleiner die Messunsicherheit U ist, umso mehr Messwerte liegen in messtechnisch sicheren Messbereich (Bild 1).

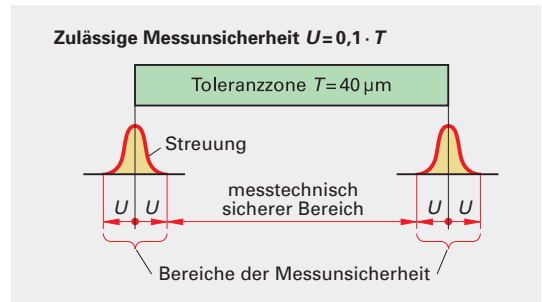


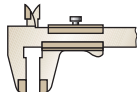
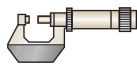
Bild 2: Messunsicherheit im Verhältnis zur Toleranz

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

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

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

Tabelle 1: Messunsicherheit

Messgerät	Voraus-sichtliche Messun-sicherheit	Fehler-grenze G neuer Messgeräte
 Skw = 0,05 mm Messbereich: 0 ... 150 mm	$U \geq 50 \mu\text{m}$	50 μm
 Skw = 0,01 mm Messbereich: 50 ... 75 mm	$U \approx 10 \mu\text{m}$	5 μm
 Skw = 1 μm Messbereich: $\pm 50 \mu\text{m}$	$U \approx 1 \mu\text{m}$	1 μm

■ Prüfmittelüberwachung

Ein Messgerät darf nur eingesetzt werden, wenn die ermittelten Messabweichungen innerhalb der festgelegten Grenzen liegen. Zur Prüfmittelüberwachung werden daher die Messgeräte regelmäßig kalibriert.

Kalibrieren ist das Ermitteln der vorhandenen Abweichung eines Messgerätes vom richtigen Wert. Sind die Messabweichungen größer als zulässig, darf das Messgerät nicht mehr eingesetzt werden.

Die Kalibrierung wird durch einen speziellen Prüfaufkleber bestätigt, der den Termin der nächsten Überprüfung anzeigt (Bild 2).

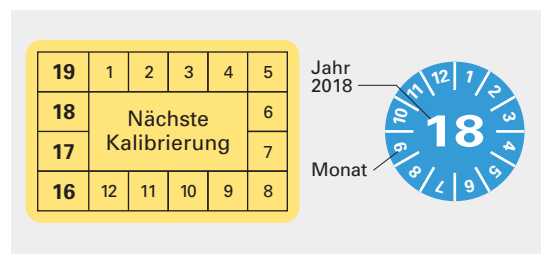


Bild 1: Aufkleber für kalibrierte Messgeräte

Wiederholung und Vertiefung

- 1 Warum kann bei Werkstücken aus Aluminium eine Abweichung von der Bezugstemperatur besonders hohe Messabweichungen ergeben?
- 2 Wodurch unterscheiden sich systematische Messabweichungen von zufälligen?
- 3 Warum ist das Messen dünnwandiger Werkstücke problematisch?
- 4 Wie viel Prozent der Werkstücktoleranz dürfen die Messabweichungen höchstens betragen, damit sie beim Prüfen vernachlässigt werden können?

1.3 Längenprüfmittel

1.3.1 Maßverkörperungen und Formverkörperungen

■ Maßstäbe

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

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

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

■ Lehren

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

Maßlehren sind Teile eines Lehrensatzes, bei dem das Maß von Lehre zu Lehre zunimmt, z. B. Parallelendmaße (Seite 20) oder Prüfstifte.

Grenzlehren (Seite 19) verkörpern die zulässigen Höchstmaße und Mindestmaße. Manche Grenzlehren verkörpern neben den Grenzmaßen auch noch die Form, um z. B. die Zylinderform einer Bohrung oder das Profil von Gewinden prüfen zu können.

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

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

Werden Werkstücke mit Haarlinealen gegen das Licht geprüft, erkennt man Abweichungen ab $2 \mu\text{m}$ am Lichtspalt zwischen Prüfschneide und Werkstück.

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

Tabelle 1: Fehlergrenzen von Maßstäben der Länge 500 mm

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

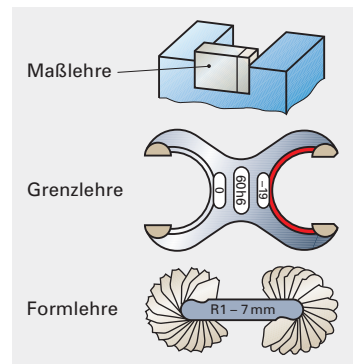


Bild 1: Lehrenarten

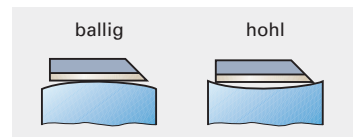


Bild 2: Geradheitsprüfung mit Haarlineal

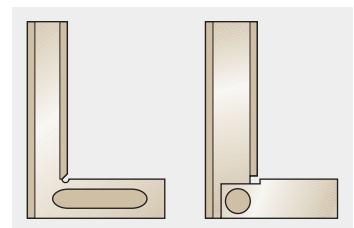


Bild 3: Haarwinkel 90°

■ Grenzlehren

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

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

Gutlehren verkörpern Maß **und** Form.

Ausschusslehren sind reine Maßlehren.

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

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

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

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

Prüfkraftschwankungen und der Lehrenverschleiß beeinflussen sehr stark die Prüfergebnisse.

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

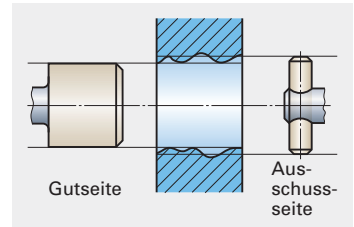


Bild 1: Grenzlehre nach Taylor

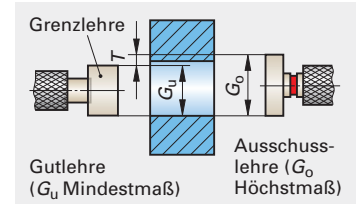


Bild 2: Grenzlehrdorn

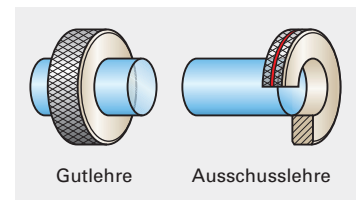


Bild 3: Lehrhinge

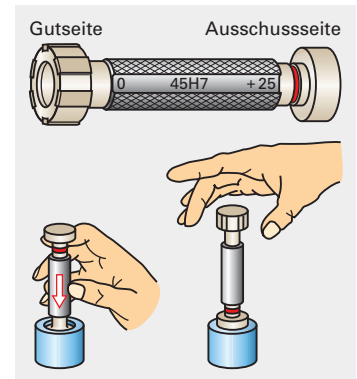


Bild 4: Grenzlehrdorn

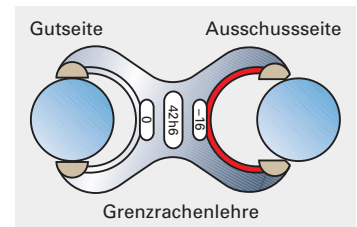


Bild 5: Grenzrachenlehre

Wiederholung und Vertiefung

- 1 Warum haben Haarlineale und Haarwinkel geläppte Prüfschneiden?
- 2 Warum eignet sich das Prüfen mit Lehren nicht zur Qualitätslenkung, z. B. beim Drehen?
- 3 Warum entspricht eine Grenzrachenlehre nicht dem Taylorischen Grundsatz?
- 4 Woran erkennt man die Ausschussseite eines Grenzlehrdornes?
- 5 Warum verschleißt die Gutseite einer Grenzlehre schneller als die Ausschussseite?

■ Parallelendmaße

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

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

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

Endmaße der **Kalibrierklasse K** haben die kleinsten Abweichungen der Ebenheit und Parallelität, was für genaue Messungen und Endmaßkombinationen sehr wichtig ist (**Bild 3**). Die relativ großen Grenzabmaße der Länge werden durch den bekannten Korrektionswert K ausgeglichen (Seite 16). Endmaße der **Toleranzklassen K** und **0** kann man ohne Druck anschieben (**Bild 2**).

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

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

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

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

Arbeitsregeln für den Gebrauch von Endmaßen

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

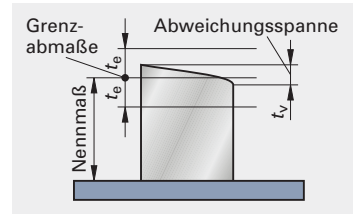


Bild 1: Abmaße von Endmaßen

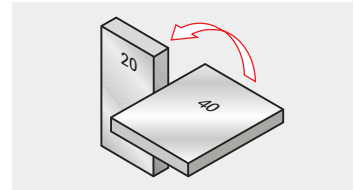


Bild 2: Ansprengen von Endmaßen



Bild 3: Endmaßkombination



Bild 4: Prüfen von Rachenlehren mit Endmaß und Prüfstift

Tabelle 2: Maßkombination

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

Tabelle 3: Endmaßsatz

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