

1	Grundlagen der Meßtechnik; Begriffe und Einheiten	1
1.1	Allgemeines zum Meßwesen	1
1.1.1	Grundvoraussetzungen für das Messen	1
1.1.2	Metrologie, Meßtechnik, Fertigungsmeßtechnik	1
1.2	Begriffe des Messens	1
1.2.1	Grundbegriffe	1
1.2.2	Weitere Begriffe	2
1.2.3	Begriffe der Meßeinrichtungen	3
1.2.4	Bezugstemperatur	5
1.3	Das Internationale Einheitensystem SI	5
1.3.1	Die SI-Basiseinheiten	5
1.3.2	Die abgeleiteten SI-Einheiten	6
1.3.3	Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten	6
1.3.4	Einheiten außerhalb des SI	7
1.4	Darstellung und Verbreitung gesetzlicher Einheiten	8
1.4.1	Einheiten der geometrischen Meßtechnik	9
1.4.2	Einheiten der nichtgeometrischen Meßtechnik	12
2	Statistische Auswertemethoden	19
2.1	Einführung	19
2.2	Wahrscheinlichkeit	19
2.3	Wahrscheinlichkeitsverteilungen	20
2.3.1	Diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilungen	20
2.3.2	Kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen	20
2.4	Arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung, Spannweite	24
2.5	Vergleiche von Mittelwerten und Standardabweichungen, Vertrauensbereich	25
2.6	Regressions- und Varianzanalyse	27
2.7	Ausreißer	33
2.8	Chi-Quadrat-Anpassungstest	34
2.9	Meßergebnis	35
2.10	Meßunsicherheit	36
2.11	Fehlergrenzen	36
2.12	Fortpflanzungsgesetz für Meßabweichungen	36
2.13	Fehlergrenze und Toleranz der Meßgröße	37
3	Grundlagen der geometrischen Meßtechnik	39
3.1	Meßabweichungen und deren Ursachen bei Prüfmitteln	39
3.1.1	Theorie des Meßkreises	39
3.1.2	Meßabweichungen durch Kippung und Führungsungenauig- keiten	40
3.1.3	Meßabweichungen bei der Antastung	40

3.1.4	Meßabweichungen durch Formabweichungen des Prüfgegenstandes	41
3.1.5	Meßabweichungen durch Formänderungen	41
3.1.6	Meßabweichungen durch Temperatureinflüsse	44
3.1.7	Abweichungen beim Ablesen von Skalenanzeigen	46
3.2	Ergonomische Gesichtspunkte beim Messen und Prüfen	46
3.2.1	Ergonomische Aspekte in der Fertigungsmeßtechnik	46
3.2.2	Gestaltung von Meß- und Prüfmitteln	47
3.2.3	Gestaltung von Meß- und Prüfplätzen	49
3.2.4	Gestaltung der Arbeitsorganisation	53
3.2.5	Probleme der Mitarbeiterauswahl	55
3.3	Gestaltung und Ausstattung von Meßräumen	56
3.3.1	Gestaltung von Meßräumen	56
3.3.1.1	Planungsgrundlagen	56
3.3.1.2	Bauliche Ausführung	58
3.3.1.3	Klimatisierung	59
3.3.1.4	Klimaeinrichtung	59
3.3.1.5	Wärmebedarf	61
3.3.1.6	Kühlung	61
3.3.1.7	Luftführung	61
3.3.1.8	Temperatur	61
3.3.1.9	Luftfeuchte	62
3.3.1.10	Staub	62
3.3.1.11	Abnahme der Klimaeinrichtung	63
3.3.2	Ausstattung von Meßräumen	63
3.3.2.1	Planungsgrundlagen	64
3.3.2.2	Prüfmittel und Meßgeräte	65
3.4	Normen zur Einschränkung von Meßabweichungen	65
3.4.1	Klimabeanspruchungen für Meßgeräte	65
3.4.2	Umweltbeanspruchungen für Meßgeräte	66
3.4.3	Schutz von Meßgeräten gegen äußere Beanspruchungen	68
3.4.4	Schutz von Meßgeräten gegen Brände und Explosionen	68
3.4.5	Schutz von Meßkreisen gegen elektrische Beeinflussungen	69
4	Prüfgrößen (Maße und Toleranzen) der Fertigungstechnik	71
4.1	Toleranzen und Passungen für Längenmaße	71
4.1.1	Einführung	71
4.1.2	Grundlagen und Grundbegriffe	71
4.1.3	Grundtoleranzen und Grundabmaße	75
4.1.4	Lage der Paßtoleranzfelder zur Passung Null	81
4.1.5	Allgemeintoleranzen	85
4.1.6	Angabe der Toleranzen und Passungen auf Zeichnungen	85
4.1.7	Statistische Tolerierung	87
4.1.8	Grundgesetze des Austauschbaus	87
4.2	Prüfaufgaben, die auf der physikalischen Größe „Länge“ beruhen	93
4.2.1	Einkoordinatenmaße	93
4.2.1.1	Außen-, Höhen- und Tiefenmaße	93
4.2.1.2	Innenmaße	93
4.2.2	Messen großer Längen	95
4.2.2.1	Allgemeine Besonderheiten	95
4.2.2.2	Maßtoleranzen	96
4.2.3	Koordinatenmaße	98
4.2.3.1	Koordinatensysteme	98
4.2.3.2	Koordinatenmaße und deren Zeichnungseintragung	99
4.2.3.3	Tolerierung von Koordinatenmaßen	99
4.2.3.4	Prüfung von Koordinatenmaßen	101
4.2.4	Form und Lage	101

4.2.4.1	Ursachen für Form- und Lageabweichungen	103
4.2.4.2	Allgemeine Begriffe und Definitionen	104
4.2.4.3	Arten der Tolerierung von Form- und Lageabweichungen und Zeichnungseintragung	106
4.2.4.4	Prüfung von Form- und Lage	111
4.2.4.5	Prüfverfahren für Lage	122
4.2.5	Oberflächenmaß	123
4.2.5.1	Einteilung der Oberflächeneigenschaften	123
4.2.5.2	Oberflächenschnitte, Profildiagramme, Filtermethoden.	124
4.2.5.3	Meßbedingungen	125
4.2.5.4	Rauheitsmeßgrößen	127
4.2.5.5	Welligkeitsmeßgrößen	134
4.2.5.6	Meßgrößen für Rauheit und Welligkeit	134
4.2.5.7	Auswertung	135
4.2.5.8	Oberflächencharakter	136
4.2.5.9	Zeichnungseintragung	136
4.2.5.10	Funktion	137
4.2.6	Winkel und Kegel	137
4.2.6.1	Winkel	137
4.2.6.2	Kegel	138
4.2.7	Gewinde	141
4.2.7.1	Begriffe und Definitionen	141
4.2.7.2	Arten, Normen, Anwendung	142
4.2.7.3	Gewindeherstellung	145
4.2.7.4	Bestimmungsgrößen und Toleranzen des Gewindes	146
4.2.7.5	Abweichungen an Gewinden	148
4.2.8	Bestimmungsgrößen und Abweichungen an Verzahnungen	150
4.2.8.1	Stirnrad-Bestimmungsgrößen	150
4.2.8.2	Stirnradprüfung-Grundlagen, Verzahnungsabweichungen, Prüfmaße	153
4.2.8.3	Kegelräder-Bestimmungsgrößen und Abweichungen	161
4.2.8.4	Zylinderschnecken und Schneckenräder	164
4.2.8.5	Kerbverzahnungen	165
4.3	Prüfgrößen und Normale der nichtgeometrischen Meßtechnik	168
4.3.1	Masse	169
4.3.2	Zeit und Frequenz	169
4.3.3	Kraft	170
4.3.4	Druck	171
4.3.5	Arbeit, Energie und Wärmemenge	171
4.3.6	Leistung, Energiestrom und Wärmestrom	172
4.3.7	Elektrische Stromstärke, Spannung und Widerstand.	172
4.3.8	Temperatur	173
4.3.9	Lichtstärke	174
4.3.10	Größen ionisierender Strahlung	174
5	Verkörperung geometrischer Größen	177
5.1	Lichtwellenlänge	178
5.2	Endmaße	179
5.2.1	Parallelendmaße	179
5.2.2	Stufenendmaße	181
5.3	Längenmaße mit Teilung (Maßstäbe)	181
5.3.1	Allgemeines	181
5.3.2	Ausführungsformen	182
5.3.2.1	Systeme mit digital-inkrementaler Maßverkörperung	182
5.3.2.2	Systeme mit digital-absoluter Maßverkörperung	184
5.3.2.3	Systeme mit analoger Maßverkörperung	184
5.3.2.4	Strichmaßstäbe klassischer Bauart	185
5.4	Verkörperungen von Gerade und Ebene	185
5.4.1	Gerade	185
5.4.2	Ebene	186

5.5	Verkörperungen von Kreis und Zylinder	187
5.5.1	Kreis	187
5.5.2	Kreiszyylinder	187
5.6	Verkörperungen anderer geometrischer Gestalt	189
5.6.1	Würfel, Quader	189
5.6.2	Kugel	189
5.6.3	Kreisevolvente	189
5.6.4	Schraubenlinie (Gewinde) und sonstige	190
5.7	Verkörperung des ebenen Winkels	191
5.7.1	90°-Verkörperungen	191
5.7.2	Andere Teilwinkelverkörperungen	193
5.7.3	Flächenkreisteilungen	194
5.7.4	Strichkreisteilungen	195
5.8	Verkörperung der Mikrogestalt (Oberflächenmaße)	196
6	Lehren und Meßgeräte	199
6.1	Lehren	199
6.1.1	Maßlehren	199
6.1.2	Gut- und Außschußlehren, Grenzlehren	199
6.1.2.1	Lehrenarten	201
6.1.2.2	Lehrenabmaße, Herstelltoleranzen und Abnutzungsgrenzen	204
6.1.2.3	Lehrenprüfung	204
6.1.3	Formlehren	205
6.1.4	Sonderlehren, Mehrfachlehren	205
6.2	Meßgeräte für Außen-, Tiefen- und Abstandsmaße	205
6.2.1	Meßschieber	205
6.2.2	Meßschrauben	208
6.2.2.1	Bügelmeßschrauben	208
6.2.2.2	Bügelmeßschrauben in besonderer Ausführung	210
6.2.2.3	Einbaumeßschrauben, Tiefenmeßschrauben	212
6.2.2.4	Höhenmeßschrauben	212
6.2.3	Dickenmesser	213
6.2.4	Meßbügel	213
6.2.5	Tiefenmeßgeräte	214
6.3	Innenmeßgeräte	214
6.3.1	Innenmeßgeräte mit eingebauter Maßverkörperung	214
6.3.2	Innenmeßgeräte ohne eingebaute Maßverkörperung	216
6.3.3	Optische Innenmeßgeräte	222
6.4	Meßgeräte mit mechanischer Übersetzung	222
6.4.1	Meßuhren	223
6.4.2	Feinzeiger ohne und mit elektrischen Grenzkontakten	226
6.4.3	Fühlhebelsmeßgeräte	229
6.5	Elektrische Längenmeßgeräte	230
6.5.1	Meßverfahren	230
6.5.1.1	Meßverfahren mit analoger Meßwerterfassung	230
6.5.1.2	Meßverfahren mit digitaler Meßwerterfassung	236
6.6	Pneumatische Längenmeßgeräte	237
6.6.1	Meßverfahren	238
6.6.1.1	Durchflußmeßverfahren	238
6.6.1.2	Druckmeßverfahren	238
6.6.1.3	Geschwindigkeitsmeßverfahren	240
6.6.2	Meßwertaufnehmer	240
6.6.3	Anzeigegeräte	241
6.6.4	Anforderungen und Prüfung	242
6.7	Anwendung von Meßuhren, Feinzeigern und elektrischen Längenmeßgeräten bei Abnahmeprüfungen an Werkzeugmaschinen	242

6.7.1	Prüfungen im unbeanspruchten Zustand der Maschine	243
6.7.1.1	Form	243
6.7.1.2	Lage	245
6.7.1.3	Bewegungsabweichungen	247
6.7.1.4	Spezielle Prüfungen	249
6.7.2	Prüfungen im beanspruchten Zustand der Maschine	250
6.7.3	Prüfung einzelner Maschinenelemente	251
6.8	Verfahren und Geräte zum Messen großer Längen	251
6.8.1	Handmeßgeräte	251
6.8.2	Messung mit Theodolit	254
6.8.3	Messung mit Fluchtfernrohr	255
6.8.4	Industriephotogrammetrie	256
6.8.5	Abrollmeßverfahren	258
7	Verfahren und Großgeräte für Meßraum und Betrieb	259
7.1	Meßgeräte für eine oder zwei Koordinaten	259
7.1.1	Komparatoren, Meßmikroskope und Profilprojektoren	259
7.1.2	Laserinterferometer als Meßsystem	264
7.1.2.1	Aufbau und Meßprinzip eines Laserinterferometers	264
7.1.2.2	Gerätebedingte Meßabweichungen des Laserinterferometers	266
7.1.2.3	Einsatzbedingte Meßabweichungen des Laserinterferometers	267
7.1.2.4	Anwendungen des Laserinterferometers bei Aufgaben der Fertigungsmeßtechnik	269
7.2	Koordinatenmeßgeräte	271
7.2.1	Aufbau von Koordinatenmeßgeräten	272
7.2.1.1	Bauarten von Koordinatenmeßgeräten	273
7.2.1.2	Gerätebasis und Werkstückaufnahme	275
7.2.1.3	Führung und Lagerung	275
7.2.1.4	Antriebe	276
7.2.1.5	Längenmeßsysteme	277
7.2.1.6	Tastsysteme	281
7.2.1.7	Steuerungsarten und Automatisierungsstufen	289
7.2.1.8	Zusatzeinrichtungen	290
7.2.1.9	Zylinderkoordinatenmeßgeräte	291
7.2.1.10	Optische Koordinatenmeßgeräte	292
7.2.1.11	Meßroboter	294
7.2.2	Datenverarbeitung in der Koordinatenmeßtechnik	295
7.2.2.1	Organisation der Datenverarbeitung	296
7.2.2.2	Auswertung von Meßdaten	298
7.2.2.3	Bedienung und Programmierung	311
7.2.2.4	Ausgabe und Protokollierung	313
7.2.2.5	Steuerung durch den Rechner	316
7.2.2.6	Sonderprogramme	318
7.2.3	Anwendungen von Koordinatenmeßgeräten (KMG)	322
7.2.3.1	Kriterien für Auswahl und Einsatz	322
7.2.3.2	Durchführung von Messungen	334
7.2.3.3	Auswertung	337
7.2.3.4	Dokumentation	340
7.2.3.5	Zusatzeinrichtungen	340
7.2.3.6	Einbindung der Koordinatenmeßgeräte in den betrieblichen Ablauf	341
7.2.4	Kenngrößen zur Genauigkeit von Koordinatenmeßgeräten	341
7.2.4.1	Einführung	341
7.2.4.2	Zweck der Angabe der Kenngrößen	344
7.2.4.3	Randbedingungen für die Festlegung und Prüfung von Genauigkeitskenngrößen	345
7.2.4.4	Meßaufgabenspezifische Meßunsicherheit	345
7.2.4.5	Komponenten der Meßabweichung	347
7.2.4.6	Wiederholbarkeit	350

7.2.4.7	Prüfung von Zusatzeinrichtungen	351
7.3	Spezielle Formprüfgeräte	351
7.3.1	Prüfgeräte für die Geradheit und Ebenheit	352
7.3.1.1	Prüfgeräte, die die senkrechte Abweichung von der Geraden messen	352
7.3.1.2	Prüfgeräte, die auf der Neigungsmessung beruhen	355
7.3.1.3	Prüfgeräte für die Ebenheit	358
7.3.2	Prüfgeräte für die Rundheit und Zylindrizität	358
7.3.2.1	Messung zwischen Spitzen	359
7.3.2.2	Rundheitsprüfgeräte	361
7.3.3	Winkel- und Kegelmessung	367
7.3.3.1	Winkelmessung	367
7.3.3.2	Kegelprüfung	375
7.3.4	Gewindeprüfung	384
7.3.4.1	Gewindelehrung	384
7.3.4.2	Außengewindemessung	387
7.3.4.3	Innengewindemessung	392
7.3.4.4	Prüfen der Lageabweichung von Gewinden	394
7.3.4.5	Messungen an Sondergewinden	396
7.3.4.6	Prüfen von kegeligen Gewinden	397
7.3.5	Verzahnungsprüfverfahren	398
7.3.5.1	Stirnradprüfverfahren	398
7.3.5.2	Kegelradprüfverfahren	421
7.3.5.3	Schnecken- und Schneckenradprüfverfahren	422
7.3.5.4	Prüfverfahren für Kerbverzahnungen	423
7.3.6	Nockenwellenprüfgeräte	424
7.3.7	Holographie in der Fertigungsmeßtechnik	425
7.3.7.1	Prinzip der Holographie	425
7.3.7.2	Versuchsanordnungen	425
7.3.7.3	Prüfen der Ebenheit	426
7.3.7.4	Prüfen der Zylinderform	428
7.3.7.5	Höhenschichtlinienverfahren	428
7.3.7.6	Methode der zwei Wellenlängen	428
7.3.7.7	Immersionsmethode	429
7.4	Oberflächenprüfgeräte	429
7.4.1	Übersicht	429
7.4.2	Lichtoptische Geräte	431
7.4.3	Elektrische Tastschnittgeräte	431
7.4.3.1	Meßprinzip und Geräteaufbau	431
7.4.3.2	Tastspitze	432
7.4.3.3	Tastsystem-Bauarten	434
7.4.3.4	Vorschubeinrichtungen	438
7.4.3.5	Einrichtungen zum Messen an gekrümmten Oberflächen	438
7.4.3.6	Profilauswertung und Meßwertausgabe	441
7.4.3.7	Kalibrierung und Funktionsprüfung	447
7.5	Längenregelung (Meßsteuerung)	448
7.5.1	Einführung	448
7.5.2	Begriffe und Arten der Längenregelung	449
7.5.3	Ablauf der Längenregelung über der Zeit	452
7.5.4	Meßwertaufnehmer	452
7.5.5	Außenrundscheifen	454
7.5.6	Innenrundscheifen	455
7.5.7	Spitzenloses Schleifen	455
7.5.8	Zieh schleifen (Honen)	457
7.5.9	Schleifen bei unterbrochenem Schnitt	457
7.5.10	Drehen auf NC-Maschinen	458
7.6	Mehrstellenmeßeinrichtungen, Meß- und Prüfautomaten	459
7.6.1	Mehrstellenmeßeinrichtungen	459
7.6.2	Meß- und Prüfautomaten	461
7.6.2.1	Begriffsbestimmung und Einteilung	462

7.6.2.2	Einsatzmöglichkeiten	463
7.6.2.3	Automatisch prüfbare Meßgrößen	464
7.6.2.4	Aufbau der Meß- und Prüfautomaten	464
7.6.2.5	Einmessen und Justieren	467
7.6.2.6	Meßdatenverarbeitung	467
7.6.2.7	Anforderungen	468
7.7	Sichtprüfung	469
7.7.1	Belastungsformen	470
7.7.2	Arbeitsplatzgestaltung, Anforderungen an den Prüfer	471
7.7.3	Der Mensch als Prüfer	471
7.7.4	Licht und Beleuchtung	475
7.7.5	Bildschirmarbeitsplätze	483
7.7.6	Photographie als Hilfsmittel der Sichtprüfung	484
7.8	Bildverarbeitung zur automatisierten Sichtprüfung	486
7.8.1	Bildverarbeitungssysteme, Übersicht	486
7.8.2	Bildwandlersysteme	487
7.8.2.1	TV-Kamera	488
7.8.2.2	Halbleiterkameras	489
7.8.2.3	Einige Kenngrößen optoelektronischer Wandler	490
7.8.3	Bildverarbeitungstechniken	490
7.8.4	Bildverarbeitungssysteme	491
7.8.4.1	Digitale Bildspeicher	491
7.8.4.2	Rechnereinsatz	493
7.8.4.3	Bildverarbeitungssoftware- und -hardware	493
7.8.5	Digitale Bildszenenerkennung	494
7.8.6	Anwendungen in der Sichtprüfung	495
7.8.7	Tendenzen, Ausblick	498
8	Analoge und digitale elektrische Verfahren und Geräte zum Prüfen nichtgeometrischer Größen (Prozeßmeßtechnik)	499
8.1	Grundlagen	499
8.1.1	Meßkette	499
8.1.2	Meßgrößenaufnahme und Umformung	499
8.1.2.1	Dynamisches Verhalten der Aufnehmer	499
8.1.3	Meßwertübertragung	500
8.1.3.1	Meßstellenumschalter	500
8.1.3.2	Meßkabel	500
8.1.3.3	Drehübertrager	500
8.1.3.4	Drahtlose Verfahren	501
8.1.4	Anpassungen	501
8.1.4.1	Spannungsteiler	501
8.1.4.2	Brückenschaltungen	501
8.1.5	Verstärker	503
8.1.5.1	Die Verstärkung	504
8.1.5.2	Frequenzabhängigkeit der Verstärkung	505
8.1.5.3	Verstärkerbauarten	505
8.1.5.4	Übertragungsverhalten	507
8.1.6	Analoge und digitale Meßwertverarbeitung	508
8.1.6.1	Definitionen	508
8.1.6.2	Gesamtabweichungen in digitalen Meßwertverarbeitungsanlagen	509
8.1.6.3	Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler)	509
8.1.7	Analoge und digitale Anzeige- und Registriergeräte	511
8.1.7.1	Analoggeräte	511
8.1.7.2	Digitalgeräte	516
8.2	Prozeßmeßtechnik, Verfahren und Meßgrößenaufnehmer	518
8.2.1	Kraft-, Druck- und Drehmomentmessung	518

8.2.1.1	Piezoelektrische Aufnehmer	518
8.2.1.2	Dehnungsmeßstreifen	519
8.2.1.3	Aufnehmer mit Induktionsspulen	522
8.2.1.4	Aufnehmer mit Kondensatoren	525
8.2.2	Beschleunigungsmessung	525
8.2.3	Drehzahlmessung	526
8.2.3.1	Wirbelstromtachometer	526
8.2.3.2	Tachogenerator	526
8.2.3.3	Impuls-Drehzahlaufnehmer (Geber)	526
8.2.3.4	Stroboskop	527
8.2.4	Durchflußmessung	527
8.2.4.1	Drosselverfahren	527
8.2.4.2	Schwebekörperverfahren	527
8.2.4.3	Messung mit Volumenzählern	528
8.2.4.4	Induktive Messung	528
8.2.5	Zeitmessung	528
8.2.5.1	Quarzuhr	528
8.2.5.2	Synchronuhr	529
8.2.5.3	Messung von Zeitintervallen (Kurzzeitmessung)	529
8.2.6	Temperaturmessung	530
8.2.6.1	Widerstandsthermometer	530
8.2.6.2	Thermoelemente	531
8.2.6.3	Strahlungsthermometer — Pyrometer	532
8.2.7	Messung radioaktiver Strahlung	533
8.2.7.1	Meßgrößenaufnehmer für radioaktive Strahlung	533
8.2.7.2	Anwendung	534

9 Verfahren und Geräte der mechanisch-technologischen Werkstoffprüfung 535

9.1	Werkstoffprüfung metallischer Werkstoffe	535
9.1.1	Prüfung der statischen Festigkeit	535
9.1.1.1	Zugversuch	535
9.1.1.2	Druckversuch	538
9.1.1.3	Biegeversuch	539
9.1.1.4	Verdrehversuch	539
9.1.1.5	Scherversuch	540
9.1.1.6	Standversuch	540
9.1.2	Prüfung der Schwingfestigkeit	542
9.1.2.1	Grundlagen	542
9.1.2.2	Zug-, Druck- Schwingversuch	544
9.1.2.3	Umlaufbiegeversuch	544
9.1.2.4	Verdrehungsschwingversuch	545
9.1.2.5	Schwingungsrißkorrosionsprüfung	545
9.1.3	Prüfung der Schlagfestigkeit und -zähigkeit	545
9.1.3.1	Schlagzugversuch	546
9.1.3.2	Schlagdruckversuch	546
9.1.3.3	Schlagdrehversuch	546
9.1.3.4	Schlagbiegeversuch	546
9.1.3.5	Dauerschlagbiegeversuch	547
9.1.3.6	Prüfung der Bruchzähigkeit	547
9.1.4	Härteprüfverfahren	548
9.1.4.1	Härteprüfung nach Brinell	548
9.1.4.2	Härteprüfung nach Vickers	549
9.1.4.3	Härteprüfung nach Knoop	550
9.1.4.4	Härteprüfung nach Rockwell	550
9.1.4.5	Ritzhärteprüfung	550
9.1.4.6	Schlaghärteprüfung	550
9.1.4.7	Rücksprunghärteprüfung	551
9.1.4.8	Durchführung und Vergleich der Härteprüfverfahren	552

9.1.5	Elektromagnetische Werkstoffprüfung	552
9.1.5.1	Messung der elektrischen Leitfähigkeit	552
9.1.5.2	Messung der Koerzitivkraft	552
9.1.6	Technologische Prüfungen	553
9.1.6.1	Funkenprobe	553
9.1.6.2	Bruchgefügeuntersuchung	553
9.1.6.3	Korrosionsprüfung	553
9.1.6.4	Verschleißprüfung	553
9.1.6.5	Prüfung von Gußwerkstoffen	553
9.1.6.6	Prüfung von Schmiedewerkstoffen	554
9.1.6.7	Prüfung von Blechen	554
9.1.6.8	Prüfung von Drähten, Stäben und Profilen	554
9.1.6.9	Prüfung von Rohren	554
9.1.6.10	Prüfung von Schweißnähten	555
9.1.6.11	Prüfung von Nieten, Schrauben, Muttern	555
9.1.6.12	Bauteilprüfung	555
9.2	Verfahren und Geräte der Werkstoffprüfung für Kunststoffe	555
9.2.1	Einführung	555
9.2.2	Probenherstellung	558
9.2.2.1	Einfluß von Entnahmeort und -richtung bei Probenentnahme aus Halbzeugen und Fertigteilen	558
9.2.2.2	Spanlose Probenherstellung	559
9.2.2.3	Spanende Probenherstellung	559
9.2.2.4	Vorbehandlung der Proben	560
9.2.3	Prüfung mechanischer Eigenschaften	560
9.2.3.1	Kurzzeitversuche	560
9.2.3.2	Langzeitversuche	570
9.2.4	Prüfung thermischer Eigenschaften	574
9.2.4.1	Allgemeine thermische Kenngrößen	576
9.2.4.2	Temperaturanwendungsbereiche	577
9.2.4.3	Brandverhalten	577
9.2.5	Prüfung elektrischer Eigenschaften	581
9.2.5.1	Dielektrizitätszahl ϵ_r und dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$ nach DIN 53483	581
9.2.5.2	Kriechstromfestigkeit nach DIN 53480	581
9.2.5.3	Durchschlagfestigkeit nach DIN 53481	581
9.2.6	Prüfung der Beständigkeit von Kunststoffen	582
9.2.6.1	Wärmealterung von Kunststoffen	582
9.2.6.2	Bewitterungsbeständigkeit	585
9.2.6.3	Chemikalienbeständigkeit	585
9.2.6.4	Permeation und Diffusion	588
9.2.6.5	Spannungsrißbeständigkeit	588
9.2.7	Prüfung optischer Eigenschaften	591
9.2.7.1	Brechungszahl	591
9.2.7.2	Lichtdurchlässigkeit	591
9.2.8	Prüfung verarbeitungsbedingter Eigenschaften	594
9.2.8.1	Rheologische Eigenschaften	594
9.2.8.2	Maßänderung von Kunststoffen	594
9.2.9	Kunststoffbestimmung mit einfachen Mitteln	600
9.2.9.1	Äußeres Aussehen	600
9.2.9.2	Bestimmung der Dichte nach DIN 53479	600
9.2.9.3	Verhalten beim Erhitzen	600
9.3	Prüfverfahren für Klebstoffe	601
9.3.1	Zerstörende Prüfverfahren	601
9.3.1.1	Zugscherversuch nach DIN 53283	601
9.3.1.2	Zeitstandversuch nach DIN 53284	602
9.3.1.3	Dauerschwingversuch nach DIN 53285	602
9.3.1.4	Schälversuch nach DIN 53283 und DIN 53289	602
9.3.1.5	Kritik der Versuche	603
9.3.2	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	603

10	Zerstörungsfreie, licht- und elektronenmikroskopische Prüfverfahren für Metalle und Kunststoffe	605
10.1	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	605
10.1.1	Durchstrahlungsprüfung	605
10.1.1.1	Strahlenquellen	605
10.1.1.2	Eigenschaften von Röntgen- und Gammastrahlen	606
10.1.1.3	Strahlenempfänger	606
10.1.1.4	Prüftechnik	608
10.1.1.5	Fehlerrückmeldung und -beschreibung	608
10.1.1.6	Auswertung der Durchstrahlungsprüfung in der Fertigung	608
10.1.2	Ultraschall	610
10.1.2.1	Grundlagen des Ultraschalls	610
10.1.2.2	Schallwellenerzeugung	611
10.1.2.3	Durchschallungsprinzip	612
10.1.2.4	Reflexion der Schallwellen im Werkstück	613
10.1.2.5	Meßgrößen und Anwendung	613
10.1.3	Magnetische Streuflußverfahren	615
10.1.3.1	Streufluß	615
10.1.3.2	Magnetisierungsarten und -geräte	615
10.1.3.3	Prüfverfahren	616
10.1.4	Induktive und elektrische Verfahren	618
10.1.4.1	Wirbelstromverfahren	618
10.1.4.2	Potentialsondenverfahren	620
10.1.5	Farbeindringprüfung	620
10.1.6	Andere zerstörungsfreie Prüfverfahren	621
10.1.6.1	Thermische Verfahren	621
10.1.6.2	Dichtheitsprüfung	622
10.1.6.3	Feinstrukturuntersuchungen	622
10.2	Untersuchung von Oberflächenstrukturen und Gefügen	623
10.2.1	Lichtmikroskopie	623
10.2.1.1	Grenzen des Lichtmikroskops	624
10.2.1.2	Dunkelfeldbeleuchtung	625
10.2.1.3	Phasenkontrastverfahren	625
10.2.1.4	Interferenzkontrastverfahren	626
10.2.1.5	Beleuchtung mit polarisiertem Licht	626
10.2.1.6	Stereomikroskop	626
10.2.2	Elektronenmikroskopie	626
10.2.2.1	Durchstrahlungs- (Transmissions-) Elektronenmikroskop (TEM)	627
10.2.2.2	Rasterelektronenmikroskop (REM)	627
10.2.3	Makro- und Mikrophotographie	630
10.2.4	Metallographie	631
10.2.4.1	Probenpräparation für das Lichtmikroskop	632
10.2.4.2	Probenpräparation für das Durchstrahlungselektronenmikroskop (TEM)	633
10.2.4.3	Probenpräparation für das Rasterelektronenmikroskop (REM)	633
10.2.4.4	Makroskopische Metallographie	633
10.2.4.5	Lichtmikroskopische Metallographie	633
10.2.4.6	Elektronenmikroskopische Metallographie	635
10.2.5	Plastographie	638
10.2.5.1	Probenpräparation für das Lichtmikroskop	639
10.2.5.2	Probenpräparation für das Elektronenmikroskop	639
10.2.5.3	Lichtmikroskopische Plastographie	640
10.2.5.4	Elektronenmikroskopische Plastographie	641
11	Organisation des Prüfwesens im Rahmen der Qualitätssicherung	643
11.1	Qualitätssicherung	643
11.1.1	Qualität und Qualitätssicherung	643
11.1.2	Qualitätsplanung	644

11.1.3	Qualitätsprüfung	645
11.1.3.1	Prüfplanung	645
11.1.3.2	Prüfausführung	645
11.1.4	Qualitätslenkung	646
11.1.4.1	Qualität des Fertigungsprozesses	646
11.1.4.2	Beherrschte Fertigung	646
11.1.5	Qualitäts-Audit	647
11.1.6	Ausblick	648
11.2	Prüfplanung (Technologische Prüfzubereitung)	648
11.2.1	Inhalt und Aufgaben	650
11.2.2	Entscheidungskriterien für Prüfnotwendigkeit und Prüfmerkmale	651
11.2.3	Entscheidungskriterien für Prüfumfänge	653
11.2.4	Entscheidungskriterien für Prüfmittel	654
11.2.5	Dateien	658
11.2.6	Manuelle Ausarbeitung von Prüffestlegungen	659
11.2.7	Rechnerunterstützte Ausarbeitung von Prüffestlegungen	659
11.3	Sicherung der Fertigungsqualität	662
11.3.1	Aufgabenstellung, Abgrenzung	662
11.3.2	Qualitätssicherung bei Fremdbezug	663
11.3.3	Qualitätssicherung im Fertigungsbereich	665
11.3.3.1	Verantwortung für die Fertigungsqualität	665
11.3.3.2	Beherrschte Fertigung	665
11.3.3.3	Qualitätsförderung	667
11.3.3.4	Qualitätssicherung bei Neuanläufen	668
11.3.3.5	Prozeßüberwachung	669
11.3.3.6	Qualitätsprüfung	670
11.3.4	Überwachung der Analyse der Produktqualität im Feld	672
11.3.4.1	Sofortausfälle	673
11.3.4.2	Ausfälle während der Garantiezeit	673
11.3.4.3	Ausfälle nach der Garantiezeit	674
11.3.4.4	Ausfallverhalten und Kosten	674
11.3.5	Prüfmittelüberwachung	674
11.3.5.1	Einführung	674
11.3.5.2	Ordnung der Prüfmittel	676
11.3.5.3	Überwachungsverfahren	676
11.3.5.4	Einführung einer Überwachungsorganisation	676
11.3.5.5	Kennzeichnung der Prüfmittel	677
11.3.5.6	Kosten und Wirtschaftlichkeit	679
11.4	Prüfdatenverarbeitung	680
11.4.1	Prüfdaten im Produktionsbetrieb	680
11.4.2	Ziele der Verarbeitung von Prüfdaten	681
11.4.3	Erfassen von Prüfdaten, Fehleraufschreibungen und ihre statistische Auswertung	684
11.4.4	Erfassen und Auswerten von Prüfdaten mit Rechnern	685
11.5	Rechner und Rechnerprogramme zur Prüfdatenverarbeitung in der Qualitätssicherung	690
11.5.1	Ebenenstruktur der Datenverarbeitung für Produktion und Qualitätssicherung	690
11.5.2	Gesichtspunkte für die Rechnerauswahl	691
11.5.2.1	Autonome Rechner und Rechner im Verbund	691
11.5.2.2	Rechnerkommunikation	693
11.5.2.3	Zusammenfassung der Gesichtspunkte für die Rechnerauswahl	694
11.5.3	Rechnerfamilien	694
11.5.3.1	Taschen- und Tischrechner	695
11.5.3.2	Kleinrechner	696
11.5.3.3	Mittel- und Großrechner	697
11.5.3.4	Mikrorechner	698
11.5.4	Rechnergestützte Prüfdatenerfassung	700

11.5.4.1	Direkte Erfassung ohne Prüfer	700
11.5.4.2	Erfassung mit Prüfer	700
11.5.5	Programmierung des Prüfsystems	702
11.5.5.1	Spektrum der Programmieraufgaben	702
11.5.5.2	Einsatz einer Prüfprogrammiersprache	703
11.5.6	Einsatzbeispiele	704
11.5.6.1	Prüfdatenverarbeitung im Labor	704
11.5.6.2	Funktions- und Montageprüfung in der Serienfertigung	707
11.5.6.3	Prüfdatenverarbeitung im Wareneingang	708
11.6	Anschließen von Prüfmitteln an Normale	709
11.6.1	Deutscher Kalibrierdienst (DKD)	710
11.6.1.1	Organisation des DKD	710
11.6.1.2	Bestätigung und laufende Überwachung der Kalibrierstellen	712
11.6.2	Nationale Kalibrierdienste in europäischen Ländern	712
12	Rechtsfragen: Die Haftung eines Prüfinstitutes und seiner Mitarbeiter	713
12.1	Einführung	713
12.2	Vertragliche Haftung des Prüfinstitutes	714
12.2.1	Rechtsnatur des Vertrages mit dem Prüfinstitut	714
12.2.2	Vertragliche Pflichten des Prüfinstitutes	714
12.2.3	Haftung für eine fehlerhafte Leistung (Messung) — „Gewährleistungshaftung“	714
12.2.3.1	Nachbesserung	714
12.2.3.2	Eigentliche Gewährleistungsansprüche	715
12.2.4	Vertragliche Haftung des Prüfinstitutes für Folgeschäden („Haftung aus positiver Vertragsverletzung“).	715
12.2.4.1	Haftung gegenüber dem Vertragspartner	715
12.2.4.2	Vertragliche Haftung gegenüber Dritten (Nicht-Vertragspartnern).	716
12.2.4.3	Verschulden von Mitarbeitern des Prüfinstitutes	716
12.2.4.4	Mitverschulden des Geschädigten	716
12.2.5	Verjährung	716
12.2.5.1	Bei Nachbesserungs- und Gewährleistungsansprüchen	716
12.2.5.2	Bei Ansprüchen aus positiver Vertragsverletzung (Folgeschäden)	717
12.2.5.3	Beginn der Verjährungsfrist	717
12.2.5.4	Anhang: Verjährung der Werklohnforderung	717
12.2.6	Im Prozeß: Beweislastverteilung	717
12.2.6.1	Allgemeine Regel der Beweislastverteilung	717
12.2.6.2	Regelmäßige Beweislastverteilung im werkvertraglichen Mängelprozeß	717
12.2.6.3	Sonderfall: Teilweise Beweislastumkehr bei verschuldeter Man- gelhaftigkeit der Werkleistung	718
12.2.6.4	Weiterer Sonderfall: Teilweise Beweislastumkehr auch im Folgeschaden-Prozeß	718
12.3	Deliktische Haftung des Prüfinstitutes nach § 823 BGB („Haftung aus unerlaubter Handlung“)	718
12.3.1	Allgemeines	718
12.3.2	Die einzelnen Haftungsvoraussetzungen nach § 823 Abs. 1 BGB	719
12.3.2.1	Geschütztes Rechtsgut	719
12.3.2.2	Widerrechtlichkeit oder Pflichtwidrigkeit	719
12.3.2.3	Verschulden	720
12.3.2.4	Zu ersetzender Schaden	720
12.3.3	Verletzung eines Schutzgesetzes	721
12.3.4	Verjährung	721
12.3.5	Mitverschulden des Geschädigten	721
12.3.6	Im Prozeß: Beweislast	721
12.3.6.1	Beweisen — Beweismittel	721

12.3.6.2	Beweislastverteilung	721
12.3.6.3	Dokumentation (Beweismittelsammlung).	722
12.4	Persönliche Haftung des Mitarbeiters	722
12.5	Haftung des gerichtlich bestellten Sachverständigen	723
12.5.1	Rechtsverhältnis zum Gericht	723
12.5.1.1	Rechtsbeziehungen	723
12.5.1.2	Haftung	723
12.5.2	Rechtsverhältnis zu den Prozeßparteien	723
12.5.2.1	Rechtsbeziehungen	723
12.5.2.2	Haftung	723
12.5.3	Anhang: Haftung bei Schiedsgutachtervertrag und beim Schiedsrichtervertrag	724
12.5.3.1	Begriffliches	724
12.5.3.2	Haftung	724
12.6	Absicherungsmöglichkeiten	724
12.6.1	Fehlerfreie und sorgfältige Prüfung	724
12.6.2	Haftungsfreizeichnungen	725
12.6.2.1	Allgemeines	725
12.6.2.2	Umfang einer Freizeichnung	725
12.6.3	Versicherung	725
12.7	Ausblick	725
13	Ausbildung in der Fertigungsmeßtechnik	727
13.1	Ausbildung zum Qualitätsprüfer	727
13.1.1	Anforderungen und Aufgabenbereich	727
13.1.2	Ausbildungsmöglichkeiten	727
13.1.2.1	DGQ-Schein „Güteprüfung“	728
13.1.2.2	Umschulung im Berufsförderungswerk	728
13.1.2.3	Private Lehrangebote und betriebliche Weiterbildung	728
13.1.3	Vorgeschlagener Lehrberuf „Qualitätsprüfer“	729
13.2	Akademische Ausbildung von Qualitätsingenieuren	730
	Literaturverzeichnis	733
	Normenverzeichnis	761
	Normenzusammenstellung	789
	Sachverzeichnis	797