

Messtechnik-Kompendium

1. Auflage 2022

Messtechnik-Kompodium

Ernst Bratz

Meilhaus Electronic GmbH, Alling bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Nachdruck oder auszugsweise Veröffentlichung nur mit Genehmigung des Herausgebers. Die Informationen in diesem Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt. Hardware- und Softwarebezeichnungen, die in diesem Buch erwähnt werden, sind zum Teil eingetragene Warenzeichen. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise zu Fehlern ist der Herausgeber dankbar.

Bildrechte der Produktaufnahmen (sofern nicht anders angegeben) liegen bei den jeweiligen Herstellern der Produkte.

Gestaltung Umschlag: Meilhaus Electronic GmbH

Satz: Meilhaus Electronic GmbH

Printed in Germany

Druck: Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

Inhalt

Einleitung, Grundlagen	11
Messtechnik - Messgrößen und ihre Messung	13
Messgröße Spannung	15
Steuern und Regeln	19
Testen	22
Wo wird überall gemessen?	26
Messgeräte im Überblick	29
Oszilloskop	31
Was stellt das Oszilloskop dar?	31
Analog - digital - Mixed-Signal	32
Bauform, Typen	33
Bedienung - Aufbau eines Oszilloskops (Tischgerät)	36
Die wichtigsten Kenngrößen von Oszilloskopen	38
Kanalzahl (Eingänge)	39
Bandbreite	39
Sample-Rate	40
Speichertiefe	43
Exkurs: Tiefer Speicher vs. segmentierter Speicher	43
Update-Rate/Signal-Aktualisierungsrate	44
Ausstattung mit Schnittstellen - „Connectivity“ und Software	45
Trigger	47
Zusätzliche Funktionen	49
Zubehör	50
Tastköpfe - „Fühler“ für das Oszilloskop	50
Exkurs: Tastkopf-Kompensation	53
Exkurs: Echtzeit- und repetitives Sampling, ETS	54

Logik-Analysator	56
Was stellt ein Logik-Analysator dar?	56
(Mixed-Signal) Logik-Analysator vs. MSO	58
Die wichtigsten Kenngrößen von Logik-Analysatoren	59
Vom Voltmeter über LCR-Meter bis zum Multimeter	61
Die wichtigsten Kenngrößen von Digital-Multimetern	61
Bauformen	62
Messgrößen und Bereiche	63
Auflösung, Genauigkeit, Geschwindigkeit	66
Exkurs: Anzahl der Stellen, Genauigkeit, Auflösung beim DMM	67
Display	70
Schnittstellen	71
Zusatzfunktionen	71
Zubehör	74
Messkategorien CAT	74
Exkurs: Kabeltest	75
Exkurs: Strommessung, Alternativen	78
Allgemeine I/O-Systeme	80
Die wichtigsten Kenngrößen	80
Bauform und Grundfunktionen	81
Kanalzahl und Typen	86
Analog-Kanäle: Aufbau, Sampling - Auflösung und Rate	86
Exkurs: Wie geht A/D- und D/A-Wandlung?	86
Exkurs: Single-ended und differenziell	93
Digital-Kanäle und Relais/Switching	95
Exkurs: Isolation - Optokoppler & Co	96
Switching - Relais, Einfach- und Mehrfach-Schalter	97
Exkurs: Relais - Schalter mit „Fernbetätigung“	100
Digital-I/O im Takt: Zähler und Zeitgeber	103
Datalogging	104
Zubehör	107
Software-Unterstützung	108

Exkurs: Welcher PC-Typ ist optimal für T&M?	111
Exkurs: HiL - Hardware-in-the-Loop	112
Sensoren	114
Temperatursensoren	114
Exkurs: CJC und Fehler beim Thermoelement	116
DMS - Der Dehnungsmessstreifen für Druck- und Zugmessung	120
Exkurs: Die traditionelle Messbrücke und ihre Alternative	121
Signal-Anpassung, Messverstärker	124
Frequenzmessung	128
Mit dem Oszilloskop	128
Mit dem Zähler	129
Signal-Generator	132
Die wichtigsten Kenngrößen von Signal-Generatoren	133
Arten von Signal-Quellen	133
Bauformen	135
Kanalzahl	135
Signalformen und deren Daten	135
Maximale Frequenz/Bandbreite	137
Signal-Integrität	138
Exkurs: Burst, Sweep und Modulationen	139
Zusatzfunktionen	140
Bedienung, Schnittstellen, Software	141
Spektrum-Analysator	142
Was stellt der Spektrum-Analysator dar?	142
Wie arbeiten Spektrum-Analysatoren - GPSA vs. RTSA	145
Die wichtigsten Kenngrößen von Spektrum-Analysatoren	146
Bauform und Display	146
Verfahren	146
Technische Daten: Bandbreite, DANL etc.	147
Schnittstellen	148
Zusatzfunktionen und Zubehör	148
Exkurs: Vorbereitende EMV-Konformitätstests	149

VNA	151
Was macht ein VNA?	151
Was sind die S-Parameter?	152
Die wichtigsten Kenngrößen von VNA	155
Bauform und Display	156
Kanalzahl (Anzahl der Ports)/S-Parameter	156
Technische Daten	157
Schnittstellen	157
Kalibrierung	157
HF-Leistungsmessung	159
TDR und TDT	161
Bauformen	163
Stromversorgung und Last/Senke	165
Stromversorgung - Trafo- und Schaltnetzteile	166
Elektronische Last	169
Die wichtigsten Kenngrößen von Stromversorgungen	169
Bauformen	170
Ausgangsgrößen	171
Weitere technische Daten	172
Zusatzfunktionen	173
Schnittstellen	176
Leistungsanalyse und SMU	177
Leistungsanalyse	177
SMU	178
Thermografie	181

Schnittstellentechnik - Datenkommunikation in T&M 183

Schnittstelle und Topologien in T&M	185
Bauformen und Systematisierung	186
USB	188
Host und Device	188
USB-Version und „Speed“-Angaben	190

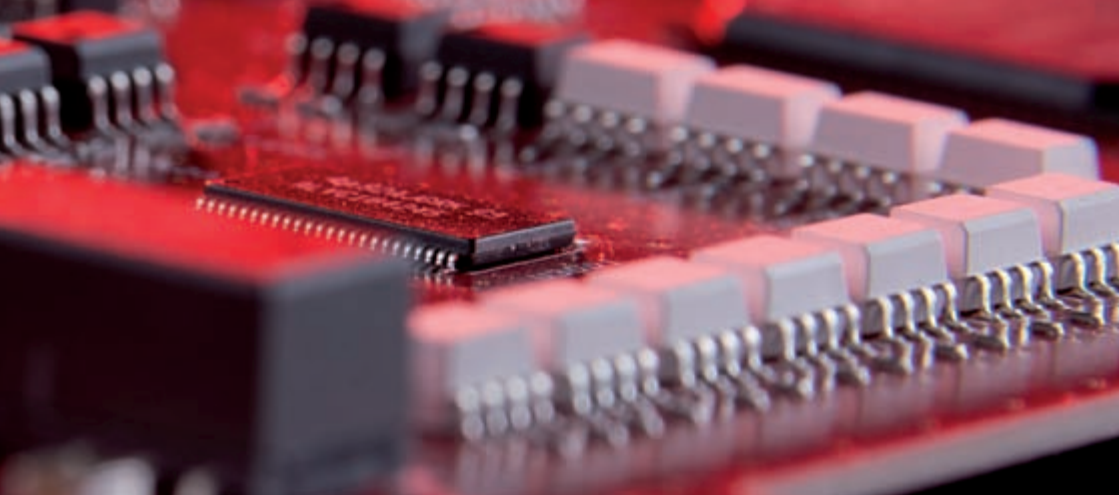
USB-Distanzen und Verlängerung	190
USB (und Ethernet) Isolation	192
Ethernet und WLAN	194
Leitungsgebunden - LAN und Ethernet	194
Router - Switch - Hub - was ist der Unterschied?	195
LXI	195
Drahtlos - WLAN und Wi-Fi	196
Access-Point, Mesh-Point und Repeater	197
WLAN in der Messtechnik	198
GPIO, IEEE488	200
Seriell RS232 (Serial-COM), RS422, RS484	204
Seriell und Parallel	204
Steuerleitungen, Hardware- und Software-Handshake	205
Simplex, Halb- und Vollduplex	205
Datenstruktur	206
Übersicht RS232, RS422, RS485	207
RS232, Serial-COM	208
RS422	210
RS485	210
20-mA-Stromschleife	211
Feldbus	212
Extender	213
Umsetzer, Medienumsetzer	215
Datenübertragung per Lichtwellenleiter	217
Exkurs: Lichtwellenleiter spleißen/verschweißen mit Fusionsspliceßern	219
Protokoll-Analyse	221
PC-Busse	222
 Anhang	 223
Quellenangaben	224
Abkürzungen, Fachbegriffe und Index	226



Vorwort

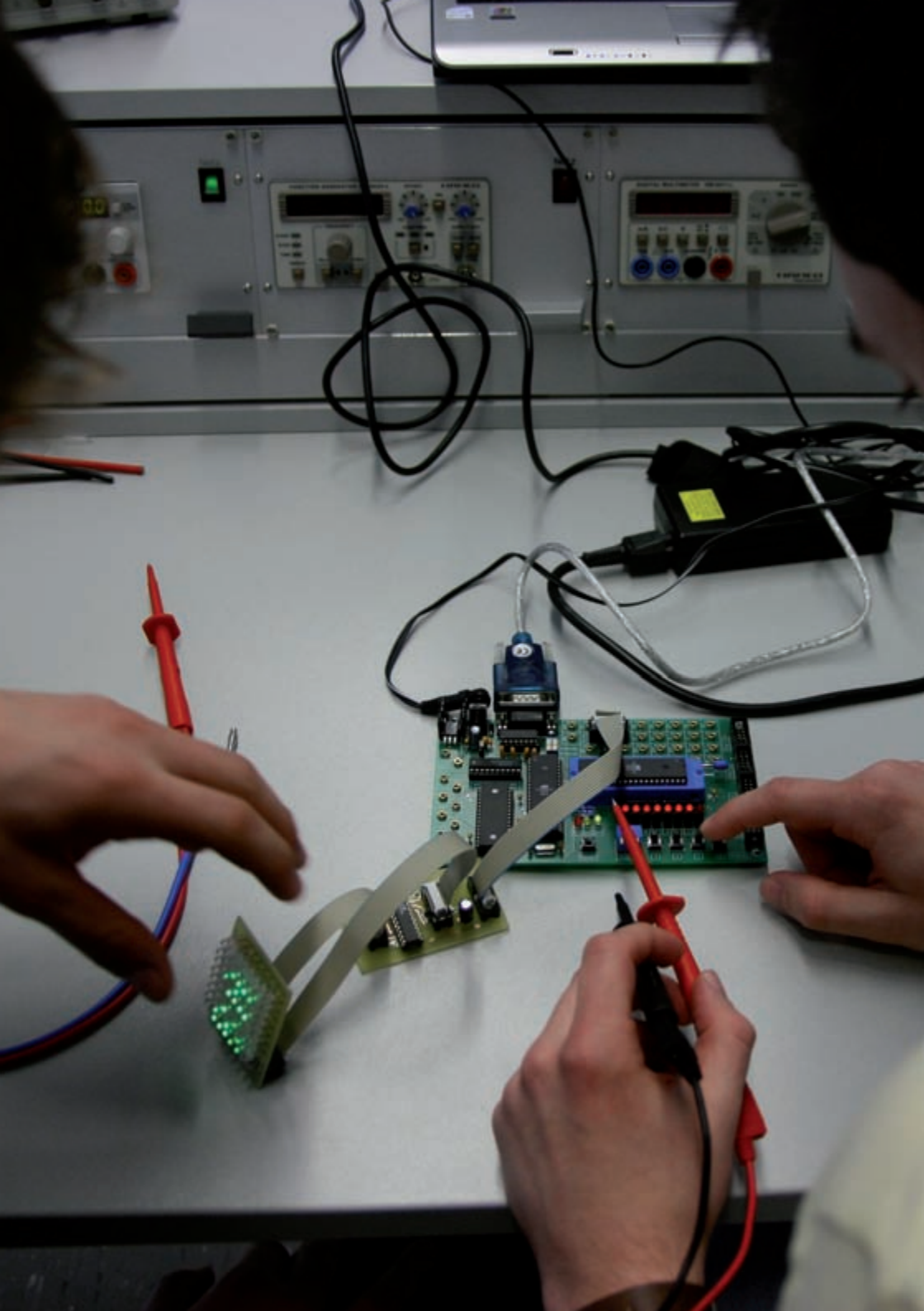
Fachliteratur für Messtechnik und Test geht erfahrungsgemäß sehr schnell und detailreich in die Tiefe. Viele technische Inhalte aus diesem Bereich lassen sich wissenschaftlich korrekt eben leider nicht immer einfach mit einem Satz erklären. Auch im Internet bei Wikipedia und vergleichbaren Seiten werden solche Ausführungen sehr schnell umfangreich und kompliziert.

Allerdings schreckt dies oft Menschen ab, die sich zum Beispiel berufsbedingt nur überblicksmäßig mit dem Thema befassen und zunächst nur die Grundbegriffe kennen und verstehen möchten: Einsteiger, Menschen aus kaufmännischen, künstlerisch-grafischen, marketing-/werbeorientierten oder anderen nicht-technischen Bereichen, die es zum Beispiel über den Verkauf mit Messtechnik und Test zu tun bekommen. Eine solche Distanz oder gar Angst vor (mess)technischen Themen ist jedoch vollkommen unbegründet, denn meist genügt es für ein grundsätzliches Verständnis, eine prinzipielle, oder etwas salopp ausgedrückt, „populärwissenschaftliche“ Vorstellung von diesen Aspekten zu bekommen.



Ziel dieses Buches ist es, einen groben und möglichst allgemeinverständlichen Überblick über gebräuchliche Instrumente, Messarten, Methoden und Datenschnittstellen in Messtechnik und Test zu bieten. Dabei lässt es sich natürlich nicht immer ganz vermeiden, dass es doch mal „sehr technisch wird“ (zum Teil auch als Exkurse gekennzeichnet) - davon sollte man sich aber nicht abschrecken lassen. Es muss für ein Grundverständnis nicht jedes Detail bis in alle Tiefen verstanden werden bzw. kann bei Bedarf mit anderen Quellen noch vertieft werden. Das Buch will und kann auch keine Garantie für Vollständigkeit geben - dazu ist die Materie auf der einen Seite zu komplex und auf der anderen Seite gibt es Unmengen an Fachliteratur und Websites, mit denen einzelne Themen bei Bedarf ganz nach individuellem Bedarf vertieft werden können. Zudem unterliegt die Technik heute derartig schnellen Innovationszyklen, dass viele Abhandlungen zumindest in Details schon mit dem Erscheinen veraltet sind. Allerdings: Das Grundprinzip bleibt oft bestehen, und darum soll es hier im Wesentlichen gehen.

Einleitung, Grundlagen



Messtechnik - Messgrößen und ihre Messung

Das Ziel der Messtechnik ist eine **quantitative, objektive und (speziell in Wissenschaft und Technik) möglichst genaue, fehlerfreie Beschreibung einer physikalischen Messgröße** wie Temperatur, Druck, Lichtstärke, Vibration, pH-Wert, Füllstand, Fläche, Länge, Strom, Spannung etc. Also zum Beispiel:

- Statt „der Weg ist weit/lang“: **Die Strecke von A nach B beträgt 100 km.**
- Statt „gestern war es wärmer als heute“: **Gestern wurde am Ort x als Höchstwert 28°C im Schatten gemessen, heute dagegen 20°C, und so weiter.**

Eine Einteilung der Messgrößen ist relativ willkürlich und erfolgt meist abhängig vom Einsatzbereich, zum Beispiel elektrische, geometrische, biochemische, klimatische, optische Messgrößen. Verglichen wird beim Messen mit einer **festgelegten Maßeinheit**. Am bekanntesten dürfte hier wahrscheinlich der „Urmeter“ sein, dessen Geschichte man anschaulich bei Wikipedia nachlesen kann. Als „Werkzeug“ zum Messen dient ein geeignetes **Messmittel/Messgerät**. Eine Messgröße kann dabei direkt oder indirekt gemessen werden. **Direkt** bedeutet einen unmittelbaren Vergleich, also zum Beispiel das Anlegen eines Lineals zum Bestimmen einer Länge. Bei **indirekter Messung** wird eine Messgröße über eine physikalische oder mathematische Beziehung aus anderen Messgrößen ermittelt bzw. berechnet. So kann die Fläche von Rechtecken durch Messen der Seiten und deren Multiplikation berechnet werden (Fläche $A = \text{Seitenlänge } a * \text{Seitenlänge } b$). Der elektrische Widerstand kann über das ohmsche Gesetz $\text{Widerstand} = \text{Spannung} / \text{Strom}$ berechnet werden, wenn man einen bekannten Strom anlegt und die Spannung misst. Temperatur wird indirekt gemessen über die Ausdehnung von Flüssigkeiten, Gasen oder Festkörpern usw. Da die meisten klassischen, elektronischen Messgeräte als Basisgröße Span-

nung erfassen bzw. über A/D-Wandler digitalisieren, nimmt die Spannung als Messgröße eine Sonderstellung ein. Über die Spannung als Zwischengröße ist eine indirekte Messung vieler anderer Messgrößen möglich. Manche Temperatur-Sensoren (Thermoelemente) liefern zum Beispiel eine Spannung. Da die Messtechnik Messwerte aufnimmt (und darstellt), spricht man auch von **Messwerterfassung**. Heute erfolgt die Messung in vielen Bereichen gesteuert durch einen Mikroprozessor oder PC, der die Messwerte auch verarbeiten und speichern kann. Hier spricht man auch von **Messdatenerfassung oder DAQ** (englisch (Measurement) Data Acquisition).

Messfehler

Fast jedem dürfte der Spruch „Wer viel misst misst Mist“ geläufig sein. Und tatsächlich treten bei jeder Messung Abweichung und Fehler auf. Man unterscheidet diese in systematische und zufällige Fehler. Die **systematischen Fehler** können durch entsprechende Maßnahmen wie Kalibrierungen/Justierungen und Korrekturen weitgehend eliminiert werden, da sie einer Gesetzmäßigkeit folgen und für jede Messung den gleichen Wert oder Anteil haben. Beispiel: Hat sich ein Lineal durch Hitzeeinwirkung gleichmäßig etwas gedehnt, kann man damit Längen nicht mehr richtig messen. Wenn allerdings die Gesetzmäßigkeit der entstandenen Abweichung auf irgend eine Art ermittelt werden kann, so kann man den Fehler durch entsprechende Berechnung berücksichtigen und eliminieren. **Zufällige Fehler** hingegen entstehen durch Prozesse wie thermisches Rauschen oder Quantisierungsrauschen. Sie treten zufällig und ohne gesetzmäßigen Zusammenhang auf. Diese Fehler können nicht so einfach über Kalibrierungen oder ähnliches eliminiert werden. Üblicherweise werden stattdessen statistische Methoden der Fehlerrechnung eingesetzt.

Index

4-Quadranten-Modell		Amplitude-Shift-Key- ing	139	Ausgaberate	133
5B	125, 126	analog	32	Ausgangsfrequenz	137
7-Segment-Anzeige	173	Analog-Ausgang	86	Ausgangsreflexions- faktor	153
7-Segment-LED	71	Analog-Eingang	86	automatische Mess- funktion	32
19“-Formfaktor	171	Analog-Kanal	39, 81, 86	automatische Mes- sung	49
19“-Rack	171	Analog-Signal	88	Automatisierung	19
20-mA-Stromschleife		Analyse	175	Autoranging	63, 173
	211	Anderson-Loop	122		
A		Anreihgehäuse	84, 125		
Abfallzeit	17, 143	Anschlussblock	107		
Abtast-Halte-Glied	92	Anschlusskarte	107	B	
Abtasttheorem	40	Anstiegszeit	17, 143	Bandbreite	
Abtastung	40	Antenne	152	Oszilloskop	39
Access-Point	186, 197	Antennenanpassung	152	Signal-Generator	137
AC-Größe	16	Anti-Aliasing	88	Spektrum-Analy- sator	146, 147
AC-Spannung	63	Anwendungssoftware	109	Bandwidth	39
AC-Strom	64	AP	197	Basisstation	197
AC-Stromversorgung	171	App	108, 110	Batterie	16, 166
ADC	86	Applikationssoftware	109	Baud	207
Admittanz	154			Bauform	
ADU	86	Arbeitskontakt	101	Digital-Multimeter	62
A/D-Wandler	32, 41, 43, 86, 91	arbiträr	49, 133, 136, 174	I/O-System	81
Aktor	20, 84, 212	Arbiträr-Signal	49, 136	Oszilloskop	33
Alarm	105	Arbiträr-Signal-Gene- rator	74, 134, 177	Schnittstellenum- setzer	186
Alarmierung	125	ARINC 629	212	Signal-Generator	133, 135
Alternating Current	16	Artificial Mains Net- work	150	Spektrum-Analy- sator	146
AM	139	ASCII-Code	204	Stromversorgung	169, 170
American Standard Code for Informa- tion Interchange	204	ASK	139	VNA	155, 156, 163
AMN	150	asynchron	211	Baum	186
Ampere	15	Aufbau		Bedienung	
Amperemeter	177, 178	Oszilloskop	36	Logik-Analysator	60
Amplitude	142, 152	Auflösung	41, 62, 66, 81, 86, 133, 136, 173	Oszilloskop	36
Amplitudenmodulati- on	139	Auflösungsbandbreite	148	Benchtop	33, 37
Amplitudenverstär- kung	151	Augendiagramm	49, 55	Bereich	62, 63

bidirektional	96	CompactPCI-System	111	DCE	208
binär	204	Connectivity	45	DC-Größe	16
Binärzahl	204	Constant Current	174	DC-Regelnetzgerät	74
Bit	204	Constant Voltage	174	DC-Spannung	63
Bitrate	207	CTS	209	DC-Strom	64
Blindleistung	159	Cursor	32	DDS	132
Bluetooth	71	CV	174	Decoding	48
Bode-Diagramm	24, 49, 151	D		Dehnungsmessstreifen	120
Bode-Plot	49, 151	DAC	86	Dekade	151
Bridge	197	dämpfen	24	Dekodieren	58
Built-in arbitrary	136	DANL	146, 147	Demodulator	139
Burst	139	DAQ	14, 86	Desktop-PC	111
Bus	81, 186	Data Acquisition	14	Device	188
Bus-Decoding	34, 38, 50, 187	Data Carrier Detect	209	DeviceNet	212
Bus-Management	200	Data Communications Equipment	208	DFT	145
bus-powered	195	Data Flow	205	Diagnoseprogramm	109
Bypass	99	Data Logging	72, 81, 104, 181	differenziell	93, 210
Bypass-Schalter	99	Data Set Ready	209	Digit	67
Byte	204	Data Terminal Equipment	208	digital	32
C		Data Terminal Ready	209	Digital-Ausgang	86
CAN	212	Data Terminal Ready	209	Digital-Ausgangs-Leitung	95
CANopen	212	Dateifomat	141	Digital-Ausgangs-Port	95
CAT	62, 74	Datenbit	206	digitale Größe	17
CAT5	194	Datenfluss	205	Digital-Eingang	86
Cat-Kupferkabel	191	Datenkommunikation	183	Digital-Eingang-Leitung	95
CC	174	Datenleitung	200	Digital-Eingangs-Port	95
Centronics	201	Datenlogger	80, 104, 177	digitalisieren	32
CJC	116	Datenrate	190, 200, 209	Digital-Kanal	39, 81, 86, 95
Clear to Send	209	Datenübertragung	81	Digital-Multimeter	61
CMOS	56, 95	Datenübertragungsrate	211	Digital-Signal	56, 88
CMR	126	DAU	86	Digital-Speicher-Oszilloskop	32
Cold Junction Compensation	116	D/A-Wandler	86, 136	Digital-Voltmeter	24, 49
Common Mode Rejection	126	DC	135	DIN-Hutschiene	84, 125
Common Mode Voltage	94	DCD	209	Diode	65
CompactPCI	80, 81, 222	DC/DC-Wandler	167	Dioden-Detektor	159
				Diodentest	65

Direct Current	16	Effektivwert	63	Equivalent-Time-Sam- pling	54
Direct Digital Synthe- sis	132	EIA-232	207	Erdungsimpedanz	65
direkte Strommes- sung	78	EIA-422	207	Erdungsmessgeräte	65
diskrete Fourier- Transformation	145	EIA-485	207	Erdungswiderstand	65
Display	36, 37, 62, 70, 141, 146, 155, 156, 169, 173	Eigenrauschen	147	Ereigniszählung	103
Displayed Average Noise Level	147	Einfügedämpfung	155	Erregerspannung	118
Division	31	Eingang		Erregerstrom	120
DMM	61	Oszilloskop	39	erste Harmonische	143
DMS	120	Eingangsbereich	91	Ethernet	32, 34, 38, 45, 71, 80, 135, 141, 148, 157, 176, 186, 194, 202
Double-Pole	100	Eingangskapazität	51	Ethernet-zu-WLAN	187
Double-Throw	101	Eingangsreflexions- faktor	153	ETS	54
Drahtlos	196	Eingangswiderstand	51	Europakarten-Format	81
Drehstrom	171	Einsteckkarte	187, 208	Even	206
Dreieck	135	Einzelabtastrate	92	Event-Counter	103
Dreiphasenwechsel- strom	171	elektrische Feldsonde		Expander	213
Druck	13	149		explosionsgefährdet	
Drucksensor	85	elektrischer Verbrau- cher	169	Umgebung	218
DSO	32	elektromagnetische Verträglichkeit	149	exponentieller Abfall	136
DSR	209	elektromechanischer Schalter	99	exponentieller An- stieg	136
DTE	208	Elektron	15	Extender	157, 187, 191, 213
DTR	209	Elektronenstrahl- Oszilloskop	32	F	
Durchflussrichtung	65	elektronische Last	169	Falltime	17
Durchgang	65	Embedded	33, 62	Falschfarben	181
Durchgangsprüfer	65, 76	Embedded-Scope	33, 36, 38	Farad	66
Duty Cycle	18	EMC	149	Fast-Fourier-Transfor- mation	145, 147
Dynamikbereich	41, 155	EMC Pre-Compliance	148, 149	Fehlanpassung	152
E		Empfänger	205	Feldbus	80, 186, 210, 212
echt-simultaner Be- trieb	93	EMV	149	fernsteuern	46
Echtzeit	44	EMV-Konformitäts- tests	148	Festes Arbiträr-Signal	136
Echtzeit-Oszilloskop	54, 55	EMV-Test	149	FFT	49, 145, 147
Echtzeit-Sampling	54	Energieeffizienz	175	FIFO	93
		Entwicklungsumge- bung	108, 109		

Filter	88, 91, 151, 152, 167	Gegenbetrieb	206	halbduplex	206, 210
Fläche	13	Genauigkeit	40, 62, 66, 173	Halbleiter-Schalter	99
FlexRay	212	General Purpose Interface Bus	200	Halbleitersensor	114
FM	139, 140	General Purpose Spectrum Analysis	145, 146	Halbleiter-Tempera- tursensoren	119
Fourier-Analyse	142, 145	Generator	132	Handgerät	62, 163
Frequency-Shift-Key- ing	140	generatorischer Be- trieb	165	Handheld-Gerät	36, 62, 63, 135
Frequenz	40, 133, 136, 137, 140, 142, 152	Geräte-Kommando	200	Handshake	200, 205, 210
Frequenzanteil	142	Gerätetreiber	108	Hardware-in-the- Loop	23, 112
Frequenzbereich	39, 132, 142, 157	Gesamtleistung	172	Harmonic-Generator	141
Frequenz-Domäne	142	Geschwindigkeit	62, 66	Harmonische	141, 143, 152
Frequenzgang-Analy- se	151	Glasfaser	161, 217	harmonische Analyse	142
Frequenzgeber	103	Glasfaserkabel	191	Haversinus	136
Frequenzmessung	103, 128	glätten	167	HDMI	36
Frequenzmodulation	139, 140	Gleichgröße	63	Heißleiter	118
Frequenzspektrum	141, 142	gleichrichten	167	Heizung	19
Frequenz-Zähler	49, 140	Gleichrichter	63	Henry	66
Frontpanel	36	Gleichspannung	16	Hertz	128
Frontplatte	36	Gleichstrom	16	Herzschlag	136
FSK	139, 140	Gleichtakt-Spannun- gen	94	Heterodyn-Prinzip	145
Full Speed	190	Gleichtaktstörungen	126	Hewlett Packard Interface Bus	200
Füllstand	13	Gleichtakt-Unterdrü- ckung	126	HF	138
Funktions-Generator	49, 74, 134, 135	Glitch	44	HF-Kammer	149
Fusionsspleißer	219	GND	94, 209	HF-Leistungsmessung	159
G		GPIO	32, 38, 46, 71, 135, 141, 148, 157, 176, 186, 200	HF-Leistungssensor	159
galvanische Entkopp- lung	96, 125	GPIO-Controller	203	HF-Quelle	134
galvanische Trennung	90, 96, 187, 192	GPSA	145, 146	HiL	23, 112
Gauss-Puls	136	Grenzfrequenz	40	HiL-Simulator	112
Gebäudeautomation	26	Grundfrequenz	143	Hi-Speed	190
		Gruppenlaufzeit	155	Hochfrequenz	138
		H		Hochohm-Meter	65
		Halbbrücke	120	Host	188
				HP-IB	186, 200
				Hub	187, 189, 190, 195

Hybrid-Gerät	73, 178	Justierung	14	Kompensationsausgang	53
I		K		komplexen Wechselstromrechnung	17
IEC-625	200	Kabel	107, 151	Kondensator	97
IEC-Bus	200	Kabelradar	161	Konformitätstest	22
IEEE488	32, 38, 46, 186, 200	Kabeltest	75, 221	Konstant-Betrieb	174
IEEE488.1	202	Kabeltester-Systeme	76	Konstantstromquelle	64
IEEE488.2	200, 202	Kalibrier-Kit	149, 157	Kontaktprellen	100
IEEE-802.3	194	Kalibrierung	14, 156, 157	kontinuierliches Frequenzspektrum	144
IEEE-802.11	196	Kaltleiter	118	Kontinuität	65
IIOT	199	Kaltstellenkompensation	116	Kupferkabel	194
Impedanz	154, 155	Kanalzahl		L	
Impedanzparameter	65	I/O-System	81, 86	Labornetzteil	166,
Impuls	17, 161	Logik-Analysator	59	170, 178	
Impulsfolge	18	Oszilloskop	39	Ladungsträger	15
Impulsgenerator	161	Signal-Generator	133, 135	LAN	38, 46, 71,
induktiv	97	Stromversorgung	171	83, 135, 141, 148,	
Induktivität	65, 66	VNA	155, 156	157, 176, 186,	
Industrial Internet of Things	199	Kapazität	65, 66	194, 202	
Industrie-PC	80, 81, 111	kapazitiv	97	Lane	81, 222
Infrarotstrahlung	181	Kathodenstrahl-Oszillograph	32	Länge	13
Installationsprogramm	109	Kathodenstrahl-Oszilloskop	32	Langzeiterfassung	105, 181
Instrumentierung	185	Kelvin-Anschluss	65	Laptop	111
Internet der Dinge	26	Kenngrößen		Laserdiode	97
Internet of Things	26	Logik-Analysator	59	Last	165, 169
Interrupt	104	Oszilloskop	38	Lastregelung	173
I/O-System	80	Signal-Generatoren	133	Lastwiderstand	169
IOT	26, 197, 199	Spektrum-Analysator	146	Latenz	214
IrDA	71	Stromversorgung	169	LCD	71, 173
ISA	81, 222	VNA	155	LCR-Meter	61, 65
Isolation	65, 81, 90, 96, 125, 126, 192	Kern	217	Least Significant Bit	206
Isolator	187	Klirrfaktor	138	Leistung	15, 172
Ist-Wert	19	Kombi-Gerät	73	Leistungsanalyse	177
J		Kommunikationsqualität	221	Leistungsmessgerät	74
Jitter	138			Leistungsmessung	49
Jitter-Analyse	49			Leistungsregelung	173
				Leuchtdiode	97

Lichtstärke	13	Mehrfach-Umschalter	99	MSO	33, 38, 49, 57, 187
Lichtwellenleiter	191, 194, 217	Mehrkanalbetrieb	41	multifunktional	23, 49, 180
LIN	212	Mehrpunkt-Topologie	210	Multifunktionsgerät	180
Line Impedance Stabilization Network	150	Mesh	197	Multimeter	61, 76, 178
Line-Regulation	173	Mesh-Netzwerk	197	Multimode	191, 217
linienförmig	186	Mesh-Point	197	Multiplexbetrieb	41
LinienSchreiber	104	Messbereich	64, 124	Multiplexer	41, 71, 91, 99
Liquid Crystal Display	71	Messbrücke	120, 121, 125	Multiport-Schalter	99
LISN	150	Mesempfänger	151	MUX	91, 99
Listener	201	Messfehler	14	N	
Load-Regulation	173	Messfühler	114	NA	151
Local Area Network	194	Messgerät	13, 29	Nahfeldsonde	149
Logik-Analysator	24, 33, 49, 56, 187	Messgröße	13, 62, 63, 114	negative Logik	18
Logik-Analyse	38, 49	Messkategorie	74	Netbook	111
Logik-Kanal	39	Messmittel	13	Netznachbildung	150
Logik-Pegel	59	Messumformer	126	Netzqualität	177
Logik-Signal	56	Messverstärker	124, 125, 126	Netzspannung	17
Low Speed	190	Messwerterfassung	14	Netzteil	166
LSB	206	MIL-STD-1553	212	Netzwerkanalysator	151
LWL	191, 194, 217	Mini-Lab	83	NF	138
LXI	32, 38, 46, 71, 135, 141, 148, 157, 176, 195, 202	Mitlaufgenerator	148	nichtlinearen Verzerrungen	138
M		Mixed-Signal	32, 58	Niederfrequenz	138
Magnetfeldsonde	149	Mixed-Signal-Logik-Analysator	57	None	206
managed Switch	195	Mixed-Signal-Oszilloskop	33, 38, 49, 57	Normsignal	125, 127
Mantel	217	Mixer	152	Notebook	111
Mark	206	MMF	217	Nutzsignal	139
Marker	36	Mobil-Gerät	111	Nyquist	40, 54
Masken-Grenzwert-Test	34, 49, 55	MODBUS	210, 212	O	
Master	188	modularer Umsetzer	187	Oberflächentemperatur	181
Mathematik	72	Modular-Gerät	156	Oberschwingung	143
Medienumsetzer	215	Modular-Oszilloskop	38	Oberwelle	40
Medizinzulassung	193	Modulation	133, 139	OCP	174
Megaohm-Meter	65, 76	Monomode	217	Odd	206
MegaZoom	34	Montagekit	171	Ohm	15
		motorischer Betrieb	165	ohmsches Gesetz	15, 64

OLED	71	Periode	136, 140	Programmable Inter- val Timer	103
One-Shot	161	Periodendauer	128	Programmier-Biblio- thek	109
Operationsverstärker	90	periodisches Samp- ling	54	Programmier-Hoch- sprache	109
OPP	174	PGA	90	Programmiertool	109
optische Zeitbereichs- Reflektometrie	77, 161	Phase	24, 151	Protokoll 34, 60, 186, 194, 200	187
optoelektronisch	97	Phasenänderung	155	Protokoll-Analysator	187
Opto-Isolation	209	Phasenlage	151	Protokoll-Analyse	50,
Optokoppler	96, 97	Phasenwinkel	24, 65	221	
Organic Light Emitting Diod	71	Phase-Shift-Keying	140	Prozessautomation	27
OSLT	157	Photodiode	97	Prüfen von Bauele- menten	179
Oszillogramm	31	Phototransistor	97	Prüfspitze	50
Oszilloskop	24, 31, 161, 177, 187	pH-Wert	13	pseudo-simultaner Betrieb	93
Oszilloskop-Bild- schirm	31	PictBridge	38, 46, 189	PSK	139, 140
OTDR	77, 161	PIO	96	Puls	17, 135, 140
OTG	189	PIT	103	Pulsbreite	140
OTP	174	PLC	212	Pulsbreitenmodulati- on	139, 140
OVP	174	POE	196	Pulsewidth Modulati- on	140
P		POI	148	Punkt-zu-Punkt	186, 189
Parallel	204	Point-Of-Sales	208	PWM	139, 140
parallele Schnittstelle	204	Polarität	16	PXI	45, 80, 82
Paritätsbit	206	Pole	100	PXIe-System	111
Paritätsprüfung	206	Port	96, 151, 156	PXI-Express	82
PC	81	POS	208	Q	
PC-Bus	222	Potenzialtrennung	187	QAM	139
PC-Einsteckkarte	80, 81	Potenzialunterschied	192, 209	Quadrant	165, 169, 178
PCI	45, 81	Power-Analysator	177	Qualitätsmanage- ment	22
PCI-Epxpress over Cable	222	Power-Meter	74	Qualitätssicherung	22
PCI-Express	81, 222	Power-over-Ethernet	196	Quantisierung	87
PCI-Express-zu-RS232	186	Preamplifier	148	Quantisierungsrau- schen	14
PC-Multimeter	62	Pre-Compliance	23		
PC-Scope	33, 36, 38	predictive Mainte- nance	105		
Pegel	18, 95	Probability of Inter- cept	148		
		Probe	50		
		PROFIBUS	210, 212		
		PROFINET	212		

Quelle	15, 165, 178	Ring Indicator	209	Sampling	81, 86
R		Ripple-and-Noise	172	Sampling-Scope	55
Rack-Montage	74	Risetime	17	Scattering Parameter	152
Rampe	135	RJ45	194	Schaltmatrix	71
Rasterlinie	31	RMS	63	Schaltnetzteil	166, 167
Rate	81, 86	Root Mean Square	63	Schaltverzögerung	100
Rauschen	14, 41, 135	Router	195	Scheinleistung	172
RBW	148	RS232	71, 176, 186, 193, 204, 207, 208	Schnittstelle	32, 39, 45, 60, 62, 71, 141, 146, 148, 156, 157, 170, 176, 185
Real-Time Oscilloscope	54	RS422	186, 193, 204, 207, 210	Schnittstellentechnik	183
Real Time Spectrum		RS484	186, 204	Schutz	
Analysis	145, 146	RS485	193, 207, 210	Überspannung,	
Receive-Data	209	RS485-Netzwerk	210	Überstrom,	
Rechteck	135, 140, 143	RTD	66, 85, 114, 117	Überleistung,	
Rechteck-Signal	40	RTO	54	Übertemperatur	173
Reed-Relais	100	RTS	209	Schwingung	128
Reflexion	152, 154, 161, 163	RTSA	145, 146	Scope	31
Reflexions-Koeffizient		Rückflusdämpfung	154	SCPI	200, 202
	154	Rückführung	19	SDK	108, 109
Reflexionsmessung	149	Rückspeisend	175	Seebeck-Effekt	115
Regelkreis	19	Rückwärts-Transmissionsfaktor	153	Segment	210
Regeln	19	Ruhekontakt	101	segmentierter Speicher	43
regenerativ	175	RxD	209	Seitenbänder	152
Relais	81, 95, 97	RxD-	210	Sekunde/Division	32
Remote-I/O	85	RxD+	210	Sende-anforderung	209
Repeater	187, 190, 197, 211, 213	S		Sende-erlaubnis	209
Repeating-Hub	195	S11	149, 153	Sender	205
repetitives Sampling	54	S12	153	Senke	165, 169
Request to Send	209	S21	149, 153	Sensor	16, 84, 114, 212
Resistance Temperature Detector	66, 114, 117	S22	153	Sequenzierung	137
Resolution Bandwidth		SA	150	Serial-COM	204, 208
	148	Sägezahn	135	Seriell	204
Restwelligkeit	167, 172	Sample	47, 86, 133, 136	serielle Schnittstelle	204
RI	209	Sample&Hold	92	SF	150
Richtungsbetrieb	206	Sample-Rate	43, 136		
Ring	186	I/O-System	87		
		Logik-Analysator	59		
		Oszilloskop	39, 40		

S&H	92	skalare Netzwerkana-	Sperrrichtung	65
Shannon	40	lyse	spleißen	219
Sicherheitskategorie	62	skalarer Netzwerk-	Sprungfunktionsgene-	
Sicherheitsprüfung	65	analysator	rator	163
Sicherheitstest	22	Slaves	SPS	212
sieben	167	Smartphone	SSB-Phasenrauschen	
Signal-Aktualisie-		SMF		138, 148
rungsrate	43, 44	SMPS	SSR	100
Signal-Anpassung		SMU	Stand-alone	36
	124, 125	SNA	Standard Commands	
Signalflanke	163	Softkey	for Programmable	
Signalform	133, 135	Software	Instruments	202
Signal-Generator	24,	Software Develop-	Standard-Signal	135
	37, 38, 46, 49, 132	ment Kit	Standing Wave Ration	
Signal-Integrität	133,	Solarzelle		154
	137, 138	Solid State Relays	Startbit	206
Signal-Konditionie-		Soll-Wert	Statistik	72
rung	124	SOLT	Steckernetzteil	166
Signallänge	133	Sonde	Stehwellenverhältnis	
Signalleitung	200	Source		154
Signal-Mathematik		Source-Measure-Unit	Stellglied	212
	49, 125		Stellgröße	19
Signal-Quelle	132	Source-Meter-Unit	Stern	186
Signal-Routing	98, 99	Space	Steuergröße	19
Signal-Splitter	125	Spannung	Steuerleitung	200, 205
Signal-Switching	71	13, 15, 63,	steuern	19, 95
Signalverstärker	211	165, 172, 178	Steuerung	112
simplex	206	Spannungsverlauf	Stoppbit	206
simulieren, Simulati-		Spannungswelligkeit	Störaussendungsmes-	
on	23, 46, 112,	S-Parameter	sung	150
	132, 169	151, 152, 155, 156	Störfestigkeitsprüfung	
Simultanbetrieb	41	speicherprogram-		150
Sinc	136	mierbare Steue-	Störgrößen	19
single-ended	93	rung	Strain Gauge	120
Singlemode	191, 217	Speichertiefe	Streuparameter	151, 152
Single-Pole	100	Oszilloskop	Strom	13, 15, 63,
Single-Shot	44	Signal-Generator	165, 172, 178	
Single-Throw	101	Spektrallinie	Strommessung	52, 78
Sinus	17, 31, 40, 132,	Spektrum	Strommesszange	78
	134, 135, 142	Spektrum-Analysator	Stromquelle	165, 169
		49, 142	Stromsenke	165, 169
		Spektrum-Analyse		
		38		

Stromastkopf	78	Temperaturmessung	181	Transmission	152,
Stromversorgung	165, 177	Temperatursensor	66, 71, 114, 118, 181		154, 164
Stromwandler	78	Teraohm-Meter	65	Transmissions-Koeffi-	155
Stromzange	78	Terminal	208	zient	
Stromzangen-Mess-		Terminal-Block	107	Transmissionspara-	152
gerät	78	Terminal-Board	107	meter	
Sub-D	107, 209, 211	Terminierung	51	Transmit-Data	209
Summenabtastrate	92	Testen	22	Treiber (Software)	108
Super-Phosphor	34	Test-Signal	132	Trenntransformator	97
SuperSpeed	190	Test-Szenarien	25	Trennverstärker	126
SuperSpeed+	190	THD	138	Trigger	
Sweep	139	Thermistor	114, 118,	Logik-Analysator	60
Sweeping-Verfahren	146		159	Oszilloskop	47
Sweepzeit	148	Thermocouple	114	Trigger-Arten	48
Switch	187, 195, 197	Thermoelement	66,	TTL	56, 95
Switched-Mode Pow-			85, 114, 159	TTY-Schnittstelle	211
er Supply	167	Thermografie	181	Twisted-Pair-Kabel	194
Switching	81, 95, 97	Thermometer	181	TxD	209
Switching-Topologie	99	Throw	100	TxD-	210
SWR	154	Time Domain Reflec-		TxD+	210
Synchronisation	47	tometry	161	U	
systematischer Fehler	14	Time Domain Trans-		Übertrager	97
T		missiometry	164	Übertragungseigen-	
Tablet	111	Tischgerät	33, 36, 46,	schaft	132, 151
Talker	201		62, 135, 146, 156	Übertragungsglied	151
Tastgrad	18	Topologie	185, 207	UltraVision	34
Tastkopf	39, 50	Tor	151, 153	Umschalter	99
aktiv	52	Total Harmonic Dis-		Umsetzer	187, 203,
passiv	51	tortion	138		208, 215
Tastkopf-Erkennung	51	Totzeit	44	unidirektional	96
Tastkopf-Kompensati-		Touchscreen	36, 71,	Universal Serial Bus	188
on	53		141, 146	unmanaged Switch	195
Tastverhältnis	18, 140	Tracking-Generator	24, 148	Update-Rate	39, 44
TDR	55, 152, 161	Trafonetzteil	166	USB	32,
TDR-Gerät	77	Träger, Trägersignal	139		34, 38, 45, 57, 71,
TDT	55, 161, 164	Transfermessung	149		80, 135, 141, 148,
Temperatur	13, 66	Transformator	167		156, 157, 176,
Temperaturkoeffizient	118	transformieren	167		186, 188, 202, 208
				USB-Device-Klassen	188
				USB-Distanz	190

USB-Leistungssensor	160	vorbeugende Wartung	105	Wirkleistung	159
USB-Modul	83	Vorverstärker	148	WLAN	46, 71, 83, 186, 194, 196, 198
USB On-the-go	189	Vorwärts-Transmissionsfaktor	153	wobbeln	139
USB-Stick	141	VSWR	154	Wort	204
USB-Verlängerung	190				
USB-Version	190				
USB-zu-GPIB	186				
V		W		X	
Vektor-Netzwerk-Analysator, vektorieller Netzwerkanalysator	23, 151	WAN	194	XT	222
Ventil	20	Wärmebildkamera	181	Z	
Verlust	155	Wärmestrahlung	181	Zähler	103, 128
Vermascht	186	Watt	15, 172	Zangenamperemeter	78
Verstärker, Verstärkung	90, 151, 152, 155	Waveform-Länge	136	Zangenstrommesser	78
Verstärker, Verstärkung	24	Wechselbetrieb	206	Zeiger	70
Verteiler	187	Wechselgröße	63	Zeitbereich	31, 142, 161
Verzerrung	41	Wechselspannung	16, 171	Zeitbereichsreflektometrie	161
VGA	36	Wechselstrom	16	Zeitbereichstransmissionetrie	164
Vibration	13	Wechselstrommessung	79	zeit-diskret	86
Vielfachmessgerät	61	Wechselstromwiderstand	17	Zeit-Domäne	142
Vierleitertechnik	65	Weitverkehrsnetz	194	Zeitgeber	103
Viertelbrücke	120	Wellenwiderstand	152	Zoom	36
VNA	23, 77, 151	wert-diskret	87	zufälliger Fehler	14
Vollbrücke	120	wert-kontinuierlich	86		
vollduplex	206, 210	Wheatstone-Brücke	120, 121		
Volt	15	Wide Area Network	194		
Voltage Standing Wave Ratio	154	Widerstand	13, 15, 63, 64		
Voltampere	172	Widerstandsmessung	117		
Volt/Division	32	Widerstandssensor	117		
Voltmeter	61, 177, 178	Widerstandsthermometer	114		
vorausschauende Instandhaltung	105	Wi-Fi	196		
vorbereitender Konformitätstest	23, 149	Wireless Access-Point	197		
		Wireless Local Area Network	196		