

Auf einen Blick

Über den Autor	11
Einleitung	23
Teil I: Einführung, Messmethoden und Messgeräte – Sie lernen die Grundlagen	31
Kapitel 1: Motivation und Einführung – warum hilft messen?	33
Kapitel 2: Messmethoden nach DIN 1319-2 – Normen helfen	41
Kapitel 3: Messprozess und Auswertung sowie Darstellung von Messergebnissen	53
Kapitel 4: Eigenschaften von Messgeräten	65
Kapitel 5: Grundlegende Funktionsweise von zwei Messgerätearten	73
Teil II: Messabweichungen – perfekt genau messen geht nicht	81
Kapitel 6: Voraussetzungen, Festlegungen, Messabweichung und Auflösung	83
Kapitel 7: Systematische Messabweichungen: Messgerät und Messaufbau sind nicht perfekt	89
Kapitel 8: Zufällige Messabweichungen: »Würfeln« abschätzen	109
Teil III: Messung zeitlich konstanter elektrischer Signale – Sie messen Strom, Spannung, Widerstand, Leistung	147
Kapitel 9: Messung der Gleichspannung	149
Kapitel 10: Messung des Gleichstroms	163
Kapitel 11: Messung des elektrischen Widerstands und der elektrischen Leistung	175
Teil IV: Messung zeitlich veränderlicher (sinusförmiger) Größen	205
Kapitel 12: Grundbegriffe, damit wir uns richtig verstehen	207
Kapitel 13: Das Oszilloskop – Sie können zeitlich veränderliche Größen darstellen und messen	215
Kapitel 14: Messung der Signalform, Frequenz und Wechselspannungsleistung mit dem Oszilloskop	233
Kapitel 15: Bestimmung von Wirk- und Blindwiderstand (Impedanz)	247
Teil V: Der Top-Ten-Teil	275
Kapitel 16: Zehn Tipps zum Erlernen der Messtechnik-Theorie und zur praktischen Umsetzung	277
Kapitel 17: Meine zehn Lieblingsbücher zur Messtechnik	285

Anhang A: Lösungen der Übungsaufgaben.....	289
Abbildungsverzeichnis.....	293
Stichwortverzeichnis.....	301

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	11
Danksagung	11
Einleitung	23
Über dieses Buch	24
Konventionen in diesem Buch	25
Was Sie nicht lesen müssen	25
Törichte Annahmen über den Leser	25
Wie dieses Buch aufgebaut ist	26
Teil I: Einführung, Messmethoden und Messgeräte – Sie lernen die Grundlage	26
Teil II: Messabweichungen – perfekt genau messen geht nicht	27
Teil III: Messung zeitlich konstanter elektrischer Signale – Sie messen Strom, Spannung, Widerstand, Leistung	28
Teil IV: Messung zeitlich veränderlicher (sinusförmiger) Größen	28
Teil V: Der Top-Ten-Teil	29
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden	29
Wie es weitergeht	30
 TEIL I	
EINFÜHRUNG, MESSMETHODEN UND MESSGERÄTE – SIE LERNEN DIE GRUNDLAGEN	31
Kapitel 1	
Motivation und Einführung – warum hilft messen?	33
Aufgabe der Messtechnik	35
Das SI-Basissystem der Einheiten und einige Vorsätze vor Einheiten	36
Begriffsdefinitionen: Was ist denn messen?	39
 Kapitel 2	
Messmethoden nach DIN 1319-2 – Normen helfen	41
Direkte Messmethode	41
Indirekte Messmethode	41
Ausschlags-Messmethode	43
Differenz-Messmethode	44
Nullabgleich-Messmethode (auch: Kompensations-Messmethode)	45
Analoge Messmethode	46
Digitale Messmethode	47
Anwendungen (Beispiele) aus der Elektrotechnik	47
Abgleichbrücke als Nullabgleich-Messmethode	47
Differenz-Messmethode: Ausschlagbrücke	50

Kapitel 3
Messprozess und Auswertung sowie Darstellung von Messergebnissen..... **53**

- Messen besteht aus einer Vielzahl von Aufgaben – Sie haben einen
Messprozess..... 54
- Auswertung von Messergebnissen..... 55
 - Kennlinie 56
 - Linearisierung von Messsignalen: Empfindlichkeit
und Offset 57
- Beispiel eines möglichen Sensordatenblatts..... 61
- Grafische Darstellung von Messergebnissen 62

Kapitel 4
Eigenschaften von Messgeräten..... **65**

- Statische Eigenschaften 65
- Dynamische Eigenschaften..... 67
- Verhalten und Empfehlung..... 72

Kapitel 5
Grundlegende Funktionsweise von zwei Messgerätearten..... **73**

- Funktionsweise des digitalen Multimeters – (fast) ein Alleskönner..... 73
 - Messung von Gleichspannung 74
 - Messung des Stroms..... 75
 - Messung des Widerstands..... 76
 - Messung von Wechselspannungen..... 76
- Funktionsweise des analogen Drehspulinstruments – ein Urgestein
unter den Messgeräten..... 77
 - Temperaturabhängigkeit der Spule 79
 - Messung der Gleichspannung..... 80
 - Messung von Wechselgrößen..... 80

TEIL II
MESSABWEICHUNGEN – PERFEKT GENAU MESSEN GEHT NICHT..... **81**

Kapitel 6
Voraussetzungen, Festlegungen, Messabweichung und Auflösung..... **83**

- Voraussetzungen für eine genaue Messung mit einem Messgerät..... 84
- Definitionen – wir sollten uns einigen..... 84
 - Allgemeine Festlegungen der verwendeten Werte..... 85

Definition der Messabweichung.....	86
Definition der Auflösung des Messgeräts	88

Kapitel 7

Systematische Messabweichungen: Messgerät und Messaufbau sind nicht perfekt	89
Die systematische Messabweichung von Messgeräten	91
Messabweichung eines digitalen Messgeräts	92
Die systematische Messabweichung des Messaufbaus.....	96
Fortpflanzung systematischer Messabweichungen – auch Fehler vermehren sich.....	98
Vereinfachtes Vorgehen bei Produkten und Quotienten – man darf es sich auch leichter machen.....	101
Es geht noch leicht weiter: vereinfachtes Vorgehen bei Summen und Differenzen.....	103
Einfach geht nicht immer: der allgemeine Fall an einem Beispiel	106

Kapitel 8

Zufällige Messabweichungen: »Würfel« abschätzen.....	109
Zur Wiederholung: das Wichtigste aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung	111
Wesentliche Eigenschaften der Wahrscheinlichkeit.....	111
Relative und absolute Häufigkeit	111
Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeitsdichte.....	114
Die gaußsche Wahrscheinlichkeitsdichte (Normalverteilung) und der zentrale Grenzwertsatz	116
Der Erwartungswert und Momente	119
Zentrale Momente, Varianz und Standardabweichung.....	120
Sie messen nicht unendlich oft: Mittelwert und Standardabweichung einer Stichprobe.....	121
Fehlerfortpflanzung von zufälligen Messabweichungen – auch diese vermehren sich.....	123
Vertrauensbereich des Mittelwerts, Student-t-Verteilung und erweiterte Toleranzangabe bei Stichprobenmessungen.....	127
Vertrauensbereich für den Mittelwert	128
»Korrekturfaktor« auf Basis der Student-t-Verteilung.....	131
Vollständige Angabe eines zufälligen (statistischen) Messwerts	135
Ausreißer-Bestimmung: grobe Abweichungen, die getrost weggelassen werden können.....	138
Vorgehen bei systematischen und zufälligen Messabweichungen	139
Ein Beispiel mit allem drin	140

TEIL III

MESSUNG ZEITLICH KONSTANTER ELEKTRISCHER SIGNALE – SIE MESSEN STROM, SPANNUNG, WIDERSTAND, LEISTUNG 147

Kapitel 9

Messung der Gleichspannung..... 149

Eigenschaften anhand der Spannungsmessung einer Spannungsquelle – wir starten einfach.....	149
Qualitative Betrachtung und Merkregel zur Spannungsmessung	150
Genauigkeitsuntersuchung zur Spannungsmessung – Sie möchten präzise messen	152
Gleichspannungsmessung an einem Widerstand – jetzt messen Sie wirklich an einem Widerstand.....	154
Äquivalente Schaltungsumwandlung – Umwandlung macht das Leben leichter	155
Genauigkeitsbetrachtung der Spannungsmessung an einem Widerstand.....	157
Messbereichserweiterung der Spannungsmessung	158

Kapitel 10

Messung des Gleichstroms 163

Eigenschaften anhand der Strommessung mit einer Spannungsquelle – wir starten wieder einfach.....	163
Qualitative Betrachtung und Merkregel zur Strommessung.....	164
Genauigkeitsuntersuchung zur Strommessung – so messen Sie präzise	165
Messbereichserweiterung der Strommessung.....	168

Kapitel 11

Messung des elektrischen Widerstands und der elektrischen Leistung..... 175

Messung des Widerstands direkt mit einem Digitalmultimeter – und schnell.....	176
Widerstandsmessung durch gleichzeitiges Messen von Strom und Spannung – wenn's präzise sein soll.....	176
Stromrichtige Schaltung	176
Spannungsrichtige Schaltung	179
Auswahlregel für die zwei Messverfahren.....	183
Messung der elektrischen Leistung: wieder durch gleichzeitige Strom- und Spannungsmessung.....	184
Messung von Widerständen mit der Wheatstone-Brücke – genauer wird's nicht	186
Abgleichbrücke.....	187
Ausschlagbrücke zur Messung kleiner Widerstände ΔR	190
Genauigkeit der Wheatstone-Brücke – das Voltmeter hat doch einen kleinen Einfluss.....	197

TEIL IV**MESSUNG ZEITLICH VERÄNDERLICHER****(SINUSFÖRMIGER) GRÖßEN..... 205****Kapitel 12****Grundbegriffe, damit wir uns richtig verstehen..... 207**

Amplitude (Scheitelwert) und Periodendauer..... 208

Arithmetischer Mittelwert..... 209

Gleichrichtwert..... 209

Effektivwert..... 211

Darstellung und Zusammenfassung der wichtigen Kenngrößen..... 212

Kapitel 13**Das Oszilloskop – Sie können zeitlich veränderliche****Größen darstellen und messen..... 215**

Wesentliche Baugruppen eines modernen Oszilloskops..... 215

Die Vertikalbaugruppe..... 216

Die Horizontalbaugruppe..... 216

Die Triggerbaugruppe – Sie brauchen ein stehendes Bild..... 217

Anzeigebaugruppe – So lesen Sie richtig ab..... 218

Verstärkungseigenschaften – auch Signale brauchen Verstärkung..... 220

Ersatzschaltbild der Oszilloskop-Eingangsklemme..... 220

Verstärkungsbandbreite und Tastkopf: Sie teilen die Signale

frequenzunabhängig..... 221

Genauigkeit eines Oszilloskops: nothing is perfect..... 231

Kapitel 14**Messung der Signalform, Frequenz und****Wechselspannungsleistung mit dem Oszilloskop..... 233**Messung der Signalform, Frequenz, Amplitude und Effektivwert mit
dem Oszilloskop..... 233

Leistungsmessung von Wechselspannungen mit dem Oszilloskop..... 235

Grundbegriffe: Wirk-, Blind- und Scheinleistung – was ist das?..... 235

Leistungsmessung mit dem Oszilloskop..... 241

Kapitel 15**Bestimmung von Wirk- und Blindwiderstand****(Impedanz)..... 247**

Grundbegriffe von Wirk- und Blindwiderstand (Impedanz)..... 247

Seriensatzschaltung eines realen induktiven

Wechselstromwiderstands..... 248

Seriensatzschaltung eines realen kapazitiven

Wechselstromwiderstands..... 250

20 Inhaltsverzeichnis

Bestimmung der Impedanz aus Gleich- und Effektivwertmessung.....	251
Bestimmung der Impedanz und des Verlustwinkels mit dem Oszilloskop	253
Impedanzbestimmung mit der Wechselspannungsbrücke.....	261
Grundlagen der Wechselspannungsbrücke – Abwechslung in der Betrachtung.....	262
Nicht abgleichbare Wechselspannungsbrücke	263
Kapazitätsbestimmung mit der Wien-Brücke (kapazitive Impedanz).....	265
Induktivitätsmessbrücke nach Maxwell-Wien (induktive Impedanz).....	268
Genauigkeit der Wechselspannungsbrücke, auch hier wieder	271

TEIL V

DER TOP-TEN-TEIL 275

Kapitel 16

Zehn Tipps zum Erlernen der Messtechnik-Theorie und zur praktischen Umsetzung..... 277

Nicht sofort aufgeben – nachdenken, auch Mitstreiter fragen und mit diesen diskutieren	277
Sorgfältig lesen – wenn das so einfach wäre.....	278
Schreiben Sie sich das Wesentliche raus	279
Übung macht den Meister.....	280
Vergessen Sie nicht abzuschalten – auch Feiern gehört dazu	280
Nach viel Theorie gehört auch praktisches Messen dazu	281
Messergebnisse zu Beginn direkt auf Plausibilität prüfen	282
Eine plausible Messung hat mehr als einen Messwert.....	282
Messaufbau und Versuchsinstrumente kontrollieren – viel hilft hier viel.....	283
Im Zweifelsfall Zeit nehmen und sorgfältig arbeiten.....	283

Kapitel 17

Meine zehn Lieblingsbücher zur Messtechnik..... 285

DIN 1319-1: Grundlagen der Messtechnik, Teil 1: Grundbegriffe und DIN 1319-2: Grundlagen der Messtechnik, Teil 2: Begriffe für Messmittel. Beide sind erschienen im Beuth Verlag, Berlin	285
Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).....	286
Elmar Schrüfer, Leonhard Reindl und Bernhard Zagar. Elektrische Messtechnik, Carl Hanser Verlag, 2018	286
Reinhard Lerch: Elektrische Messtechnik, Springer Vieweg, 2016.....	286
Lerch, Kaltenbacher, Lindinger, Sutor: Elektrische Messtechnik Übungsbuch, Springer, 2005.....	286
Thomas Mühl: Elektrische Messtechnik. Grundlagen, Messverfahren, Anwendungen. Springer Vieweg, 2017.....	287
Hans-Rolf Tränkler und Leonhard M. Reindl (Hrsg.): Sensortechnik. Handbuch für Praxis und Wissenschaft. Springer Vieweg, 2018	287

Lothar Litz: Wahrscheinlichkeitstheorie für Ingenieure – Grundlagen, Übungen, Anwendungen. Bookboon, 2015. Lothar Litz: Zufallsvariablen für Ingenieure. Bookboon, 2015.....	287
Gert Hagmann: Grundlagen der Elektrotechnik. Aula-Verlag, 2013.....	288
Michael Felleisen: Elektrotechnik für Dummies. WILEY-VCH, 2019.....	288

Anhang A: Lösungen der Übungsaufgaben..... 289

Übungsaufgabe 1.....	289
Übungsaufgabe 2.....	290
Übungsaufgabe 3.....	291
Übungsaufgabe 4.....	291

Abbildungsverzeichnis..... 293

Stichwortverzeichnis..... 301