

# Kompendium Messtechnik

## Online-Messgrößen in Brauerei, Mälzerei und Getränkeindustrie

Hans-J. Manger

2. aktualisierte Auflage



Im Verlag der VLB Berlin

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über:  
portal.dnb.de abrufbar.

**Kontaktadresse:**

Dr. Hans-J. Manger  
Pflaumenallee 14  
15234 Frankfurt (Oder)  
Email: hans.manger@t-online.de

2. aktualisierte Auflage 2020

ISBN 978-3-921690-92-5

© VLB Berlin, Seestraße 13, D-13353 Berlin, [www.vlb-berlin.org](http://www.vlb-berlin.org)

Titelfoto: Adobe Stock #217012919

Alle Rechte, insbesondere die Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil des Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen in Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form.

Herstellung: VLB Berlin, PR- und Verlagsabteilung  
Druck: CPI buchbücher.de GmbH, Birkach

## Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	10
Vorwort	11
1. Einleitung	12
2. Begriffe und Grundlagen der Messtechnik	15
3. Physikalisch-technische Einheiten in der Brau-, Malz- und Getränkeindustrie	20
4. Das Messen physikalischer Größen und die Bewertung der Messergebnisse	21
5. Die Angabe eines Messergebnisses	25
6. Anforderungen an die Messtechnik in Brauerei und Mälzerei	26
6.1 Anforderungen an die Messunsicherheit	26
6.2 Anforderungen des Einbauortes und der Reinigung/Desinfektion	27
6.2.1 Werkstoffe	28
6.2.2 Werkstoff-Oberflächen	28
6.2.3 Dichtungswerkstoffe	28
6.2.4 Einbau von Sensoren zur Onlinemessung von Prozessgrößen	28
6.2.5 Anschluss und Austauschbarkeit der Sensoren	32
6.2.6 Eignung für die CIP-Reinigung und Desinfektion bzw. SIP-Sterilisation	33
6.3 Anforderungen an die Gestaltung von Rohrleitungen und Anlagen im Hinblick auf kontaminationsfreies Arbeiten	35
6.4 Anforderungen der Betriebssicherheit und Anlagensicherheit	38
6.5 Anforderungen der Wartung und Instandhaltung	39
6.6 Kalibrierung der Sensoren, Eichung	39
7. Werkstoffe für Sensoren, Armaturen, Rohrleitungen und Dichtungen	41
7.1 Metallische Werkstoffe	41
7.1.1 Kennzeichnung mit dem Kurznamen	41
7.1.2 Korrosionsarten	43
7.1.3 Das Schweißen	44
7.1.4 Reinigung/Desinfektion und Pflege des Edelstahl	46
7.1.5 Oberflächenzustand	47
7.2 Kunststoffe	48
7.3 Dichtungswerkstoffe in der Getränkeindustrie	49
7.3.1 Eigenschaften der Dichtungswerkstoffe	50

7.3.2 Unterscheidungsmöglichkeiten für Elastomere	51
7.3.3 Dichtungswerkstoffe	51
7.3.4 Hinweise zur Beständigkeit der Dichtungswerkstoffe	52
7.3.5 Schmierstoffe für Dichtungen	53
7.3.6 Form der Dichtungen	54
7.3.6.1 Form-Dichtungen	54
7.3.6.2 Flachdichtungen	54
7.3.7 Haltbarkeit von Dichtungen	55
8. Die Darstellung der erforderlichen Messtechnik in R+I-Fließschemata	56
9. Wichtige Messgrößen in Brauerei und Mälzerei und ihre technische Realisierung	60
9.1 Temperatur-Messung	60
9.2 Druck-Messung	63
9.3 Durchflussmengen- und Massenstrom-Messung	66
9.3.1 Volumen- und Volumenstrom-Messung	66
9.3.1.1 Woltman-Zähler	67
9.3.1.2 Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte (MID)	67
9.3.1.3 Wirbel-Messgeräte	68
9.3.1.4 Schwebekörper-Messgeräte	69
9.3.1.5 Ultraschall-Durchflussmessung	70
9.3.1.6 Sonstige Durchflussmessgeräte	70
9.3.1.7 Anemometer	70
9.3.1.8 Durchflussanzeiger	70
9.3.2 Massen- und Massenstrom-Messung	71
9.3.3 Strömungswächter	72
9.3.3.1 Mechanische Prinzipien	73
9.3.3.2 Erfassung von Temperaturänderungen	73
9.3.3.3 Druckänderungen	73
9.3.3.4 Frequenzänderungen	73
9.3.3.5 US-Sensoren	73
9.3.4 Durchflussmessung auf thermischer Grundlage	73
9.3.5 Laser-Doppler-Verfahren	74
9.4 Füllstands-Messung	74
9.4.1 Füllstandsmessung bei Schüttgütern	74
9.4.2 Füllstandsmessung bei Flüssigkeiten	74
9.4.2.1 Messung mit Standglas	75
9.4.2.2 Hydrostatische Messung	75
9.4.2.2 Kapazitive Messung	76
9.4.2.3 Indirekte Messung	76
9.4.2.4 Echolot-Technik und Ultraschall-Sensoren	77
9.4.3 Grenzwertsonden für die Füllhöhe	77
9.4.3.1 Grenzwertbildung	78
9.4.3.2 Vibrationssonden	78

9.4.3.3	Konduktive Sonden	78
9.4.3.4	Ultraschallsonden	78
9.4.3.5	Drehmelder	79
9.4.3.6	Schwimmer-Schalter	79
9.5	Leitfähigkeits-Messung	79
9.5.1	Grundlagen der Leitfähigkeitsmessung	79
9.5.2	Messung der Leitfähigkeit in der Praxis	81
9.5.2.1	Konduktiven Messung	81
9.5.2.2	Induktive Leitfähigkeitsmessung	81
9.5.3	Temperatureinfluss auf die Messgröße	82
9.5.4	Einfluss der Konzentration auf die Messgröße	83
9.5.5	Spezifische Leitfähigkeit von Reinigungsmitteln	84
9.5.6	Spezifische Leitfähigkeit von Wasser	85
9.5.6.1	Trennung der Reinigungsmedien im CIP-Rücklauf	86
9.5.6.2	Trennung von Produkt und Wasser	87
9.6	Bestimmung der Masse	87
9.6.1	Selbsttätige Schüttwaagen	88
9.6.2	Kontinuierliche Waagen	90
9.7	Dichte-Messung	91
10.	Optische Messverfahren und Sensoren	92
10.1	Überblick zu optischen Sensoren und Messverfahren	92
10.2	Einsatzorte für optische Sensoren und Anforderungen	94
10.3	Prinzipieller Aufbau eines optischen Sensors	94
10.4	Messprinzipien bei optischen Sensoren	96
10.5	Grundlagen der optischen Messtechnik	97
10.5.1	Lichtabsorption	97
10.5.2	Streulichtmessung	100
10.5.3	Messwellenlänge	102
10.5.4	Einheiten der optischen Strahlung	103
10.5.5	Werkstoffe für optische Sensoren	103
10.6	Vorteile optischer Sensoren	103
10.7	Anwendungsbeispiele für den Einsatz optischer Sensoren	104
10.7.1	Transmissionsmessung	104
10.7.2	Trübungsmessung	105
10.7.3	Farbmessung	112
10.7.4	Refraktionsmessung (Refraktometrie)	113
10.7.5	Polarisationsmessung (Polarimetrie)	115
10.7.6	NIR-Messverfahren	116
10.7.7	Faseroptik	116
10.7.8	Fluoreszenzmessung	116
10.7.9	Trennung mischbarer Medien	117
10.7.10	Trennung nicht miteinander mischbarer Medien	117

10.7.11 Partikelzähler (Hefe)	117
10.7.12 Bestimmung von Peressigsäure	118
10.7.13 Staubgehaltsmessung/Streulicht	118
10.7.14 Lichtschranken	119
10.7.15 Erfassung von Biofilmen	119
10.7.16 Absorptionsmessung	124
11. Die Messung des Sauerstoffgehaltes	125
11.1 Bedeutung des Sauerstoffgehaltes und der Sauerstoffmessung	125
11.2 Messung des Sauerstoffs in Flüssigkeiten und Gasen	126
11.3 Allgemeine Funktionsweise amperometrischer O <sub>2</sub> -Sensoren	127
11.3.1 Prinzipieller Aufbau von O <sub>2</sub> -Elektroden nach dem <i>Clark</i> -Prinzip	128
11.3.2 Aufbau von O <sub>2</sub> -Sensoren mit Schutzkathode	128
11.3.4 Einflussgrößen auf den Elektrodenstrom	130
11.3.5 Messbereiche und Einsatzgrenzen	134
11.3.6 Elektrolyt- und Membranwechsel	134
11.3.7 Kalibrierung eines O <sub>2</sub> -Sensors	134
11.3.8 Handhabung, Einbauvarianten und Zubehör für Sauerstoff- sensoren und Messwertauswertung	135
11.3.9 Sauerstoff-Sensoren von Orbisphere	139
11.3.10 Werkstoffe	142
11.3.11 Elektrodenreinigung und Wartung	142
11.4 Potentiostatische Sensoren	143
11.4.1 Messprinzip der potentiostatischen Sauerstoffmessung	143
11.4.2 Messgerät zur potentiostatischen Sauerstoffmessung	144
11.4.3 Kalibrieren des Sensors	146
11.5 Sensor mit Festelektrolyt	146
11.6 Optische Sensoren	149
12. Die Messung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes	155
12.1 Einführung	155
12.2 Kohlensäure als Messobjekt	156
12.3 Bestimmung der CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Raumluft	156
12.4 Messung der CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Gasphase	157
12.5 Ermittlung der Reinheit des Kohlendioxides	158
12.6 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes in Getränken	159
12.6.1 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes durch Titration	160
12.6.2 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes durch Messung des CO <sub>2</sub> - Partialdruckes in der Gasphase	161
12.6.3 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes durch Messung des CO <sub>2</sub> - Partialdruckes in der flüssigen Phase	163
12.6.4 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes mittels Membransensoren	170
12.6.5 Berechnung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes aus den Parametern Druck und Temperatur	173

12.6.6	Berechnungsgleichungen für verschiedene Getränke	176
12.6.7	Kalibrierung	177
12.6.8	Optische CO <sub>2</sub> -Sensoren	177
12.6.9	Zusammenfassung	180
13.	Messung des pH-Wertes	181
13.1	Einführung zum pH-Wert	181
13.2	Bedeutung des pH-Wertes	182
13.3	Messung des pH-Wertes mit Glaselektroden	182
13.3.1	Möglichkeiten zur Messung des pH-Wertes	183
13.3.2	Messelektrode	184
13.3.3	Bezugselektrode	185
13.3.4	Einstabmessketten	185
13.3.5	Messverstärker	186
13.4	Abhängigkeiten des gemessenen pH-Wertes	187
13.5	Kalibrierung eines Messsystems	187
13.6	Messen des pH-Wertes	187
13.7	pH-Wert-Onlinemessung	188
13.8	Glaslose Elektroden	190
13.8.1	Messprinzip der glaslosen Elektrode für die pH-Wert-Messung	190
13.8.2	Vorteile der ISFET-Technologie	191
13.8.3	Besonderheiten von ISFET-pH-Elektroden	191
13.8.4	Vergleichbarkeit von Messwerten	191
13.8.5	Hygienischer Einsatz von Messsystemen	193
13.8.6	Hinweise für den Einsatz in der Brauerei	193
14.	Messung der Feuchte	194
14.1	Die Zustandsgleichung eines idealen Gases lautet:	194
14.2	Enthalpie der Luft:	197
14.3	Das h,x-Diagramm für feuchte Luft	197
14.4	Messgeräte für die Bestimmung der Feuchte	200
15.	Die Chlordioxid- und Chlorit-Messung	202
15.1	Chlordioxid - ein wirkungsvolles Desinfektionsmittel	202
15.2	Anwendungen in der Gärungs- und Getränkeindustrie	202
15.3	Konzentrationsermittlung bei Chlordioxid-Lösungen	204
15.4	Onlinemessung von Chlordioxid	205
15.5	Onlinemessung von Chlorit	210
16.	Die PES-Messung	212
16.1	Peressigsäure – ein wirkungsvolles Desinfektionsmittel	212
16.2	Die Konzentrationsermittlung bei PES-Lösungen	213
16.2.1	Messmöglichkeiten für eine Onlinemessung	214
16.2.2	PES-Sensor	215

16.2.3 Elektrodenreaktionen	216
16.2.4 Titrationsvorschrift zur Bestimmung der PES-Konzentration	217
17. Zellkonzentrationsmessungen	219
17.1 Die Dosierung der Anstellhefe und ihre Kontrollverfahren	219
17.2 Dosierung nach Volumen	219
17.3 Dosierung nach Masse	221
17.4 Onlinebestimmung der Zellmenge	221
17.4.1 Dosierung durch Differenz-Trübungsmessung	221
17.4.2 Dosierung durch Erfassung der Teilchenzahl in der angestellten Würze	222
17.4.3 Vitalität der Anstellhefe	224
18. Messungen im Kessel- und Maschinenhaus	225
18.1 Kesselhaus	225
18.2 Maschinenhaus	229
19. Messungen im Abwasser	230
20. Sonstige Messungen	232
20.1 Stammwürze-Messung	232
20.2 Ethanol-Messung	233
20.3 Diacetyl-Messung	236
20.4 Analysenautomaten für Bier und Getränke	235
20.5 Viskosität	236
20.6 Ammoniak-Konzentration	237
20.7 Gase in Gär- und Lagerkellern und Schankanlagen	237
20.8 Überwachung der Raumluft auf Chemikalien	238
20.9 Fremdstoffinspektion im MW-Leergut	238
20.9.1 Allgemeine Bemerkungen	238
20.9.2 Analyse der Behälterrestflüssigkeit	239
20.9.3 Erkennung von aromatischen Verbindungen	239
20.9.4 Erkennung von Kohlenwasserstoffen	239
20.9.5 Erkennung von organischen Verbindungen	239
20.10 Sensoren für Ozon, Stickstoff und Wasserstoff	239
20.11 Onlinemessungen im Betrieb und an Füllanlagen	241
20.12 Stickstoff	241
21. Das Zählen in der Brauerei und Getränkeindustrie	243
22. Die Registrierung von Messwerten und Messwert-Fernübertragung	244
23. Die Verwendung korrekter Bezeichnungen und Schreibweisen	246
23.1 Probleme beim Umgang mit physikalischen Größen	246
23.2 Probleme beim Gebrauch des Begriffes Leistung	248
23.3 Probleme beim Gebrauch des Begriffes Masse	248
23.4 Gebrauch von Vorsätzen	249
23.5 Sonstige Begriffe	250



23.6 Eichen, Kalibrieren und Justieren	252
23.7 Schreibweise von Prozentangaben	253
23.8 Verbesserung der Lesbarkeit von großen Zahlen, Telefonnummern und ähnlichem	253
Anhang physikalisch-technische Messgrößen und ihre Umrechnung	256
Länge	256
Fläche	256
Volumen	256
Masse	258
Kraft	258
Druck	258
Arbeit/Energie/Wärmemenge	259
Leistung	259
volumetrische Kälteleistung	260
spezifische Wärme	260
spezifische Enthalpie	260
Wärmeleitfähigkeit	260
Wärmeübergangskoeffizient, Wärmedurchgangskoeffizient	260
Wärmestromdichte	260
dynamische Viskosität	261
kinematische Viskosität	261
Oberflächenspannung	261
Geschwindigkeit	261
ebener Winkel	261
Winkelgeschwindigkeit	262
Temperatur	262
Wasserhärte	262
Sonstige Einheiten	262
Weiterführende Literatur	263
Stichwortverzeichnis	265
Quellennachweis	273