



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Chemieberufe

# **Fachwissen Chemie 2**

**Erweiterte Qualifikationen für Laborberufe**

**2. aktualisierte Auflage**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselderger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten  
**Europa-Nr.: 69956**

---

**Autoren:**

Dr. Henrik Althaus	StR, Dipl. Chem.	Stade
Peter Brackmann	Ausbildungsleiter Chemie- u. Biologielaboranten	Bremen
Dr. Astrid Grote-Wolff	Dipl.-Chem.	Nottuln
Dr. Heinz Hug	OStR i. R., Dipl.-Chem.	Wiesbaden
Helmut Keim	OStR i. R., Dipl.-Ing.	Mülheim a. d. R.
Dr. Heribert Keweloh	Priv.-Doz.	Oberhausen
Prof. Dr. Peter Kurzweil	Dipl.-Chem.	Amberg
Dr. Thomas Meyer	StD, Dipl.-Chem.	Holzminden

Unter Mitwirkung von Herrn Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz, Waldbronn

**Leitung des Arbeitskreises:**

Dr. Thomas Meyer

**Verlagslektorat:**

Dr. Astrid Grote-Wolff

**Bildbearbeitung:**

Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar  
Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

2. Auflage 2016

Druck 5 4 3

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-6293-2

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

© 2016 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

**Satz:** Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

**Umschlaggestaltung:** Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar,  
nach dem Entwurf von Dr. Thomas Meyer

Umschlagfoto: ©corneliap-depositphotos.com

**Druck:** LD Medienhaus GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund, [www.ld-medienhaus.de](http://www.ld-medienhaus.de)

## Vorwort

Mit der rasanten Entwicklung der Wissenschaft Chemie, der chemischen Analytik und der chemischen Verfahrenstechnik geht die zunehmende fachliche Spezialisierung der Fachkräfte in Chemielaboratorien einher. Bereits während der Ausbildung findet eine Vertiefung der Kenntnisse auf den im fachpraktischen Teil der Ausbildung relevanten Wissensgebieten statt.

Das Lehrbuch „**Fachwissen Chemie 2: Erweiterte Qualifikationen für Laborberufe**“ baut auf den chemischen Grundlagen auf, die im ersten Band dieser Fachbuchreihe vermittelt wurden. Abgestimmt auf den Rahmenlehrplan für die Ausbildung zum **Chemielaboranten/zur Chemielaborantin** sowie angelehnt an die Lehrpläne der Berufsfachschule für die Ausbildung zum **Chemisch-technischen Assistent/zur Chemisch-technischen Assistentin** werden die Qualifikationen der Fachstufe bis zum Teil 2 der gestreckten Abschlussprüfung auf einem an der bundeseinheitlichen Prüfung der Chemielaboranten orientierten Niveau vermittelt. Auch **Schüler** und **Auszubildende anderer naturwissenschaftlicher Bildungsgänge** sowie Studierende an **Hochschulen** und **Universitäten** können mit diesem Buch ihre im Studium zu erwerbenden Fachkenntnisse über ein fundiertes Grundwissen der Chemie hinaus vertiefen.

### Die fachlichen Schwerpunkte des Lehrwerks:

- **Qualitätsmanagementsysteme, Qualitätswerkzeuge** und **mathematisch-statistische Verfahren** werden anhand anschaulicher Beispiele und unterstützt durch Grafiken erläutert.
- Auf der Basis der vermittelten grundlegenden Kenntnisse zur **Probenahme, Probenbehandlung** und **Probenvorbereitung** wird der Leser dazu befähigt, sich anhand aktueller Publikationen das fallspezifische Spezialwissen anzueignen.
- **Volumetrische** und **gravimetrische Analyse** sowie **chromatografische Trenntechniken**, wie **GC** und **HPLC**, werden genauso behandelt wie die Grundlagen **spektrometrischer Verfahren**, wie die **Atomabsorptionsspektrometrie AAS** und die **Röntgenfluoreszenzanalyse RFA**.
- Auf die systematische Darstellung von **Reaktionsmechanismen der organischen Chemie** folgen die Strukturaufklärung organischer Verbindungen mithilfe der **UV/Vis-, IR-, <sup>1</sup>H-NMR-** und **<sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie** sowie der **Massenspektrometrie**.
- Für die Probenahme in **großtechnischen Prozessen** unerlässlich sind Kenntnisse von Produktionsprozessen, der Darstellung von Produktionsanlagen in RI-Fließbildern sowie der Funktionsweise und Eigenschaften der verschiedenen Anlagenbestandteile.
- Im Kapitel **Werkstofftechnik** erhält der Leser einen Überblick über Werkstoffarten, moderne Werkstoffprüfverfahren sowie über rheologische Bestimmungen in der Praxis.
- Grundlegende Kenntnisse zur **Elektrochemie** und **Elektrotechnik** werden schrittweise dargestellt. Hierauf aufbauend werden elektrochemische Vorgänge im großtechnischen Prozess, wie **Galvanik** und **Elektrolyse**, sowie die **elektrochemischen Analyseverfahren** verständlich gemacht.
- Das Kapitel zur **Biotechnologie** ermöglicht auf der Basis der biologischen Grundlagen einen Einblick in die modernen Methoden der **Mikrobiologie** und **Biotechnik**.
- Eine Auswahl der genannten Stoffe ist mit ihrer **Gefahrstoffkennzeichnung nach GHS** im Anhang aufgeführt.

In der **2. Auflage** wurden die Hinweise unserer Leser berücksichtigt sowie nach gründlicher Durchsicht Texte und Bilder weiter optimiert und aktualisiert.

Unseren Leserinnen und Lesern wünschen wir viel Freude und Erfolg beim Erlernen und Erforschen der erweiterten Qualifikationen für Laborberufe. Hinweise und Ergänzungen, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Buches beitragen, werden unter der Verlagsadresse oder per E-Mail (lektorat@europa-lehrmittel.de) dankbar entgegengenommen.

<b>1</b>	<b>Qualität und Qualitätssysteme (Lernfelder 6a, 7, 8, 11)</b> .....	<b>11</b>
1.1	<b>Qualität</b> .....	<b>11</b>
1.2	<b>Qualitätsmerkmale</b> .....	<b>15</b>
1.3	<b>Fehler</b> .....	<b>16</b>
1.4	<b>Qualitätssysteme</b> .....	<b>19</b>
1.4.1	Qualitätskontrolle QK und Qualitätssicherung QS.....	19
1.4.2	Qualitätsmanagement QM.....	20
1.4.3	Totales Qualitätsmanagement TQM.....	26
1.4.4	Gute Laborpraxis GLP.....	28
1.4.5	<i>Good Manufacturing Practice</i> GMP.....	30
1.4.6	CE-Kennzeichnung.....	30
1.5	<b>Mathematisch-statistische Methoden zur Kontrolle und Überwachung von Qualität</b> .....	<b>32</b>
1.5.1	Median $m$ .....	32
1.5.2	Arithmetisches Mittel $\bar{x}$ .....	33
1.5.3	Varianz $s^2$ und Standardabweichung $s$ .....	34
1.5.4	Variationskoeffizient $v$ .....	38
1.5.5	Spannweite $R$ .....	39
1.6	<b>Q7 – Werkzeuge der Qualität</b> .....	<b>39</b>
1.6.1	Fehlersammelliste.....	40
1.6.2	Qualitätsregelkarte.....	41
1.6.3	Histogramm.....	44
1.6.4	Korrelationsdiagramm.....	45
1.6.5	<i>Pareto</i> -Diagramm.....	46
1.6.6	<i>Brainstorming</i> .....	47
1.6.7	Ursache-Wirkungs-Diagramm.....	49
1.7	<b>Fehlermöglichkeits- und Fehlereinfluss-Analyse</b> .....	<b>50</b>
1.8	<b>Validierung</b> .....	<b>52</b>
	<b>Aufgaben zu Kapitel 1</b> .....	<b>56</b>
<b>2</b>	<b>Probenahme, Probenbehandlung und Probenvorbereitung (Lernfelder 7, 9, 10)</b> .....	<b>57</b>
2.1	<b>Analyse von Proben</b> .....	<b>58</b>
2.2	<b>Probenahme</b> .....	<b>59</b>
2.2.1	Ort und Zeit der Probenahme, Festlegung der Grundgesamtheit.....	60
2.2.2	Probenahmeverfahren bei Ortsabhängigkeit der Parameter.....	61
2.2.3	Probenahmeverfahren bei Zeitabhängigkeit der Parameter.....	62
2.2.4	Probenahmegeräte für Feststoffe.....	63
2.2.5	Probenahmegeräte für Flüssigkeiten.....	64
2.2.6	Probenahmegeräte für Gase.....	65
2.2.7	Probenmenge.....	67
2.2.8	Probengefäße.....	69
2.3	<b>Messungen vor Ort</b> .....	<b>70</b>
2.4	<b>Probenkonservierung und -transport</b> .....	<b>71</b>
2.5	<b>Probenahmeprotokoll</b> .....	<b>72</b>
2.6	<b>Probenvorbereitung</b> .....	<b>73</b>
2.6.1	Homogenisierung, Probenverjüngung und Probenteilung.....	74

2.6.2	Lösen der festen Analysenprobe.....	77
2.6.3	Abtrennen von Analyt und Störsubstanzen .....	79
2.6.4	Einstellen einer geeigneten Analytkonzentration .....	80
<b>2.7</b>	<b>Externe Kalibrierung und Messung .....</b>	<b>81</b>
<b>2.8</b>	<b>Auswertung, Dokumentation und Qualitätssicherung.....</b>	<b>82</b>
	<b>Aufgaben zu Kapitel 2 .....</b>	<b>82</b>
<b>3</b>	<b>Reaktionen organischer Präparate (Lernfelder 6a, 6b, 11).....</b>	<b>83</b>
<b>3.1</b>	<b>Additionsreaktionen an C–C-Mehrfachbindungen .....</b>	<b>83</b>
3.1.1	Struktur der Alkene.....	83
3.1.2	Reaktionen der Alkene.....	84
3.1.3	Reaktionen der Alkine.....	92
<b>3.2</b>	<b>Reaktionen aromatischer Verbindungen.....</b>	<b>94</b>
3.2.1	Struktur des Benzols und Aromatizität .....	94
3.2.2	Elektrophile aromatische Substitution und Folgereaktionen.....	96
3.2.3	Zweit- und Mehrfachsubstitution .....	103
3.2.4	Reaktionen von Diazoniumverbindungen .....	109
3.2.5	Nucleophile aromatische Substitution.....	112
<b>3.3</b>	<b>Substitution und Eliminierung.....</b>	<b>113</b>
3.3.1	Substitutionsreaktionen der Halogenalkane .....	114
3.3.2	Eliminierungsreaktionen der Halogenalkane .....	121
3.3.3	Substitutionsreaktionen der Alkohole.....	123
3.3.4	Eliminierungsreaktionen von Alkoholen.....	124
3.3.5	Oxidation von Alkoholen.....	125
3.3.6	Reaktionen der Amine .....	126
3.3.7	Reaktionen der Ether und Oxirane (Epoxide) .....	127
<b>3.4</b>	<b>Carbonylverbindungen.....</b>	<b>129</b>
3.4.1	Reaktionen der Carbonsäuren und deren Derivate.....	129
3.4.2	Reaktionen der Aldehyde und Ketone .....	137
<b>3.5</b>	<b>Stereochemie organischer Stoffe .....</b>	<b>144</b>
3.5.1	Asymmetrisch substituierte Kohlenstoffatome.....	145
3.5.2	Optische Aktivität.....	146
3.5.3	Verbindungen mit mehreren chiralen Zentren .....	147
<b>3.6</b>	<b>Makromoleküle.....</b>	<b>149</b>
3.6.1	Natürliche Makromoleküle.....	150
3.6.2	Synthetische Makromoleküle .....	151
3.6.3	Synthetisch veränderte Naturstoffe .....	156
	<b>Aufgaben zu Kapitel 3 .....</b>	<b>158</b>
<b>4</b>	<b>Volumetrische und gravimetrische Analyse (Lernfeld 7) .....</b>	<b>161</b>
<b>4.1</b>	<b>Volumetrische Analyse .....</b>	<b>161</b>
4.1.1	Äquivalenzpunkterkennung .....	162
4.1.2	Maßlösungen .....	165
4.1.3	Titrationstechniken .....	172
4.1.4	Säure-Base-Titration .....	173

4.1.5	Redoxtitration.....	180
4.1.6	Komplexometrische Titration .....	187
4.1.7	Fällungstitration.....	191
4.1.8	Spezielle Titrationsen .....	195
<b>4.2</b>	<b>Gravimetrische Analyse .....</b>	<b>203</b>
4.2.1	Gravimetrische Fällungsanalyse .....	203
4.2.2	Feuchtigkeits- und Trockengehalt, Glührückstand .....	206
4.2.3	Thermogravimetrie.....	207
4.2.4	Elektrogravimetrie .....	208
	<b>Aufgaben zu Kapitel 4 .....</b>	<b>209</b>

## **5 Chromatografische Trenntechniken (Lernfeld 8) .....211**

<b>5.1</b>	<b>Gaschromatografie GC.....</b>	<b>211</b>
5.1.1	Trägergase .....	211
5.1.2	Probenaufgabe.....	214
5.1.3	Injektionssysteme .....	216
5.1.4	Säulenofen und Säulen.....	218
5.1.5	Detektoren .....	224
5.1.6	Fehlersuche und Optimierung.....	229
<b>5.2</b>	<b>Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatografie HPLC.....</b>	<b>231</b>
5.2.1	Eluentenförderung.....	231
5.2.2	Injektionssystem .....	233
5.2.3	Säulen und Trennung .....	234
5.2.4	Detektion.....	238
5.2.5	Fehlersuche .....	240
<b>5.3</b>	<b>Spezielle chromatografische Methoden.....</b>	<b>241</b>
5.3.1	Ionenchromatografie .....	241
5.3.2	Elektrophorese .....	244
	<b>Aufgaben zu Kapitel 5 .....</b>	<b>246</b>

## **6 Spektroskopie (Lernfeld 9).....249**

<b>6.1</b>	<b>Grundgrößen der Wellenlehre.....</b>	<b>249</b>
<b>6.2</b>	<b>Quantenprinzip und Energie.....</b>	<b>251</b>
<b>6.3</b>	<b>Spektrenarten .....</b>	<b>253</b>
<b>6.4</b>	<b>Aufbau von Spektralapparaten .....</b>	<b>254</b>
6.4.1	Signalauftrennung.....	254
6.4.2	Detektion und Auswertung .....	256
<b>6.5</b>	<b>Bouguer-Lambert-Beer-Gesetz.....</b>	<b>257</b>
<b>6.6</b>	<b>Atomabsorptionsspektrometrie (AAS).....</b>	<b>260</b>
6.6.1	Aufbau eines Atomabsorptionsspektrometers .....	262
6.6.2	Strahlungsquellen.....	263
6.6.3	Atomisierung.....	264
6.6.4	Störungen der Atomabsorptionsspektrometrie .....	266
6.6.5	AAS-Quantifizierung mittels Standardadditionsverfahren .....	267
<b>6.7</b>	<b>Plasma-Emissionsspektrometrie.....</b>	<b>268</b>

6.7.1	Plasmafackel.....	268
6.7.2	Polychromatoren in der Plasma-Emissionsspektrometrie .....	269
6.7.3	Vergleich von AAS und ICP-OES .....	270
<b>6.8</b>	<b>Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) .....</b>	<b>270</b>
	<b>Aufgaben zu Kapitel 6 .....</b>	<b>273</b>

## **7 Strukturaufklärung organischer Verbindungen (Lernfeld 10) .....275**

<b>7.1</b>	<b>Organisch-analytische Vorproben.....</b>	<b>275</b>
<b>7.2</b>	<b>Elementaranalyse und Molmassenbestimmung .....</b>	<b>278</b>
<b>7.3</b>	<b>UV/Vis-Spektroskopie .....</b>	<b>280</b>
7.3.1	Anregung von Elektronen in Molekülen .....	280
7.3.2	UV/Vis-Spektrometer .....	282
7.3.3	Absorptionsspektroskopie an Molekülen .....	284
7.3.4	Anwendungen der UV/Vis-Spektroskopie .....	286
<b>7.4</b>	<b>Infrarot-Spektroskopie (IR) .....</b>	<b>290</b>
7.4.1	Molekülschwingungen und Rotationen.....	290
7.4.2	Angewandte IR-Spektroskopie .....	291
7.4.3	Auswertung von IR-Spektren.....	293
7.4.4	Nahinfrarot-Spektroskopie (NIR) in der Anwendungspraxis .....	299
7.4.5	Raman-Spektroskopie .....	300
<b>7.5</b>	<b>Massenspektrometrie (MS) .....</b>	<b>301</b>
7.5.1	Molekülpeaks und Fragmente .....	301
7.5.2	Auswertung von Massenspektren.....	304
<b>7.6</b>	<b>Kernspinresonanz-Spektroskopie (NMR) .....</b>	<b>309</b>
7.6.1	Kernspin und NMR-Signale .....	309
7.6.2	Auswertung von <sup>1</sup> H-NMR-Spektren .....	310
7.6.3	Auswertung von <sup>13</sup> C-NMR-Spektren .....	314
7.6.4	Spezielle NMR-Techniken in der Anwendungspraxis.....	316
<b>7.7</b>	<b>Strukturaufklärung mit kombinierten Methoden.....</b>	<b>318</b>
7.7.1	Aromastoff.....	318
7.7.2	Weckamin .....	320
7.7.3	Explosivstoff.....	321
	<b>Aufgaben zu Kapitel 7 .....</b>	<b>322</b>

## **8 Produktionsprozesse überwachen (Lernfeld 12) .....323**

<b>8.1</b>	<b>Vom Labormaßstab zum chemischen Produktionsprozess .....</b>	<b>323</b>
<b>8.2</b>	<b>Darstellung eines chemischen Produktionsprozesses.....</b>	<b>323</b>
8.2.2	RI-Fließbild .....	324
8.2.3	RI-Fließbild einer Umkristallisation.....	326
<b>8.3</b>	<b>Komponenten einer chemischen Produktionsanlage .....</b>	<b>328</b>
<b>8.4</b>	<b>Rohrleitungen .....</b>	<b>329</b>
8.4.1	Nennweite DN .....	329
8.4.2	Nenndruck PN .....	329
8.4.3	Kennzeichnung von Rohrleitungen .....	330
<b>8.5</b>	<b>Armaturen .....</b>	<b>330</b>

8.5.1	Absperrarmaturen .....	331
8.5.2	Sicherheitsarmaturen .....	332
8.5.3	Armaturen mit anderen Aufgaben .....	333
<b>8.6</b>	<b>Fördereinrichtungen</b> .....	<b>334</b>
8.6.1	Fördern von Flüssigkeiten .....	334
8.6.2	Zentrifugalpumpen .....	334
8.6.3	Verdrängerpumpen .....	336
8.6.4	Strahlpumpen .....	338
8.6.5	Fördern und Verdichten von Gasen, Erzeugung von Unterdruck .....	338
8.6.6	Fördern von Feststoffen .....	340
<b>8.7</b>	<b>Zerkleinern von Feststoffen</b> .....	<b>341</b>
8.7.1	Brecher .....	341
8.7.2	Mühlen .....	342
<b>8.8</b>	<b>Behälter und Reaktoren</b> .....	<b>344</b>
8.8.1	Rührbehälter .....	344
8.8.2	Reaktoren .....	345
<b>8.9</b>	<b>Heiz- und Kühltechnik</b> .....	<b>347</b>
8.9.1	Energieträger .....	347
8.9.2	Heizen und Kühlen von Rührbehältern .....	349
8.9.3	Wärmeaustauscher und Kondensatoren .....	350
<b>8.10</b>	<b>Thermisches Trennen</b> .....	<b>352</b>
8.10.1	Trocknen .....	352
8.10.2	Verdampfen .....	354
8.10.3	Kristallisieren .....	354
<b>8.11</b>	<b>Mechanisches Trennen</b> .....	<b>355</b>
8.11.1	Trennen von Feststoffgemischen .....	355
8.11.2	Trennen von Suspensionen .....	357
8.11.3	Trennen von Emulsionen .....	361
<b>8.12</b>	<b>Prozessleittechnik</b> .....	<b>362</b>
8.12.1	Aufbau eines Prozessleitsystems (PLS) .....	362
8.12.2	Messtechnik .....	364
8.12.3	Steuerungstechnik .....	374
8.12.4	Regelungstechnik .....	378
	<b>Aufgaben zu Kapitel 8</b> .....	<b>381</b>

## **9 Werkstofftechnik (Lernfeld 13) .....383**

<b>9.1</b>	<b>Einteilung, Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe</b> .....	<b>383</b>
9.1.1	Allgemeine Werkstoffeigenschaften .....	383
9.1.3	Gläser .....	385
9.1.4	Keramiken .....	385
9.1.5	Verformung der Metalle .....	386
9.1.6	Gitterdefekte und Gefüge .....	386
9.1.7	Legierungen .....	387
<b>9.2</b>	<b>Zustandsschaubilder</b> .....	<b>387</b>
9.2.1	<i>Gibbssche</i> Phasenregel .....	387
9.2.2	Binäre Systeme .....	388



9.2.3	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen .....	391
9.2.4	Legierte Stähle .....	394
<b>9.3</b>	<b>Werkstoffprüfung .....</b>	<b>395</b>
9.3.1	Mechanische Werkstoffprüfung.....	396
9.3.2	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung.....	400
9.3.3	Metallographie und Ätzverfahren.....	403
9.3.4	Chemisch-physikalische Analyseverfahren .....	406
<b>9.4</b>	<b>Korrosion und Korrosionsschutz.....</b>	<b>407</b>
9.4.1	Ursachen und Korrosion .....	407
9.4.2	Erscheinungsformen der Korrosion .....	407
9.4.3	Korrosionsschutz .....	408
9.4.4	Korrosionsbeständige Werkstoffe .....	409
<b>9.5</b>	<b>Rheologische Bestimmungen in der Praxis .....</b>	<b>411</b>
	<b>Aufgaben zu Kapitel 9 .....</b>	<b>412</b>

**10 Elektrochemie und Elektrotechnik (Lernfeld 15, 20) .....413**

<b>10.1</b>	<b>Grundbegriffe.....</b>	<b>413</b>
10.1.1	Elektrische Ladung $Q$ .....	413
10.1.2	Elektrische Spannung $U$ .....	415
10.1.3	Elektrischer Strom $I$ .....	416
10.1.4	Elektrischer Widerstand $R$ .....	420
<b>10.2</b>	<b>Stromkreis.....</b>	<b>423</b>
10.2.1	Schaltzeichen .....	423
10.2.2	Messung von Spannung $U$ und Strom $I$ .....	423
10.2.3	Reihenschaltung .....	425
10.2.4	Parallelschaltung.....	427
10.2.5	Brückenschaltung .....	429
10.2.6	Gleichrichtung.....	431
10.2.7	Bauelemente .....	432
<b>10.3</b>	<b>Elektrochemische Vorgänge.....</b>	<b>437</b>
10.3.1	<i>Daniell</i> -Element.....	439
10.3.2	Elektrodenvorgänge .....	441
10.3.3	Standardpotentiale und Elektrochemische Spannungsreihe.....	442
10.3.4	Bezugselektroden.....	446
10.3.5	<i>Nernst</i> -Gleichung.....	448
<b>10.4</b>	<b>Galvanische Elemente.....</b>	<b>451</b>
10.4.1	Primärelemente.....	452
10.4.2	Sekundärelemente.....	453
10.4.3	Brennstoffzellen .....	454
<b>10.5</b>	<b>Elektrolyse.....</b>	<b>455</b>
10.5.1	Prinzipieller Ablauf.....	455
10.5.2	Abscheidungspotentiale und Zersetzungsspannung .....	456
10.5.3	<i>Faraday</i> -Gesetze.....	458
<b>10.6</b>	<b>Großtechnische Anwendungen .....</b>	<b>461</b>
10.6.1	Chlor-Alkali-Elektrolyse .....	461
10.6.2	Kupfer-Raffination.....	463

10.6.3	Aluminium-Darstellung .....	464
<b>10.7</b>	<b>Korrosion .....</b>	<b>464</b>
<b>10.8</b>	<b>Elektrochemische Analyseverfahren .....</b>	<b>466</b>
10.8.1	Konduktometrie .....	466
10.8.2	Potentiometrie.....	467
10.8.3	Amperometrie .....	470
10.8.4	Voltammetrie .....	472
10.8.5	Polarografie .....	474
10.8.6	Coulometrie.....	474
10.8.7	Elektrogravimetrie .....	475
	<b>Aufgaben zu Kapitel 10 .....</b>	<b>476</b>

## **11 Biotechnologie (Lernfeld 14, 17, 18).....477**

<b>11.1</b>	<b>Biologische Grundlagen .....</b>	<b>479</b>
11.1.1	Lebewesen und Eigenschaften lebender Systeme .....	480
11.1.2	Biologische Stoffklassen .....	483
11.1.3	Biologische Grundstrukturen und -funktionen.....	490
11.1.4	Zellen der Prokaryonten .....	491
11.1.5	Zellen der Eukaryonten .....	492
11.1.6	Biologische Membranen .....	495
11.1.7	Viren.....	496
11.1.8	Gene als Träger der Erbinformationen.....	497
11.1.9	Proteinbiosynthese .....	501
11.1.10	Stoffwechsel und Energieumwandlung.....	504
<b>11.2</b>	<b>Mikrobiologie .....</b>	<b>508</b>
11.2.1	Einordnung und Eigenschaften von Mikroorganismen.....	509
11.2.2	Bedeutung von Mikroorganismen für den Menschen .....	512
11.2.3	Wachstum und Vermehrung von Mikroorganismen .....	514
11.2.4	Wachstumsvoraussetzungen für Mikroorganismen .....	516
<b>11.3</b>	<b>Mikrobiologische und biotechnische Methoden .....</b>	<b>520</b>
11.3.1	Steriles Arbeiten und Sicherheitsvorkehrungen .....	520
11.3.2	Sterilisationstechniken .....	522
11.3.3	Kultivierung von Mikroorganismen .....	525
11.3.4	Keimzahlbestimmung und Wachstumsmessungen .....	530
11.3.5	Mikroskopische Methoden.....	532
	<b>Aufgaben zu Kapitel 11 .....</b>	<b>537</b>

## **A Anhang .....**

A	Liste ausgewählter Gefahrstoffe .....	539
B	RI-Fließbildsymbole nach DIN EN ISO 10628-2:2013-5 und Kennbuchstaben nach DIN 28000-3:2009-12 .....	542
	Sachwortverzeichnis.....	544
	Bildquellenverzeichnis.....	552
	Das Periodensystem der Elemente .....	Umschlaginnenseiten

# 1 Qualität und Qualitätssysteme

Betriebliche Abläufe werden von einzuhaltenden Vorgaben, Qualitätsdenken oder umfassendem Qualitätsmanagement begleitet. Qualität ist heute überall ein wichtiger Punkt, über den immer wieder gesprochen wird. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass gute Qualität den Erfolg eines Unternehmens bestimmt. Hierbei steht nicht nur die Qualität der Produkte des Unternehmens im Fokus der Qualitätsgedanken, auch betriebsinterne Abläufe können qualitativ gut sein und auf diese Weise einen betriebswirtschaftlichen Vorteil erbringen.

In allen diesen Überlegungen ist der Begriff Qualität enthalten. Er besitzt jedoch in jedem Fall eine andere Bedeutung bzw. unterschiedliche Ausprägung.

Im Laufe der historischen Entwicklung hat sich das Qualitätsdenken verändert und weiter entwickelt. Angefangen bei der Qualitätskontrolle (QK) bzw. Qualitätsprüfung und schließlich der Qualitätssicherung (QS), existiert heute in Unternehmen meist ein Qualitätsmanagement (QM) oder sogar ein *Total Quality Management* (TQM), ein umfassendes Qualitätsmanagement (Bild 1).

Der Bereich Qualität und Qualitätssysteme ist sehr komplex. Daher erfolgt die Einführung in diese Thematik schrittweise mit internen Verweisen zu weiterführenden Kapiteln, um das Vertiefen der Kapitelinhalte zu erleichtern.

## 1.1 Qualität

**Qualität** wird in den meisten Fällen unterschiedlich verstanden. Im Alltag sprechen wir von einer guten Qualität, wenn etwas genau die Eigenschaften besitzt, die wir schätzen. Jeder Hersteller wird beispielsweise von der Qualität seines Produkts überzeugt sein. Seine Kunden werden die Qualität gegebenenfalls vollkommen unterschiedlich beurteilen. Deshalb hängt Qualität mit der Sichtweise oder dem Standpunkt des Beurteilenden zusammen (Bild 2).

Der Begriff Qualität stammt vom lateinischen Wort *qualitas* ab und bedeutet Merkmal, Eigenschaft oder Beschaffenheit. Der eigentliche Begriff Qualität gibt die Eigenschaften eines Stoffes, eines Stoffsystems (Stoffgemisch), eines Prozesses oder beispielsweise auch einer Dienstleistung wieder. Qualität ist damit das Gegenstück zur **Quantität** (lat. *quantitas*: Größe, Anzahl, Menge).

**Qualität** gibt die Eigenschaften eines Stoffes, Systems, Prozesses oder einer Dienstleistung an.  
**Quantität** bezeichnet die Menge oder Anzahl von Stoffen, Objekten oder Vorgängen.

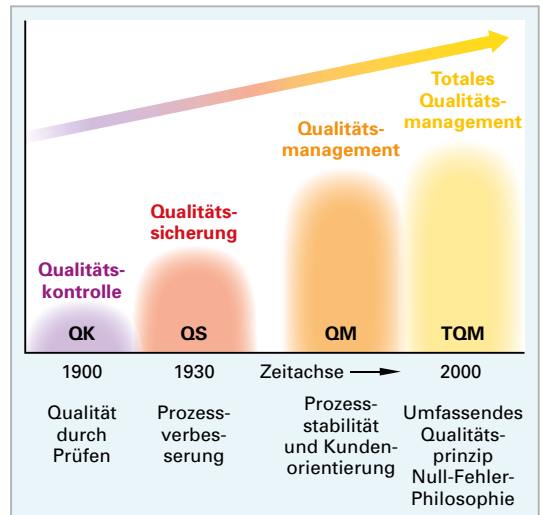


Bild 1: Entwicklungsstufen von der Qualitätskontrolle zum Total Quality Management



Bild 2: Beschreibungen für Qualität

Werden die Qualitätseigenschaften gewichtet bzw. gewertet, wird die Qualität beurteilt. Die **Güte der Eigenschaften** hängt von den Kriterien ab, nach denen die Qualität von einem Betrachter als gut, mäßig oder schlecht eingestuft wird. Diese Einstufungen geben den **Erfüllungsgrad** der Güte wieder.

**Anwendungsbeispiel zur Beurteilung von Qualität:** Die **neutrale Beschreibung** eines Stoffsystems kann qualitativ über die verschiedenen enthaltenen Moleküle geschehen. Die qualitative Beschreibung kann durch quantitative Angaben ergänzt sein. Enthält beispielsweise ein Wein 12,5 Volumenprozent Ethanol,  $0,53 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  Methanol,  $1,20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  Weinsäure,  $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  Glucose und  $53,4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Catechin, erfolgt anhand bestimmter Merkmale eine **bewertende Beschreibung** dieses Stoffsystems durch Vergabe von Auszeichnungen. Die Qualität des Weines kann hiernach nach dem Restzuckergehalt als trocken, halbtrocken, lieblich oder süß bezeichnet werden. Nach anderen gesetzten Kriterien erhält der Wein für die Güte die Auszeichnung als Qualitätswein, Landwein oder Tafelwein bzw. als Prädikatswein wie Kabinett oder Auslese.

Bei der Beschreibung eines Prozesses oder einer Dienstleistung ist es ebenfalls möglich, nur den Ablauf festzuhalten. Diese qualitative Beschreibung enthält die einzelnen Prozess- bzw. Ablaufschritte. Die bewertende Qualitätsbeschreibung von Prozessen oder Dienstleistungen besteht aus Begrifflichkeiten wie „schonender Prozess“ oder „hervorragende Maßarbeit“.

Die **neutrale Bedeutung von Qualität** beschreibt die Summe aller Eigenschaften eines Stoffs, eines Systems, eines Prozesses oder einer Dienstleistung.

Bei einer **bewerteten Bedeutung von Qualität** wird von der **Güte der Eigenschaften** gesprochen. Die Einstufung in gute oder schlechte Qualität hängt von den gesetzten Kriterien und deren Erfüllungsgrad ab.

Im Jahr 1984 versuchte der US-amerikanische Forscher *David A. Garvin* den Begriff Qualität zu klassifizieren. Qualität kann hiernach aus fünf verschiedenen Blickrichtungen gesehen werden:

- **Subjektiver Ansatz** oder **transzendenter Ansatz:** Qualität ist ein Synonym für Hochwertigkeit, bei der die Eigenschaften von einer Person als besonders bzw. einzigartig verstanden und entsprechend subjektiv eingeordnet werden. Da subjektive Einschätzungen nicht messbar sind, eignet sich dieser Ansatz nicht für die betriebliche Anwendung.
- **Produktbezogener Ansatz:** Die Qualität eines Produktes wird nach allgemein festgelegten, objektiven Anforderungen festgelegt. Der Erfüllungsgrad für diese Anforderungen bestimmt die Qualität. Ist beispielsweise eine Anforderung an ein chemisches Produkt seine Reinheit, bedeutet eine höhere Reinheit eine höhere Produktqualität. Meist steigt allerdings mit der Reinheit auch der Preis des Produkts. Daher ist der produktbezogene Ansatz differenziert zu betrachten.
- **Kundenbezogener Ansatz:** Qualität wird aus der Sicht des Kunden oder des Produkthanwenders gesehen. Die wirklichen Kundenwünsche und Anforderungen müssen hierzu genau bekannt sein. Werden alle Kundenanforderungen und Erwartungen realisiert, ist die Qualität hoch. Fehlen hingegen Produkteigenschaften bzw. sind diese aus Sicht des Kunden nur ungenügend umgesetzt, sinkt die Qualität des Produkts. Produkteigenschaften, die aus Kundensicht nicht erforderlich sind, verbessern aus Sicht des Kunden die Produktqualität nicht.
- **Prozessbezogener Ansatz:** Die Beurteilung von Qualität erfolgt über die Einhaltung von festgelegten Grenzwerten oder Normen in der Fertigung bzw. im Prozessablauf. Alle Abweichungen oder Fehler im Prozessablauf mindern die Qualität.
- **Wertbezogener Ansatz:** Der Preis eines Produkts wird mit der Leistung ins Verhältnis gesetzt. Ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis entspricht einer hohen Qualität. Voraussetzung hierfür ist, dass die Leistung des Produkts eine Eigenschaft ist, die für den Kunden relevant ist und für die der Kunde einen Nutzen erkennt.

In einem Unternehmen wird jeder Unternehmensbereich seinen passenden Ansatz für Qualität wählen. Im Bereich der Produktion wird der prozessbezogene Ansatz dominieren, während sich im Marketing der produktbezogene und im Verkauf der kundenbezogene Ansatz durchsetzen.

Im chemischen Labor spielen abhängig von der Ausrichtung unterschiedliche Ansätze eine Rolle. Einerseits sind bei der Untersuchung von Produkteigenschaften die **Kundenanforderungen** maßgebend, andererseits geben **gesetzliche Anforderungen** und **Vorschriften** beim Produkt als auch beim Produktionsverfahren die Rahmenbedingungen vor. Somit werden sowohl der prozessbezogene als auch der produktbezogene Ansatz verfolgt. An diesem Beispiel wird deutlich, dass sich die verschiedenen Sichtweisen nicht streng voneinander trennen lassen.

### Normen

Die Definitionen für den Begriff Qualität haben sich auch in den Vorgaben, den so genannten Normen, verändert und entwickelt. **Normen** (lat. *norma*, Maßstab, Regel, Vorschrift; engl. *standard*) definieren Standards. Hierbei besitzen Normen den Charakter von Empfehlungen, deren Beachtung und Anwendung freigestellt ist. Eine sehr bekannte Norm aus dem Alltag ist die technische Norm DIN EN ISO 216, in der Papierformate wie DIN A4 mit der Größe 210 mm × 297 mm festgelegt sind.

Das Einhalten der in den Normen festgelegten Regelungen bzw. Leitlinien für Verfahren oder Erzeugnisse erleichtert sowohl national als auch international die Zusammenarbeit. Im Gegensatz zu Gesetzen oder Verordnungen besitzen Normen keine rechtliche Verbindlichkeit (s. Band 1, Kap. 11). Sie können nur durch Rechts- und Verwaltungsvorschriften oder vertragliche Vereinbarungen verbindlich werden.

**Normen** besitzen keine rechtliche Verbindlichkeit wie Gesetze oder Verordnungen. Durch Rechts- und Verwaltungsvorschriften oder vertragliche Vereinbarungen kann eine Norm verbindlich werden.

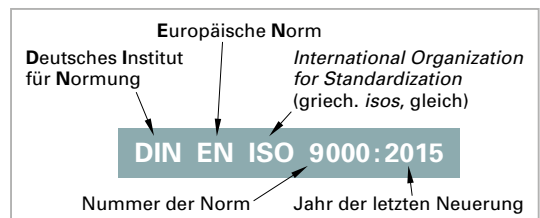
Normen legen nicht konkret fest, wie und mit welchen Prüfverfahren ein Produkt zu testen ist. Sie lassen Freiheiten in der betrieblichen Ausgestaltung und Anpassung an individuelle Gegebenheiten. Die Anwender der Normen müssen selbst das spezielle Fachwissen zum Produkt und den Prüfverfahren besitzen und den Stand der Technik umsetzen. Der **Stand der Technik** gibt die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt basierend auf gesicherten Erkenntnissen an.

Der **Stand der Technik** ist ein feststehender Terminus für die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Eine Norm enthält in ihrem **Eingangsteil** Begriffsdefinitionen. Der Begriff Qualität ist beispielsweise in einer Norm der Normenreihe DIN 55350 festgelegt. Die Bezeichnung der Norm zeigt, dass diese Norm vom **Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN)** erstellt worden ist und damit für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland gilt. Nach dieser Norm ist Qualität die „Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen.“ Im **Hauptteil** einer Norm werden die eigentlichen Regeln und Festlegungen zu Eigenschaften von Stoffen, Geräten, Bauteilen, Prozessen und Verfahren als Standard bestimmt.

**Qualität** nach DIN 55350 ist die „Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen.“

Eine Verfahrensnorm zum Qualitätsmanagement ist die Norm DIN EN ISO 9000:2015. Diese Norm mit der Nummer 9000 und der Neuerung aus dem Jahr 2015 ist eine **europäische Norm (EN)**, die von einem nationalen Institut für Normung – in diesem Fall vom **Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN)** – übernommen worden ist (**Bild 1**). Der Bezeichnung EN ist daher die länderspezifische Bezeichnung vorangestellt.



**Bild 1:** Bezeichnung einer Norm am Beispiel der Verfahrensnorm für Qualitätsmanagementsysteme

Die Nummer der europäischen Norm bleibt bei der Übernahme in die nationale Norm üblicherweise erhalten. Abkürzungen von verschiedenen Normenorganisationen enthält **Tabelle 1**.

Die Abkürzung **ISO** in der Normenbezeichnung stammt vom griechischen Wort *isos* (gleich) ab und zeigt an, dass die *Internationale Organisation für Normung* (engl. *International Organization for Standardization*, ISO) als internationale Vereinigung von Normungsorganisationen diese Norm als internationale Norm erarbeitet und übernommen hat.

Die ISO bildet zusammen mit der *Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC)* für die Bereiche Elektrik und Elektronik sowie der *International Telecommunication Union (ITU)* für den Bereich Telekommunikation die *World Standards Cooperation (WSC)*.

Die Verfahrensnorm für Qualitätsmanagementsysteme DIN EN ISO 9000:2015 ist Teil der Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff. Zu dieser Normenreihe gehören die Normen 9000, 9001 und 9004. Die Normen 9002 und 9003 sind nach mehreren Überarbeitungen der gesamten Normenreihe nicht mehr existent.

Die Norm DIN EN ISO 9000 definiert Grundlagen und Begrifflichkeiten. Qualität ist hiernach der „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt.“

Die Bezeichnung „Satz inhärenter Merkmale“ meint alle Merkmale, die einem Produkt innewohnen, also zu den eigentlichen Eigenschaften eines Produkts zählen. **Inhärente Merkmale** sind objektiv messbar und können z. B. die Länge, Breite, Masse, Siedetemperatur und Farbe eines Stoffes sowie seine chemischen Eigenschaften, wie Toxizität oder Brennbarkeit sein. Im Gegensatz hierzu stehen die **nicht-inhärenten Merkmale** (zugeordnete Merkmale), wie beispielsweise der Preis oder die Herstellungskosten.

**Inhärente Merkmale** sind die einem Produkt innewohnenden Eigenschaften, die die Beschaffenheit einer Einheit ausmachen. Sie stellen ein ständiges Merkmal dieser Einheit dar.

Die Wendung „Anforderungen erfüllen“ bedeutet, dass rechtliche Forderungen an ein Produkt sowie die erwarteten Eigenschaften eines Kunden erfüllt werden. Die Anforderungen sind in diesen Fällen **explizit definiert**. Ein Kunde kann beispielsweise an eine Thermoskanne die Anforderung stellen, dass der eingefüllte Tee mit einer Temperatur von 80 °C nach fünf Stunden noch mindestens 50 °C heiß ist.

Handelt es sich bei den Kundenanforderungen um eingeschlossene Erwartungen, die aber nicht ausgesprochen werden, wird dies als **implizit definierte Anforderung** bezeichnet. Diese Anforderungen setzt der Kunde als feste Erwartungen voraus. Ganz offensichtlich ist, dass beispielsweise ein Becherglas einen Boden ohne Loch besitzt, sodass dieses Glas Flüssigkeiten aufnehmen kann.

**Implizit definierte Anforderungen** an ein Produkt sind nicht ausgesprochene Erwartungen, die vom Kunden als feste Erwartungen vorausgesetzt werden.

Produkte können weitere Merkmale besitzen, die vom Kunden nicht gewünscht sind. Hierdurch wird die Produktqualität nicht unbedingt besser, da diese Merkmale für den Kunden ggf. nutzlos sind und nicht den Kundenerwartungen entsprechen. Fehlende Anforderungsmerkmale können meist nicht durch die Zugabe anderer Merkmale kompensiert werden.

**Qualität** nach DIN EN ISO 9000:2015 gibt an, in welchem Maß die Merkmale eines Produkts oder einer Dienstleistung den vorhandenen Anforderungen entsprechen.

<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung e. V.
<b>ÖNORM</b>	<i>Austrian Standards Institute (ASI)</i> ; ehemals: Österreichisches Normungsinstitut
<b>SN</b>	Schweizerische Normen-Vereinigung
<b>EN</b>	Europäische Norm
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i> ; griech. <i>isos</i> , gleich
<b>WSC</b>	<i>World Standards Cooperation</i>

Bei Qualität geht es um das Erfüllen von Anforderungen. Standen früher nur die Kundenanforderungen im Vordergrund, erstreckt sich der Qualitätsbegriff heute durch die Normreihe DIN EN ISO 9000 ff. über die ganze Wertschöpfungskette und alle Unternehmensbereiche. Hierzu gehören neben den Kundenanforderungen das Erfüllen von gesetzlichen Anforderungen und die Qualität der Prozessabläufe. Die Bewertung der Prozesse schließt die Bewertung der Arbeitsbedingungen bei der Produktherstellung mit ein. Der Grad der Erfüllung dieser Anforderungen wird in die Produktqualität mit einbezogen.



**Bild 1: Ganzheitliche Betrachtung von Qualität**

Für den Hersteller eines Produkts ist die Erfüllung aller Anforderungen eng mit seinem wirtschaftlichen Erfolg verbunden. Eine zu hohe Qualität eines Produkts oder einer Dienstleistung kann auch zum wirtschaftlichen Misserfolg führen, da eine hohe Qualität häufig hohe Herstellungskosten nach sich zieht. Diese nicht erwartete Qualität wird vom Käufer finanziell meist nicht honoriert.

Die ganzheitliche Betrachtung von Qualität beinhaltet somit auch die Anforderungen von Mitarbeitern und Investoren sowie die rechtlichen Forderungen und Umweltgesichtspunkte (Bild 1).

Diese Qualitätsbetrachtungen, die alle Unternehmensbereiche umfassen, werden durch **Qualitätsmanagementsysteme (QMS; s. Kap. 1.4.2, S. 20)** zusammengefasst. Werden zusätzlich die Wirksamkeit und Effizienz der Qualitätsmanagementsysteme betrachtet, führt dieses zu den **Total-Quality-Konzepten**. Unternehmen, die nach diesen Konzepten arbeiten, besitzen ein **Total-Quality-Managementsystem (TQM; s. Kap. 1.4.3, S. 26)**.

## 1.2 Qualitätsmerkmale

Jedes Produkt besitzt viele Merkmale, aber nur einige dieser Merkmale sind so wichtig, dass sie die Qualität eines Produkts ausmachen. Ein Glas ist beispielsweise durchsichtig und hat eine besondere Farbe, Härte und Bruchfestigkeit. Für den Inhaber eines Juweliergeschäftes ist gerade neben der Durchsichtigkeit die Bruchfestigkeit ein entscheidendes Merkmal für die Qualität. Im Labor müssen Glasgeräte oft hohen Temperaturen standhalten, so dass auch in diesem Bereich bestimmte Materialmerkmale erwartet werden und somit für die Qualität entscheidend sind.

Unterschiedliche Kunden beurteilen die Merkmale eines Produkts durchaus anders. **Qualitätsmerkmale** können nicht absolut sein, sondern hängen vom Blickwinkel des Anwenders ab.

Ein **Merkmal für die Qualität** ist eine aus dem Blickwinkel des Anwenders kennzeichnende Eigenschaft des betrachteten Produkts, des Prozesses oder der Dienstleistung.

Zur Bestimmung von Qualität sind messbare Kriterien erforderlich, die einen Vergleich mit Standards oder anderen messbaren Leistungen ermöglichen. Daher werden bei der Beurteilung von Qualität nur inhärente Merkmale (ständige, messbare Merkmale) betrachtet.

Bei den inhärenten Merkmalen können verschiedene Klassen von Merkmalen unterschieden werden:

- **Physische Merkmale:** chemische, biologische, physikalische, mechanische oder elektrische Eigenschaften
- **Sensorische Merkmale:** Merkmale, die sich auf die Sinne wie den Geruch, den Geschmack, das Gehör oder den Seh- oder Tastsinn auswirken
- **Funktionale Merkmale:** beziehen sich beispielsweise beim Auto auf die Höchstgeschwindigkeit und bei chemischen Molekülen auf die Absorptionsfähigkeit von Licht

- **Verhaltensbezogene Merkmale:** Eigenschaften wie z. B. Fluoreszenz oder Magnetisierbarkeit
- **Zeitbezogene Merkmale:** beziehen sich auf Haltbarkeit, Beständigkeit, Verfügbarkeit oder z. B. bei Verkehrsmitteln die Pünktlichkeit bzw. Zuverlässigkeit
- **Ergonomische Merkmale:** beziehen sich auf die Physiologie (Lehre von den Funktionen des menschlichen Körpers) oder die Sicherheit beispielsweise von Arbeitsmitteln

Jedes Qualitätsmerkmal kann für die Gesamtqualität eines Produkts entscheidend sein. Aus der Sicht des Kunden bzw. Anwenders werden daher zuerst die Anforderungen als Soll eines Merkmals mit dem Ist-Zustand dieses Merkmals verglichen. Wird durch diesen **Soll-Ist-Vergleich** festgestellt, dass Anforderungen (Spezifikationen) nicht erfüllt werden, so weist das Produkt einen Mangel bzw. einen Fehler auf. Das Produkt ist dann ein fehlerbehaftetes bzw. **fehlerhaftes Produkt**.

Ein **Soll-Ist-Vergleich** zeigt die Unterschiede zwischen den Anforderungen und den vorhandenen Produkteigenschaften.

Das Nichterfüllen von Anforderungen zeigt sich durch eine **Diskrepanz im Soll-Ist-Vergleich** und weist in Bezug auf die Anforderungen auf ein **fehlerhaftes Produkt** hin.

### 1.3 Fehler

Die Qualität eines Produktes kann nicht einfach nur durch Kontrolle erzeugt werden, sondern muss von Grund auf erarbeitet werden.

Beim vollständigen Einhalten des festgelegten Produktionsablaufs wird ein Produkt hervorgebracht, das den erwarteten Eigenschaften entspricht. Alle Abweichungen von diesen festgelegten Eigenschaften werden bei der qualitativen Beurteilung als **Fehler** bezeichnet.

Nach dem Deutschen Institut für Normung (DIN) ist ein Fehler ein „Merkmalswert, der die vorgegebenen Forderungen nicht erfüllt“.

Eine neutrale und aktuelle Definition für einen Fehler enthält die DIN EN ISO 9000:2015, in der ein Fehler als „Nichterfüllung einer Anforderung“ gesehen wird.

Ein **Fehler** ist nach DIN EN ISO 9000:2015 die „Nichterfüllung einer Anforderung“.

#### Fehlerarten

Bei Fehlern muss zwischen verschiedenen **Fehlerarten** und Fehlerkategorien unterschieden werden. Fehlerarten sind **erwartete Fehler** und **unerwartete Fehler (Bild 1)**. Erwartete Fehler sind bereits im Voraus als mögliche Schwachstellen bekannt, sodass zur Behebung derartiger Fehler Maßnahmen vorgesehen sind. Im Gegensatz hierzu existieren bei unerwarteten Fehlern keine Gegenmaßnahmen, da ihr Auftreten nicht vorauszusehen ist.

Zu den **Fehlerarten** zählen **erwartete Fehler** und **unerwartete Fehler**. Bei erwarteten Fehlern sind Maßnahmen zur Fehlerbehebung bekannt.

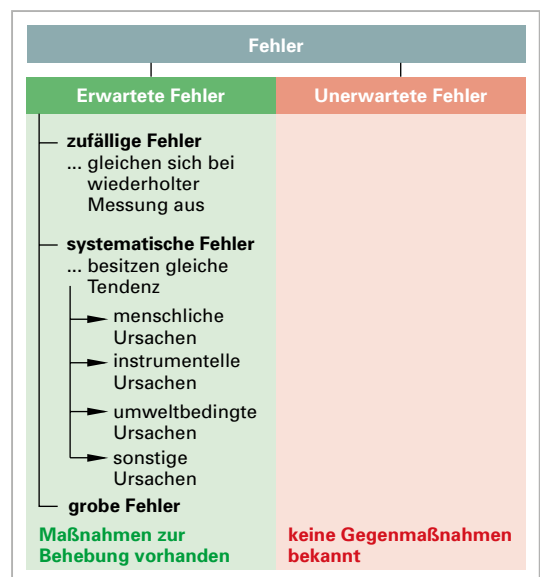


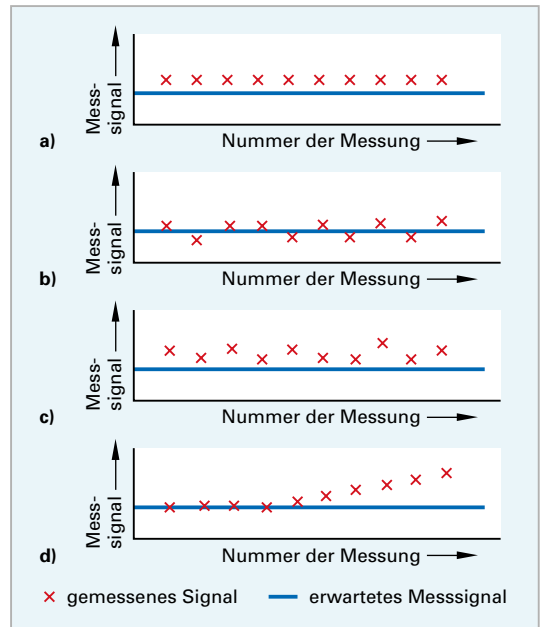
Bild 1: Einteilung von Fehlern



Hängen erwartete Fehler von bestimmten Voraussetzungen oder Bedingungen ab und heben sich diese bei wiederholter Messung nicht durch Mittelung auf, handelt es sich um **systematische Fehler** (engl. *systematic error*). Diese Fehler lassen sich reproduzieren. Durch das Einstellen bestimmter Bedingungen können sie bewusst hervorgerufen, aber genauso auch vermieden werden.

Messwerte mit systematischen Fehlern besitzen beispielsweise eine gleiche Tendenz, also entweder einen zu hohen oder zu niedrigen Messwert. Konstante, systematische Messfehler werden als **Offset** oder **Ablage** bezeichnet. Ein stetig ansteigender oder abfallender Messfehler ist ein **Trend** (engl. *bias*, Neigung) und die langsame, zeitabhängige Änderung eine **Drift**. Trend und Drift stehen oft im Zusammenhang mit der Temperatur.

Zusätzlich zu diesen systematischen Fehlern kommen weitere Schwankungen im Messsignal, die zusammen den gesamten Fehler ausmachen. Gleichen sich Fehler bei einer großen Anzahl von Messungen im Mittel aus, wird von **zufälligen Fehlern** gesprochen.



**Bild 1:** Beispiele für a) systematischen Beitrag, b) zufälligen Beitrag, c) systematischen und zufälligen Beitrag, d) Trend

Bei der Betrachtung der Abweichung des Messwerts vom eigentlich erwarteten Wert ist zwischen dem **systematischen Beitrag** und dem **zufälligen Beitrag** zu unterscheiden (Bild 1). Der systematische Beitrag wird als Messwertabweichung durch systematische Fehler hervorgerufen. Bei der mathematischen Betrachtung handelt es sich bei diesem systematischen Beitrag um den **Erwartungswert** des gesamten Fehlers. Der Erwartungswert ist der Wert, den der Messwert im Mittel annimmt, d. h., es ist der Wert, der bei mehrfachen Wiederholungen als Durchschnitt aller Ergebnisse erwartet wird.

Die Ursachen für systematische Fehler sind vielfältig. Eine Einteilung kann folgendermaßen erfolgen:

- **Menschliche Ursachen:** z. B. falsches Ablesen auf Skalen durch fehlenden Parallaxenausgleich
- **Instrumentelle Ursachen:** z. B. ungenaue Justierung bzw. Kalibrierung oder thermische Effekte
- **Umweltbedingte Ursachen:** z. B. thermische Einflüsse oder terrestrische Schwingungen
- **Sonstige Ursachen:** ohne bekannte Erklärung

Ein **Offset** oder eine **Ablage** ist die konstante Abweichung vom Sollwert und somit ein konstanter, systematischer Messfehler.

Ein **Trend** ist ein stetig ansteigender oder abfallender Messfehler. Bei langsamer zeitlicher Abhängigkeit wird dies auch als **Drift** bezeichnet.

Zu den systematischen Fehlern zählen auch die **groben Fehler** wie Unachtsamkeit oder Stöße. Diese Fehlerart lässt sich häufig an der großen Abweichung deutlich erkennen. Systematische Fehler sind meist durch Wiederholungsmessungen nicht zu verbessern. Daher muss man sie entweder:

- **eliminieren** oder verringern durch Justieren, Kalibrieren oder Eichen des Messgeräts, durch Verwendung eines anderen Messgeräts oder Messen in anderer Umgebung,
- **kompensieren** beispielsweise durch einen symmetrisch aufgebauten Messvorgang,
- **berücksichtigen** bei der Datenverarbeitung bzw. Datenanpassung (mathematische Datenmodellierung) durch Ausgleichsrechnung oder
- **akzeptieren** und bei der Angabe von Toleranzen mit einbeziehen bzw. die Toleranzen vergrößern.

Zusätzlich zum systematischen Beitrag kommt es zu einem zufälligen Beitrag. Dieser zufällige Beitrag ist die Differenz zwischen dem erwarteten Messsignal inklusive des systematischen Beitrags und dem tatsächlichen Messsignal. Der zufällige Beitrag ist die **Streuung** um den Erwartungswert (**Bild 1b**, S. 17). Ein Maß für die Streuung ist die **Standardabweichung** (s. Kap. 1.5.3, S. 34)

Der **wahre Wert** ist das Ziel einer Messung. Dieser Wert ist selbst unbekannt und kann nur angestrebt werden. In aller Regel findet man ihn wegen vorhandener Messabweichungen nicht. Messabweichungen wie systematische Fehler, grobe Fehler und zufällige Fehler treten bei Messungen ständig auf.

Selbst der mit einem sehr präzisen Messgerät gemessene Wert ist immer noch nicht der wahre Wert. Dieser Wert kann als **richtiger Wert** bezeichnet werden. Die Abweichung des richtigen Wertes vom wahren Wert ist bei präziser Messung vernachlässigbar.

Ein Messsignal setzt sich damit folgendermaßen zusammen:

**Messsignal = wahrer Wert + systematischer Beitrag + zufälliger Beitrag**

**Systematische Fehler** sind reproduzierbar und mitteln sich bei wiederholter Messung nicht heraus. Systematisch auftretende Fehler, wie z. B. **grobe Fehler**, lassen sich bei Kenntnis der Ursache vermeiden. Sie geben einen **systematischen Beitrag** zum Messsignal.

**Zufällige Fehler** gleichen sich bei wiederholter Messung im Mittel aus. Sie geben einen **zufälligen Beitrag** zum Messsignal.

Der **wahre Wert** kann durch eine Messung nicht bestimmt werden, da verschiedene Beiträge Abweichungen hervorrufen. Selbst bei höchster Genauigkeit und somit vernachlässigbar kleinen Abweichungen wird nur der **richtige Wert** erreicht.

## Fehlerkategorien

Nicht alle Fehler sind gleich schwer. Die Schwere von Fehlern lässt sich in vier Fehlerkategorien oder Fehlerklassen einteilen. Diese sind:

- **Überkritische Fehler** gefährden Menschenleben oder können zu wirtschaftlichen Verlusten führen.
- **Kritische Fehler** machen ein Produkt für den vorgesehenen Zweck unbrauchbar.
- **Nebenfehler** schränken die Brauchbarkeit des betreffenden Produkts ein.
- **Unwesentliche Fehler** schränken die Brauchbarkeit des betreffenden Produktes nicht ein, sie stellen jedoch eine Qualitätsminderung dar.

Die Einteilung von Fehlern in diese Fehlerkategorien erfolgt durch die Untersuchung der Produkte bzw. Prozesse mittels verschiedener Prüfverfahren und anhand festgelegter Kennzahlen. Wird z. B. bei einer Laborwaage festgestellt, dass die Anzeige defekt ist, handelt es sich um einen kritischen Fehler, da die Waage unbrauchbar ist. Besitzt das Gehäuse der Waage die Farbe Rot statt Grün, so ist die eigentliche Funktion nicht eingeschränkt. Der Hersteller wird dies als Fehler deklarieren, aus Kundensicht ist die falsche Farbe unwesentlich; der Kunde erkennt hierin, wenn überhaupt, einen unwesentlichen Fehler.

Fehler lassen sich anhand ihrer Schwere in **Fehlerkategorien** einordnen. Fehlerkategorien reichen von **unwesentlichen Fehlern** über **Nebenfehler** bis zu **kritischen** und **überkritischen Fehlern**.

Wird während eines Produktionsprozesses die Qualität des produzierten Produkts untersucht, kann ein einzelner Fehler bereits dazu führen, dass ein kritischer Fehler vorliegt. Besondere Beachtung muss die Ansammlung mehrerer kleiner Fehler finden, die zu einem kritischen Zustand führen kann.

Die Fehleruntersuchung während eines Produktionsprozesses erfolgt meist an unterschiedlichen Orten und zu verschiedenen Zeiten. Bei der Bewertung hinsichtlich der Fehlerkategorie muss die Gesamtheit aller Merkmalsabweichungen einbezogen werden. Für diese Kategorisierung ist es

notwendig, dass für jedes Produkt eine vollständige und eindeutige Dokumentation vorhanden ist. Erst diese Dokumentation zeigt alle während des Herstellprozesses bei diesem Produkt festgestellten Merkmalsabweichungen.

Bei der Herstellung von Stoffen, die unter gleichen Bedingungen in einem Durchgang erzeugt, hergestellt oder verpackt wurden, wird von einem **Los** gesprochen. Jedem Los wird zur Identifikation eine eindeutige **Losnummer** aus Zahlen, Buchstaben oder Buchstaben und Zahlen zugewiesen, die häufig auf den Produkten dieses Loses zur Rückverfolgbarkeit vermerkt wird. Im Englischsprachigen wird der Begriff *lot* (engl. *lot*, Anteil, Abfüllcharge) verwendet.

In Deutschland dürfen nach der deutschen **Los-Kennzeichnungs-Verordnung (LKV)** beispielsweise Lebensmittel nur in Verkehr gebracht werden, die mit einer Losnummer gekennzeichnet sind. Von dieser Kennzeichnungspflicht sind allerdings Lebensmittel ausgenommen, die lose an den Verbraucher abgegeben oder die erst in der Verkaufsstätte auf Anfrage des Käufers verpackt und dort abgegeben werden, wie z. B. ein Brot (vgl. § 2 LKV).

In der Verfahrenstechnik wird statt von Los auch von **Batch** (engl. *batch*, abgeteilte Menge, Quantum, urspr.: eine Ofenbefüllung) und in der Logistik von **Charge** (Aussprache: [ˈʃaʁʒə]; franz. *charger*, beladen; engl. *to charge*, belasten) gesprochen. Analog zur Losnummer ist auf Produkten häufig eine Nummer zusammen mit der Abkürzung **Ch.-B.** für die **Chargenbezeichnung** angegeben. Bei der Feststellung eines Produktionsfehlers kann das Produkt gezielt zurückbehalten oder zurückgerufen werden.

**Los, Batch oder Charge** ist die Menge aller in einem Produktionsdurchgang hergestellten Produkte.  
Diese Produkte erhalten dieselbe **Losnummer** oder **Batch-** bzw. **Chargen-Bezeichnung**.

Die Einteilung von Fehlern zeigt, dass hinter dem Begriff Qualität komplexe Qualitätssysteme existieren.

## 1.4 Qualitätssysteme

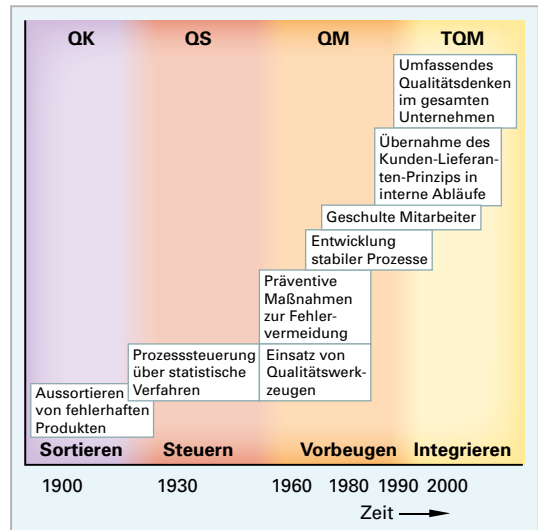
Insbesondere im vergangenen Jahrhundert hat sich aus einer reinen Kontrolle von Qualität ein umfassendes System zur Sicherung bzw. zum Hervorbringen von Qualität entwickelt (**Bild 1**).

Die Entwicklung ging von der reinen **Qualitätskontrolle QK** über die **Qualitätssicherung QS** bis zum **Qualitätsmanagement QM**.

Qualitätskonzepte, die das gesamte Unternehmen erfassen und ein weiter gefasstes Verständnis von Qualität enthalten, führen zum weitgefassten Managementsystem, dem umfassenden bzw. **totalen Qualitätsmanagement TQM**.

### 1.4.1 Qualitätskontrolle QK und Qualitätssicherung QS

Zu Beginn des Qualitätsdenkens war die Untersuchung von Qualität auf das Endergebnis gerichtet. Es wurde eine Endkontrolle der Produkte durchgeführt. Die Produkte wurden am Ende des Produktionsprozesses in einer **Qualitätskontrolle (QK)** auf ihre Merkmale untersucht. Fehlerhafte Erzeugnisse wurden entweder nachgearbeitet oder vollständig aussortiert.



**Bild 1: Zeitliche Entwicklung von der Qualitätskontrolle zum umfassenden Qualitätsmanagement**

Die Kontrolle von Produkten wurde immer weiter verfeinert. Die Fortführung dieser Entwicklung ist die **Qualitätssicherung (QS)**. Hierbei erfolgen neben der Überwachung des Produkts im Herstellungsprozess auch die Wareneingangsprüfung der Edukte und die Endkontrolle der Produkte. Ein fehlerbehaftetes Produkt durchläuft somit nicht erst den gesamten Produktionsprozess. Auch die einzelnen Prozessschritte der Produktion werden bei der Qualitätssicherung betrachtet.

Die Ergebnisse der Qualitätsuntersuchungen werden mathematisch bzw. statistisch ausgewertet und grafisch dargestellt. Einfache Hilfsmittel zur Verarbeitung, Darstellung und Feststellung von Abweichungen in der Produktqualität sind die so genannten Qualitätswerkzeuge (s. Kap. 1.6, S. 39).

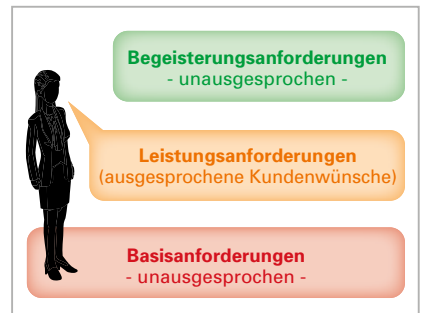
### 1.4.2 Qualitätsmanagement QM

Die Entwicklung des Qualitätswesens führte in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts zum **Qualitätsmanagement (QM)**. Qualitätsmanagement beinhaltet alle Maßnahmen zur Verbesserung der Produktqualität, der Prozessoptimierung und zur Erhaltung von Qualität. Grundlage eines Qualitätsmanagements ist, die qualitätsrelevanten Tätigkeiten zur Erfüllung der Kundenanforderungen zu erkennen und zu koordinieren. Hierzu gehören

- die Erfassung aller ausgesprochenen, aber auch der unausgesprochenen Kundenwünsche,
- die Umsetzung aller Anforderungen an das Produkt in die Unternehmenssprache sowie
- die Realisierung des Produktes bzw. der Dienstleistung.

Die **unausgesprochenen Kundenanforderungen** sind als **Basisanforderung** für den Kunden selbstverständlich und stellen den Mindeststandard dar (**Bild 1**). Sie werden auch als implizit definierte Anforderungen bezeichnet.

**Ausgesprochene Kundenwünsche** sind die Leistungen, die ein Kunde von einem Produkt erwartet. Sie werden als **Leistungsanforderung** bezeichnet. Diese Wünsche beeinflussen direkt und meist annähernd proportional zum Erfüllungsgrad der Leistung die Kundenzufriedenheit. Zusätzlich existieren auch Kundenwünsche, an die ein Kunde selbst nicht denkt, die jedoch die Produkteigenschaften deutlich positiv beeinflussen. Diese heißen auch **Begeisterungsanforderungen** (**Bild 1**).



**Bild 1: Kundenanforderungen**

Werden alle diese Anforderungen umgesetzt, kommt es zur **Produktrealisierung**. Hierzu gehören die Planung für die Produktion, die Entwicklung sowie die eigentliche Herstellung des Produkts. Der Begriff der Realisierung schließt alle kundenbezogenen Prozesse sowie die Lenkung von Überwachungs- und Messmitteln mit ein.

**Qualitätsmanagement (QM)** beinhaltet alle organisierten Maßnahmen zur Verbesserung der Produktqualität, der Prozessoptimierung und zur Erhaltung von Qualität.

Im Qualitätsmanagement kommt der Formulierung der **Unternehmensziele** und der **Qualitätspolitik** sowie der **Festlegung der Verantwortlichkeiten** bzw. Befugnisse eine zentrale Bedeutung zu. Dies gehört zu den Kernaufgaben der Unternehmensleitung. Im Qualitätsmanagement geht es weiterhin um die systematische Steuerung und Überprüfung der unternehmensrelevanten Prozesse. Damit umfasst das Qualitätsmanagement letztendlich alle Führungsebenen im Unternehmen.

Für den Aufbau eines systematischen Qualitätsmanagements, eines **Qualitätsmanagementsystems QMS**, gibt es verschiedene Ansätze. Der US-amerikanische Physiker und Statistiker *William Edwards Deming* (1900 bis 1993) hat durch seinen prozessorientierten Ansatz in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts die Entwicklung des Qualitätswesens entscheidend vorangetrieben. Nach *Deming* steht der Prozess der Herstellung im Vordergrund der Qualitätsbetrachtungen.