

## Inhaltsverzeichnis

**Vorwort** XIII

**Geleitwort** XVII

**1 Einleitung** 1

- 1.1 Analytische Chemie – Historisches 1
- 1.2 Analytische Chemie und ihre Rolle in der heutigen Gesellschaft 2

**2 Einführung ins Qualitätsmanagement** 5

- 2.1 Geschichtliches 6
- 2.2 Variabilität 7
- 2.3 Die vier Säulen der Weisheit (Von Shewhart zu Deming) 9
- 2.4 Null-Fehler-Toleranz 10
- 2.5 Weshalb Normen? 11
- 2.6 Der beherrschte Prozess 11
- 2.7 Leitfaden ISO 9004 13
- 2.8 Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme 13

**3 Statistische Grundlagen** 15

- 3.1 Grundbegriffe 15
  - 3.1.1 Gesamtheit und Stichprobe 17
  - 3.1.2 Verteilung von Werten 18
- 3.2 Kenngrößen 19
  - 3.2.1 Arithmetisches Mittel 19
  - 3.2.2 Standardabweichung 20
  - 3.2.3 Varianz 21
  - 3.2.4 Standardabweichung von Mittelwerten 21
  - 3.2.5 Relative Standardabweichung 21
  - 3.2.6 Vertrauensbereich (= Vertrauensintervall, Konfidenzintervall) 22
- 3.3 Messabweichungen 23
  - 3.3.1 Zufallsabweichungen (random deviation) – Einfluss auf die Präzision 24
    - 3.3.1.1 Ursachen für Zufallsabweichungen 24

3.3.1.2	Präzision (precision) (DIN ISO 3534–1:2008–02, D/E)	24
3.3.1.3	Das Erkennen von Zufallsabweichungen	24
3.3.2	Systematische Abweichungen (systematic deviation) – Einfluss auf die Richtigkeit	25
3.3.2.1	Ursachen für systematische Abweichungen	25
3.3.2.2	Auswirkungen auf die Messung	25
3.3.2.3	Richtigkeit (trueness, accuracy of the mean) (DIN ISO 3534–1:2008–02, D/E)	25
3.3.2.4	Feststellung systematischer Abweichungen	26
3.3.3	Grobe Abweichungen (gross error)	27
3.3.3.1	Ursachen für grobe Abweichungen	27
3.3.3.2	Genauigkeit (accuracy) (DIN ISO 3534–1:2008–02, D/E)	27
3.3.4	Messunsicherheit von Ergebnissen	28
3.3.4.1	Standardmessunsicherheit von Einzelmessungen	29
3.3.4.2	Kombinierte Messunsicherheit	29
3.3.4.3	Rechenregeln für die Unsicherheitsfortpflanzung	31
3.3.4.4	Vorgehen für die Bestimmung der kombinierten Messunsicherheit	31
3.3.4.5	Erweiterte Messunsicherheit	32
3.3.5	Nichtstatistische Schätzverfahren	33
3.3.5.1	Toleranz	33
3.3.5.2	Vollständiges Messergebnis	34
3.3.6	Signifikante Stellen – „Box-and-Dot“-Methode	34
3.3.7	Ausreißertests	36
3.3.7.1	Die 4s-Schranke	36
3.3.7.2	Test nach Grubbs	36
3.4	Regression	37
3.4.1	Kalibrierfunktion	37
3.4.2	Regressionsanalyse	38
3.4.3	Die „optimale“ Trendlinie	38
3.4.4	Lineare Regression	39
3.4.4.1	Statistische Informationen aus der linearen Regression	39
3.4.4.2	Empfindlichkeit (analytical sensitivity)	40
3.4.4.3	Korrelationskoeffizient	40
3.4.4.4	Bestimmtheitsmaß	40
3.4.4.5	Linearität (linearity)	41
3.4.4.6	Regressionsgleichung	41
<b>4</b>	<b>Der analytische Prozess</b>	<b>47</b>
4.1	Der analytische Prozess im Gesamtzusammenhang	47
4.2	Planungsphase	49
4.2.1	Analytische Fragestellung „Problem“	49
4.2.2	Untersuchungsobjekt	50
4.2.3	Untersuchungsprobe	50
4.2.3.1	Probennahme	51
4.2.3.2	Probennahmearten	51

4.2.3.3	Aufbereitung	52
4.2.4	Untersuchungsverfahren	53
4.2.5	Analyt	54
4.2.6	Literatur- und Datenbankrecherche	54
4.3	Analyse	60
4.3.1	Messung	60
4.3.2	Methodenoptimierung	61
4.3.3	Kalibrierung	62
4.4	Auswertung	65
4.4.1	Quantifizierung	65
4.5	Validierung	66
4.5.1	Validierungselemente	68
4.5.1.1	Selektivität/Spezifizität	68
4.5.1.2	Arbeitsbereich (range)	69
4.5.1.3	Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze DIN 32645 [15]	69
4.5.1.4	3 $\sigma$ -Konzept nach Kaiser	73
4.5.1.5	Robustheit (robustness)	75
4.5.2	Einsatz des Computers	75
4.6	Schlussdokumentation	76
<b>5</b>	<b>Beispiel einer Validierungsstrategie</b>	<b>79</b>
5.1	Bestimmung von Phenol in Industrieabwässern	81
5.1.1	Anforderungen und Voraussetzungen an die zu validierende Methode	81
5.1.2	Inhalt des Validierungsplans	81
<b>6</b>	<b>Organisatorisches und praktischer Versuchsablauf im Praktikum</b>	<b>95</b>
6.1	Zielsetzungen	95
6.2	Sicherheit im Praktikum	96
6.3	Versuchs-/Projektablauf	96
6.4	Berichte	98
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>103</b>
7.1	Zitierte Literatur	103
7.2	Empfohlene Literatur (Auswahl)	104
7.2.1	Kalibrierung	104
7.2.2	Ringversuche	104
7.2.3	Qualitätsmanagement	104
7.2.4	Bücher (Auswahl)	104
7.2.5	Links (Auswahl)	105
<b>8</b>	<b>Projekte</b>	<b>107</b>
8.1	Chromatografie	108
8.1.1	Hochleistungs-Flüssigkeitschromatografie (HPLC)	108
8.1.1.1	Analytische Fragestellung	108
8.1.1.2	Schlagworte (keywords)	110

8.1.1.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	110
8.1.1.4	Einführung	111
8.1.1.5	Experimenteller Teil	117
8.1.1.6	Versuchsdurchführung	119
8.1.1.7	Fragen	120
8.1.2	Gaschromatografie (GC)	121
8.1.2.1	Analytische Fragestellung	121
8.1.2.2	Schlagworte (keywords)	122
8.1.2.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	123
8.1.2.4	Einführung	123
8.1.2.5	Experimenteller Teil	130
8.1.2.6	Versuchsdurchführung	132
8.1.2.7	Fragen	134
8.1.3	Ionenchromatografie	134
8.1.3.1	Analytische Fragestellung	134
8.1.3.2	Schlagworte (keywords)	136
8.1.3.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	136
8.1.3.4	Einführung	137
8.1.3.5	Experimenteller Teil	146
8.1.3.6	Versuchsdurchführung	148
8.1.3.7	Fragen	150
8.2	Spektroskopie	151
8.2.1	UV/VIS-Fotometrie	151
8.2.1.1	Analytische Fragestellung	151
8.2.1.2	Schlagworte (keywords)	153
8.2.1.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	153
8.2.1.4	Einführung	153
8.2.1.5	Experimenteller Teil	160
8.2.1.6	Versuchsdurchführung	162
8.2.1.7	Fragen	163
8.2.2	Fourier-Transformation-Infrarot-(FTIR-)Spektrometrie	163
8.2.2.1	Analytische Fragestellung	163
8.2.2.2	Schlagworte (keywords)	165
8.2.2.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	165
8.2.2.4	Einführung	166
8.2.2.5	Experimenteller Teil	177
8.2.2.6	Versuchsdurchführung	177
8.2.2.7	Fragen	180
8.2.3	Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)	181
8.2.3.1	Analytische Fragestellung	181
8.2.3.2	Schlagworte (keywords)	183
8.2.3.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	183
8.2.3.4	Einführung [1]	183
8.2.3.5	Experimenteller Teil	189
8.2.3.6	Versuchsdurchführung	191

8.2.3.7	Fragen	192
8.3	Elektrochemische Analytik	193
8.3.1	Polarografie	193
8.3.1.1	Analytische Fragestellung	193
8.3.1.2	Schlagworte (keywords)	195
8.3.1.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	195
8.3.1.4	Einführung	195
8.3.1.5	Experimenteller Teil	203
8.3.1.6	Versuchsdurchführung	205
8.3.1.7	Fragen	208
8.4	Automatisierung	210
8.4.1	Fließinjektionsanalyse	210
8.4.1.1	Analytische Fragestellung	210
8.4.1.2	Schlagworte (keywords)	211
8.4.1.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	211
8.4.1.4	Einführung	212
8.4.1.5	Experimenteller Teil	217
8.4.1.6	Versuchsdurchführung [5, 6]	218
8.4.1.7	Fragen	220
8.5	Allgemeine analytische Methoden	221
8.5.1	N-Proteinbestimmung nach Kjeldahl	221
8.5.1.1	Analytische Fragestellung	221
8.5.1.2	Schlagworte (keywords)	222
8.5.1.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	222
8.5.1.4	Einführung	223
8.5.1.5	Experimenteller Teil	228
8.5.1.6	Versuchsdurchführung	230
8.5.1.7	Fragen	232
8.5.2	Bestimmung des gelösten Sauerstoffs	233
8.5.2.1	Analytische Fragestellung	233
8.5.2.2	Schlagworte (keywords)	234
8.5.2.3	Projektablauf/Aufgabenstellung	234
8.5.2.4	Einführung	235
8.5.2.5	Experimenteller Teil	239
8.5.2.6	Versuchsdurchführung	241
8.5.2.7	Fragen	243
<b>9</b>	<b>Anhang A: Auswahl empfohlener Quellen nach Fachgebiet</b>	<b>247</b>
9.1	Allgemeine Quellen	247
9.2	Analytische Chemie	248
9.3	Anorganische und metallorganische Chemie	248
9.4	Chemieingenieurwesen / Technische Chemie / Verfahrenstechnik	248
9.5	Chemikalien: Verzeichnisse von Lieferanten	249
9.6	Organische Chemie	249
9.7	Physikalisch-chemische Daten	249

9.8	Polymere und Werkstoffe	250
9.9	Spektren	250
9.10	Toxikologie und Sicherheit	251
<b>10</b>	<b>Anhang B: Statistische Tabellen</b>	<b>253</b>
<b>11</b>	<b>Anhang C: Selbstverpflichtung</b>	<b>257</b>
<b>12</b>	<b>Anhang D: Evaluierungsleitfaden</b>	<b>259</b>
<b>13</b>	<b>Anhang E: Sicherheit im analytischen Labor</b>	<b>261</b>
13.1	Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen	261
13.1.1	Möglichkeiten zum persönlichen Schutz	261
13.1.2	Augenschutz	261
13.1.3	Hautschutz	262
13.1.4	Schutzkleidung	262
13.1.5	Atemschutz	262
13.2	Erste Hilfe	263
13.2.1	Bergung	263
13.2.2	Alarmierung	263
13.2.3	Lagerung eines Bewusstlosen	263
13.2.4	Blutende Wunden	263
13.2.5	Schock	264
13.2.6	Augenverletzungen	264
13.2.7	Verbrennungen	265
13.2.8	Verätzungen	265
13.2.9	Vergiftungen	265
13.3	Sicheres Arbeiten mit Chemikalien	266
13.3.1	Allgemeines Verhalten	266
13.3.2	Chemikalien	266
13.3.3	Lösungsmittel	267
13.3.4	Handhabung von Glas und Glasapparaturen	267
13.3.5	Elektrische Apparate, Heizquellen	268
13.3.6	Brandschutz	268
13.3.7	Abzüge	268
13.4	Chemische Reaktionen unter erhöhtem Druck	269
13.4.1	Chemikalien	269
13.4.2	Apparaturen	269
13.5	Entsorgung von Chemikalien	270
13.5.1	Organische Chemikalien	270
13.5.2	Anorganische Chemikalien	271
13.6	Verschüttete Chemikalien	272
13.6.1	Gase	273
13.6.2	Flüssigkeiten	273
13.7	Arbeiten mit Elektrizität	273

13.8	Arbeiten mit starken Magnetfeldern	274
13.8.1	Allgemeines Verhalten	275
13.8.2	Sicherheitsabstände	275
13.9	Umgang mit Druckflaschen und Gasen	276
13.9.1	Allgemeines	276
13.9.2	Transport	276
13.9.3	Lagerung	276
13.9.4	Ventile und Armaturen	277
13.9.5	Am Verbrauchsort	277
13.9.6	Inbetriebnahme	278
13.10	R-/S-Sätze	
13.11	GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)	285
13.11.1	Grundsätze des GHS	285
13.11.2	GHS-Piktogramme	286
13.11.3	Liste der Gefahrenhinweise, H-Sätze (Hazard Statements)	288
13.11.4	Liste der Sicherheitshinweise, P-Sätze (Precautionary Statements)	291

<b>Index</b>	395
--------------	-----