

## Inhaltsverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis XI

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Laborarbeit</b>	<b>1</b>
1.1	Arbeitsregeln und Laborordnung	1
1.1.1	Gefahren im Chemielabor	1
1.1.2	Laborordnung und Betriebsanweisung	2
1.1.3	Arbeitssicherheit	2
1.1.3.1	Sicherheitseinrichtungen und -maßnahmen	2
1.1.3.2	Unfallverhütungsvorschriften (UVV) zur Wahrung der Sicherheit im Umgang mit Chemikalien	3
1.1.3.3	Weitere Grundsätze der Laborarbeit	4
1.2	Umgang mit Gefahrstoffen	5
1.2.1	Gefahrensymbole gemäß GHS und Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	5
1.2.1.1	Gefahren- und GHS-Gefährdungssymbole	6
1.2.2	Risiken, Sicherheit, Entsorgung: Die H-, P- und E-Sätze	8
1.2.3	Kenndaten des Arbeitsschutzes	8
1.2.4	Entsorgung und Umweltschutz	9
1.2.5	Allgemeine Regeln für den Umgang mit Chemikalien	10
1.3	Verhalten in Notfällen, Erste Hilfe bei Unfällen	10
1.4	Laborgeräte und ihre Handhabung	12
1.4.1	Geräte zum Heizen	12
1.4.2	Geräte zum Trocknen	12
1.4.3	Glasgeräte	13
1.4.4	<i>Arbeitsplatzerkundung im Labor: erster Praktikumstag</i>	15
1.4.5	Gefahrstoffe im Chemielabor	17
<b>2</b>	<b>Grundlegende physikalische Arbeitsmethoden: Mess-, Misch- und Trennverfahren</b>	<b>27</b>
2.1	Physikalische Stoffeigenschaften messen	28
2.1.1	SI-System	28
2.1.2	Masse auswiegen	28
2.1.3	Volumen messen	31

2.1.4	Dichte bestimmen	35
2.1.5	Löslichkeit und Viskosität bestimmen	38
2.1.6	Schmelz- und Siedetemperaturen bestimmen	41
2.1.7	<i>Messung von Volumen, Masse, Temperatur, Dichte und Viskosität im Labor</i>	42
2.2	Messwerte auswerten und dokumentieren	47
2.2.1	Messwerte auswerten: Fehlerbetrachtung, Methodenvalidierung	47
2.2.2	Arbeitskontrolle und -dokumentation (Protokollführung)	50
2.2.3	<i>Fällung und Wägung von Niederschlägen im Labor</i>	51
2.3	Stoffe mischen	55
2.3.1	Lösungen und andere Stoffgemische	55
2.3.2	Gehaltsangaben	56
2.3.3	<i>Lösungen ansetzen, vermessen und Löslichkeiten beeinflussen im Labor</i>	57
2.4	Stoffe trennen	60
2.4.1	Mechanische Stofftrennverfahren	61
2.4.1.1	Trocknen	61
2.4.1.2	Sedimentation, Dekantation, Zentrifugation	63
2.4.1.3	Filtration	64
2.4.1.4	Digerieren und Extrahieren	65
2.4.1.5	Umfällen und Umkristallisieren	68
2.4.1.6	Dichtesortieren, Magnetsortieren, Flotation	70
2.4.1.7	Absorption und Adsorption	70
2.4.2	<i>Mechanische Stofftrennverfahren im Labor (Digerieren, Filtrieren und Extrahieren)</i>	71
2.4.3	Thermische Stofftrennverfahren	76
2.4.3.1	Sublimieren	76
2.4.3.2	Destillieren und Rektifizieren	76
2.4.4	<i>Thermische Stofftrennverfahren im Labor (Sublimation, Destillation, Rektifikation)</i>	81
2.4.5	Chromatographische Trenn- und Analyseverfahren	85
2.4.5.1	Lauf- und Elutionsmittel	87
2.4.5.2	Auswertung von Chromatogrammen	88
2.4.5.3	Säulenchromatographie (SC)	92
2.4.5.4	Dünnschichtchromatographie (DC, TLC)	93
2.4.6	<i>Chromatographie im Labor: SC, DC, HPTLC</i>	97
<b>3</b>	<b>Grundlegende chemische Arbeitsmethoden</b>	<b>103</b>
3.1	Chemische Stoffeigenschaften untersuchen	103
3.1.1	Stoffe zerlegen: Analyse	104
3.1.1.1	Chemische Elemente	105
3.1.1.2	Das Periodensystem der chemischen Elemente (PSE)	105
3.1.2	<i>Elemente chemisch untersuchen im Labor</i>	107
3.1.3	<i>Metallherstellung im Labor</i>	113
3.1.4	Stoffe vereinigen: Synthese	115
3.1.5	Stoffe einordnen, benennen und formulieren	117

- 3.1.5.1 Benennung chemischer Verbindungen 118
- 3.1.5.2 Chemische Formeln 121
- 3.1.6 *Verbindungen herstellen und chemisch untersuchen im Labor: Präparate* 122
- 3.2 Reaktionen planen, durchführen und beobachten 124
  - 3.2.1 Versuchsansatz, -aufbau und -durchführung 125
  - 3.2.2 Versuchsbeobachtung 126
  - 3.2.3 Reaktionsschemen erstellen 126
- 3.3 Arten chemischer Reaktionen 128
  - 3.3.1 Gleichgewichtsreaktionen qualitativ auswerten und einordnen 129
    - 3.3.1.1 Hin- und Rückreaktion: Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen 129
    - 3.3.1.2 Das Massenwirkungsgesetz (MWG) 130
  - 3.3.2 Fällungsreaktionen 131
    - 3.3.2.1 Grundbegriffe, Benennung und Formeln bei Fällungsreaktionen 133
  - 3.3.3 *Fällungsreaktionen im Labor* 134
  - 3.3.4 Säure-Base-Reaktionen 138
    - 3.3.4.1 Säure- und Basestärke, Verdrängungsreaktion 141
    - 3.3.4.2 Säure-Base-Titration, Puffer, Amphoterie 143
    - 3.3.4.3 Grundbegriffe, Benennung und Formeln bei Säure-Base-Reaktionen 143
  - 3.3.5 *Säure-Base-Reaktionen im Labor* 145
  - 3.3.6 Redoxreaktionen 148
    - 3.3.6.1 Oxidation und Reduktion 148
    - 3.3.6.2 Oxidations- und Reduktionsmittel 149
    - 3.3.6.3 Redoxpotenziale 151
    - 3.3.6.4 Redoxreaktionen – Grundbegriffe und Reaktionsschemen 154
  - 3.3.7 Reaktionen mit Komplexen und Liganden 155
    - 3.3.7.1 Reaktionen mit und ohne Liganden: Grundbegriffe und Reaktionsschemen 156
  - 3.3.8 *Redoxreaktionen und Reaktionen mit Komplexen und Liganden im Labor* 157
    - 3.3.8.1 Redoxreaktionen 157
    - 3.3.8.2 Reaktionen mit Komplexen und Liganden 160
- 3.4 Reaktionen mit Gasen 163
  - 3.4.1 Umgang mit Gasen 163
    - 3.4.1.1 Technische Gasverflüssigung und Luftzerlegung 167
    - 3.4.1.2 *Gasproben im Labor* 168
    - 3.4.1.3 *Herstellung von Gasen im Labor* 169
  - 3.4.2 *Gase chemisch erzeugen und im Labor einsetzen* 171
- 3.5 Reaktionen in Siedehitze 173
  - 3.5.1 Apparaturen für Reaktionen in Siedehitze 173
    - 3.5.1.1 Sieden unter Rückfluss 173
    - 3.5.1.2 Zufluss bei Siedehitze 174
    - 3.5.1.3 Zufluss bei Siedehitze mit Rührvorgang 174
    - 3.5.1.4 Abzug von Wasser aus dem Reaktionsgemisch 176
  - 3.5.2 Präparatbeispiel für eine Reaktion in Siedehitze 176

- 3.5.3 *Reaktionen in Siedehitze durchführen – Präparate synthetisieren im Labor* 177
  
- 4    Physikalische Chemie und Stöchiometrie** 185
  - 4.1    Stöchiometrie chemischer Reaktionen 185
    - 4.1.1    Grundgesetze der Chemie 185
    - 4.1.2    Quantitative Auswertung chemischer Reaktionen 187
    - 4.1.3    Umsatz- und Ausbeuteberechnungen 188
      - 4.1.3.1    Berechnung der Zusammensetzung chemischer Verbindungen 188
      - 4.1.3.2    Berechnung der Stoffumsätze bei chemischen Reaktionen 189
    - 4.1.4    *Quantitative Reaktionsdurchführung und Auswertung im Labor* 191
  - 4.2    Thermodynamik chemischer Reaktionen 195
    - 4.2.1    Energie bei chemischen Reaktionen 195
    - 4.2.2    Enthalpie und Entropie 196
    - 4.2.3    Thermochemie, Katalyse und Kalorik 199
      - 4.2.4    *Energieumsetzungen bei Reaktionen im Labor* 201
  - 4.3    Kinetik chemischer Reaktionen 203
    - 4.3.1    Geschwindigkeit chemischer Reaktionen 204
      - 4.3.1.1    Definition und Berechnung der Reaktionsgeschwindigkeit  $v_R$  204
    - 4.3.2    Verlauf chemischer Reaktionen 206
      - 4.3.2.1    Reaktionsordnung 206
      - 4.3.2.2    Reaktionsmechanismus 207
    - 4.3.3    Katalyse und Geschwindigkeit chemischer Reaktionen 207
    - 4.3.4    Steuerung von Gleichgewichtsreaktionen 208
    - 4.3.5    *Kinetische und katalytische Untersuchungen im Labor* 209
  
- 5    Analytische Chemie** 215
  - 5.1    Qualitative Analyse 215
    - 5.1.1    Nachweisreaktionen und Nachweismittel 215
      - 5.1.1.1    Nachweisreagenzien und -reaktionen 216
      - 5.1.1.2    Selektivität und Stabilität 218
    - 5.1.2    Der systematische Gang einer qualitativ-anorganischen Analyse 220
    - 5.1.3    Anionennachweise und Sodaauszug 221
      - 5.1.4    *Anionennachweise und Sodaauszug im Labor* 221
    - 5.1.5    Vorproben und Aufschlüsse 225
      - 5.1.6    *Vorproben und Aufschlüsse im Labor* 226
    - 5.1.7    Kationentrenngang und Trenngangsgruppen 229
      - 5.1.8    *Kationentrenngang und -nachweise im Labor* 229
  - 5.2    Quantitative Analyse 242
    - 5.2.1    Analytischer Prozess, Gehaltsangaben und Analyseverfahren 242
      - 5.2.1.1    Gehalts- und Mengenangaben 244
      - 5.2.1.2    Wertigkeit und Äquivalenzzahl  $z^*$  246
    - 5.2.2    Gravimetrie: Fällungsanalyse 247
      - 5.2.2.1    Fehlerquellen und Probleme bei Fällungsanalysen 249
    - 5.2.3    *Gravimetrie im Labor* 250

- 5.2.4 Volumetrie (Maßanalyse, Titration) 257
  - 5.2.4.1 Maßlösung und Titer  $t$  259
  - 5.2.4.2 Titrimetrische Verfahren und Indikation 260
  - 5.2.4.3 Berechnung von Maßlösungen und Äquivalentkonzentrationen  $c(\text{eq})$  262
  - 5.2.4.4 Berechnung von Säure-Base-Titration: Acidimetrie 262
  - 5.2.4.5 Bestimmung und Berechnung des Titers  $t$  einer Maßlösung 263
  - 5.2.4.6 Berechnung von Neutralisationstitrationsen mit Titer  $t$  und aliquoten Teilen 263
  - 5.2.4.7 Acidimetrie und Alkalimetrie 264
  - 5.2.4.8 Fällungstitration 265
  - 5.2.4.9 Oxidimetrie und Reduktometrie 265
  - 5.2.4.10 Komplexometrie (Chelatometrie) 266
  - 5.2.4.11 Bestimmung maßanalytischer Kennzahlen 267
- 5.2.5 *Volumetrie – Titration im Labor* 269
- 5.2.6 Konduktometrie und Potenziometrie 283
- 5.2.7 Elektrogravimetrie und Coulometrie 286
- 5.2.8 *Elektroanalytische Verfahren im Labor* 287
- 5.2.9 Elementar- und Strukturanalyse organischer Verbindungen 293
  - 5.2.9.1 Ebullioskopie und Kryoskopie 294
  - 5.2.9.2 Osmometrie und Viskosimetrie 294
  - 5.2.9.3 Elementaranalyse organischer Verbindungen 296
- 5.2.10 *Elementar- und Strukturanalyse im Labor: Molmassenbestimmung* 296
- 5.3 Instrumentelle Analytik 297
  - 5.3.1 Optische Verfahren 298
    - 5.3.1.1 Das Elektromagnetische Spektrum 298
  - 5.3.2 Refraktometrie, Diffraktometrie – Brech- und Beugungsanalyse 299
    - 5.3.2.1 Lichtbrechung und -beugung 299
  - 5.3.3 Polarimetrie – Messung der optischen Aktivität 300
  - 5.3.4 *Refraktometrie und Polarimetrie im Labor* 301
  - 5.3.5 Photometrie und Kolorimetrie 303
  - 5.3.6 *Photometrie und Kolorimetrie im Labor* 309
  - 5.3.7 IR-Spektroskopie 312
    - 5.3.7.1 IR-Strahlung und Spektrometer 312
    - 5.3.7.2 Auswertung von IR-Spektren (Spektralanalyse) 313
  - 5.3.8 *IR-Spektroskopie im Labor* 318
  - 5.3.9 Atomspektroskopie und Flammenphotometrie – AAS und AES 321
    - 5.3.9.1 Atomabsorptionsspektroskopie AAS 322
    - 5.3.9.2 Atomemissionsspektroskopie (AES) oder Flammphotometrie 324
  - 5.3.10 *Atomabsorptionsspektrometrie AAS und Flammphotometrie AES im Labor* 325
  - 5.3.11 Massenspektroskopie MS 327
  - 5.3.12 NMR-Spektroskopie (Kernresonanz-Spektroskopie) 330
  - 5.3.13 Elektrophorese 331

5.3.14	Chromatographische Analyseverfahren	331
5.3.14.1	Gaschromatographie GC	332
5.3.14.2	Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie HPLC	332
5.3.14.3	Ionenchromatographie IC	334
5.3.14.4	Chromatogramm-Auswertung	335
5.3.15	<i>GC und HPLC im Labor</i>	338
<b>6</b>	<b>Präparative Organische Chemie</b>	<b>343</b>
6.1	Synthesetechniken	343
6.1.1	Versuchsplanung und Synthesemaßstäbe	343
6.1.2	Aufbereitung und Qualitätskontrolle	344
6.1.3	Synthese: Methoden, Reaktionen und Apparaturen	344
6.1.3.1	Reaktionstypen und Synthesereaktionen in der Organischen Chemie	345
6.1.3.2	Syntheseapparaturen und -schritte	347
6.2	<i>Präparative Organische Chemie im Labor</i>	347
<b>7</b>	<b>Grundlegende mikrobiologische Arbeitsmethoden</b>	<b>361</b>
7.1	Zellen und Lebewesen	361
7.1.1	Mikroorganismen und die Merkmale des Lebens	361
7.1.2	Zellen und ihre Organellen	362
7.1.3	Stoffwechsel und Stoffkreisläufe	363
7.1.4	Evolution der Arten	364
7.1.5	Ökologie	365
7.1.6	Biotechnologie	366
7.2	Grundlegende mikrobiologische Arbeitsmethoden	367
7.2.1	Sterilisieren	367
7.2.2	Mikroorganismen kultivieren	368
7.2.3	Mikroskopieren und Präparieren	370
7.2.4	<i>Mikrobiologie im Labor</i>	372