

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis XI

- 1 Grundlagen der Laborarbeit 1**
- 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 *Arbeitsplatzerkundung im Labor: erster Praktikumstag* 15
- 1.4.5 Gefahrstoffe im Chemielabor 17

- 2 Grundlegende physikalische Arbeitsmethoden: Mess-, Misch- und Trennverfahren 27**
- 2.1 Physikalische Stoffeigenschaften messen 28
- 2.1.1 SI-System 28
- 2.1.2 Masse auswiegen 28
- 2.1.3 Volumen messen 31

VI Inhaltsverzeichnis

- 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 *Messung von Volumen, Masse, Temperatur, Dichte und Viskosität im Labor* 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 *Fällung und Wägung von Niederschlägen im Labor* 51
- 2.3 Stoffe mischen 55
- 2.3.1 Lösungen und andere Stoffgemische 55
- 2.3.2 Gehaltsangaben 56
- 2.3.3 *Lösungen ansetzen, vermessen und Löslichkeiten beeinflussen im Labor* 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 *Mechanische Stofftrennverfahren im Labor (Digerieren, Filtrieren und Extrahieren)* 71
- 2.4.3 Thermische Stofftrennverfahren 76
- 2.4.3.1 Sublimieren 76
- 2.4.3.2 Destillieren und Rektifizieren 76
- 2.4.4 *Thermische Stofftrennverfahren im Labor (Sublimation, Destillation, Rektifikation)* 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 *Chromatographie im Labor: SC, DC, HPTLC* 97
- 3 Grundlegende chemische Arbeitsmethoden 103**
- 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 *Elemente chemisch untersuchen im Labor* 107
- 3.1.3 *Metallherstellung im Labor* 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	<i>Verbindungen herstellen und chemisch untersuchen im Labor: Präparate</i>	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	<i>Fällungsreaktionen im Labor</i>	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	<i>Säure-Base-Reaktionen im Labor</i>	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	<i>Redoxreaktionen und Reaktionen mit Komplexen und Liganden im Labor</i>	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	<i>Gasproben im Labor</i>	168
3.4.1.3	<i>Herstellung von Gasen im Labor</i>	169
3.4.2	<i>Gase chemisch erzeugen und im Labor einsetzen</i>	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

VIII Inhaltsverzeichnis

- 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 Neutralisationstitionen 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

X Inhaltsverzeichnis

- 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 *GC und HPLC im Labor* 338

- 6 Präparative Organische Chemie 343**
 - 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 *Präparative Organische Chemie im Labor* 347

- 7 Grundlegende mikrobiologische Arbeitsmethoden 361**
 - 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 *Mikrobiologie im Labor* 372