

Inhalt

1 Einführung und Überblick.....	1
1.1 Die Herausforderung von Wettbewerb, Ökologie und Sicherheit für die chemische Industrie.....	1
1.2 Grundkonzept der integrierten Entwicklung	2
1.3 Lernziele	3
1.4 Inhaltsübersicht	5
Teil A: Orientierungsteil	7
2 Technik und Verantwortung.....	9
2.1 Naturwissenschaft und Technik als Basis der industriellen Entwicklung.....	9
2.2 Technikfolgen	10
2.2.1 Ambivalenz des technischen Fortschritts	10
2.2.2 Der Begriff des Risikos.....	12
2.2.3 Abschätzung von Technikfolgen.....	14
2.3 Das Prinzip Verantwortung.....	15
2.4 Das Prinzip der Nachhaltigkeit	16
2.4.1 Der Begriff der Nachhaltigkeit.....	16
2.4.2 Nachhaltigkeit und ökologische Wirtschaft.....	18
2.4.3 Die Umsetzung von Nachhaltigkeit	20
2.4.3.1 Verschiedene ebenen der Umsetzung.....	20
2.4.3.2 Operationalisierung von Nachhaltigkeit	21
2.5 Folgerungen für die industrielle Chemie.....	22
Literatur zu Kapitel 2	25
3 Gesetzgebung für Sicherheit und Umweltschutz.....	27
3.1 Vorbemerkung	27
3.2 Maß- und Normenfindung.....	27
3.2.1 Gesetzgebung als Reaktion auf gesellschaftlich relevante Ereignisse	28
3.2.2 Gesetzgebung als vorausschauendes Ausrichten auf Schutzziele.....	30

3.3 Das geltende Recht im Überblick	32
3.3.1 Der verfassungsrechtliche Rahmen	33
3.3.1.1 Der EU-Vertrag	33
3.3.1.2 Die Bundesrepublik Deutschland	35
3.3.2 Das stoffbezogene Recht	35
3.3.3 Das anlagenbezogene Recht	37
3.3.4 Das Recht bezüglich Arbeitsschutz	38
3.3.5 Integrierende Ansätze	39
3.3.6 Das Haftungsrecht	39
3.3.6.1 Produkthaftung	
3.3.6.2 Umwelthaftung für Anlagen	41
3.3.7 Das Strafrecht	41
3.4 Unternehmerische Pflichten und Ausblick	41
Literatur zu Kapitel 3	42
4 Sicherheit und Umweltschutz aus unternehmerischer Sicht	45
4.1 Chemie: hohe Wertschöpfung und breites Gefahrenspektrum	45
4.2 Entwicklung von Sicherheit und Umweltschutz	46
4.2.1 Historische Entwicklung	46
4.2.2 Neuer Ansatz zur Produkt- und Prozessentwicklung	47
4.3 Das Responsible-Care-Programm der chemischen Industrie	48
4.4 Sicherheit und Umweltschutz als Teil der Unternehmensstrategie	49
4.4.1 Sicherheit und Umweltschutz: reaktives und proaktives Verhalten	50
4.4.2 Integriertes Managementsystem für S&U	50
4.5 Chemische Produkte und Prozesse: integrierte Entwicklung	53
4.5.1 Leitgrößen der integrierten Entwicklung	54
4.5.1.1 Ökoeffizienz	54
4.5.1.2 Inhärente Sicherheit	54
4.5.1.3 Gesellschaftliche Akzeptanz	54
4.5.2 Umsetzungsinstrumente der integrierten Entwicklung	55
4.5.2.1 Ökobilanz	56
4.5.2.2 Risikoanalyse	57
4.5.2.3 Nutzen-Risiko-Dialog	57
4.6 Schlussfolgerung	57
Literatur zu Kapitel 4	60
Teil B: Fachteil	61
5 Ökologische und ökonomische Bilanzierung	63
5.1 Die Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA)	63
5.1.1 Schritt I: Ziel- und Rahmendefinition	65
5.1.2 Schritt II: Sachbilanz (Life Cycle Inventory, LCI)	66

5.1.3	Schritt III: Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment, LCIA).....	71
5.1.4	Auswertung.....	82
5.2	Die Investitionsrechnung.....	84
5.2.1	Der Net Present Value (NPV).....	84
5.2.2	Sicherheit und Umweltschutz: Einfluss auf den Net Present Value...85	
5.2.3	Optimierung der industriellen Wertschöpfungskette.....	86
5.3	Ökoeffizienz.....	87
	Literatur zu Kapitel 5.....	88
6	Risikoanalyse chemischer Produkte.....	91
6.1	Problemstellung und Zielsetzung.....	91
6.1.1	Problemstellung.....	91
6.1.1.1	Systemorientierte chemische Produkte.....	91
6.1.1.2	Die Frage nach der Sicherheit chemischer Produkte.....	92
6.1.2	Zielsetzung der Produktrisikoaanalyse.....	93
6.2	Grundkonzept der Produktrisikoaanalyse.....	93
6.2.1	Die Produktanmeldung.....	94
6.2.2	Ablauf einer Produktrisikoaanalyse.....	94
6.2.2.1	Die einzelnen Schritte einer Produktrisikoaanalyse.....	95
6.2.3	Unsicheres Wissen in der Produktrisikoaanalyse.....	97
6.3	Humantoxizität.....	99
6.3.1	Ausgangslage.....	99
6.3.2	Expositionsanalyse.....	100
6.3.3	Wirkungsanalyse.....	102
6.3.3.1	Bestimmung der Wirkungsschwelle: NEL_{man} und ADI.....	104
6.3.4	Risikobeschreibung und Risikobewertung.....	106
6.3.5	Risikomanagement.....	107
6.4	Umwelteffekte.....	110
6.4.1	Problemstellung.....	110
6.4.2	Stufen der Risikoanalyse.....	110
6.4.3	Ausgangslage.....	112
6.4.4	Expositionsanalyse.....	113
6.4.4.1	Emmission und unmittelbare Verdünnung: der PEC_{local}	114
6.4.4.2	Verteilung und Umwandlung in der Umwelt: der $PEC_{regional}$ und der $PEC_{continental}$	117
6.4.4.3	Mackay-Fugazitätsmodelle.....	119
6.4.4.4	Stoffbewertung mit Hilfe von Persistenz und Reichweite.....	120
6.4.5	Wirkungsanalyse.....	121
6.4.5.1	Die Bestimmung von PNEC-Werten.....	121
6.4.6	Risikobeschreibung und Risikobewertung.....	123
6.4.7	Risikomanagement.....	125
6.5	Physikalisch-chemische Eigenschaften.....	127
6.5.1	Ausgangslage.....	127

6.5.2	Stufen der Risikoanalyse im Hinblick auf Brand- und Explosions- gefahren	128
6.5.2.1	Sicherheitsdaten zur Gefahrenidentifikation	128
6.5.2.2	Expositionsszenarien, Risikobeschreibung und -bewertung.....	131
6.5.2.3	Risikomanagement.....	132
	Literatur zu Kapitel 6.....	137
7	Risikoanalyse chemischer Prozesse	139
7.1	Ausgangslage und Zielsetzung.....	139
7.2	Einsatz und Systematik der Risikoanalyse.....	142
7.2.1	Einsatz bei neuen und bestehenden Prozessen	142
7.2.2	Systematik.....	143
7.3	Die einzelnen Schritte der Prozessrisikoanalyse	144
7.3.1	Ermittlung der Basisdaten.....	144
7.3.2	Abgrenzung sicherer Prozessbedingungen.....	146
7.3.3	Systematische Gefahrensuche.....	147
7.3.4	Risikobeschreibung.....	151
7.3.4.1	Tragweite	152
7.3.4.2	Wahrscheinlichkeit.....	153
7.3.5	Risikobewertung und Maßnahmenplanung.....	154
7.3.5.1	Risikobewertung	154
7.3.5.2	Maßnahmen	154
7.3.6	Bewertung des Restrisikos	156
7.4	Kosteneffizienz von Sicherheitsmaßnahmen	157
	Literatur zu Kapitel 7.....	159
8	Risikoanalyse biotechnologischer Prozesse.....	161
8.1	Ausgangslage und Zielsetzung.....	161
8.1.1	Ausgangslage	161
8.1.2	Problemstellung	163
8.1.3	Zielsetzung.....	164
8.2	Systematik der Risikoanalyse von geschlossenen biologischen Systemen.....	164
8.3	Die einzelnen Schritte der Risikoanalyse.....	166
8.3.1	Datenbasis.....	166
8.3.2	Wirkungscharakterisierung der Mikroorganismen.....	166
8.3.2.1	Pathogenität beim Menschen	166
8.3.2.2	Umweltbeeinträchtigungen	167
8.3.2.3	Einteilung in Gefährdungsgruppen.....	167
8.3.3	Charakterisierung des Expositionsrisikos.....	169
8.3.3.1	Störanfälligkeit des technischen Prozesses	169
8.3.3.2	Freisetzung und Ausbreitung von Mikroorganismen	170
8.3.4	Risikobeschreibung und -bewertung.....	171
8.3.5	Risikomanagement und Umgang mit dem Restrisiko	171
	Literatur zu Kapitel 8.....	173

9 Thermische Prozeßsicherheit.....	175
9.1 Einführung	175
9.1.1 Problemstellung	175
9.1.2 Zielsetzung.....	175
9.1.3 Ablaufstruktur.....	176
9.2 Die Wärmebilanz	176
9.3 Das Runaway-Szenario als Basis für die Beurteilung thermischer Prozessrisiken	181
9.4 Das thermische Gefahrenpotential	182
9.4.1 Die Reaktionswärme	182
9.4.2 Der adiabate Temperaturanstieg	183
9.5 Wärmeproduktion und Eintrittswahrscheinlichkeit einer thermischen Zersetzung	185
9.5.1 Die Dynamik der Zersetzungsreaktion.....	185
9.5.2 Die Ausgangstemperatur T_0 der Zersetzungsreaktion	188
9.6 Kritikalitätsklassen von Reaktionen.....	190
Literatur zu Kapitel 9	191
10 Nutzen-Risiko-Dialog mit der Gesellschaft.....	193
10.1 Ausgangslage und Zielsetzung.....	193
10.1.1 Ausgangslage	193
10.1.2 Zielsetzung.....	195
10.2 Unterschiedliche Sichtweisen	196
10.3 Das Stufenmodell des Nutzen-Risiko-Diologs.....	197
10.4 Spezifische Szenarien: Normalfall - Konfliktfall - Störfall	199
10.4.1 Normalfall.....	199
10.4.2 Konfliktfall.....	200
10.4.3 Störfall	202
Literatur zu Kapitel 10	204
Teil C: Umsetzungsteil.....	205
11 Integrierte Entwicklung chemischer Prozesse.....	207
11.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	207
11.2 Zeitlicher Ablauf und Kommunikation	210
11.3 Stufen der integrierten Prozessentwicklung	211
11.4 Inhärente Prozeßsicherheit.....	215
11.4.1 Energiepotential	215
11.4.2 Stoffpotential.....	215
11.4.3 Fehlertoleranz von Prozessen.....	216
11.5 Ökologische Effizienz.....	217
11.5.1 Stoffeffizienz	219

11.5.2	Energieeffizienz	221
11.5.3	Minimierung von Abfall und Emissionen	223
11.6	Ökonomische Effizienz.....	225
11.6.1	Investitionskosten.....	225
11.6.2	Betriebskosten.....	225
	Literatur zu Kapitel 11	226
12	Integrierte Entwicklung chemischer Produkte	229
12.1	Problemstellung und Zielsetzung.....	229
12.2	Produktwerdegang.....	232
12.3	Zielgrößen und Beurteilungskriterien beim Produktdesign	234
	Literatur zu Kapitel 12.....	237
13	Fallstudien	239
13.1	Motivation.....	239
13.2	Vorgehen.....	239
13.2.1	Wahl der Fallstudien	239
13.2.2	Zeitlicher Ablauf.....	240
13.2.3	Lernziele für Studierende.....	241
13.2.4	Datenbasis.....	242
13.3	Fallstudie Chemische Kleiderreinigung	242
13.3.1	Vorstudie.....	242
13.3.2	Detailstudie Ökobilanz.....	245
13.3.2.1	Zieldefinition.....	245
13.3.2.2	Sachbilanz und Bewertung.....	245
13.3.2.3	Interpretation und Methodenkritik	248
13.3.3	Detailstudie Risikoanalyse.....	250
13.3.3.1	Ausgangslage und Datenbasis.....	250
13.3.3.2	Expositionsanalysen.....	252
13.3.3.3	Wirkungsanalyse.....	254
13.3.3.4	Risikobeschreibung.....	254
13.3.3.5	Risikobewertung	255
13.3.3.6	Risikomanagement.....	256
13.3.4	Chlorchemie und Gesellschaft	257
13.3.4.1	Vorgehen.....	257
13.3.4.2	Resultate.....	257
13.3.4.3	Interpretation und Methodenkritik	259
13.4	Integrierende Beurteilung der Detailstudien und Diskussion	259
	Literatur zu Kapitel 13	260

Anhang.....	263
A1 Kurzchronik von Chemieunfällen	265
A2 Anhang zum geltenden Recht der Schweiz	267
A2.1 Luftreinhaltung.....	267
A2.2 Gewässerschutz.....	269
A2.3 Abfälle	271
A3 Anhang zum geltenden Recht in Deutschland	273
A3.1 Herstellungs- und Verwendungsverbote nach § 15 Gefahrstoff- verordnung (D)	273
A3.2 Gefahrenbezeichnungen, R- und S-Sätze nach Anhang I der Gefahrstoffverordnung (D)	274
A3.3 Beispiel eines Sicherheitsdatenblattes nach Gefahrstoff- verordnung (D)	277
A4 Grunddaten zur Ökobilanzierung	281
A5 Grundlagen für Expositionsanalysen.....	283
A5.1 Gleichgewichtsverteilung von Stoffen in der Umwelt.....	283
A5.1.1 Luft ↔ Wasser.....	283
A5.1.2 Wasser ↔ Feststoff (Grundwasserleiter, Sediment oder suspendierter Feststoff)	284
A5.1.3 Wasser ↔ Biota	284
A5.2 Stoffumwandlungen in der Umwelt	285
A5.2.1 Biologischer Abbau (Wasser/Boden/Sediment).....	285
A5.2.2 Hydrolyse (Wasser/Boden/Sediment)	285
A5.2.3 Photolyse (Atmosphäre/Wasser)	285
A5.2.4 Abiotische Reduktion (Boden/Sediment).....	286
A5.2.5 Bemerkungen	286
A5.3 Ausbreitung von Stoffen in der Umwelt.....	286
A5.3.1 Atmosphärische Ausbreitung von Stoffen und Mikroorganismen....	286
A5.3.2 Schwergasausbreitung.....	287
A5.3.3 Gasausbreitung durch turbulente Diffusion.....	289
A5.3.4 Schutzwirkung von Gebäuden.....	291
A5.3.5 Weitere Ausbreitungsmodelle	291
A5.4 Expositionswege für den Menschen.....	292
A5.4.1 Inhalationsexposition.....	292
A5.4.2 Dermale Exposition.....	292

A5.4.3 Orale Exposition	292
A5.5 Abschätzung der Exposition bei Pestiziden.....	293
A6 Störfallanalysen: Fehlerbaum, Ereignisbaum, Risikodiagramm.....	295
A7 Kalorimetrische Charakterisierung von Zersetzungsreaktionen.....	299
A7.1 Methodenübersicht.....	299
A7.2 Mikrokolorimetrie am Beispiel der DSC.....	300
A8 Informationsquellen.....	302
Literatur zum Anhang.....	304
Glossar	305
Stichwortverzeichnis.....	313