

Die Tenside

**Herausgegeben von
Dr. Kurt Kosswig und Dr. Helmut Stache**

mit Beiträgen von

Dr.-Ing. Wolfgang Adam, Prof. Dr. Bernhard Fell,
Dr. Jürgen Geke, Dr. Rudolf Heusch, Prof. Dr. Heinz Hoffmann,
Dr. Günter Jakobi, Dr. Martina Kihn-Botulinski,
Dr. Kurt Kosswig, Dr. Georg Krusche, Dr. Klaus Künstler,
Dipl.-Ing. Alwin K. Reng, Dr. Peter Schöberl,
Dr. Norbert Scholz, Dr. Horst-Dieter Speckmann,
Dr. Werner Ulbricht



Carl Hanser Verlag München Wien

I

Inhalt

1	Physikalische Chemie der Tenside	1
	<i>von H. Hoffmann und W. Ulbricht</i>	
1.1	Definition und Klassifizierung der Tenside	1
1.1.1	Allgemeines	1
1.1.2	Klassifizierung der Tenside	2
1.1.2.1	Einteilung der Tenside nach hydrophilen Gruppen	2
1.1.2.1.1	Ionische Tenside	2
1.1.2.1.2	Zwitterionische Tenside	2
1.1.2.1.3	Nichtionische Tenside	3
1.1.2.1.4	Tenside mit mehreren hydrophilen Gruppen, Bolaform-Tenside	5
1.1.2.2	Einteilung der Tenside nach hydrophoben Gruppen	5
1.1.2.2.1	Kohlenwasserstofftenside	5
1.1.2.2.2	Perfluortenside	6
1.1.2.2.3	Silicontenside	6
1.1.2.2.4	Block-Copolymere	7
1.2	Eigenschaften der Tenside und ihrer Lösungen	8
1.2.1	Allgemeines zur Löslichkeit und Mischbarkeit von Stoffen	8
1.2.2	Das Lösungsverhalten der Tenside in Wasser	9
1.2.3	Die Grenzflächenaktivität der Tenside	12
1.2.3.1	Oberflächenfilme und Modelle der Filme	12
1.2.3.1.1	Grenzflächen zwischen Flüssigkeiten und Gasen	12
1.2.3.1.2	Grenzflächen zwischen zwei Flüssigkeiten	21
1.2.3.1.3	Grenzflächen zwischen Flüssigkeiten und Festkörpern	22
1.2.3.2	Benetzung und Spreiten	23
1.2.4	Die Aggregation der Tenside zu Mizellen	26
1.2.4.1	Definition der kritischen Mizellbildungskonzentration und des Kraft-Punktes	26
1.2.4.2	Der Trübungspunkt nichtionischer Tenside	27
1.2.5	Tenside in polaren nichtwäßrigen Lösungsmitteln	28
1.2.6	Tenside in unpolaren Lösungsmitteln	28

1.3	Die Aggregation der Tenside in ihren Lösungen	29
1.3.1	Methoden zur Bestimmung der kritischen Mizellbildungskonzentration (cmc)	29
1.3.2	Der Einfluß der Tensidkonstitution auf die cmc	31
1.3.2.1	Abhängigkeit der cmc von der Konstitution der hydrophoben Gruppe	31
1.3.2.1.1	Kohlenwasserstoffenside	31
1.3.2.1.2	Tenside mit perfluorierten Kohlenwasserstoffketten	32
1.3.2.1.3	Silicontenside	34
1.3.2.1.4	POE-POP-POE-Block-Copolymere	35
1.3.2.2	Abhängigkeit der cmc von der Konstitution der hydrophilen Gruppe	35
1.3.2.2.1	Ionische Tenside	35
1.3.2.2.2	Einfluß der Gegenionen	38
1.3.2.2.3	Zwitterionische und nichtionische Tenside	38
1.3.3	Einfluß äußerer Parameter auf die cmc	38
1.3.3.1	Die Ionenstärkeabhängigkeit der cmc	38
1.3.3.2	Die Temperaturabhängigkeit der cmc	39
1.3.4	Modelle zur Beschreibung der Tensidaggregation	40
1.4	Die Tensidaggregate	41
1.4.1	Formen der Tensidaggregate	41
1.4.1.1	Kugelmizellen	42
1.4.1.2	Stäbchenmizellen	42
1.4.1.3	Scheibchenmizellen, Lamellen und Vesikel	43
1.4.2	Methoden zur Bestimmung von Übergangskonzentrationen	44
1.4.3	Methoden zur Bestimmung der Struktur von Mizellen	47
1.4.4	Modelle zur Beschreibung des Aggregationsverhaltens der Tenside	50
1.4.5	Konfiguration der Monomeren in den Mizellen	52
1.5	Die Dynamik der Mizellbildung	53
1.5.1	Kinetische Prozesse in mizellaren Lösungen	53
1.5.2	Modelle zur Beschreibung der Dynamik der Mizellbildung	53
1.5.2.1	Der Monomeren austausch zwischen Mizellen und der Lösung	56
1.5.2.2	Aufbau und Zerfall von Mizellen	58
1.6	Die Wechselwirkung zwischen Tensidaggregaten	60
1.6.1	Arten der intermizellaren Wechselwirkungen	60
1.6.2	Das ζ -Potential und seine Bestimmung	61
1.6.3	Einfluß der intermizellaren Wechselwirkung auf das Verhalten der Tensidlösungen	62
1.6.4	Kondensation der Mizellen, Koazervatbildung	65
1.6.5	Ausbildung lyotroper Mesophasen	65
1.6.5.1	Arten und Eigenschaften der lyotropen Mesophasen	66
1.6.5.2	Untersuchungsmethoden lyotroper Mesophasen	72
1.6.5.3	Einfluß der Tensidkonstitution und äußerer Parameter auf die Bildung lyotroper Mesophasen	72
1.7	Das rheologische Verhalten der Tensidlösungen	74
1.7.1	Newtonsche Lösungen	74
1.7.2	Abweichungen vom Newtonschen Fließverhalten	74
1.7.3	Viskoelastische Tensidlösungen	75
1.7.3.1	Modelle für viskoelastische Tensidlösungen	76

1.7.4	Scherinduzierte Phänomene in Tensidlösungen	78
1.7.5	Systeme mit Fließgrenzen	81
1.8	Tensidhaltige Mehrkomponentensysteme	82
1.8.1	Tensidmischungen in Lösung	82
1.8.2	Mischungen von Tensiden und Polymeren in Lösung	83
1.8.2.1	Nichtionische Polymere und Tenside	83
1.8.2.2	Polyelektrolyte und Tenside	84
1.8.3	Solubilisation von Substraten durch Tensidaggregate	84
1.8.3.1	Die Solubilisationskapazität der mizellaren Lösungen	85
1.8.3.2	Einfluß der Solubilisation auf die Tensidaggregate	86
1.8.3.3	Einfluß der Solubilisation auf das makroskopische Verhalten der Tensidlösungen	88
1.8.4	Mikroemulsionen	89
1.8.4.1	Definition und Existenzbereiche der Mikroemulsionen	89
1.8.4.2	Das Phasenverhalten der tensidhaltigen Mehrkomponenten- systeme	89
1.8.4.3	Struktur der Mikroemulsionen	95
1.8.5	Schaumsysteme	96
1.8.5.1	Schäume aus zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten	96
1.8.5.2	Schäume aus Wasser und Luft	98
1.9	Literatur	99
2	Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Tensiden	115
	<i>von K. Kosswig</i>	
2.1	Einleitung	115
2.2	Anionische Tenside	118
2.2.1	Carboxylate	118
2.2.1.1	Seifen	118
2.2.1.2	Anionische Derivate der Fettsäuren	122
2.2.1.3	Fettalkylethercarboxylate (Carboxymethylierte Fettalkohol- oxethylate).	122
2.2.2	Sulfierte Fette und Öle	123
2.2.3	α -Sulfofettsäuremethylester	124
2.2.4	Alkylsulfate – Fettalkylsulfate	126
2.2.5	Fettalkylethersulfate	130
2.2.6	Alkylphosphate und Alkyletherphosphate	133
2.2.7	Alkylbenzolsulfonate	135
2.2.8	Petroleumsulfonate	140
2.2.9	Olefinsulfonate	140
2.2.10	Alkansulfonate	143
2.2.11	Sulfobernsteinsäureester	145
2.2.12	Ligninsulfonate	146
2.3	Nichtionische Tenside	147
2.3.1	Oxethylate	148
2.3.1.1	Alkoholoxethylate – Fettalkoholoxethylate	149
2.3.1.2	Alkylphenoloxethylate	152
2.3.1.3	Schwach schäumende Oxethylate – endständig blockierte Oxethylate	153

2.3.1.4	Fettsäureoxethylate – Fettsäurepolyglykolester	155
2.3.1.5	Fettsäurealkanolamide	156
2.3.1.6	Fettaminoxethylate	157
2.3.2	Polyhydroxyverbindungen	158
2.3.2.1	Fettsäureglyceride	158
2.3.2.2	Sorbitanester	159
2.3.2.3	Alkylpolyglycoside	159
2.4	Kationische Tenside	161
2.4.1	Tetraalkylammoniumsalze	161
2.4.2	Imidazoliumsalze	164
2.4.3	Aminoxide	165
2.5	Ampholytische Tenside und Betaine	165
2.6	Tenside mit hydrophoben Resten, die keine Kohlenwasserstoffe sind	167
2.6.1	Fluortenside	167
2.6.2	Silicontenside	168
2.7	Literatur	171
3	Rohstoffe und Vorprodukte für die technische Synthese von Tensiden	179
	<i>von B. Fell</i>	
3.1	Einleitung	179
3.2	Unverzweigte Paraffinkohlenwasserstoffe	179
3.3	Geradkettige Olefinkohlenwasserstoffe	181
3.3.1	<i>n</i> - α -Olefine durch Paraffinckrackung	181
3.3.2	<i>n</i> - α -Olefine durch Aufbaureaktionen	182
3.3.3	Aluminiumorganische Synthese von <i>n</i> - α -Olefinen	182
3.3.4	Koordinationskatalysierte Ethylenoligomerisation zu <i>n</i> - α -Olefinen	184
3.3.5	Geradkettige Olefine mit innenstehender Doppelbindung (<i>n</i> - ψ -Olefine)	185
3.3.5.1	<i>n</i> - ψ -Olefine durch katalytische Dehydrierung von <i>n</i> -Alkanen	185
3.3.5.2	<i>n</i> - ψ -Olefine durch Chlorierung/Dehydrochlorierung von <i>n</i> -Alkanen	187
3.3.5.3	Mittelmolekulare <i>n</i> - ψ -Olefine durch Cometathese von nieder- und hochmolekularen <i>n</i> - ψ -Olefinen (Shell <i>Higher Olefin Process</i> , SHOP)	187
3.4	Lineare Alkylbenzole	189
3.5	Alkylphenole	191
3.6	Benzol	191
3.7	Phenol	192
3.8	Höhermolekulare primäre Alkohole (Fettalkohole)	193
3.9	Alkylenoxide	196
3.9.1	Ethylenoxid	196
3.9.2	Propylenoxid	197
3.10	Fettsäuren und Fettsäuremethylester	198
3.10.1	Fettsäuren aus biologischem Material	198
3.10.2	Synthetische Fettsäuren	198
3.11	Amine	199
3.11.1	Methylamine	199
3.11.2	Fettamine	199

3.11.3	Alkanolamine	200
3.12	Literatur	201
4	Grundlagen zur Emulgierwirkung von Tensiden	203
	<i>von R. Heusch</i>	
4.1	Begriffe und Definitionen	203
4.2	Grundvorstellungen	208
4.2.1	Die Bildung von Emulsionen	208
4.2.1.1	Die Tröpfchengröße und -verteilung	208
4.2.1.2	Die Erniedrigung der Grenzflächenspannung	209
4.2.1.3	Die Besetzung der Tröpfchenoberfläche	210
4.2.1.4	Der Marangoni-Effekt	211
4.2.1.5	Weitere Bildungsmechanismen	212
4.2.1.6	Wirkungsmechanismus eines Emulgators	212
4.2.2	Die Stabilität von Emulsionen	213
4.2.2.1	Praktische Gesichtspunkte	213
4.2.2.2	Die elektrostatische Stabilisierung	214
4.2.2.2.1	Die elektrostatischen Abstoßungskräfte	214
4.2.2.2.2	Die Anziehungskräfte (van der Waals'sche Kräfte)	215
4.2.2.2.3	DLVO-Theorie	216
4.2.2.3	Die Sterische Stabilisierung	218
4.2.2.3.1	Molekulare Effekte	218
4.2.2.3.2	Stabilisierung durch Makromolekeln	220
4.2.2.4	Wirkungsmechanismus eines Stabilisators	220
4.2.3	Das Brechen einer Emulsion	221
4.2.3.1	Kräfte und Mechanismen	221
4.2.3.2	Praktische Methoden	222
4.3	Emulgatoren und Emulgierhilfsmittel	224
4.3.1	Emulgatoren	224
4.3.2	Emulgierhilfsmittel	225
4.3.3	Bezugsquellen für Emulgatoren und Emulgierhilfsmittel	226
4.4	Auswahl von Emulgatoren	226
4.4.1	Allgemeine Gesichtspunkte	226
4.4.2	Die Auswahlssysteme	228
4.4.3	Ein Auswahl-schema	233
4.5	Herstellung von Emulsionen	234
4.5.1	Zur mechanischen Emulgierung	234
4.5.2	Die Anwendung von Emulgatoren	235
4.6	Untersuchungen von Emulsionen	236
4.6.1	Emulsionsbildung und Stabilität	236
4.6.2	Bestimmung des Emulsionstyps	237
4.6.3	Tröpfchengröße und Verteilung	238
4.6.4	Messung der Ober- und Grenzflächenspannung	239
4.6.5	Messungen zur Filmbildung	239
4.6.6	Bestimmung des HLB-Wertes eines Emulgators, des Trübungspunktes und der Phaseninversionstemperatur	240
4.6.7	Messung der Viskosität	241
4.6.8	Randwinkel-messungen	242

4.6.9	Physikalische Kennzahlen von Emulsionen und ihre Meßmethoden	243
4.6.10	Phasendiagramme	243
4.7	Ausblick	244
4.8	Literatur	244
5	Zur Analytik der Tenside	251
	<i>von G. Krusche</i>	
5.1	Einleitung – Zusammenarbeit der Tensidanalytiker	251
5.2	Qualitative Analyse von Tensiden	252
5.2.1	Infrarot-Spektroskopie	252
5.2.2	Kernresonanzspektroskopie	252
5.2.3	Massenspektrometrie	253
5.2.4	Dünnschichtchromatographie	253
5.2.5	Pyrolyse-Gaschromatographie	253
5.3	Analyse einzelner Tenside	254
5.3.1	Anionentenside	254
5.3.1.1	Identifizierung und qualitative Analyse	254
5.3.1.2	Quantitative Analyse	254
5.3.2	Kationentenside	259
5.3.2.1	Identifizierung und qualitative Analyse	259
5.3.2.2	Quantitative Bestimmung der Kationentenside	260
5.3.3	Nichtionische Tenside	262
5.3.3.1	Zusammenstellung der analytisch bedeutsamen Parameter	262
5.3.3.2	Identifizierung und qualitative Analyse	262
5.3.3.3	Quantitative Analyse	266
5.3.4	Spezielle Tenside	268
5.3.4.1	Amphotenside	268
5.3.4.2	Phosphorsäureester	269
5.3.4.3	Aminoxide	270
5.3.4.4	Fettsäurediethanolamide	271
5.3.4.5	Fettsäureamidethoxylate	271
5.4	Spurenanalyse	271
5.5	Trennungsgänge	274
5.6	Ausblick auf künftige Entwicklungen	275
5.7	Literatur	276
6	Tenside zum Reinigen von Textilien und harten Oberflächen im Haushalt und im industriellen Bereich	281
	<i>von I. Geke, G. Jakobi, M. Kihn-Botulinski, H.-D. Speckmann</i>	
6.1	Historische Rückblick	281
6.2	Anwendungstechnische Aspekte bei Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln	283
6.2.1	Wesentliche Anforderungen	283
6.2.1.1	Adsorption und Waschwirkung	283
6.2.1.2	Härteempfindlichkeit	288
6.2.1.3	Dispergier- und Schmutztragevermögen	289
6.2.1.4	Schaumverhalten	290

6.2.1.5	Netzeigenschaften	291
6.2.1.6	Elektrolytverträglichkeit der Tenside	291
6.2.1.7	Chemische Stabilität	292
6.2.1.8	Reinigungs- und Entfettungsvorgänge – Besonderheiten bei der industriellen Reinigung	292
6.2.1.8.1	Reinigung in wäßrigen Lösungen	293
6.2.1.8.2	Reinigung mit Lösemitteln	295
6.3	Tenside in modernen Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln	296
6.3.1	Tenside für Haushaltsprodukte	296
6.3.2	Tenside für Industrieprodukte	298
6.3.2.1	Anionische Tenside	298
6.3.2.2	Nichtionische Tenside	299
6.3.2.3	Kationische Tenside	302
6.4	Haushaltsprodukte	303
6.4.1	Waschmittel	303
6.4.1.1	Universalwaschmittel	303
6.4.1.2	Spezialwaschmittel	305
6.4.1.3	Waschhilfsmittel	306
6.4.1.4	Nachbehandlungsmittel	308
6.4.2	Teppichreinigungsmittel	310
6.4.2.1	Detachurmittel	310
6.4.2.2	Schaumreiniger	310
6.4.2.3	Pulverreiniger	311
6.4.2.4	Sprühextraktionsreiniger	312
6.4.3	Geschirrspülmittel	312
6.4.3.1	Produkte zum manuellen Spülen	313
6.4.3.2	Produkte zum maschinellen Spülen	314
6.4.4	Reinigungsmittel	317
6.4.4.1	Allzweckreiniger	318
6.4.4.2	Scheuermittel	319
6.4.4.3	Spezialreiniger	319
6.5	Industriereiniger	321
6.5.1	Lösungsmittelhaltige Reinigungsmittel	321
6.5.2	Reiniger für das wäßrige Milieu	322
6.5.2.1	Alkalische Reinigungsmittel	322
6.5.2.2	Neutrale Reinigungsmittel und „Neutralreiniger“	323
6.5.2.3	Saure Reinigungsmittel	324
6.5.2.4	Passivierende Reinigungsmittel	325
6.5.2.5	Kombinierte Reinigungs- und Desinfektionsmittel	325
6.6	Testmethoden zur Ermittlung der Produktleistung	326
6.6.1	Haushaltsprodukte	326
6.6.1.1	Labormethoden	326
6.6.1.2	Praxisorientierte Versuche	327
6.6.1.3	Verbrauchertests	328
6.6.2	Testverfahren für die Reinigungswirkung	328
6.7	Konfektionierung von Produkten	329
6.7.1	Pulverprodukte	329
6.7.1.1	Pulverherstellung ohne Trocknung	329
6.7.1.2	Pulverherstellung mit Trocknung	330

6.7.2	Flüssigprodukte	331
6.8	Abwasserbehandlung tensidhaltiger Reinigungslösungen	331
6.9	Literatur	333
7	Tenside in der Körperpflege	339
	<i>von A. Reng</i>	
7.1	Einleitung	339
7.2	Tenside für kosmetische Reinigungsmittel	340
7.2.1	Reinigungsprinzip	340
7.2.2	Tensidklassen	342
7.2.3	Prüfkriterien	347
7.2.4	Rezeptierung	348
7.2.5	Zusammenfassung und Ausblick	349
7.3	Tenside für kosmetische Pflegemittel	349
7.3.1	Pflegeprinzip	349
7.3.2	Tensidklassen	350
7.3.3	Prüfkriterien	352
7.3.4	Rezeptierung	353
7.3.5	Ausblick	354
7.4	Zusammenfassung	355
7.5	Literatur	355
8	Tenside in Industrie und Technik	357
	<i>von W. Adam und R. Heusch</i>	
8.1	Vorbemerkung	357
8.2	Tenside in der Lebensmittelindustrie	357
8.3	Tenside in der Landwirtschaft	359
8.4	Tenside in Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln	360
8.5	Tenside in der pharmazeutischen Industrie	362
8.6	Tenside in Desinfektionsmitteln	363
8.7	Tenside bei der Herstellung synthetischer Fasern und in der Textilindustrie	364
8.8	Tenside in der Kunststoffindustrie	368
8.9	Tenside in der chemischen Industrie	371
8.10	Tenside in der Biotechnologie	372
8.11	Tenside für Lacke, Pigmente und Druckfarben	374
8.12	Tenside in der Zellstoff- und Papierindustrie	376
8.13	Tenside in Klebstoffen	377
8.14	Tenside in der Lederindustrie	378
8.15	Tenside in der Fotoindustrie	380
8.16	Tenside in der metallverarbeitenden Industrie	381
8.17	Tenside in der Galvanotechnik	383
8.18	Tenside bei der Korrosionsinhibierung	383
8.19	Tenside bei der Herstellung von Polituren und Schutzschichten sowie bei ihrer Entfernung	384
8.20	Tenside als Additive in der Mineralölindustrie	385
8.21	Tenside für den Straßenbau und für Baustoffe	386
8.22	Tenside im Bergbau und in der Flotation	388

8.23	Tenside zur Förderung und Verarbeitung von Erdöl	389
8.23.1	Zur Gewinnung von Erdöl	389
8.23.2	Das Tensidfluten	390
8.23.3	Emulsionsspaltung	397
8.23.4	Weitere Hilfsmittel für die Förderung sowie für die Lagerung und den Transport von Erdöl	398
8.23.5	Ausblick	399
8.24	Organophile Tone	399
8.25	Tenside als Biozide	400
8.26	Tenside in kleineren Anwendungsgebieten	401
8.27	Ausblick	401
8.28	Literatur	402
9	Biologischer Tensid-Abbau	409
	<i>von P. Schöberl</i>	
9.1	Einführung	409
9.2	Gesetzlich vorgeschriebene Abbau-/Eliminations-Prüfmethode(n)	411
9.2.1	Methoden zur Ermittlung des Primär-Abbaugrades	412
9.2.1.1	OECD-Screening(Auswahl)-Test	412
9.2.1.2	OECD-Confirmatory(Bestätigungs)-Test	412
9.2.2	Methoden zur Bestimmung des Totalabbaugrades	414
9.2.2.1	Screening-Tests	415
9.2.2.2	Tests zur Bestimmung der „grundsätzlichen Abbaubarkeit“ (inherent biodegradability)	415
9.2.2.3	Simulations-Tests	415
9.2.2.4	Katabolitentest	416
9.2.2.5	Anaerober Abbau	417
9.3	Der biologische Tensid-Abbau	417
9.3.1	Anionische Tenside	418
9.3.1.1	Alkylbenzolsulfonat (LAS)	418
9.3.1.1.1	Primär- und Totalabbau	418
9.3.1.1.2	DOC- und COD-Abbau	419
9.3.1.1.3	Abbau des Sulfophenyl-Rests	420
9.3.1.1.4	Sulfat-Abspaltung	421
9.3.1.1.5	LAS-Katabolismus	423
9.3.1.2	Primäre Alkansulfonate	432
9.3.1.3	Sekundäre Alkansulfonate (SAS)	433
9.3.1.4	α -Olefinsulfonate (AOS)	433
9.3.1.5	Alkylsulfate (AS)	434
9.3.1.6	Alkylethersulfate (AES)	434
9.3.2	Nichtionische Tenside	435
9.3.2.1	Alkohol-Ethoxylate	435
9.3.2.1.1	Alkohol-Ethoxylate mit linearer Alkylkette	435
9.3.2.1.2	Lineare Oxoalkoholethoxylate (einfach verzweigt)	449
9.3.2.1.3	Isotridecylalkohol-Ethoxylate	451
9.3.2.1.4	Alkylphenol-Ethoxylate	452
9.3.2.2	Aminoxylate	453
9.3.3	Kationische Tenside	455
9.3.3.1	Distearyldimethylammoniumchlorid	455

9.4	Neuere Ergebnisse zum Tensidabbau in Kläranlagen	456
9.4.1	Anionische Tenside	456
9.4.2	Nichtionische Tenside	457
9.4.3	Kationische Tenside	458
9.5	Tensidabbau im Boden	459
9.5.1	Anionische Tenside	459
9.5.1.1	Alkylbenzolsulfonat	459
9.5.1.2	Andere Tenside	459
9.6	Literatur	460
10	Aquatische Toxizität von Tensiden	465
	<i>von P. Schöberl und N. Scholz</i>	
10.1	Einleitung	465
10.2	Ökotoxikologische Prüfmethode n	467
10.2.1	Methoden zur Ermittlung der akuten aquatischen Toxizität	467
10.2.1.1	Akute Fischtoxizität	467
10.2.1.2	Akute Daphnientoxizität	468
10.2.2	Methoden zur Ermittlung der subchronischen aquatischen Toxizität	468
10.2.2.1	Langzeit-Fischtoxizität	468
10.2.3	Methoden zur Ermittlung der chronischen aquatischen Toxizität	469
10.2.3.1	Bakterien-Toxizität	469
10.2.3.2	Algenwachstums-Hemmtest	469
10.2.3.3	Daphnienreproduktions-Test	469
10.2.3.4	Early Life Stage/Life Cycle Untersuchungen mit Fischen	470
10.2.4	Kopplungsexperimente	470
10.2.5	Biocoenose-Modelle	470
10.2.5.1	Gewässermodelle	470
10.3	Die aquatische Toxizität von Tensiden	471
10.3.1	Anionische Tenside	471
10.3.1.1	Lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS; $\phi C_{11,6}$)	471
10.3.1.2	Sekundäre Alkansulfonate	474
10.3.1.3	Fettalkoholsulfate	475
10.3.1.4	Alkoholethersulfate	476
10.3.1.5	α -Methylestersulfonate	476
10.3.1.6	Alkylcarboxylate (Seife)	477
10.3.2	Nichtionische Tenside	477
10.3.2.1	Alkoholethoxylate	477
10.3.2.2	Alkohol-Ethylenoxid-Propylenoxid-Addukte	479
10.3.2.3	Nonylphenoethoxylate (NPEO)	479
10.3.2.4	Kationische Tenside	480
10.4	Literatur	481
11	Humantoxikologie der Tenside	483
	<i>von K. Künstler</i>	
11.1	Einleitung	483
11.2	Biochemische Eigenschaften	484
11.2.1	Wechselwirkungen mit Membranen	484

11.2.2	Wechselwirkungen mit Proteinen	485
11.2.3	Wechselwirkungen mit Enzymen	486
11.3	Effekte an Haut und Schleimhaut	486
11.3.1	Hautverträglichkeit	486
11.3.2	Schleimhautverträglichkeit	488
11.3.3	Sensibilisierung	488
11.4	Toxikokinetik	489
11.4.1	Hautresorption	489
11.4.2	Intestinale Absorption, Metabolismus und Ausscheidung	490
11.5	Systemische Effekte	491
11.5.1	Akute Toxizität	492
11.5.2	Chronische Toxizität	493
11.6	Gentoxizität, Kanzerogenität, Embryotoxizität	494
11.6.1	Gentoxizität	494
11.6.2	Kanzerogenität	494
11.6.3	Embryotoxizität	495
11.7	Risikoabschätzung für den Menschen	495
11.8	Literatur	497
Register	501