Teuscher · Lindequist

Biogene Gifte

Biologie – Chemie – Pharmakologie – Toxikologie

3. Auflage

WVG Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart

Anschriften der Autoren

Prof. Dr. Eberhard Teuscher
Goethestraße 9
D-07950 Triebes
Stadt Zeulenroda-Triebes
(Kapitel 1(partiell) bis 3, Kapitel 12 bis 15, 18 bis 30, 32 bis 38, 42 bis 57)

Prof. Dr. Ulrike Lindequist
Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Institut für Pharmazie
Pharmazeutische Biologie
Friedrich-Ludwig-Jahn-Straße 17
D-17487 Greifswald
(Kapitel 1 (partiell), Kapitel 4 bis 11, 16 bis 17, 31, 39 bis 41)

Hinweise
Alle Angaben in diesem Buch wurden sorgfältig geprüft. Dennoch können die Autoren und der Verlag keine Gewähr für deren Richtigkeit übernehmen.
Insbesondere sind die Angaben zur Behandlung von Vergiftungen als Hinweise, nicht als Anweisungen zum Handeln zu betrachten. Die Therapie von Vergiftungen muss in eigener Verantwortung durchgeführt werden.

Ein Markenzeichen kann warenzeichenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Nachdrucke, Mikroverfilmungen oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.

3., bearbeitete und erweiterte Auflage

ISBN 978-3-8047-2438-9

© 2010 Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH
Birkenwaldstr. 44, 70191 Stuttgart
www.wissenschaftliche-verlagsgesellschaft.de
Printed in Germany
Satz: Mitterweger & Partner, Plankstadt
Druck und Bindung: Druck Partner Rübelmann, Hemsbach
Umschlagabbildung: Mauritius Images
Umschlaggestaltung: Atelier Schäfer, Esslingen

Vorwort zur 3. Auflage

Anliegen des Buches ist es, mit den Produzenten biogener Gifte, d. h. mit Mikroorganismen, Pilzen, Pflanzen und Tieren, in Wort und Bild bekannt zu machen, über Struktur, Wirkung und Wirkungsweise ihrer giftigen Inhaltsstoffe zu informieren, Vergiftungsgefahren und mögliche Vergiftungserscheinungen aufzuzeigen sowie Anregungen zur Behandlung der Vergiftungen zu geben. Dabei waren wir bemüht, die biogenen Gifte nicht nur als Gefahren für Mensch und Tier zu betrachten, sondern sie auch als bewunderungswürdige Vielfalt von Stoffen zu werten, die im Verlaufe der Evolution entstanden, von ihren Produzenten in den Dienst der Sicherung ihres Überlebens gestellt und immer wieder optimiert wurden.

Das Buch richtet sich vor allem an Apotheker, Mediziner, Veterinärmediziner, Biologen, Biochemiker, Naturstoffchemiker, Lebensmittelchemiker und an die Studierenden dieser Fächer. Aber auch bei naturwissenschaftlich interessierten Laien haben die vorangegangenen Auflagen des Buches Interesse gefunden. Durch ein umfangreiches Literaturverzeichnis soll dem Leser ermöglicht werden, seine Kenntnisse auf dem für ihn interessanten oder wichtigen Sachgebiet zu vertiefen.

Erfasst wurden vor allem Pilze, Pflanzen und Tiere Mitteleuropas und weltweit vorkommende Mikroorganismen, die dem Menschen gefährlich werden können. Darüber hinaus wurden in der 3. Auflage, in größerem Ausmaß als in den vorangegangenen Auflagen, auch Giftpflanzen und Gifttiere der beiden amerikanischen Kontinente, Australiens, Afrikas und Asiens besprochen.

Neben biogenen Giften, die akute und chronische Vergiftungen auslösen können, wurden in dieser Auflage vermehrt die allergischen Reaktionen auf Inhaltsstoffe der beschriebenen Organismen geschildert. Vergiftungen von Nutztieren durch Pflanzen in ihrer Umwelt wurden verstärkt berücksichtigt. Die Rolle der Giftstoffe der dargestellten Organismen als Arzneistoffe und bei der Entwicklung neuer Arzneimittel fand Beachtung.

Die seit der 2. Auflage des Buches neu gewonnenen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Naturstoffe, besonders ihrer Struktur und Wirkungsweise, und der durch das Internet ermöglichte Zugang zu umfangreichen Datenbanken, haben uns erneut vor die schwierige Aufgabe der Auswahl der aufzunehmenden Fakten gestellt. Ausgewählt wurden toxikologisch bedeutende Organismen und ihre Inhaltsstoffe, geordnet nach der biogenetischen Herkunft und der chemischen Struktur der Giftstoffe, aber auch strukturell interessante Stoffe, besonders von Meerestieren, bei denen aufgrund der Verfügbarkeit nur geringer Mengen eine umfassende pharmakologische und toxikologische Charakterisierung noch aussteht.

Das enorme Anwachsen der zur Verfügung stehenden Literatur hat es uns nicht erlaubt, alle dargestellten Fakten zu belegen. Da wo Übersichts- oder Originalarbeiten mit referierendem Teil zur Verfügung standen, haben wir diese statt der Originalarbeiten zitiert. Die Angaben zur älteren Literatur der vorangegangenen Auflagen wurden teilweise im Literaturverzeichnis belassen, da sie in den modernen Datenbanken meistens nicht zu finden sind. Um den Umfang des Literaturverzeichnisses nicht ausufern zu lassen, mussten wir die kürzest mögliche, sicherlich etwas ungewöhnliche Art der Literaturangabe wählen, die jedoch ausreicht, um die Originalliteratur zu finden. Die Angabe aller Autoren und des Titels der Arbeit hätte die Seitenanzahlen, die für die Literaturverzeichnisse nötig gewesen wären, vervielfacht.

Es ist uns eine angenehme Pflicht, allen zu danken, die uns beim Zustandekommen der 3. Auflage des Buches unterstützt haben. Besonders danken wir Herrn Dipl.-Phys. Karl-Heinz Lichtnow, Universität Greifswald, Institut für Pharmazie, für die Anfertigung der Druckvorlagen der Strukturformeln und die Beratung bei kniffligen Software-Problemen. Meiner Tochter, Dr. Franka Teuscher, Brisbane, Queensland Institute of Medical Research, danke ich (E. T.) für die Anfertigung der Strichzeichnungen und die Beschaffung australischer Originalliteratur. Meiner Frau, Dr. Gisela Teuscher, danke ich (E. T.) für die Hilfe beim Korrekturlesen. Allen Bildautoren (siehe Verzeichnis im Anhang) danken wir sehr herzlich dafür, dass sie uns ihre Bilder für die 3. Auflage zur Verfügung gestellt haben. Gedankt sei auch Herrn Prof. Kreisel, Potthagen bei Greifswald, für die Beratung bei mykologischen Fragestellungen und den Pharmazie-Studenten der Universität Greifswald, die bei Recherche- und Korrekturarbeiten geholfen haben.

Unser Dank gilt den Leitern der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft, Stuttgart, die uns die Herausgabe der 3. Auflage von „Biogene Gifte“ ermöglicht haben, dem Programmleiter Herrn Dr. Eberhard Scholz und dem Lektor Herrn Dr. Rainer Mohr sowie ihren Mitarbeitern, die in kollegialer Zusammenarbeit mit uns das Buch gestaltet haben.

Dank sei allen Kollegen, die uns auf Fehler in der 2. Auflage aufmerksam gemacht haben. Für kritische Hinweise auf Fehler in dieser Auflage sind wir jederzeit dankbar.

Triebes und Greifswald, Juli 2009

Eberhard Teuscher
Ulrike Lindequist

Abkürzungsverzeichnis

CA	Chemical Abstracts
ED	Einzeldosis
Da	Dalton, Einheit der relativen Atom- und Molekülmasse
FDA	Food and Drug Administration, Kontrollbehörde für Nahrungs- und Arzneimittel der USA
FAO	Food and Agriculture Organization, USA
FGW	Frischgewicht
IARC	International Agency for Research on Cancer
i. m.	intramuskulär, in den Muskel
i. p.	intraperitoneal, in den Bauchraum
i. v.	intravenös, in die Venen
kDa	Kilodalton, siehe DA
KG	Körpergewicht
LD	letale Dosis, Menge, die für ein Lebewesen tödlich ist
LD_{50}	Dosis bei der 50 % der Versuchstiere sterben
p. o.	peroral, durch den Mund
s. c.	subkutan, unter die Haut
TD	Tagesdosis
TGW	Trockengewicht, fehlt eine Angabe, ist auf das Trockengewicht bezogen

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

Abkürzungsverzeichnis VII

1 Biogene Gifte

1.1 Was sind biogene Gifte? 1

1.2 Chemie und Biologie biogener Gifte 2

1.2.1 Zur Geschichte biogener Gifte 2

1.2.2 Lebende Organismen als Quellen biogener Gifte 5

1.2.3 Struktur und Wirkung biogener Gifte 6

1.2.4 Giftige Lebewesen und biogene Gifte als Gefahrenquelle für den Menschen 7

1.2.5 Rolle biogener Gifte in biologischen Systemen 8

1.2.6 Wirkstoffe von Giftpflanzen und Gifttieren als Arzneistoffe 10

1.3 Allgemeine Toxikologie biogener Gifte 11

1.3.1 Toxikologische Bewertung 11

1.3.2 Toxikokinetik 11

1.3.3 Toxikodynamik 13

1.4 Klinische Toxikologie 16

1.4.1 Diagnostik von Vergiftungen 16

1.4.2 Therapie von Vergiftungen 17

1.5 Literatur 20

2 Aliphatische Säuren und ihre Lactone als Giftstoffe

2.1 Monocarbonsäuren und Dicarbonsäuren 21

2.1.1 Monofluoressigsäure als Giftstoff von Pflanzen 21

2.1.2 Oxalsäure als Giftstoff von Pflanzen 22

2.1.3 Aliphatische Säuren als Giftstoffe von Insekten (Hexapoda) 28

2.2 Lactone aliphatischer Säuren 31

2.2.1 Protoanemonin als Giftstoff der Hahnenfußgewächse (Ranunculaceae) 31

2.2.2 Parasorbinsäure als Giftstoff der Ebereschen (Sorbus-Arten) 32

2.2.3 Butan-4-olide als Allergene der Lilienartigen (Liliales) 33

2.3 Literatur 36

3 Polyine

3.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 39

3.2 Pharmakologie, Toxikologie 40

3.3 Cicutoxin als Giftstoff des Wasserschierlings (*Cicuta virosa*) 41

3.4 Oenanthotoxin als Giftstoff der Rebendolde (*Oenanthe crocata*) 43

3.5 Polyine als mögliche Giftstoffe anderer Doldengewächse (Apiaceae) 44

3.6 Polyine als mögliche Allergene der Araliengewächse (Araliaceae) 45

3.7 Fototoxische Inhaltsstoffe der Studentenblumen (Tagetes-Arten) 46
3.8 Polyine als potentielle Giftstoffe von Ständerpilzen (Basidiomycetes) 49
3.9 Acetylenverbindungen aus Rotalgen (Rhodophyta) 49
3.10 Polyine aus Schwämmen (Porifera) 50
3.10.1 Schwämme als Gifttiere 50
3.10.2 Zytotoxisch wirksame Polyine aus Schwämmen 52
3.11 Literatur 53

4 Polyketide

4.1 Allgemeines 55
4.2 Acylphloroglucinole 57
4.2.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 57
4.2.2 Acylphloroglucinole der Wurmfarne (Dryopteris-Arten) 58
4.3 Alkylphenole 60
4.3.1 Alkylphenole als Kontaktallergene von Sumachgewächsen (Anacardiaceae) 60
4.3.2 Alkylphenole als Kontaktallergene des Ginkgobaumes (*Ginkgo biloba*) 62
4.3.3 Alkylphenole als Kontaktallergene von Philodendron-Arten 63
4.3.4 Alkylphenole als Kontaktallergene der Silbereiche (*Grevillea robusta*) 64
4.4 Alkylchinone 64
4.4.1 Primin als Kontaktallergen der Primeln (Primula-Arten) 64
4.4.2 Prenylierte Chinone als Kontaktallergene der Wasserblattgewächse (Hydrophyllaceae) 67
4.4.3 Iris-Chinone als potentielle Kontaktallergene von Schwertlilien (Iris-Arten) 68
4.5 Cannabinoide 68
4.5.1 Chemie, Biogenese 68
4.5.2 Vorkommen, Botanik 69
4.5.3 Pharmakokinetik 71
4.5.4 Pharmakodynamik 71
4.5.5 Missbrauch des Hanfs 71
4.5.6 Akute Toxizität 72
4.5.7 Chronische Toxizität 73
4.5.8 Pharmazeutische Verwendung von Cannabinoiden und Cannabisprodukten 73
4.6 Flavanderivate 74
4.6.1 Allgemeines 74
4.6.2 Flavonoide 74
4.6.3 Isoflavanderivate 76
4.7 Catechingerbstoffe 78
4.7.1 Allgemeines 78
4.7.2 Toxikologie 80
4.8 Polyketide als Giftstoffe von Cyanobakterien 81
4.8.1 Allgemeines 81
4.8.2 Polyketide als Giftstoffe von Lyngbya-, Planktothrix- und Scytonema-Arten 82
4.8.3 Polyketide als Giftstoffe von Cylindrospermopsis-Arten 85
4.9 Polyketide als Giftstoffe der Panzergeißler (Dinophyceae) 85
4.9.1 Allgemeines 85
4.9.2 Ciguatera 86
4.9.3 Diarrhetic shellfish poisoning (DSP) 89
4.9.4 Neurotoxic shellfish poisoning (NSP) 89
4.9.5 Weitere toxische Polyketide von Dinoflagellaten 91
4.10 Polyketide als Mykotoxine 93
4.10.1 Allgemeines, Bildung, Verbreitung 93
4.10.2 Pharmakologie 95
4.10.3 Mykotoxikosen 95
4.10.4 Patulin, Mycophenolsäure 98
4.10.5 Penicillinsäure 98
4.10.6 Citrinin 99
4.10.7 Anthracenderivate 99
4.10.8 Citreoviridin 100
4.10.9 Zearalenone 100
4.10.10 Sterigmatocystine, Versicolorine 101
4.10.11 Aflatoxine 102
4.10.12 Rubratoxine 104
4.10.13 Alternaria-Toxine 105
4.10.14 Ochratoxine 105
4.10.15 Cytochalasane 107
4.10.16 Fumonisine 108
4.10.17 Weitere Mykotoxine 109
4.11 Polyketide als tierische Gifte 110
4.11.1 Verbreitung der Polyketide bei Tieren 110
4.11.2 Palytoxin 111
4.11.3 Pederin 113
4.11.4 Perhydro-9b-azaphenalene 114
4.12 Literatur 115

5 Terpene

5.1 Chemie und Terminologie 123
5.2 Biogenese 124
5.3 Verbreitung und Bedeutung 124
5.4 Literatur 124

6 Monoterpene

6.1 Allgemeines 125
6.2 Monoterpene als Giftstoffe ätherischer Öle 126
6.2.1 Thujanderivate 126
6.2.2 Weitere Monoterpene als Giftstoffe ätherischer Öle 131

6.3 Pinanderivate als mögliche Giftstoffe der Pfingstrosen (Paeonia-Arten) 135
6.4 Pyrethrine 136
6.5 Iridoide 137
6.5.1 Allgemeines 137
6.5.2 Iridoide der Baldriangewächse (Valerianaceae) als potentielle Mutagene 137
6.5.3 Iridoide als Wehrgifte der Insekten (Hexapoda) 139
6.6 Cantharidin als Wehrgift der Blasenkäfer (Meloidae) 140
6.7 Monoterpene als Wehrgifte der Termiten (Isoptera) 141
6.8 Monoterpene aus marinen Makroalgen 142
6.9 Literatur 142

7 Sesquiterpene

7.1 Allgemeines 145
7.2 Toxische Sesquiterpenlactone 146
7.2.1 Chemie, Verbreitung, Wirkungen 146
7.2.2 Toxische Sesquiterpenlactone der Arnika (Arnica-Arten) 147
7.2.3 Toxische Sesquiterpenlactone von Sonnenbraut (Helenium-Arten), Bitterkraut (*Hymenoxys odorata*) und Geigeria-Arten 149
7.2.4 Toxische Sesquiterpenlactone der Lattich-Arten (Lactuca-Arten) 150
7.2.5 Sesquiterpenlactone als Kontaktallergene 153
7.2.6 Sesquiterpenlactone mit spezifischen pharmakologischen Effekten 156
7.3 Toxische Norsesquiterpene des Adlerfarns (*Pteridium aquilinum*) 158
7.4 Toxische Aromadendranderivate aus dem Porst (Ledum-Arten) 160
7.5 Mykotoxine der Trichothecengruppe 161
7.5.1 Chemie, Vorkommen 161
7.5.2 Pharmakologie, Toxikologie 162
7.6 PR-Toxin 164
7.7 Sesquiterpene als mögliche Giftstoffe von Ständerpilzen (Basidiomycetes) 164
7.7.1 Allgemeines 164
7.7.2 Sesquiterpene als Scharfstoffe der Milchlinge (Lactarius-Arten) und Täublinge (Russula-Arten) 164
7.7.3 Sesquiterpene des Hallimasch (*Armillaria mellea*) 165
7.7.4 Sesquiterpene von Ölbaumpilzen (Omphalotus-Arten) 166
7.8 Sesquiterpene aus marinen Makroalgen 166
7.9 Sesquiterpene als mögliche Giftstoffe der Schwämme (Porifera) 167
7.10 Literatur 171

8 Diterpene

8.1 Allgemeines 175
8.2 Andromedanderivate als Giftstoffe der Heidekrautgewächse (Ericaceae) 177
8.2.1 Verbreitung, Chemie, Nomenklatur 177
8.2.2 Pharmakologie 179
8.2.3 Akute Vergiftungen und ihre Behandlung 180
8.3 Tiglian-, Ingenan-, Daphnanderivate und makrozyklische Diterpene 181
8.3.1 Chemie 181
8.3.2 Pharmakologie, Toxikologie 182
8.3.3 Tiglian-, Ingenan-, Daphnanderivate und makrozyklische Diterpene als Giftstoffe der Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae) 184
8.3.4 Daphnan- und Tiglianderivate als Giftstoffe der Spatzenzungengewächse (Thymelaeaceae) 191
8.4 Taxanderivate als Giftstoffe von Eiben (Taxus-Arten) 193
8.5 Diterpene als halluzinogene Wirkstoffe des Azteken-Salbei (*Salvia divinorum*) 195
8.6 Diterpene aus marinen Makroalgen 196
8.7 Diterpene als mögliche Giftstoffe der Schwämme (Porifera) 197
8.8 Diterpene als mögliche Giftstoffe der Weich- und Hornkorallen (Alcyonaria und Gorgonaria) 199
8.9 Diterpene der Wehrgifte der Termiten (Isoptera) 201
8.10 Literatur 201

9 Sesterterpene

9.1 Allgemeines 204
9.2 Sesterterpene der Schwämme (Porifera) 204
9.3 Literatur 208

10 Triterpene

10.1 Allgemeines 209
10.2 Icterogene Triterpensäureester 210

10.3 Cucurbitacine 213
10.3.1 Chemie, Verbreitung 213
10.3.2 Pharmakologie, Toxikologie 214
10.3.3 Cucurbitacine als Giftstoffe der Zaunrüben-Arten (Bryonia-Arten) 215
10.3.4 Cucurbitacine als Giftstoffe des Gottes-Gnadenkrautes (*Gratiola officinalis*) 216
10.3.5 Cucurbitacine im Balsamapfel (*Momordica charantia*) 216
10.4 Iridale und Cycloiridale in Schwertlilien (Iris-Arten) 217
10.5 Triterpene als mögliche Giftstoffe von Ständerpilzen (Basidiomycetes) 218
10.5.1 Allgemeines 218
10.5.2 Triterpene aus Ritterlingsartigen (Tricholomataceae) 218
10.5.3 Fasciculole als Giftstoffe von Schwefelkopf-Arten (Hypholoma-Arten) 219
10.5.4 Triterpene als Giftstoffe von Fälblingen (Hebeloma-Arten) 220
10.6 Gossypol als Giftstoff der Baumwollpflanzen (Gossypium-Arten) 221
10.7 Literatur 222

11 Tetraterpene

11.1 Allgemeines 226
11.2 Toxische Spaltprodukte von Carotinoiden bei Crocus-Arten 226
11.3 Literatur 228

12 Steroide

12.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 229
12.2 Herzwirksame Steroidglykoside 230
12.2.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung, Anwendung 230
12.2.2 Pharmakologie, Toxikologie 234
12.2.3 Pflanzen mit Cardenoliden 238
12.2.4 Pflanzen mit Bufadienoliden 254
12.2.5 Tiere mit herzwirksamen Steroiden 262
12.3 Withanolide 264
12.3.1 Chemie, Verbreitung 264
12.3.2 Pharmakologie, Toxikologie 266
12.3.3 Withanolide der Lampionblumen (*Physalis*) 266
12.4 Petuniasterone und Petuniolide 268
12.5 Pregnan- und Seco-Pregnanglykoside 269
12.6 1,25-Dihydroxycalciferol als Wirkstoff von Pflanzen 271
12.7 Toxische Steroidglykoside von südafrikanischen Ornithogalum-Arten 271
12.8 Pregnanderivate als Giftstoffe der Schwimmkäfer (Dityscidae) 272
12.9 Literatur 272

13 Saponine

13.1 Saponine der Pflanzen 281
13.1.1 Chemie, Biogenese 281
13.1.2 Verbreitung 284
13.1.3 Pharmakologie, Toxikologie 285
13.1.4 Steroidsaponine der Vierblättrigen Einbeere (*Paris quadrifolia*) 287
13.1.5 Steroidsaponine des Spargels (Asparagus-Arten) 288
13.1.6 Steroidsaponine der Weißwurz (Polygonatum-Arten) 289
13.1.7 Steroidsaponine des Bogenhanfs (Sansevieria-Arten) 291
13.1.8 Steroidsaponine der Agaven (Agave-Arten) 292
13.1.9 Triterpensaponine der Kastanien (Aesculus-Arten) 293
13.1.10 Triterpensaponine des Efeus (Hedera-Arten) 294
13.1.11 Triterpensaponine der Kornrade (*Agrostemma githago*) 298
13.1.12 Triterpensaponine der Kermesbeere (Phytolacca-Arten) 299
13.1.13 Triterpensaponine der Alpenveilchen (Cyclamen-Arten) 300
13.1.14 Triterpensaponine des Süßholzes (*Glycyrrhiza glabra*) 302
13.2 Saponinähnliche Triterpen- und Steroidderivate bei Tieren 303
13.2.1 Chemie 303
13.2.2 Verbreitung 303
13.2.3 Pharmakologie, Toxikologie 304
13.2.4 Saponinähnliche Steroidderivate als Gifte der Schwämme (Porifera) 304
13.2.5 Saponinähnliche Steroidderivate als Gifte der Korallentiere (Anthozoa) 306
13.2.6. Saponinähnliche Steroidderivate als Gifte der Stachelhäuter (Echinodermata) 307
13.2.7 Saponinähnliche Steroidderivate als Gifte der Knochenfische (Osteichthyes) und Knorpelfische (Chondrichthyes) 316
13.4 Literatur 317

14 Phenylpropanderivate

14.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 321
14.2 Methoxyphenylprop-1-en- und Methoxyphenylprop-2-enderivate 322
14.2.1 Toxikologie 322
14.2.2 Methyleugenol 323

14.2.3 Estragol 324
14.2.4 Safrol 325
14.2.5 Myristicin 326
14.2.6 Apiol 328
14.2.7 α- und β-Asaron 328

14.3 Cumarin und Cumarinderivate 330
14.3.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 330
14.3.2 Cumarin 330
14.3.3 Dicumarol 334
14.3.4 Furocumarine 335

14.4 Lignane 341
14.4.1 Chemie, Verbreitung 341
14.4.2 *meso*-Nordihydroguajaretsäure 341
14.4.3 Podophyllotoxine 342

14.5 Abbauprodukte von Phenylpropanderivaten in Wehrgiften von Gliederfüßern (Arthropoda) 344

14.6 Literatur 345

15 Naphthalen- und Anthracenderivate

15.1 Naphthalenderivate 350
15.1.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung, Pharmakologie 350
15.1.2 Lawson als Naphthochinonfarbstoff der Henna (aus *Lawsonia inermis*) 351
15.1.3 Isohexenylnapthazarine als Allergene von Tabebuia- und Tectona-Arten 351
15.1.4 Hemerocallin, ein Naphthalendimeres als Giftstoff von Taglilien (Hemerocallis-Arten) und einigen Phormiaceae 352
15.1.5 Naphthalenderivate als Wehrgifte von Tieren 352

15.2 Anthracenderivate 352
15.2.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 352
15.2.2 Bedeutung der Anthracenderivate 356
15.2.3. Abführend wirksame Anthracenderivate 356
15.2.4 Anthracenderivate von Knöterich-Arten (Aconogonon-, Bistorta-, Fallopia-, Persicaria- und Polygonum-Arten) 363
15.2.5 Anthracenderivate in Ampfer-Arten (Rumex-Arten) 367
15.2.6 Fotosensibilisierende Anthracenderivate 368
15.2.7 Genotoxische Anthracenderivate der Färberröte (*Rubia tinctorum*) 372
15.2.8 Neurotoxische Anthracenderivate in Karwinskia-Arten 373

15.3 Literatur 374

16 Aminosäuren

16.1 Allgemeines 378

16.2 Toxikologie proteinogener Aminosäuren und ihrer Metaboliten 379
16.2.1 L-Aminosäuren 379
16.2.2 D-Aminosäuren 379

16.3 Toxische Aminosäuren mit aliphatischem Grundkörper 380
16.3.1 Toxische Aminosäuren der Platterbsen (Lathyrus-Arten) 380
16.3.2 L-Canavanin 382
16.3.3 L-Indospicin 385
16.3.4 Toxische Aminosäuren der Basidiomyceten 385

16.4 Toxische Aminosäuren mit Cyclopropanring 386
16.4.1 L-Hypoglycin 386
16.4.2 Coprin 386

16.5 Toxische Aminosäuren mit 4-gliedrigem heterozyklischem Ringsystem 387
16.5.1 L-Azetidin-2-carbonsäure 387

16.6 Toxische Aminosäuren mit 5-gliedrigem heterozyklischem Ringsystem 388
16.6.1 Ibotensäure 388
16.6.2 Pyrrolidin- und Oxadiazolidinderivate 390

16.7 Toxische Aminosäuren mit 6-gliedrigem heterozyklischem Ringsystem 391

16.8 Schwefel- und selenhaltige toxische Aminosäuren 393

16.9 Literatur 395

17 Amine

17.1 Allgemeines 398

17.2 Amine in Nahrungsmitteln 398

17.3 Aliphatische Amine und Azoverbindungen 400
17.3.1 Hydrazinderivate als Giftstoffe von Lorcheln (Gyromitra- und Discina-Arten) 400
17.3.2 Hydrazinderivate als Giftstoffe der Champignons (Agaricus-Arten) 404
17.3.3 Dimethyl-methylazoxycarboxamid im Weißen Rasling (*Lyophyllum connatum*) 405
17.3.4 Muscarin als Giftstoff von Risspilzen (Inocybe-Arten) und Trichterlingen (Clitocybe-Arten) 406
17.3.5 Guanidinderivate als Wirkstoffe der Geißraute (*Galega officinalis*) 408

17.3.6 Glykoside des Methylazoxymethanols und α-Amino-β-methylamino-propionsäure als Wirkstoffe der Palmfarne (Cycadales) 408
17.3.7 Aliphatische Amine in Tiergiften 410
17.4 Phenylalkylamine 411
17.4.1 Phenylalkylamine als Wirkstoffe im Peyotl 411
17.4.2 Phenylalkylamine als Wirkstoffe des Kat (*Catha edulis*) 412
17.4.3 Phenylalkylamine der Ephedra (Ephedra-Arten) 414
17.4.4 Amide des Vanillylamins als Neurotoxine des Paprikas (Capsicum-Arten) 415
17.4.5 Phenylalkylamine der Banane (Musa-Arten) 417
17.4.6 Phenylalkylamine in Tiergiften 418
17.5 Indolylalkylamine 421
17.5.1 Indolylalkylamine in Wulstlingen (Amanita-Arten) 421
17.5.2 Indolylalkylamine als Wirkstoffe des Teonanacatl 421
17.5.3 Indolylalkylamine als Bestandteile südamerikanischer Rauschdrogen 423
17.5.4 Indolylalkylamine anderer höherer Pflanzen 424
17.5.5 Indolylalkylamine in Tiergiften 424
17.6 Imidazolylalkylamine 425
17.7 Literatur 426

18 Cyanogene Verbindungen

18.1 Cyanogene Glykoside 429
18.1.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 429
18.1.2 Toxikologie 432
18.1.3 Cyanogene Glykoside als Giftstoffe von Pflanzen 433
18.1.4. Cyanogene Glykoside und Blausäure bei Gliederfüßern (Arthropoda) 442
18.2 Cyanogene Lipide 443
18.3 Literatur 443

19 Glucosinolate

19.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 447
19.2 Pharmakologie, Toxikologie 452
19.3 Spaltprodukte der Glucosinolate als mögliche Giftstoffe der Kreuzblütengewächse (Brassicaceae) 457
19.4 Spaltprodukte der Glucosinolate als mögliche Giftstoffe der Kaperngewächse (Capparaceae) und der Kapuzinerkressengewächse (Tropaeolaceae) 459
19.5 Literatur 460

20 Aliphatische Nitroverbindungen

20.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 462
20.2 Toxikologie 464
20.3 Literatur 464

21 Alkaloide

21.1 Begriffsbestimmung 466
21.2 Chemie, Klassifizierung 466
21.3 Biogenese, Metabolismus, Speicherung 468
21.4 Verbreitung 469
21.5 Toxikologie 470
21.6 Literatur 471

22 Isochinolinalkaloide

22.1 Chemie, Biogenese 472
22.2 Verbreitung 478
22.3 Pharmakologie, Toxikologie 479
22.4 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe von Mohn-Arten (Papaver-Arten) 483
22.4.1 Botanik 483
22.4.2 Geschichte des Opiums 484
22.4.3 Gewinnung und Chemie des Opiums und der Opiumalkaloide 485
22.4.4 Toxikologie des Opiums und der Opiumalkaloide 485
22.4.5 Opiumalkaloide als Therapeutika 487
22.4.6 Missbrauch des Opiums und der Opiumalkaloide als Rauschgifte 487
22.5 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe des Schöllkrauts (*Chelidonium majus*) 488
22.6 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe des Stachelmohns (*Argemone mexicana*) 489
22.7 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe des Goldmohns (Eschscholzia- Arten) 490
22.8 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe der Blutwurzel (*Sanguinaria canadensis*) 493
22.9 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe des Erdrauchs (Fumaria-Arten) 493
22.10 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe des Lerchensporns (Corydalis-, Pseudofumaria- und Ceratocapnos-Arten) 494
22.11 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe der Herzblume (Dicentra-Arten) 495

22.12 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe der Berberitze (Berberis-Arten) 495
22.13 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe der Mahonie (Mahonia-Arten) 496
22.14 Isochinolinalkaloide als Wirkstoffe des Tubencurare (aus Chondrodendron-Arten) 497
22.15 Isochinolinalkaloide der Schneebeere (*Symphoricarpos albus*) 497
22.16 Aristolochiasäuren als Giftstoffe der Osterluzei (Aristolochia-Arten) 498
22.17 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe von Brechwurzel-Arten (Psychotria-Arten) 499
22.18 Isochinolinalkaloide als Giftstoffe des Boldo (*Peumus boldus*) 501
22.19 Literatur 501

23 Erythrinan- und Homoerythrinanalkaloide

23.1 Erythrinanalkaloide 505
23.2 Homoerythrinanalkaloide 506
23.3 Literatur 507

24 Tropolonalkaloide

24.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 511
24.2 Pharmakologie, Toxikologie 512
24.3 Tropolonalkaloide als Giftstoffe der Zeitlosen (Colchicum-Arten) 514
24.4 Tropolonalkaloide als Giftstoffe der Ruhmeskrone (*Gloriosa superba*) 515
24.5 Literatur 516

25 Amaryllidaceenalkaloide

25.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 517
25.2 Pharmakologie, Toxikologie 519
25.3 Literatur 522

26 Indolalkaloide

26.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 524
26.2 Pyrrolidino[2,3-b]indolin-Alkaloide als Giftstoffe der Calabarbohne (*Physostigma venenosum*) 526
26.3 β-Carbolinalkaloide als Wirkstoffe der Steppenraute (*Peganum harmala*) 529
26.4 β-Carbolinalkaloide als psychotomimetisch wirksame Stoffe der Ayahuasca-Liane (*Banisteriopsis caapi*) 530
26.5 Ergolinalkaloide als Giftstoffe 531
26.5.1 Chemie, Verbreitung 531
26.5.2 Pharmakologie, Toxikologie 533
26.5.3 Ergolinalkaloide als Giftstoffe des Mutterkorns (Claviceps-Arten) 534
26.5.4 Ergolinalkaloide als Giftstoffe endophytischer Pilze in Süßgräsern (*Poaceae*) 536
26.5.5 Ergolinalkaloide als Giftstoffe frei vorkommender Fadenpilze 538
26.5.6 Ergolinalkaloide als psychotomimetisch wirksame Stoffe von Windengewächsen (Convolvulaceae) 539
26.5.7 Ergolinalkaloide in *Securidaca longepedunculata* 540
26.5.8 Lysergsäurediethylamid 540
26.6 α-Cyclopiazonsäure als Giftstoff von Fadenpilzen 541
26.7 Indolalkaloide als Tremorgene von Fadenpilzen 542
26.8 Monoterpen-Indolalkaloide als Giftstoffe des Immergrüns (Vinca-Arten) 544
26.9 Mono- und Bis-Monoterpen-Indolalkaloide als Giftstoffe des Madagaskar-Immergrüns (*Catharanthus roseus*) 545
26.10 Monoterpen-Indolalkaloide als Giftstoffe von Brechnuss-Arten (Strychnos-Arten) 547
26.10.1 Chemie, Biogenese 547
26.10.2 Strychnin 547
26.10.3 Bisquartäre Bis-Indolalkaloide des Calebassencurare 549
26.11 Monoterpen-Indolalkaloide als Gifte der Jasminwurzel (Gelsemium-Arten) 550
26.12 Monoterpen-Indolalkaloide als psychotomimetisch wirksame Stoffe aus dem Ibogastrauch (*Tabernanthe iboga*) 551
26.13 Indolalkaloide als Gifte von Bakterien (Prokaryota) 552
26.14 Indolalkaloide in Meerestieren 555
26.15 Literatur 558

27 Chinolinalkaloide

27.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 564
27.2 Chinolinalkaloide vom Cinchonin-Typ als Wirkstoffe der Chinarindenbäume (Cinchona-Arten) 565
27.3 Chinolinalkaloide der Wein-Raute (*Ruta graveolens*) und anderer Rutaceae 568
27.4 Chinolinalkaloide bei Tieren 569
27.5 Literatur 571

28 Chinazolinalkaloide

28.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 572
28.2 Tetrodotoxin und Analoga 573
28.2.1 Chemie, Speicherung 573
28.2.2 Tetrodotoxin als Giftstoff passiv giftiger Fische 574
28.2.3 Tetrodotoxin in anderen Tieren 574
28.2.4 Toxikologie 575
28.3 Literatur 576

29 Imidazolalkaloide

29.1 Chemie, Verbreitung 577
29.2 Pilocarpin als Giftstoff der Jaborandisträucher (Pilocarpus-Arten) 577
29.3 Imidazolalkaloide von Cyanobakterien 578
29.4 Imidazolalkaloide in Tieren 581
29.5 Literatur 581

30 Pyrrolizidinalkaloide

30.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 583
30.2. Toxikologie 585
30.3 Pyrrolizidinalkaloide als Giftstoffe der Korbblütengewächse (Asteraceae) 589
30.4 Pyrrolizidinalkaloide als Giftstoffe der Borretschgewächse (Boraginaceae) 592
30.5 Pyrrolizidinalkaloide als Giftstoffe der Gattung *Crotalaria* (Fabaceae) 594
30.6 Literatur 595

31 Tropanalkaloide

31.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 599
31.2 Pharmakologie, Toxikologie 602
31.3 Tropanalkaloide als Giftstoffe der Nachtschattengewächse (Solanaceae) 603
31.3.1 Verbreitung 603
31.3.2 Tropanalkaloide als Giftstoffe der Tollkirsche (*Atropa bella-donna*) 604
31.3.3 Tropanalkaloide als Giftstoffe des Stechapfels und der Engelstrompete (Datura- und Brugmansia-Arten) 605
31.3.4 Tropanalkaloide als Giftstoffe des Bilsenkrauts (Hyoscyamus-Arten) 607
31.3.5 Tropanalkaloide und Pyridinalkaloide als Giftstoffe von Duboisia-Arten 608
31.3.6 Tropanalkaloide als Giftstoffe der Spaltblume (Schizanthus-Arten) 608
31.4 Tropanalkaloide als psychotomimetisch wirksame Stoffe des Cocastrauches (Erythroxylum-Arten) 609
31.4.1 Verbreitung 609
31.4.2 Verwendung von Coca und Cocain zu Rauschzwecken 610
31.4.3 Vergiftungen 611
31.4.4 Behandlung, therapeutische Verwendung 612
31.5 Homotropanalkaloide als Giftstoffe von Cyanobakterien 612
31.6 Literatur 613

32 Pyridinalkaloide und verwandte Verbindungen

32.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 618
32.2 Pyridinalkaloide als Giftstoffe des Tabaks (Nicotiana-Arten) 620
32.2.1 Botanik, Anbau und Gewinnung des Rauchtabaks 620
32.2.2 Geschichte des Rauchtabaks 621
32.2.3 Chemie des Rauchtabaks 621
32.2.4 Chemie des Tabakrauchs 622
32.2.5 Pharmakokinetik des Nicotins 623
32.2.6 Pharmakodynamik des Nicotins 623
32.2.7 Akute Vergiftungen durch Nicotin 624
32.2.8 Chronische Folgen des Tabakrauchens 625
32.2.9 Chronische Folgen der Verwendung rauchlosen Tabaks 628
32.2.10 Pränatale und postnatale Wirkungen des Rauchens auf Kinder von Raucherinnen 628
32.2.11 Folgen des Passivrauchens 628
32.2.12 Entwöhnung vom Tabakgenuss 629
32.3 Piperideinalkaloide als Giftstoffe der Betelnusspalme (*Areca catechu*) 630
32.4 Pyridinalkaloide als Giftstoffe von Haarschleierlingen (Cortinarius-Arten) 632
32.5 Piperidinalkaloide als Giftstoffe des Gefleckten Schierlings (*Conium maculatum*) 634
32.6 Piperidinalkaloide als mögliche Giftstoffe des Mauerpfeffers (Sedum-Arten) und der Lobelien (Lobelia-Arten) 636
32.7 Piperideinalkaloide der Schachtelhalm-Arten (Equisetum-Arten) 637
32.8 Piperidin-, Pyrrolidin-, Indolizidin-, Pyrrolizidin-, Isochinolin- und Nortropanalkaloide als Glykosidasehemmer 638

32.9 Pyridinalkaloide als Giftstoffe von Meerestieren 640
32.10 Pyridin- und Pyrrolalkaloide, deren Hydroderivate, Indolizidin- und Decahydrochinolinalkaloide in Wehrgiften der Ameisen (Formicoidea) 642
32.11 Piperidin-, Indolizidin-, Chinolizidin-, Pyrrolizidin-, Decahydrochinolinalkaloide und ähnliche Alkaloide in der Haut der Froschlurche (Anura) 643
32.12 Literatur 646

33 Chinolizidinalkaloide

33.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 652
33.2 Toxikologie 654
33.3 Chinolizidinalkaloide als Giftstoffe des Goldregens (Laburnum-Arten) 655
33.4 Chinolizidinalkaloide als Giftstoffe des Besenginsters (*Cytisus scoparius*) 657
33.5 Chinolizidinalkaloide als Giftstoffe von Lupinen (Lupinus-Arten) 658
33.6 Chinolizidinalkaloide als potentielle Giftstoffe des Stechginsters (*Ulex europaeus*), Ginsters (Genista-Arten), Zwergginsters (Chamaecytisus-Arten) und des Japanischen Schnurbaums (*Sophora japonica*) 659
33.7 Chinolizidinalkaloide als potentielle Giftstoffe weiterer Pflanzen 660
33.8 Lycopodiumalkaloide als Giftstoffe der Bärlappgewächse (Lycopodiaceae) 660
33.9 Chinolizidinalkaloide bei Tieren 661
33.10 Literatur 662

34 Purinalkaloide

34.1 Chemie, Verbreitung 664
34.2 Methylxanthine 664
34.2.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 664
34.2.2 Pharmakokinetik, Pharmakodynamik, Toxikologie 665
34.2.3 Coffeinabhängigkeit 670
34.2.4 Methylxanthine der Samen der Kaffeesträucher (Coffea-Arten) 671
34.2.5 Methylxanthine der Blätter der Teesträucher (Camellia-Arten) 674
34.2.6 Methylxanthine der Samen der Kolabäume (Cola-Arten) 676
34.2.7 Methylxanthine der Blätter des Mateteestrauchs (*Ilex paraguariensis*) 677
34.2.8 Methylxanthine der Samen des Guaranastrauchs (*Paullinia cupana)* 677
34.2.9 Methylxanthine der Samen der Kakaobäume (Theobroma-Arten) 678
34.3 Purinderivate als Vorstufen der Harnsäure 680
34.4 Purinalkaloide als Giftstoffe der Panzergeißler (Dinophyceae), Cyanobakterien (Cyanophyceae) und Rotalgen (Rhodophyceae) 682
34.5 Purin- und Desazapurinderivate und ihre Analoga bei Cyanobakterien, Algen, Pilzen und Meerestieren 685
34.6 Literatur 687

35 Pyrimidinderivate

35.1 Allgemeines 691
35.2 Pyrimidinderivate als Giftstoffe der Wicken (Vicia-Arten) 691
35.3 Pyrimidinderivate als Giftstoffe des Steifen Lolchs (*Lolium rigidum*) 693
35.4 Literatur 694

36 Terpenalkaloide

36.1 Allgemeines 695
36.2 Monoterpenalkaloide 695
36.3 Sesquiterpenalkaloide 697
36.3.1 Allgemeines 697
36.3.2 Sesquiterpenalkaloide als Giftstoffe der Teichrosen (Nuphar-Arten) 698
36.4 Diterpen- und Nor-Diterpenalkaloide 699
36.4.1 Allgemeines 699
36.4.2 Diterpen- und Nor-Diterpenalkaloide als Giftstoffe von Eisenhut oder Sturmhut (Aconitum-Arten) 701
36.4.3 Diterpenalkaloide als Giftstoffe von Rittersporn-Arten (Consolida- und Delphinium-Arten) 706
36.4.4 Diterpenalkaloide als Giftstoffe des Rotwasserbaumes (*Erythrophleum suaveolens)* 707
36.5 Literatur 708

37 Steroidalkaloide

37.1 Chemie, Biogenese, Verbreitung 710
37.2 Steroidalkaloide als Giftstoffe der Nachtschattengewächse (Solanaceae) 712
37.2.1 Botanik, Chemie 712
37.2.2 Pharmakologie, Toxikologie 714
37.2.3 Steroidalkaloide des Bittersüßen Nachtschattens (*Solanum dulcamara*) 715

37.2.4 Steroidalkaloide des Schwarzen Nachtschattens (*Solanum nigrum*) 716
37.2.5 Steroidalkaloide der Kartoffel (*Solanum tuberosum*) 716
37.2.6 Steroidalkaloide des Beißbeer-Nachtschattens (*Solanum capsicastrum*) und des Korallenstrauchs (*Solanum pseudocapsicum*) 721
37.2.7 Steroidalkaloide der Tomate (*Lycopersicon esculentum*) 721

37.3 Steroidalkaloide als Giftstoffe des Germers (Veratrum-Arten) 721

37.4 Steroidalkaloide als Giftstoffe der Jochlilie (Zigadenus-Arten) 725

37.5 Steroidalkaloide als Giftstoffe von Schachblume und Kaiserkrone (Fritillaria-Arten) 725

37.6 Steroidalkaloide als Giftstoffe des Buchsbaums (Buxus-Arten) 726

37.7 Steroidalkaloide als Giftstoffe des Japanischen Ysanders (*Pachysandra terminalis*) 728

37.8 Steroidalkaloide als Giftstoffe von Pfeilgiftfröschen (Phyllobates-Arten) 729

37.9 Steroidalkaloide als Giftstoffe der Salamander (Salamandra-Arten) 730

37.10 Steroidalkaloide als Giftstoffe von *Cephalodiscus gilchristi* und *Ritterella tokioka* 731

37.11 Literatur 732

38 Peptide und Proteine 738

39 Peptid- und Proteotoxine als Gifte von Mikroorganismen

39.1 Peptid- und Proteotoxine der Bakterien 741
39.1.1 Allgemeines 741
39.1.2 Bakterielle Endotoxine 741
39.1.3 Bakterielle Exotoxine 743

39.2 Peptidtoxine der Cyanobakterien (Cyanophyceae) 750
39.2.1 Allgemeines 750
39.2.2 Microcystine 751
39.2.3 Peptidtoxine von *Nodularia spumigena* 755
39.2.4 Peptidtoxine von Lyngbya-Arten 756
39.2.5 Weitere Peptide aus Cyanobakterien 757

39.3 Peptide als Mykotoxine 759

39.4 Literatur 760

40 Peptide als Giftstoffe höherer Pilze

40.1 Peptidtoxine als Giftstoffe der Knollenblätterpilze (Amanita-Arten) 763
40.1.1 Vorkommen 763
40.1.2 Chemie 764
40.1.3 Pharmakologie 766
40.1.4 Vergiftungsfälle, Vergiftungssymptome und Behandlung von Vergiftungen 767

40.2 Literatur 768

41 Lectine

41.1 Definition, Bindungseigenschaften, Chemie 770

41.2 Verbreitung, physiologische Funktion, Lectine als Ribosomen inaktivierende Proteine 773

41.3 Anwendung von Lectinen 774

41.4 Lectine als Giftstoffe der Schmetterlingsblütengewächse (Fabaceae) 774
41.4.1 Lectine aus zur Ernährung verwendeten Schmetterlingsblütengewächsen 774
41.4.2 Lectine weiterer Schmetterlingsblütengewächse 775

41.5 Stark toxische Lectine 776
41.5.1 Vorkommen, Chemie, Wirkmechanismus 776
41.5.2 Toxikologie 777

41.6 Lectine als Wirkstoffe der Mistel (Viscum-Arten) 779

41.7 Ribosomen inaktivierende Proteine vom Typ 1 (1-RIP) 780

41.8 Literatur 780

42 Peptide und Proteine als Giftstoffe von Tieren

42.1 Toxikologie 783

42.2 Verbreitung tierischer Peptid- und Proteotoxine 784

43 Peptide als Giftstoffe der Schwämme (Porifera)

43.1 Chemie, Verbreitung, Wirkungen 785

43.2 Literatur 786

44 Peptid- und Proteotoxine der Nesseltiere (Cnidaria)

44.1 Nesseltiere als Gifttiere 787

44.2 Gifte der Nesselkapseln 790

44.3 Literatur 794

45 Peptide und Proteotoxine der Weichtiere (Mollusca)

45.1 Weichtiere als Gifttiere 796
45.2 Kegelschnecken (Conus-Arten) als Gifttiere 796
45.3 Peptide und Glykoproteine als Gifte der Seehasen (Anaspidea) 799
45.4 Peptid- und Proteotoxine der Kopffüßer (Cephalopoda) 800
45.5 Literatur 801

46 Proteotoxine der Stachelhäuter (Echinodermata)

46.1 Chemie, Verbreitung, Wirkungen 803
46.2 Literatur 804

47 Peptid- und Proteotoxine mariner Schnurwürmer (Nemertini) und Ringelwürmer (Annelida)

47.1 Chemie, Verbreitung, Wirkungen 805
47.2 Literatur 806

48 Peptidtoxine der Fadenwürmer (Nematoda)

48.1 Chemie, Verbreitung, Wirkungen 807
48.2 Literatur 808

49 Peptidtoxine der Manteltiere (Tunicata)

49.1 Chemie, Verbreitung, Wirkungen 809
49.2 Literatur 810

50 Gifte der Spinnentiere (Arachnida)

50.1 Webspinnen (Araneae) 811
50.1.1 Webspinnen als Gifttiere 811
50.1.2 Gifte der Webspinnen 815
50.2 Skorpione (Scorpiones) 818
50.2.1 Skorpione als Gifttiere 818
50.2.2 Gifte der Skorpione 823
50.3 Peptide und Proteine als Gifte der Zecken (Ixodides) 824
50.3.1 Zecken als Krankheitsüberträger und Gifttiere 824
50.3.2 Gifte der Zecken 828
50.4 Allergene der Milben (Acari) 828
50.5 Literatur 829

51 Peptidtoxine der Hundertfüßer (Chilopoda)

51.1 Chemie, Verbreitung, Wirkungen 831
51.2 Literatur 832

52 Peptid- und Proteotoxine der Insekten (Hexapoda)

52.1 Verbreitung 833
52.2 Toxikologie 833
52.3 Peptid- und Proteotoxine der Bienen (Apoidea) 834
52.3.1 Bienen als Gifttiere 834
52.3.2 Bienengifte 836
52.4 Peptid- und Proteotoxine der Faltenwespen (Vespoidea) 838
52.4.1 Wespen als Gifttiere 838
52.4.2 Wespengifte 842
52.5 Peptid- und Proteotoxine der Käfer (Coleoptera) 843
52.6 Peptid- und Proteotoxine der Ameisen (Formicoidea) 844
52.7 Peptid- und Proteotoxine der Schmetterlinge (Lepidoptera) 845
52.7.1 Schmetterlingsraupen als Gifttiere 845
52.7.2 Gifte der Schmetterlingsraupen 846
52.8 Literatur 847

53 Peptid- und Proteotoxine der Knorpelfische (Chondrichthyes) und Knochenfische (Osteichthyes)

53.1 Knorpel- und Knochenfische als Gifttiere 849
53.2 Peptid- und Proteotoxine aktiv giftiger Knorpel- und Knochenfische 853
53.3 Peptid- und Proteotoxine passiv giftiger Knochenfische 853
53.4 Literatur 854

54 Peptid- und Proteotoxine der Lurche (Amphibia)

54.1 Lurche als Gifttiere 855
54.2 Peptid- und Proteotoxine der Froschlurche (Anura) 855
54.3 Literatur 860