



Thomas Miedaner · Andrea Krähmer

# Gifte in unserer Umwelt

SACHBUCH

 Springer

# Gifte in unserer Umwelt

Thomas Miedaner · Andrea Krähmer

# Gifte in unserer Umwelt

 Springer

Thomas Miedaner  
Universität Hohenheim  
Stuttgart, Deutschland

Andrea Krähler  
Potsdam, Deutschland

ISBN 978-3-662-66577-0      ISBN 978-3-662-66578-7 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66578-7>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: © Jultud/stock.adobe.com (Zucker), © elena/stock.adobe.com (Nagellack), © Budimir Jevtic/stock.adobe.com (Putzutensilien)

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Chemikalien, Gifte und die planetaren Belastungsgrenzen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Gifte in der Natur – von Botox bis Kugelfisch</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Mykotoxine – giftige Schimmelpilze</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>Pestizide – Pflanzenschutz und Biozide</b>	<b>77</b>
<b>5</b>	<b>Dicke Luft – Feinstaub, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> &amp; Co</b>	<b>113</b>
<b>6</b>	<b>Hormone, Medikamente und was sich sonst noch in unseren Abwässern finden lässt</b>	<b>139</b>
<b>7</b>	<b>Kunststoffe – überall in unserer Umwelt</b>	<b>159</b>
<b>8</b>	<b>Belastung mit Radioaktivität – Bikini-Atoll, Kellerluft und Fukushima</b>	<b>191</b>
<b>9</b>	<b>Gifte im Haushalt – Weichspüler, Lacke und Desinfektionsmittel</b>	<b>211</b>
<b>10</b>	<b>Genussvolle Gifte – Zucker, Alkohol, Nikotin und andere Drogen</b>	<b>233</b>
<b>11</b>	<b>Schöne Gifte – bedenkliche Stoffe in Kosmetika</b>	<b>261</b>
<b>12</b>	<b>Bedenkliches in Lebensmitteln – Farbstoffe, Weichmacher, Enzyme und Schadstoffe</b>	<b>285</b>

**VI Inhaltsverzeichnis**

<b>13</b>	<b>Schwere Metalle – Blei, Arsen, Quecksilber, Chrom und andere</b>	319
<b>14</b>	<b>Die Unaussprechlichen – PAK, PCB, Dioxine...</b>	343
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	367



# 1

## Chemikalien, Gifte und die planetaren Belastungsgrenzen

*„Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift;  
allein die Dosis macht, daß ein Ding kein Gift sei.“  
Philippus Theophrastus Bombastus von Hohenheim  
genannt Paracelsus, Septem Defensiones, 1538*

Chemie an sich ist nichts Schlechtes. Im Gegenteil, die gesamte belebte Natur kann mit chemischen Formeln und Reaktionen beschrieben werden. Das gilt für die Photosynthese genauso wie für unsere eigenen Stoffwechselprozesse. Und Chemie macht uns das Leben schöner, bunter, sicherer und leichter. Sie bringt uns Kosmetika, Farben und Lacke, Funktionskleidung, Mineraldünger, Fahrradhelme, Medikamente, Hausdämmung, Kondome und Handys. Ohne Chemie wäre unser heutiges Leben schlichtweg nicht denkbar. Aber Chemie kann auch schädigen.

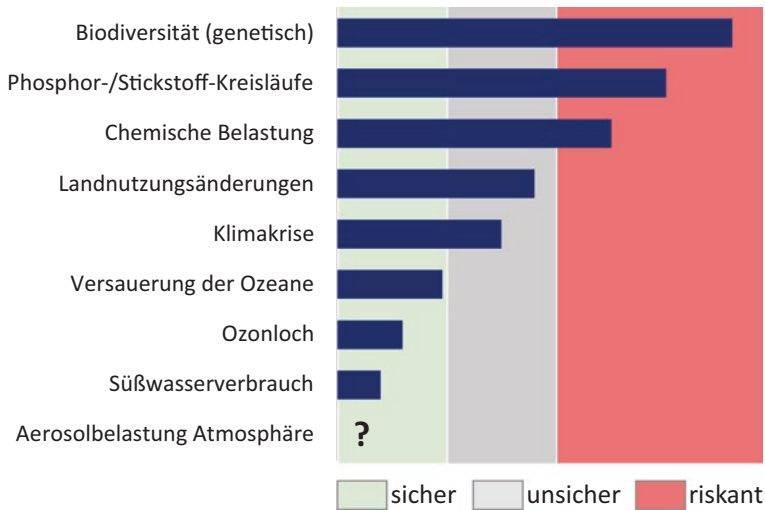
Das Umweltprogramm der Bundesregierung beschreibt **Umweltchemikalien** als „Stoffe, die durch menschliches Zutun in die Umwelt gebracht werden und in Mengen oder Konzentrationen auftreten können, die geeignet sind, Lebewesen, insbesondere den Menschen, zu gefährden ... Im engeren Sinne versteht man unter Umweltchemikalien chemische Produkte, die bei ihrer Herstellung, während oder nach ihrer Anwendung in die Umwelt gelangen“ [1]. Es kann sich dabei auch um natürlich vorkommende Stoffe handeln, etwa Schwermetalle, die durch menschliche Tätigkeit wie Bergbau, Mülldeponien oder Abrieb von Autoreifen in die Umwelt gelangen. Aber natürlich gibt es auch eine große Zahl von Chemikalien, die von Menschen (anthropogen) hergestellt wurden und

eine Gefahr für die Umwelt darstellen. Außerdem gibt es Gifte, die die Natur selbst produziert und die keineswegs ungefährlicher sind. Tollkirsche, Fliegenpilz, das Gift der Klapperschlange und der Vogelspinne sind nur allgemein bekannte Gifte, hinzu kommen diejenigen von krankmachenden Bakterien und Schimmelpilzen, die in unseren Zimmerecken und auf verdorbenem Obst hausen. Allerdings treten diese Stoffe nur lokal oder temporal sehr begrenzt auf bzw. werden in der Umwelt schnell abgebaut. Anders bei den meisten anthropogenen Stoffen.

Die Dinge werden immer unübersichtlicher. Im Jahr 2015 wurde die Zahl von 100 Mio. bekannter Substanzen, die eine Registrierungsnummer (CAS-Nummer, *Chemical Abstract Service Registry Number*) erhalten hatten, überschritten. Vierzig Jahre zuvor waren nur rund 3 Mio. Chemikalien überhaupt beschrieben [2]. Im Dezember 2022, kurz vor Redaktionsschluss zu diesem Buch, waren es schon mehr als 203 Mio. registrierte organische und anorganische Verbindungen [3]. Weltweit werden schätzungsweise 350.000 Chemikalien oder Chemikalienmischungen in größeren Mengen produziert und in einer Unmenge von Produkten eingesetzt. Und die chemische Industrie ist die zweitgrößte verarbeitende Industrie der Welt. Ihre Produktion ist seit 1950 um das 50Fache gestiegen und wird sich von 2010 bis 2050 voraussichtlich noch einmal verdreifachen [4]. Überhaupt wird derzeit alles immer noch mehr. Nach derselben globalen Studie hat sich von 2000 bis 2015 der Ausstoß von Plastik um das 1,75Fache erhöht, der Verbrauch an Pestiziden stieg von 2008 bis 2017 um das 1,5Fache und das sind nur wenige Indikatoren für den Chemikalienverbrauch. Solche Maßzahlen führten kürzlich zu einer Diskussion um die planetaren Belastungsgrenzen. Dabei haben Linn Persson vom *Stockholm Resilience Center* und eine internationale Forschungsgruppe verschiedene Maßzahlen daraufhin untersucht, ob bereits die planetare Belastungsgrenze erreicht ist (Abb. 1.1). Sie unterschieden in drei Kategorien: 1) Wir sind noch im sicheren Bereich (grün), 2) es ist bereits unsicher, ob die Grenzen der Belastbarkeit schon erreicht sind (grau), oder 3) wir sind schon im nachweislich riskanten Bereich (rot).

Im Zusammenhang mit unserem Thema stehen dabei v. a. die chemische Belastung, die Klimakrise und damit zusammenhängend die Versauerung der Ozeane. Dabei haben wir die Belastungsgrenzen unserer Erde bereits überschritten oder sind kurz davor. Die Autoren schließen daraus, „dass die Menschheit derzeit außerhalb der planetaren Grenze operiert“ und fahren fort: „Die zunehmende Produktion und Freisetzung größerer Mengen und einer höheren Anzahl neuartiger Substanzen mit unterschiedlichem Risikopotenzial übersteigt die Möglichkeiten der Gesellschaft, sicherheitsrelevante Bewertungen und Überwachungen durchzuführen“ [4].





**Abb. 1.1** Planetare Belastungsgrenzen sind für viele Maßzahlen bereits erreicht (riskant) oder kurz davor (unsicher) [4]

Das kann man leicht an den Bemühungen der EU festmachen, deren Verordnung zur „Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)“ weltweit als führend gilt. Sie trat 2007 in Kraft und bis Ende 2020 waren rund 23.000 chemische Stoffe registriert, davon mehr als 12.000 Stoffe als Ausgangs- oder Zielstoffe, d. h. keine nur temporär in der Synthese auftretenden Zwischenprodukte. Davon wiederum wurden nach 13 Jahren REACH nur 2400 Stoffe bewertet, also gerade einmal 10 %, wobei nur bei 786 Stoffen kein Risiko festgestellt wurde. Und eine solche behördliche Bewertung reicht noch nicht aus, um für die restlichen Stoffe wirklich Grenzwerte einzuführen [4].

Da die eingangs genannte Definition auf der Gefährdung von Lebewesen beruht, ist es durchaus legitim, solche Stoffe als Gifte zu bezeichnen. Denn ein Gift ist ja gerade dadurch gekennzeichnet, dass es einem Lebewesen Schaden zufügt. Entscheidend ist dabei natürlich die Dosis, wie schon Paracelsus wusste. Deshalb ist auch der Übergang vom Schadstoff zum Giftstoff häufig fließend. Selbst ein an sich harmloser Stoff wie Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl) kann tödlich sein, wenn man zu viel davon einnimmt. Auch reines (entsalztes) Wasser kann zum Tode führen, obwohl es in keiner Weise giftig ist. Wenn man aber einem Menschen 10 L davon einflößt, kommt es zu einem osmotischen Entzug von Natrium aus den Körperzellen bis hin zum Tod (Tab. 1.1).

Tab. 1.1 LD<sub>50</sub>- bzw. LC<sub>50</sub>-Werte einiger Stoffe (Ratte, oral [5])

Substanz	LD <sub>50</sub> [g/kg] <sup>a</sup> (LC <sub>50</sub> [g/L]) standardisiert
<b>Wasser (entsalzt)</b>	>90,0
<b>Saccharose (Zucker)</b>	29,7
<b>Mononatriumglutamat (MSG)</b>	16,6
<b>Vitamin C (Ascorbinsäure)</b>	11,9
<b>Harnstoff</b>	8,471
<b>Ethanol (Alkohol)</b>	7,06
<b>Natriumchlorid (Kochsalz, NaCl)</b>	3
<b>Δ<sup>9</sup>-trans-Tetrahydrocannabinol (THC)</b>	1,27
<b>Arsen (As)</b>	0,763
<b>Aspirin (Acetylsalicylsäure)</b>	0,2
<b>Coffein</b>	0,192
<b>Natriumfluorid (NaF)</b>	0,052
<b>Capsaicin</b>	0,0472
<b>Natriumcyanid (NaCN)</b>	0,0064
<b>Weißer Phosphor</b>	0,00303
<b>Aflatoxin B1 (aus <i>Aspergillus flavus</i>)</b>	0,00048
<b>2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (TCDD, ein Dioxin)</b>	0,00002
<b>Polonium-210<sup>b</sup></b>	0,00000001
<b>Botulinumtoxin (Botox)<sup>c</sup></b>	0,000000001

<sup>a</sup> Gramm je Kilogramm Körpergewicht

<sup>b</sup> Mensch Inhalation

<sup>c</sup> Mensch oral, Injektion, Inhalation

Um Giftwirkungen zu standardisieren, verfüttert man die Stoffe an Ratten oder Mäuse (oral) und bestimmt ihre letale Dosis (LD<sub>50</sub>). Das ist die Dosis, bei der 50 % der Versuchstiere sterben und stellt eine errechnete statistische Maßzahl aus dem Tierversuch dar. Die LC<sub>50</sub> ist die letale Konzentration, also eine aus der Umgebung des Lebewesens wirkende Stoffmengenkonzentration mit dem gleichen Effekt.

Die Tab. 1.1 zeigt auch, dass an sich harmlose Stoffe (Zucker, Glutamat), ja selbst das für die Gesundheit so wichtige Vitamin C, ab einer bestimmten Konzentration tödlich wirken können. Viele Stoffe erfordern allerdings eine unrealistisch hohe Menge, um giftig zu wirken. Beispielsweise THC, die Wirksubstanz des Haschisch. Niemand, der 70 kg schwer ist, wird wohl 120,4 g reines THC einnehmen, wenn doch schon ein Tausendstel dieser Menge für einen Rausch genügt. Deshalb gibt es weltweit keinen einzigen dokumentierten Todesfall, der durch die mit dem Haschisch aufgenommenen Menge an THC verursacht wurde. Das gilt natürlich auch für alle noch weniger gefährlichen Substanzen. Dennoch kann ein „Zuviel“ z. B. auch an Vitamin C, erhebliche Gesundheitsschäden verursachen,

beispielsweise durch unsachgemäßen Verzehr von meist unnatürlich hoch konzentrierten Nahrungsergänzungsmitteln, weniger aber durch übermäßigen Verzehr von Obst oder Gemüse.

Dabei sind aber nicht alle Stoffe für alle Lebewesen gleich giftig. So ist das Theobromin aus dem Kakao für uns ein Genussmittel, während es für Hunde und Katzen ab einer geringen Dosis tödlich ist. Außerdem beziehen sich diese Angaben nur auf die akute Toxizität eines Stoffes, also seine unmittelbare Wirkung. Es gibt Stoffe, die eine chronische Toxizität aufweisen, also erst dann schädlich werden, wenn sie über lange Zeit hinweg eingenommen oder eingeatmet werden. Dazu gehört beispielsweise das Nikotin. Eine Zigarette wird wohl niemanden schädigen, wer aber sein ganzes Leben raucht, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Schaden davontragen.

Die Giftigkeit hängt nicht mit der Herkunft eines Stoffes – natürlich oder synthetisch – zusammen. So ist das reine Coffein relativ giftig, obwohl es viele von uns täglich über das Naturprodukt Kaffee zu sich nehmen. Und die giftigste derzeit bekannte Substanz ist ein natürliches Bakteriengift (Botulinum). Das lassen sich manche Menschen sogar unter die Haut spritzen, um durch eine zeitweise Lähmung von Muskeln vorübergehend Fältchen zu beseitigen. Ebenfalls sehr giftig ist Polonium, ein auch natürlich vorkommendes, radioaktives Zerfallsprodukt von Radon.

Man kann die Gefährlichkeit von Umweltgiften auch danach ordnen, wie viele Menschen weltweit davon betroffen sind. Das hat die US-Umweltorganisation *Pure Earth*, New York zusammen mit dem *Green Cross* Schweiz 2015 gemacht und kam für die sechs gefährlichsten Gifte auf folgende Rangfolge [7]:

1. Blei (26 Mio. Menschen),
2. Radionuklide (22 Mio. Menschen),
3. Quecksilber (19 Mio. Menschen),
4. Chrom (16 Mio. Menschen),
5. Pestizide (7 Mio. Menschen),
6. Cadmium (5 Mio. Menschen).

Die beiden Organisationen gehen davon aus, dass diese industriellen Schadstoffe weltweit mehr Lebensjahre beeinträchtigen (*disability adjusted life years*) als Malaria und nur noch von HIV/AIDS übertroffen werden. In der überwiegenden Zahl sind davon Menschen des globalen Südens betroffen, weniger die aus Industrieländern.

Während es zur Bestimmung der akuten Toxizität ziemlich einfach ist, Ratten so lange mit einem Stoff zu füttern, bis sie tot umfallen, ist es wesentlich schwerer, das chronische bzw. „nur“ schädigende Potenzial von Umweltgiften zu beurteilen. Warum? Weil ...

- ... Stoffe auch in Konzentrationen, die weit unter der akuten Toxizität liegen, chronisch schädlich sein können. Für die Bestimmung der chronischen Toxizität benötigt man aber sehr aufwendige Langzeitversuche.
- ... wir ständig einer Vielzahl von Substanzen ausgesetzt sind und deren Wechselwirkung kaum zu bestimmen ist.
- ... bestimmte Gefährdungsgruppen (z. B. Asthmatiker, Kinder, ältere Menschen) wesentlich empfindlicher sein können als der Durchschnitt der Bevölkerung.
- ... Frauen und Männer sehr unterschiedlich auf den gleichen Stoff reagieren können und die Wirkung überhaupt sehr von den gesamten Lebensumständen abhängig ist (z. B. Alkoholkonsum, Essverhalten, Lebenszufriedenheit).
- ... die physiologische Wirkung vieler, vielleicht sogar der meisten Stoffe, überhaupt nicht exakt bekannt ist.
- ... Dosis-Wirkungs-Beziehungen sich auch bei Langzeitstudien kaum herstellen lassen.

Und dann gibt es noch das „Dreckige Dutzend“: Das sind Chemikalien, die als so gefährlich und umweltgefährdend eingestuft wurden, dass sie im Stockholmer Übereinkommen vom 22. Mai 2001 weltweit verboten wurden. Es handelt sich dabei um organische Chlorverbindungen, die im Verdacht stehen, kanzerogen, mutagen und teratogen zu wirken und die sich in der Umwelt anreichern. Auf der Liste stehen v. a. Pflanzenschutzmittel der 1. Generation (u. a. Aldrin, DDT, Lindan) und Nebenprodukte von Verbrennungsprozessen (Dioxine, Furane). Seit 2009 wurden weitere Stoffe aufgenommen. Alle diese Stoffe befinden sich trotz z. T. Jahrzehnte zurückliegender Verbote immer noch in der Umwelt, da sie häufig nur sehr langsam abbaubar (persistent) sind und sich deshalb anreichern.

Ein riesiges Problem stellen auch alte Holz- und Flammschutzmittel dar, die heute zwar nicht mehr angewendet werden, aber überall noch in den Gebäuden verarbeitet sind und ausgasen. Sie wurden wegen ihrer hohen Persistenz eingesetzt, schließlich sollen tragende Holzbalken nicht innerhalb einiger Jahrzehnte verrotten. Aber genau das macht sie jetzt zum Problem. Hinzu kommen Weichmacher aus Plastikspielzeug, Bodenbelägen

und Vinyltapeten, PCB, Lösemittel aus Möbeln, Lacken, Kleber. Diese Chemikalien finden sich überall – in der Luft, im Wasser und in alltäglichen Konsumprodukten. Man kann ihnen kaum entgehen. Amerikanische Forscher untersuchten kürzlich das Blut von Neugeborenen und deren Müttern in San Francisco auf 3.500 Industriechemikalien [8]. Dabei fanden sich tatsächlich 109 Umweltchemikalien, von denen 55 noch nie zuvor im Menschen nachgewiesen wurden. Bei 42 dieser Substanzen sind weder die Quelle noch die Anwendung und schon gar nicht die Gesundheitswirkung auf das ungeborene Kind bekannt [8]. Darunter fanden sich Stoffe aus Medikamenten, Weichmachern und Textilien, Kosmetika und Haushaltsreinigern. Dazu kamen 3 Flammenschutzmittel, 23 Pestizide und 7 polyfluorierte Alkylverbindungen. Von all diesen Stoffen wird in den nachfolgenden Kapiteln noch ausführlicher die Rede sein.

### **„Gefahren“ und „Risiken“ sind nicht dasselbe? [9]**

„Eine Gefahr ist eine mögliche Bedrohung für die Gesundheit aufgrund der inhärenten Eigenschaften eines Stoffes, etwa seiner Fähigkeit zur Schädigung der Nieren oder zur Erzeugung von Krebs. Das von einem Stoff ausgehende Risiko schädlicher Wirkungen hängt jedoch ab von:

- der Stoffmenge, der Menschen ausgesetzt sind,
- der Expositionsdauer,
- dem Zeitpunkt der Exposition, d. h. als Fötus, Kind oder Erwachsener“.

Ein noch viel schwierigeres Gebiet ist die Zunahme der Allergien und Unverträglichkeiten, die seit Jahrzehnten beobachtet wird. Zum Beispiel ergab eine Vergleichsuntersuchung aus der Schweiz, dass Heuschnupfen im Jahre 1926 bei rund 1 % der Bevölkerung, 1958 bei schon 4,5 % und 1985 bei mittlerweile 10 % auftrat [10]. Heute geht man davon aus, dass in allen Industriestaaten 10–20 % der Bevölkerung unter einer Allergie leiden. Auch wenn man verbesserte Diagnosemöglichkeiten und eine größere Achtsamkeit der Menschen ins Spiel bringt, lässt sich diese Steigerung dennoch nicht kleinreden.

Dabei können allergische Reaktionen sehr viele Ursachen haben: natürliche Stoffe (Pollen, Nahrungsmittel) genauso wie Umweltchemikalien. Neben Heuschnupfen spielen dabei auch Kontaktallergien eine große Rolle, die nach Angaben des Hamburger Allergologen Professor Karl-Heinz Schulz häufig auf Inhaltsstoffe von Kosmetika, Textilien und Haushaltschemikalien zurückzuführen sind [10]. Als Verursacher von Asthma wird besonders auch eine Belastung von Gebäuden mit Schimmelpilzen, v. a. der Gattung

*Alternaria*, angenommen. Diese Mikroorganismen wachsen in Wohnungen auf Textilien, Tapeten, Blumenerde und Lebensmitteln. Die gleichen Effekte können auch die in Lebensmitteln enthaltenen Konservierungs-, Aroma- und Farbstoffe verursachen.

Auch die schlechte Luftqualität in den Innenstädten hat einen Anteil daran. Zwar sind wir weit von den katastrophalen Zuständen entfernt, die in Peking, Mexiko City und anderen Megastädten herrschen. Aber eine höhere Allergiefähigkeit, Feinstaubemissionen und Luftschadstoffe spielen auch bei uns eine Rolle. So steigt seit rund 100 Jahren die Zahl der erwachsenen Asthmakranken. Besonders drastisch war der Anstieg in den vergangenen 3–4 Jahrzehnten in den westlichen Industrienationen. Inzwischen stagniert hier die Zahl der Erkrankten [11].

Wenn man über geringste Mengen von schädlichen Stoffen spricht, muss man sich klarmachen, welche geringe Mengen heute durch die Fortschritte der analytischen Chemie nachgewiesen werden können (Tab. 1.2).

Die Tatsache, dass die Spurenanalytik heute Mengen nachweisen kann, die vor 10, 15 und gar 50 Jahren undenkbar waren, führt natürlich auch dazu, dass man jetzt viel häufiger und viel mehr Substanzen in der Umwelt findet. Die verbesserten Analysetechniken erklären auch die eingangs beschriebene Zunahme an bekannten Substanzen in den letzten Jahrzehnten. Zudem ermöglichen sie die Erforschung von Auswirkungen geringerer Konzentrationen an Schadschubstanzen, sogenannte subletale Effekte. Bei einigen Chemikalien sind die Abbauprodukte deutlich gefährlicher als die ursprüngliche Substanz, sodass in der Analytik auch diese Abbauprodukte berücksichtigt werden müssen. Das macht die Sache nicht einfacher.

Besondere Vorschriften gibt es heute für Materialien, die für den Kontakt mit Lebensmitteln vorgesehen sind. Sie dürfen keine Stoffe an die Lebensmittel abgeben (Migration), die die Gesundheit gefährden oder die Eigenschaften der Nahrungsmittel beeinträchtigen. Allerdings sind viele dieser

**Tab. 1.2** Erläuterung zu Konzentrationsangaben, die analytisch heute nachweisbar sind, mit Beispielen [12]

Ein Stück Würfelzucker (2,5 g) aufgelöst in ...		
	entspricht	Beispiel
0,25 L (Tasse)	10 g/kg (%)	Alkohol in Getränken
2,5 L (Flasche)	1 g/kg (‰)	Alkohol im Blut
2.500 L (Lkw)	1 mg/kg (ppm)	Nitrat im Wasser
2,5 Mio. L (Tankschiff)	1 µg/kg (ppb)	Schwermetall im Wasser
2,5 Mrd. L (Stausee)	1 ng/kg (ppt)	Dioxine im Boden
2,5 Billionen L (See)	1 pg/kg (ppq)	Dioxine in der Muttermilch

Stoffe nicht vermeidbar oder kommen nur in so geringen Mengen vor, dass sie von der europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) oder vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) als gesundheitlich unbedenklich angesehen werden [12].

### Was bleibt zu tun?

Was man tun kann, um sich und seine Kinder vor Umweltchemikalien zu schützen, zeigen führende kanadische Gesundheits- und Umweltexperten der "Canadian Partnership for Childrens Health and Environment" (CPCHE). Sie kamen dabei auf sechs relativ einfach zu befolgende Punkte [13]:

1. Staub reduzieren,
2. Hausstaub enthält besonders viele Umweltchemikalien aus der Luft und den im Haushalt verwendeten chemischen Mitteln. Häufiges feuchtes Wischen und Staubsaugen hilft.
3. Natürliche, parfümfreie Reinigungsmittel einsetzen, weil Parfüme den Hormonhaushalt beeinflussen können; von antibakteriellen Produkten wird abgeraten.
4. Mit Umsicht und Vorsicht renovieren, weil Staub und Dämpfe aus Farben und Klebstoffen entstehen, im Zweifelsfall Atemschutzmasken verwenden.
5. Bestimmte Plastikarten verbannen, z. B. keine Plastikbehälter für die Essensaufbewahrung benutzen, weil sie häufig Bisphenol A enthalten, PVC („Vinyl“) enthält Phthalate; Lebensmittel möglichst frisch, in Gläsern eingeweckt, getrocknet oder tiefgefroren aufbewahren.
6. Quecksilberarme Fischarten wie Makrele, Hering, Wildlachs oder Regenbogenforelle bevorzugen. Thunfisch kann geradezu gefährlich für Kinder sein.

Und noch eines ist wichtig, auch wenn es die kanadischen Experten nicht aufführen: Das Wissen um die Chemikalien in unserer unmittelbaren Umgebung kann bereits zu ihrer Vermeidung führen. Dazu will das vorliegende Buch einen Beitrag leisten.

## Literatur

1. UBA (o. J.) Umweltbundesamt. Umweltchemikalien. [https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/\\_00025149.html](https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00025149.html). Zugegriffen: 24. Aug 2022
2. Sacher F (2016) Spurenstoffe in der Umwelt – Bedeutung für Mensch und Ökologie. Zukunftsforum Naturschutz, 26. November 2016. <https://lnv-bw.de/wp-content/uploads/2016/11/Sacher-Spurenstoffe-2016.pdf>. Zugegriffen: 24. Aug 2022

3. CAS Registry®. <https://www.cas.org/cas-data/cas-registry>. Columbus, Ohio, USA. Zugegriffen: 24. Aug 2022
4. Persson L, Carney Almroth BM, Collins CD et al (2022) Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environ Sci Technol* 56(3):1510–1521
5. WIKIPEDIA: Gift. <https://de.wikipedia.org/wiki/Gift>. Zugegriffen: 05. Juni 2023
6. Bernard E (2022) Planetare Belastungsgrenze für Schadstoffe überschritten. <https://www.scinexx.de/news/geowissen/planetare-belastungsgrenze-fuer-schadstoffe-ueberschritten/>. Zugegriffen: 24. Aug 2022
7. PureEarth/Green Cross (2015) World's worst pollution problems 2015 – The new top six toxic threats: a priority list for remediation world's worst. [https://www.greencross.ch/wp-content/uploads/uploads/media/pollution\\_report\\_2015\\_top\\_six\\_wwpp.pdf](https://www.greencross.ch/wp-content/uploads/uploads/media/pollution_report_2015_top_six_wwpp.pdf). Zugegriffen: 24. Aug 2022
8. Wang A, Abrahamsson DP, Jiang T et al (2021) Suspect screening, prioritization, and confirmation of environmental chemicals in maternal-newborn pairs from San Francisco. *Environ Sci Technol* 55(8):5037–5049
9. EFSA (2015) European food safety authority. Wissenschaftliches Gutachten zu Bisphenol A. [https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate\\_publications/files/factsheetbpa150121-de.pdf](https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/factsheetbpa150121-de.pdf). Zugegriffen: 05. Juni 2023
10. Anonym (1985) Allergien – Empfindliche Steigerung. ZEIT online. <http://www.zeit.de/1985/50/empfindliche-steigerung>. Zugegriffen: 24. Aug 2022
11. Mutius E, Maison M (2019) Wie häufig ist Asthma? <https://www.lungeninformationsdienst.de/krankheiten/asthma/verbreitung/index.html>. Zugegriffen: 24. Aug 2022
12. Anonym (o. J.) Migration ist zu vermeiden. <http://www.papierverarbeitung.de/wpv/verbraucherschutz/migration/>. Zugegriffen: 24. Aug 2022
13. Anonym (2015) Umweltgifte – Fünf Wege zum unbelasteten Leben. Focus online. [https://www.focus.de/gesundheit/gesundleben/vorsorge/umweltgifte-fuenf-wege-zum-unbelasteten-leben\\_aid\\_637395.html](https://www.focus.de/gesundheit/gesundleben/vorsorge/umweltgifte-fuenf-wege-zum-unbelasteten-leben_aid_637395.html). Zugegriffen: 24. Aug 2022





# 2

## Gifte in der Natur – von Botox bis Kugelfisch

Nicht alles, was sich an Gift in der Umwelt findet oder in sie gerät, ist menschengemacht. Das wird oft von denen vergessen, die pauschal „das Natürliche“ loben. Was wird nicht alles mit dem Stichwort „natürlich“ beworben: „Natürlich stark“ (Pharma), „natürlicher Mehrwert“ (Fruchtsaft), „natürliche Zutaten“ (Fertigsoße). Selbst den Slogan „natürlich werben“ gibt es, als wäre das nicht ein (falscher) Zirkelschluss. Denn anscheinend glauben alle, dass das, was die Natur uns gibt, automatisch gut für sie ist. Als gäbe es nicht giftige Pflanzen, lebensgefährliche Pilze und tödliche Tiere. Als wäre die Natur selbst nicht während der längsten Zeit der Menschheitsentwicklung „unsere größte Gefahr“ gewesen. Aber 100 Jahre unserer „künstlichen“ Zivilisation haben offensichtlich genügt, um das gründlich vergessen zu machen. Erst ein potenziell tödliches Virus wie SARS-CoV-2 hat uns wieder gezeigt, wie gefährlich die Natur sein kann.

Die Natur hilft sich immer dann mit Giften, wenn sie effizient töten möchte oder sich wirksam verteidigen muss. Das Erste gilt für Bakterien ebenso wie für Giftschlangen, das Letztere v. a. für Pilze und Pflanzen. Als Toxine bezeichnet man dabei Gifte, die von Lebewesen gebildet werden. Und davon gibt es eine schier unglaubliche Vielfalt. Von den 13 giftigsten Stoffen überhaupt, kommen 10 direkt aus der Natur (Tab. 2.1), nur das Nervengift VX (Rang 6) und das Dioxin TCDD (Rang 7) sind menschengemachte Substanzen. Und Polonium-210 (Rang 2) ist ein natürlich auftretendes radioaktives Isotop.

**Tab. 2.1** Die gefährlichsten biologischen Substanzen der Natur und ihre Giftigkeit als standardisierte tödliche Konzentration im Vergleich zu Kochsalz (NaCl [1], ergänzt); LD<sub>50</sub>=Stoffmenge, bei der 50 % der Lebewesen sterben

Rang	Substanz	Herkunft	LD <sub>50</sub> , Testobjekt, Verabreichung	Konzentration <sup>a</sup> [g/kg]
	Natriumchlorid, NaCl	–	3 g/kg, Ratte, oral	3,0
13	Cantharidin	Insekt	500 µg/kg, Mensch, oral	0,0005
12	Aflatoxin B1	Pilz	480 µg/kg, Ratte, oral	0,00048
11	Peptide und Proteine im Gift der brasilianischen Wanderspinnne	Spinne	134 µg/kg, Ratte, subkutan	0,000134
10	Amanitin	Pilz	100 µg/kg, Mensch, oral	0,0001
9	Taipoxin	Schlange	25 µg/kg, Ratte, subkutan	0,000025
8	Ricin	Pflanze	22 µg/kg, Ratte, intraperitoneal	0,000022
5	Batrachotoxin	Frosch	2–7 µg/kg, Mensch, subkutan	0,000002
4	Abrin	Pflanze	0,7 µg/kg, Maus, intravenös	0,0000007
3	Maitotoxin	Dinoflagellat	0,13 µg/kg, Maus, intraperitoneal	0,00000013
1	Botulinumtoxin	Bakterium	1 ng/kg, Mensch, oral, Inhalation	0,000000001

<sup>a</sup> Zur besseren Verdeutlichung der Relation ist hier auf die Größenordnung g/kg vereinheitlicht. Damit wird ersichtlich, dass die Giftwirkung zwischen NaCl und Botulinumtoxin bei oraler Aufnahme um den Faktor 3.000.000.000 zunimmt. Oder anders, es reicht der dreimilliardste Teil des Gewichtes von NaCl an Botulinumtoxin für die gleiche Giftwirkung

Dennoch gibt es Unterschiede zwischen natürlichen und menschengemachten (anthropogenen) Giften. Bei Letzteren ist die Mehrheit der Stoffe sehr schwer in der Umwelt abbaubar, viele verteilen sich über den gesamten Planeten und können lokal in extrem hohen Konzentrationen vorkommen. Natürliche Gifte mit Ausnahme von radioaktiven Elementen und Schwermetallen entstammen selbst biologischen Prozessen und können durch solche wieder von Organismen abgebaut werden. Sie sind also weniger dauerhaft (persistent) als menschengemachte Giftstoffe und treten zudem meist nur lokal oder temporär auf. In einer gesunden Umwelt können sie daher kaum zu einer globalen Gefahr werden, weshalb ihr Risikopotenzial für die Umwelt im Vergleich zu menschengemachten Stoffen erheblich geringer ist.

## Toxische Bakterien

Bakterien sind Lebensformen, die auf unserem Planeten überlebensnotwendig sind. Dies beginnt schon bei uns selbst. Jeder Mensch trägt auf und in sich etwa zehnmal so viele Bakterien, wie er eigene Körperzellen besitzt. Und das umfasst dabei auch mindestens 400 Arten! Allein im Mund finden sich  $10^{10}$  Bakterienzellen, im Verdauungstrakt leben noch 10.000-mal mehr. Ohne sie könnten wir weder Nahrung verdauen noch überleben. Denn diese nützlichen Bakterien sorgen neben ihren eigentlichen Funktionen auch dafür, dass sich keine anderen schädlichen Bakterien einnisten können. Außerdem produzieren wir mithilfe von Bakterien Lebensmittel wie Essig, Joghurt und Sauerkraut, um nur die Wichtigsten zu nennen. Es gibt jedoch auch einige schädliche Bakterien, wie jeder weiß. Diese sind dann aber wirklich gefährlich und einige davon produzieren hochwirksame Giftstoffe, Bakterientoxine. Das Bekannteste ist gleich auch schon das giftigste Toxin, das überhaupt in der Natur entsteht, Botulinumtoxin. Das wird vom Bakterium *Clostridium botulinum* produziert und in seine Umgebung (das Substrat) abgegeben (Exotoxin). Der zweite Namensteil kommt übrigens von lat. „botulus“, was Wurst bedeutet. Wir werden darauf gleich zurückkommen. Das Botulinumtoxin ist eine absolut tödliche Mischung von verschiedenen, nah verwandten Eiweißkörpern (Proteine), die sogar noch von einem speziellen Hüllprotein geschützt werden und deshalb unbeschadet selbst die Magensäure überstehen. Bereits wenige milliardstel Gramm (Nanogramm, ng) Botulinumtoxin können tödlich sein. Oder anders ausgedrückt: Mit der Menge an Toxin, die einem Salzkorn entspricht, könnte man theoretisch eine halbe Million Menschen töten [2].

Entdeckt wurde das Bakterium Ende des 19. Jahrhunderts bei der Untersuchung von Schinken, an dem damals drei Menschen gestorben waren. Es kommt überall in unseren Böden vor und bevorzugt pH-neutrale, sauerstofffreie, aber hoch nährstoffhaltige Substrate bei Temperaturen von über 10 °C. Deshalb war es früher besonders häufig in Konserven zu finden, wie eben Wurst-, Fleisch- und Fischkonserven, Mayonnaise, aber auch Frucht- und Gemüsekonserven. Die Bakterien führen in der Regel nicht zu Infektionen, das ist das Besondere daran, sondern nur das im Produkt gebildete Toxin kann einen Menschen töten. Es hemmt die Erregungsübertragung von Nervenzellen, was zu einer Muskelschwäche und infolgedessen zu Schluck-, Sprech- und Sehstörungen führt. Weiter kann es zu Muskellähmungen bis hin zum Stillstand der Lungenfunktion kommen, die dann als Atemlähmung tödlich ist. Heute sind aufgrund der großen Hygiene bei der

Lebensmittelproduktion Vergiftungen mit Botulinumtoxin selten geworden. Trotzdem sollte man auf keinen Fall Konserven essen, deren Deckel aufgebläht erscheint und nach außen gewölbt ist. Meist riechen sie auch unangenehm und sollten deshalb sofort entsorgt werden. Auch 5 min Kochen führt zur Denaturierung des hitzelabilen toxischen Proteins und macht den Doseninhalt wieder sicher. Darauf sollte aber besser verzichtet werden. Denn in Deutschland finden sich immerhin jährlich 20–40 Fälle, von denen aber zum Glück lediglich 1–2 tödlich enden. Denn im frühen Stadium rettet heute ein Antiserum die betroffenen Menschen.

Weniger als Todesursache ist Botulinumtoxin heute in einem anderen Zusammenhang im Gespräch. Dieses giftigste aller Gifte, das die Natur bereithält, wird nämlich vielfach im kosmetischen Bereich eingesetzt und ist als Botox bekannt, obwohl das nur einer von mehreren Produktnamen ist. Wird es stark verdünnt in den Muskel gespritzt, blockiert dieser und kann nicht mehr wie gewohnt angespannt werden [2]. Das führt zu einer Glättung der Falten im Gesicht, beispielsweise der Augenfältchen. Das Fühlen und Tasten wird dabei nicht beeinträchtigt, allerdings kann die emotionale Mimik eingeschränkt werden. Das Gesicht erstarrt zu einer, wenn auch faltenfreien Maske. Die Wirkung hält 2–6 Monate an. Und so kommen die Patienten immer wieder. Dabei kostet eine Injektion mehrere Hundert Euro. Aber auch durch die Berichte der Massenmedien und das Vorbild von prominenten Personen hat sich Botox zum großen Geschäft entwickelt. In den USA und bei uns ist es die Nummer 1 aller Schönheitsbehandlungen. Experten schätzen den Markt auf 3 Mrd. USD und erwarten, dass er sich in den nächsten Jahren noch verdoppeln wird [3]. Dies schließt auch medizinische Anwendungen ein, etwa bei schweren Muskelverkrampfungen (Dystonie) oder chronischer Migräne. Warum das Bakterium sein Gift produziert, ist nicht einfach zu erklären. Vielleicht verteidigt es damit sein Substrat gegenüber anderen Mikroorganismen. Da es Warmblüter nicht infizieren kann, hat es auch keinen evolutionären Sinn, sie zu vergiften.

Das sieht beim verwandten Tetanuserreger (*Clostridium tetanus*) schon ganz anders aus, der ein chemisch ähnliches Toxin produziert [1]. Er kommt ebenfalls überall in unserer Umwelt vor und gelangt durch die Verschmutzung von Wunden z. B. durch Straßenstaub in den Körper. Ist die Wunde so tief, dass es zum Sauerstoffabschluss kommt, dann vermehrt sich das Bakterium und produziert Tetanospasmin. Ähnlich wie das Botulinumtoxin schädigt es die Nervenzellen, die die Muskelzellen steuern. Dadurch kommt es zu den namensgebenden Krämpfen, denn die Krankheit ist auch als Wundstarrkrampf bekannt, was sehr treffend sowohl den Über-

tragungsweg als auch die Symptome beschreibt. Wird die Krankheit nicht behandelt, führt sie zum Tod durch Atemlähmung. Der Erreger produziert noch ein zweites Toxin, das Tetanolysin, das herzscheidigend ist, aber für die Erkrankung keine große Rolle spielt. Die beste Vorbeugung ist die Impfung, die dazu führte, dass es in Deutschland heute kaum noch 10 Erkrankungen pro Jahr gibt. Dabei dient übrigens das unschädlich gemachte Toxin als wirksamer Bestandteil, in dem es zu einer aktiven Immunisierung des Körpers führt.

Ähnlich verfährt man auch bei der Impfung gegen Diphtherie, einer weiteren durch ein Bakterientoxin verursachten Krankheit [1]. Hier stoppt das Toxin des Bakteriums *Corynebacterium diphtheriae* die Eiweißbildung im Körper. Ebenfalls Toxine produzieren weitere Bakterien, die oft tödlich verlaufende Krankheiten verursachen: Typhus, Cholera, Pertussis, Milzbrand, wobei deren Toxine unterschiedliche Wirkmechanismen haben.

Noch einmal zurück zur Lebensmittelvergiftung. Das Botulinumtoxin ist heute kein Problem mehr, wohl aber Vergiftungen durch Staphylokokken, die über die Hände von Metzger oder Küchenpersonal in Lebensmittel gelangen können und sich dort vermehren. Nachfolgendes Kochen und sogar die Magensäure töten zwar den Erreger *Staphylococcus aureus* ab, die verschiedenen, von ihm gebildeten Toxine überstehen aber diese Prozeduren und führen dann zu heftigem Durchfall und Erbrechen [1]. Da die Toxine nicht von den Bakterien abgegeben werden (Enterotoxine), entfalten sie erst beim Zerfall der Bakterienzellen, etwa durch die menschliche Verdauung, ihre Wirkung.

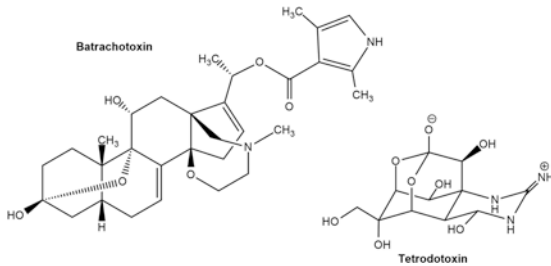
## Tierische Gifte

Bei Giften denkt wohl jeder zuerst an Schlangen. Tierische Gifte dienen einerseits der Verteidigung, wie die Gifte von Insekten (Bienen, Wespen, Hornissen) oder Fröschen, andererseits aber auch dem Töten, womit wir bei den Schlangen wären. Bei Fischen gibt es beides. Einige Stechrochen, Seekatzen oder Stierkopphaie nutzen das Gift zur Jagd, andere, wie etwa der berühmte Kugelfisch, sind nur passiv giftig, d. h., ihre Toxine machen erst Probleme, wenn man sie verzehrt.

Berühmt für ihre Gifte sind die tatsächlich auch zoologisch sogenannten Pfeilgiftfrösche (Baumsteigerfrösche). Sie umfassen zahlreiche Arten und einer der giftigsten ist ein kleiner gelber Frosch, der auf Deutsch „Schrecklicher Pfeilgiftfrosch“ (*Phyllobates terribilis*) heißt (Abb. 2.1). Sein Batrachotoxin ist neurotoxisch und auch für Menschen tödlich [4].



**Abb. 2.1** Zwei Vertreter der Pfeilgiftfrösche aus den tropischen Regenwäldern: Der Schreckliche Pfeilgiftfrosch (*Phyllobates terribilis*, links [5]) aus Kolumbien und der Blaue Baumsteiger (*Dendrobates tinctorus azureus*), eine Farbvariante des Färberfrosches aus Surinam (rechts)



**Abb. 2.2** Strukturformeln von Batrachotoxin, dem Gift des Pfeilgiftfrosches *Phyllobates terribilis*, und des Gegengiftes Tetrodotoxin vom Kugelfisch

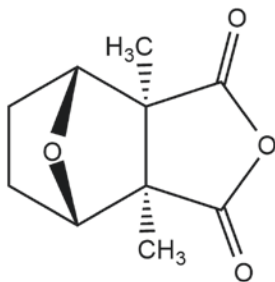
Auf gesunder Haut zeigt dieses Gift keine Wirkung, es kann aber schon in kleinste Verletzungen eindringen und inaktiviert dann die Natriumkanäle, was zu Verkrampfungen, Kribbeln und Taubheit führt. Das geht in schweren Fällen bis hin zu Atemlähmungen und kann bei einem Menschen innerhalb von nur 20 Minuten zum Tod führen [4]. Ein Gegengift gegen Batrachotoxin ist Tetrodotoxin – das Gift des Kugelfisches (Abb. 2.2). Tetrodotoxin blockiert die Nervenkanäle schon am Nervenaxon und hebt damit die Wirkung des Froschgiftes Batrachotoxin auf.

Die Frösche der Gattung *Dendrobates* (Abb. 2.1) produzieren dagegen ein weniger giftiges Pumiliotoxin.

Genauere Untersuchungen zeigten, dass die entsprechenden Frösche nicht überall gleich giftig sind und dass sie in Gefangenschaft ihre Giftigkeit verlieren. Dies führte zu der Erkenntnis, dass sie das Gift gar nicht selbst produzieren, sondern über die Nahrung aufnehmen („Sequestrierung“).

Durch das Fressen von bestimmten Insekten, etwa Schuppenameisen oder Hornmilben, gelangen sie an das Gift und lagern es in oder unter ihrer Haut ein. Deshalb gibt es auch nicht „das“ Pfeilgiftfrosch-Toxin. Und sie sind nicht einmal besonders wählerisch. Bei den Erdbeerfröschen (*Oophaga pumilio*) aus Costa Rica und Panama fanden sich im Verlauf von 30 Jahren 232 giftige Alkaloide [6]. Ihre häufig besonders intensive Färbung ist ähnlich wie bei unserem leicht giftigen Feuersalamander ein Warnsignal an die Fressfeinde.

Ein auch kulturell berühmtes Insektengift ist das Cantharidin, das Gift der Spanischen Fliege (*Lytta vesicatoria*, Abb. 2.3), einem intensiv grün glänzenden Käfer [7]. Es war schon Hippokrates und Plinius dem Älteren bekannt und hatte von Anfang an den Ruf eines Aphrodisiakums. Angeblich mischten es reiche Römer in das Essen, um ihre Gäste zu sexuellen Ausschweifungen zu animieren. Der Stoff wird von verschiedenen Käfern gebildet, die ihn teils zur Verteidigung (Wehrsekret), teils als sexuelles Lockmittel verwenden. Cantharidin ist ein starkes Reiz- und Nervengift, das beim Menschen auch Gesundheitsschäden verursachen kann. Das geht von Hautirritationen bis hin zu Blasenbildung und Nekrosen. Sein Ruf als Aphrodisiakum ist wohl nicht ganz unbegründet und es wurde in der Geschichte immer wieder dafür gepriesen [7]. Allerdings ist die Dosierung, wie bei allen Naturstoffen, nicht ganz einfach und der Mann, der sich sein Glied mit zermahlener Spanischer Fliege einreibt, kann zwar mit einer Erektion belohnt werden. Diese kann jedoch bei Überdosierung auch eine schmerzhaft dauerhafte Erektion bewirken, die bis zur bleibenden Impotenz führen kann. Das ist dann offensichtlich des Guten zu viel. Bei Einnahme der getrockneten Insekten kann es auch noch zu Nierenschäden kommen.



Cantharidin



**Abb. 2.3** Strukturformel von Cantharidin, dem Insektentoxin der Spanischen Fliege (*Lytta vesicatoria*) und das lebende Tier [8]



Als giftigste Schlange der Welt gilt der australische Inlandtaipan (*Oxyuranus microlepidotus*), der in einem abgelegenen Gebiet in den heißen Wüstengegenden des westlichen Queensland lebt [9]. Hauptbeute sind Mäuse und andere kleine Nager. Deshalb ist es etwas geheimnisvoll, warum ausgerechnet diese Schlange ein so starkes Gift produziert. Man hat ausgerechnet, dass mit einer gefüllten Giftblase theoretisch 250.000 Mäuse oder 150.000 Ratten bzw. 250 Menschen getötet werden könnten [9]. Damit ist der Inlandtaipan 50-mal giftiger als eine Indische Kobra [10]. Er produziert als Nervengift Taipoxin (ein Peptid) und außerdem Enzyme, die die Blutgerinnung hemmen und die roten Blutkörperchen und Muskelzellen zerstören. Eigentlich trifft der Mensch kaum auf diese Schlange. Sie lebt nämlich die meiste Zeit des Jahres in tiefen Felsenspalten und unterirdischen Gängen. Nur im Frühjahr kommt sie an sonnigen, warmen Tagen heraus.

Die giftigste Spinne der Welt stammt zwar aus Südamerika, hat aber auch in Deutschland schon Schlagzeilen gemacht. Wegen ihr wurden Supermärkte geräumt und Polizei und Feuerwehr geholt. Sehr gelegentlich wurde sie nämlich schon in Obstkisten als blinder Passagier gefunden. Es ist die Brasilianische Wanderspinnne der Gattung *Phoneutria*, von der es 8 Arten gibt [11]. Die giftigste davon ist *Phoneutria nigriventer*, die nur in Brasilien, Paraguay, Uruguay und Argentinien vorkommt. Wegen ihres Drohverhaltens wird sie von den Einheimischen *Armadeira* genannt, was so viel wie „bewaffnet“ heißt. Die Übersetzung ihres lateinischen Gattungsnamens ist nicht viel beruhigender. Er heißt „Mörderin“. Ihr Gift – ein Mix verschiedener Proteine und Peptide – kann starke Schmerzen auslösen, es kommt zu einem erhöhten Blutdruck, Fieber, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen. In schweren Fällen führt es manchmal zu einem Lungenödem, Schockzustand und Kreislaufversagen und es kann dann als eines der wenigen Spinnengifte auch für einen Erwachsenen tödlich sein. Bei Männern kann es auch noch eine Dauererektion auslösen, die unbehandelt zur Impotenz führt. Das wäre vielleicht ein Ansatzpunkt für ein neues Viagra? Das Neurotoxin wirkte in Tierversuchen als Calciumkanalblocker und Schmerzstiller. Daher könnte es vielleicht auch pharmakologisch interessant sein, da es eine ganz andere Wirkungsweise hat als das weitverbreitete Schmerzmittel Diclofenac [11].

Die Obstimporteure tun einiges, um einen Mittransport dieser – auch „Bananenspinnen“ genannten – Gifttiere zu vermeiden. Die Bananen werden von Hand verpackt, 20 min in einem Wasserbad gereinigt – einige besprühen sie mit Chlorklösung – und der Schiffstransport findet oft unter sehr geringem Sauerstoffgehalt statt. Dies ist kein adäquater Lebensraum für Spinnen. Wie der Name „Wanderspinnne“ sagt, baut sie keine Netze,



sondern geht aktiv auf Beutefang. Mit dem Gift lähmt sie die Beutetiere (z. B. Schaben, Grillen, kleine Skorpione, Mäuse und Frösche) und verspeist sie dann in Ruhe. Die Tiere werden bis 5 cm groß, sind als sehr aggressiv beschrieben und entsprechend ihrem Jagdverhalten auch sehr schnell in ihren Reaktionen. Dass diese Spinne unabsichtlich nach Deutschland kommt, ist extrem selten, denn wir importieren weniger als 1 % unserer Bananen aus Brasilien. Und aus Uruguay, Paraguay und Argentinien, wo sie ebenfalls natürlicherweise vorkommt, gar keine [12]. Die Wahrscheinlichkeit ist also um ein Vielfaches höher, dass sich, wenn überhaupt, eine andere tropische, weniger giftige oder ungiftige Spinne in den Obstkisten findet.

Auch in Australien gibt es eine Spinne, die Menschen gefährlich werden kann: die Sydney-Trichternetzspinne (*Atrax robustus*). Sie baut trichterförmige Netze und lauert in der Dunkelheit auf Beute, die sie dann mit ihrem Gift betäubt [10]. Zur Paarungszeit gehen die Männchen auf Wanderschaft, wo es dann zum Zusammentreffen mit Menschen im Raum Sydney kommen kann. Auch diese Spinne sondert ein Nervengift (ebenfalls ein Protein) ab, das nach und nach die Muskulatur und damit auch die Atmung lähmt.

Und dann gibt es noch die Gifte wirbelloser Meerestiere, die für Taucher und v. a. Strandbesucher und Schnorchler, die viel nackte Haut zeigen, tödlich sein können. Dazu gehört die Seewespe (*Chironex fleckeri*), die im Pazifischen Ozean und vor der Nord- und Ostküste Australiens vorkommt [10]. Ihre Nesselzellen, die an bis zu 3 m langen Tentakeln sitzen, entlassen bei Berührung feine Fäden, die sich durch die Haut des Opfers ätzen und ein sehr starkes Gift absondern. Es ist ebenfalls ein Nervengift, das zu Muskel- und Atemlähmung sowie zum Herzstillstand führt. Der Tod tritt innerhalb von Minuten ein. Äußerst qualvoll ist auch der Tod durch das Gift der Krustenanemone (*Palythoa* spp.). Es kommt dabei ebenfalls zur Lähmung des gesamten Muskelapparates. Die indigene Bevölkerung Hawaiis nutzte dieses Palytoxin als Speergift. Vergiftungen mit Palytoxin, einer der größten, bekannten Naturstoffe, gibt es auch hierzulande, wenn Aquarienfremde mit der Anemone in Kontakt kommen. Dabei kann das Gift sowohl über die Haut als auch bei ungenügender Belüftung über die Atemwege aufgenommen werden.

Und dann gibt es noch hübsch gemusterte Kegelschnecken (*Conus* spp.), von denen einige Fische oder Schnecken als Beute erjagen (Abb. 2.4). Da diese Kegelschnecken sehr langsam sind, muss ihr Gift (Conotoxin, ein Peptid) sehr schnell wirken. Es ist ein Nervengift, verursacht beim Menschen große Schmerzen und führt zu Muskellähmungen und Seh- und Atemstörungen. Ein einziger Biss soll bis zu 20 Menschen töten können.



**Abb. 2.4** Gefahr aus dem Meer: die Vielfalt der Kegelschnecken (*Conus* spp.) (links [13]) und ein Blaugringelkrake (*Hapalochlaena lunulata*) aus Indonesien (rechts [14]). Im linken Bild in der oberen Reihe sind Kegelschnecken, die Fische erbeuten, in der unteren Reihe solche, die Schnecken jagen, gezeigt. Unter ihnen finden sich diejenigen mit den stärksten Toxinen

Auch die Blaugringelkten Kraken (*Hapalochlaena* spp., Abb. 2.4) haben Speichel mit einem potenten Nervengift, dem Tetrodotoxin (s. Abb. 2.2), das auch dem Kugelfisch seine Giftigkeit verleiht [10]. Es dauert nur wenige Stunden, bis der Tod durch Lähmung der Atemmuskulatur und Herzkammerflimmern eintritt, was dazu führt, dass die Opfer bei vollem Bewusstsein ersticken. Das Gift wird nicht von den Tieren selbst produziert, sondern von Bakterien, die in den Speicheldrüsen der Kraken leben.

Dann gibt es noch die Dubois' Seeschlange (*Aipysurus duboisii*) aus Südostasien und Australien, die als tödlichste Seeschlange der Welt gilt. Es kommt durch ihr Gift ebenfalls zu Muskellähmungen, die letztlich zu Atemstillstand führen. Der Todeskampf kann 8 Stunden bis 3 Tage dauern und auch hier ist ein Peptid für die Gefährlichkeit verantwortlich. Eiweiße verleihen auch den Steinfischen (*Synanceiinae*) ihre Giftigkeit. Steinfische sind oft algenbewachsen und sehen genauso aus wie sie heißen. Sie lauern tagelang, perfekt getarnt am Boden, bis zufällig Beute nahe genug heranschwimmt [10]. Einige Arten injizieren ein auch für Menschen tödliches Gift, das zu starken Schmerzen, Blutdruckabfall, Kammerflimmern und Lähmungen bis hin zur Atemlähmung führt. Die Stacheln können selbst Badeschuhe durchstechen und bringen das Gift tief in die Wunde. Sie leben im tropischen Indopazifik, aber auch im Roten Meer und gehören zu den giftigsten Fischen überhaupt.

## Natürlich verteidigen

Pilze und Pflanzen sind bekanntlich ortsgebunden und Weglaufen ist daher keine Verteidigungsoption. Für sie sind Gifte deshalb ein natürliches Mittel zur Abwehr von Fressfeinden und Krankheitserregern. Fressfeinde umfasst dabei alles von Kühen bis zu Insekten, von Ziegen bis zu Fadenwürmern. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, dass manche Pilze und Pflanzen recht starke Gifte beinhalten. Einer der giftigsten pflanzlichen Stoffe überhaupt ist auch wieder ein Protein, das Abrin, das von der Paternostererbse (*Abrus precatorius*) produziert wird (s. Tab. 2.1). Es ist mit dem Ricin verwandt, das aus den Samen des Wunderbaums (*Rizinus communis*) gewonnen wird und bei der Extraktion von Rizinusöl anfällt. Es ist bereits in geringsten Mengen tödlich und war auch schon als biologischer Kampfstoff im Gespräch. Als Protein bewirkt es die Inaktivierung der Ribosomen, lebensnotwendiger Zellorganellen. Dazu hat es einen Bestandteil, der an die Zelloberfläche bindet, wodurch es von der Zelle aktiv aufgenommen wird. Ein zweiter Bestandteil des Toxins entfaltet dann die giftige Wirkung. Dadurch wird die gesamte Eiweißsynthese der Zelle gestört und sie kann nicht mehr wachsen. Bei Einnahme einer entsprechenden Dosis tritt der Tod durch Kreislaufversagen bereits nach 2 Tagen ein.

Eines der giftigsten bekannten Toxine, das Maitotoxin, stammt von Einzellern (Dinoflagellaten), v. a. der Art *Gambierdiscus toxicus*. Da Fische diese Lebewesen gerne fressen, kann es dadurch beim Gourmet zu einer sogenannten „Fischvergiftung“ kommen (Ciguarata-Vergiftung), die jedoch vom Toxin der gefressenen Tierchen stammt. Den Fisch selbst scheint das nicht besonders zu schädigen. Maitotoxin gilt als die giftigste Substanz, die sich im Meer findet [15]. Sie erhöht den Fluss von Calciumionen im Herzmuskel und kann zum Herztod führen. Zudem gehört dieses Toxin zu den größten, durch Biosynthese in einem lebenden Organismus gebildeten, nicht polymeren Strukturen.

Ein in der Natur weitverbreitetes Gift ist die Blausäure (Cyanwasserstoff,  $\text{H-C}\equiv\text{N}$ ), dessen Salze Cyanide heißen. Es wird von Bakterien, Algen und Pflanzen gleichermaßen produziert – es ist also quasi ein universelles Gift. Es kommt in den Produzenten nicht in freier, also giftiger, sondern in einer inaktiven Form vor, die erst bei Verwundung zur giftigen Blausäure umgewandelt wird. Das macht die Verteidigungsfunktion überdeutlich. Solange der Produzent nicht angegriffen wird, ist er harmlos. Kommen aber Fressfeinde, dann werden sie eines Bitteren belehrt. Das führt in den

meisten Fällen dazu, dass sie nicht weiterfressen, sondern sich bekömmlicheren Pflanzen zuwenden. Dazu passt, dass Cyanid häufig in den Vermehrungsorganen vorkommt, die besonders geschützt werden müssen, etwa in den Kernen von (Bitter-)Mandeln, Pfirsich, Sauerkirsche, aber auch in Hülsenfrüchten. Das Fruchtfleisch lockt die Fresser an und so ist es auch gedacht: Sie können das Süße ruhig verzehren, sollen dann aber die Kerne möglichst wieder ausspucken oder ausscheiden und somit weit verteilen, was der Verbreitung dient. Und da hilft das Cyanid. Es findet sich aber auch in Maniok, weshalb diese tropische Knolle nicht roh gegessen werden darf. Erst muss die Blausäure durch aufwendiges Verreiben der Knolle und mehrfaches Waschen herausgelöst werden. Bei Aprikosen- oder Bittermandelkernen ist die Giftigkeit begrenzt. Erwachsene müssten rund 60 Kerne essen, um zu Tode zu kommen, bei Kindern genügen 5–10 Kerne [16].

Cyanid gehört zu den am schnellsten wirkenden Giften der Welt. Deshalb befand es sich auch in den Giftkapseln, die die Nazi-Größen in den letzten Kriegstagen mit sich herumtrugen. Ein Zerbeißen einer solchen Kapsel führt rasch und ohne Rettungsmöglichkeit zum Tod. Denn Cyanid hemmt ein spezielles Enzym, die Cytochrom-c-Oxidase. Sie ist für die Sauerstoffaufnahme der Zellen verantwortlich, weshalb eine Hemmung zum Tod durch Ersticken führt. Dabei reichen bereits 6 mg für einen Erwachsenen aus.

Eine besondere raffinierte Methode der Giftigkeit findet sich bei manchen Weidegräsern, etwa dem weltweit vorkommenden Deutschen Weidelgras (*Lolium perenne*). Sie tragen in manchen Weltgegenden in relativ hohen Anteilen einen toxinbildenden Pilz (*Neotyphodium lolii*, früher *Epichloë*) in ihrem Gewebe [17]. Die Pilze machen den ganzen Lebenszyklus der Pflanze mit, ohne diese zu schädigen (endophytisches Wachstum) und bilden mehrere Toxine. So verteidigen sie die Pflanze, während sie selbst durch die Pflanze ernährt und geschützt werden. Eine *Win-win*-Situation sozusagen. Allerdings gibt es doch einen Verlierer, nämlich die Weidetiere, die sich von diesen Gräsern ernähren und durch die Toxine sehr krank werden können. Bemerkbar macht sich die „Weidegras-Taumelkrankheit“ bei Pferden u. a. durch Nervenstörungen, unablässiges Kopfschütteln bis hin zu schweren Lähmungserscheinungen und Koliken. Auch Schafe und Ziegen sind davon erheblich betroffen, weil sie die Gräser bis zum Erdboden verbeißen und gerade in den unteren Teilen der Pflanze die höchsten Gehalte vorhanden sind. Das Gras schützt damit seinen empfindlichen Bestockungsknoten, aus dem es immer wieder neu austreiben kann. Da Rinder das Gras nicht so tief verbeißen, sind sie von der Weidekrankheit kaum betroffen. Auch dieses Detail zeigt wieder, dass es bei giftigen Pflanzen v. a. um Selbstschutz geht.

Als man in den 1970er-Jahren diese Zusammenhänge entdeckte, befreite man im Experiment das Gras von seinem endophytisch wachsenden Pilz durch Gewebekultur. Doch das gab eine große Überraschung. Der Pilz schützt nämlich nicht nur die Pflanze mit seinen Giftstoffen vor Weidetieren, die zu tief abbeißen, sondern macht sie auch widerstandsfähiger gegen Trockenstress, Blattläuse, Viren und andere krankheitserregende Pilze. Außerdem steigert der Pilz durch die sekundären Inhaltsstoffe, die er abgibt, die Biomasse der Gräser. Deshalb findet man ihn besonders häufig in Gegenden, die für das Gras wegen zu großer Trockenheit oder Hitze ungünstige Wachstumsbedingungen bereithalten.

## Gefahr durch Giftpilze

Früher war es durchaus üblich, Bauernkinder nachmittags nach der Schule in den Wald zu schicken, um Pilze für das Abendessen zu sammeln. Heute ist das Pilzsammeln üblicherweise ein Hobby. Die meisten mitteleuropäischen Pilze sind ungefährlich, einige wenige ungenießbar und noch ein paar weniger sind wirklich giftig. Dabei bezeichnet man als Giftpilze nur die Großpilze und deren Toxine als Pilzgifte, während die Gifte der Schimmelpilze (Mikropilze) Mykotoxine (s. Kap. 3) genannt werden. Obwohl es bei uns nur sehr wenige hochgiftige Großpilze gibt, kommt es im Jahr zu einigen Tausend Vergiftungsfällen (Tab. 2.2), die meisten davon enden mit Übelkeit und starken Brechdurchfällen, die bis zu 6 Tage anhalten können (gastrointestinales Syndrom) oder mit Bauchschmerzen,

**Tab. 2.2** Die häufigsten Vergiftungen mit einheimischen Pilzen 2006 aus insgesamt 1704 Fällen; fett gedruckte Pilze können tödlich sein ([18], Gifte ergänzt durch [19])

Pilz	Häufigkeit [%]	Syndrom	Gifte
<b>Knollenblätterpilze</b>	<b>5,1</b>	<b>Phalloides</b>	<b>Amatoxine, Phallotoxine</b>
Karbolegerlinge	3,4	Gastro-intestinales Syndrom	Agaricon, Xanthodermin
Hallimasch (roh)	3,0		
<b>Pantherpilze</b>	<b>1,9</b>	Amanita muscaria-Syndrom	<b>Ibotensäure → Muscimol</b>
Fliegenpilze	1,8		Ibotensäure → Muscimol
Gallenröhrlinge	1,7		
Düngerlinge	1,4	Psilocybin	Psilocin, Psilocybin u. a.
<b>Kahle Kremplinge</b>	<b>1,0</b>	<b>Paxillus</b>	<b>Hämolsine, Hämagglutinine</b>
Satans-Röhrling	0,9		

Übelkeit und Erbrechen (Pilzunverträglichkeit). Letzteres ist dabei ein Schutzmechanismus des Körpers. Statistisch gesehen sind in Deutschland Todesfälle durch Blitze (8–10 pro Jahr) doppelt so häufig wie tödliche Pilzvergiftungen (2–5 pro Jahr [18]). Für Letzteres sind dann nur 4 Pilzarten verantwortlich, die tatsächlich einen Erwachsenen töten können: Grüner Knollenblätterpilz, Frühjahrslorchel, Pantherpilz und Kahler Krempling.

Die giftigsten Pilze sind die Knollenblätterpilze und dabei v. a. der Grüne Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides*, Abb. 2.5). Bei einer Vergiftung kommt es in den ersten 12–24 Stunden zu Übelkeit, starkem Erbrechen sowie Durchfällen, die zu starkem Flüssigkeitsverlust führen. Dann scheint sich der Patient zu erholen, während 1–2 Tage nach dem Pilzverzehr die richtigen Schäden auftreten: Gelbverfärbung der Haut, Blutgerinnungsstörungen und im schlimmsten Fall Nieren- und Leberversagen. Der Tod durch Leberkoma tritt meist zwischen 6 und 10 Tagen ein und kann in späten Stadien nur durch eine Lebertransplantation verhindert werden. Besonders gefährlich an den Knollenblätterpilzen ist, dass sie leicht mit dem schmackhaften Wiesenchampignon verwechselt werden. Zudem haben sie einen nur milden Eigengeschmack, sodass es keine Warnsignale gibt. Im Jahr 2010 wurden dem Bundesinstitut für Risikobewertung 10 Vergiftungsfälle mit Knollenblätterpilzen gemeldet. Im Durchschnitt gibt es etwa 5 Todesfälle jährlich. Die enthaltenen Gifte sind Amatoxine und Phallotoxine, die jeweils in verschiedenen Varianten vorkommen. Letztere werden wohl im Darm kaum resorbiert, die kritischste Substanz ist das hitzestabile Amanitin, das beim Kochen und Braten erhalten bleibt. Die tödliche Dosis liegt beim Menschen bei 0,1 mg/kg Körpergewicht, die bereits in 35 g frischem Pilz enthalten sind. Das bedeutet, dass ein einziger Pilz tödlich sein kann [20].

Zur selben Gattung gehört der Pantherpilz (*Amanita pantherina*), der in seltenen Fällen ebenfalls zum Tode führen kann<sup>22</sup>. Er enthält die an sich



**Abb. 2.5** Die bekanntesten Giftpilze Deutschlands: der Grüne Knollenblätterpilz (links [21]) und ein junger Fliegenpilz (rechts)